

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

RAPHAEL VILELA DE PAIVA
21904812

REDE MESH NA AGRICULTURA

BRASÍLIA
2023

RAPHAEL VILELA DE PAIVA

REDE MESH NA AGRICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Elétrica do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientador (a): Prof. Me. FRANCISCO JAVIER DE OBALDÍA DÍAZ

BRASÍLIA
2023

RAPHAEL VILELA DE PAIVA

REDE MESH NA AGRICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Elétrica do UniCEUB – Centro Universitário de Brasília

Orientador (a): Prof. Me. FRANCISCO JAVIER DE OBALDÍA DÍAZ

Brasília, 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Francisco Javier de Obaldía Díaz.
Orientador (a)

Prof. Me. Luciano Henrique Duque.
Examinador (a)

Prof. Me. Fábio Oliveira Guimarães.
Examinador (a)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais Luiz Cláudio e Roberta, exemplos de pessoas estudiosas e que sempre buscam o conhecimento, me inspirando a seguir a graduação.

Ao meu irmão Gabriel, e a meus amigos da “Trupe de Frassati” e ao nosso padroeiro Beato Pier Giorgio Frassati, exemplos de amizade e companheirismo.

Aos meus amigos e colegas do curso de engenharia elétrica, que nos autodenominamos "os que sobraram" nessa longa jornada de estudos.

Ao dr. em eng. de energia na agricultura Gilson Debastiani, por ter me incentivado e me auxiliado no desenvolvimento deste TCC.

Aos meus amigos graduados, mestres e doutores, que me guiaram e auxiliaram com sabedoria.

A todos os professores, que lecionaram durante este curso, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

Ao professor orientador Me. Francisco Javier, que me incentivou e orientou no desenvolvimento deste TCC.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

“Se meus estudos permitissem, passaria longos dias nas montanhas contemplando naquele ar puro a beleza do Criador.”

Beato Pier Giorgio Frassati.

REDE MESH NA AGRICULTURA

MESH NETWORK IN AGRICULTURE

Raphael Vilela de Paiva¹, Francisco Javier de Obaldia Diaz ², Primeiro examinador³, Segundo examinador⁴

RESUMO

Este trabalho apresenta um projeto de pesquisa aplicada, exploratória e descritiva, que emprega uma abordagem qualitativo-quantitativo para monitorar os dados climáticos do ambiente localizado em uma fazenda em Paracatu-MG. O projeto utiliza dois equipamentos, “Home” e “Externo”, equipados com vários sensores, incluindo BME280, DS18B20, AHT10 e um Sensor Capacitivo de Umidade do Solo (S.C.U.S.). Esses equipamentos se comunicam por meio de uma rede mesh sem fio. O equipamento “Home” recebe e armazena mensagens de outros dispositivos na rede em um arquivo de texto em um cartão microSD. O equipamento “Externo” monitora os dados climáticos em uma área de cultivo específica. Os dados coletados são inicialmente armazenados como texto e posteriormente convertidos para o formato CSV para análise em planilhas. Após a coleta e o tratamento dos dados, gráficos são gerados para facilitar a análise. Este estudo demonstra a aplicação eficaz da tecnologia no monitoramento ambiental, fornecendo dados valiosos para aplicações como a agricultura de precisão.

Palavras-chave: Monitoramento Ambiental, Agricultura de Precisão, Rede Mesh, Sensores, Microcontroladores.

Abstract

This study presents an applied, exploratory, and descriptive research project that employs a qualitative-quantitative approach to monitor the climatic data of a specific environment located on a farm in Paracatu-MG. The project involves the use of two devices, “Home” and “External”, which are equipped with various sensors, including BME280, DS18B20, AHT10, and a Capacitive Soil Moisture Sensor (CSMS). These devices communicate via a wireless mesh network. The “Home” device is designed to receive and store messages from other devices on the network in a text file on a microSD card. The “External” device is responsible for monitoring the climatic data in a specific cultivation area. The collected data is initially stored as text and later converted into the CSV format for spreadsheet analysis. After the data collection and processing, graphs are generated to facilitate the analysis. This study demonstrates the effective application of technology in environmental monitoring, providing valuable data for applications such as precision agriculture.

keywords: Environmental Monitoring, Precision Agriculture, Mesh Network, Sensors, Microcontrollers.

¹ UniCEUB, aluno.

² UniCEUB, orientador.

³ UniCEUB, primeiro examinador.

⁴ UniCEUB, segundo examinador.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Clima e agricultura.....	7
2.1.1. Temperatura.....	7
2.1.2. Umidade.....	8
2.1.3. Relação temperatura e pressão.....	8
2.2. Redes Mesh.....	8
2.3. Biblioteca painlessMesh.....	9
2.4. Arduino IDE.....	10
2.5. Redes de sensores sem fio (RSSF).....	10
2.6. Equipamentos.....	11
2.6.1. Wemos d1 mini (clone).....	11
2.6.2. Sensor BME280.....	11
2.6.3. Sensor DS18B20.....	12
2.6.4. Sensor AHT10.....	12
2.6.5. Sensor capacitivo de umidade do solo.....	12
2.6.6. Módulo DS1307 (RTC).....	13
2.6.7. Módulo microSD.....	13
3. METODOLOGIA DO TRABALHO.....	13
3.1. Metodologia.....	13
3.2. Desenvolvimento.....	14
3.2.1. Equipamentos.....	14
3.2.1.1. “Home”.....	14
3.2.1.2. “Externo”.....	14
3.2.2. Programação.....	15
3.2.2.1. “Home”.....	15
3.2.2.2. “Externo”.....	15
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	16
4.1. Instalação.....	16
4.2. Coleta de dados.....	16
4.3. Tratamento dos dados.....	16

4.3.1. “Home”.....	16
4.3.2. “Externo”.....	17
4.4. Geração dos Gráficos.....	17
4.4.1. Gráfico da umidade (BME280).....	17
4.4.2. Gráfico da temperatura (BME280).....	17
4.4.3. Gráfico da pressão (BME280).....	17
4.4.4. Gráfico da umidade do ar (AHT10).....	17
4.4.5. Gráfico da temperatura do ar (AHT10).....	18
4.4.6. Gráfico da umidade so solo.....	18
4.4.7. Gráfico da temperatura do solo.....	18
4.4.8. Gráfico da umidade do solo e do ar (AHT10).....	18
4.4.9. Gráfico da temperatua do solo e do ar (AHT10).....	18
4.4.10. Gráfico da umidade do solo e do ar (AHT10 E BME280).....	18
4.4.11. Gráfico da temperatura do solo e do ar (AHT10 E BME280).....	18
4.4.12. Gráfico de dispersão umidade e temperatura BME280.....	18
4.4.13. Gráfico de dispersão pressão e umidade BME280.....	19
4.4.14. Gráfico de dispersão pressão e temperatura BME280.....	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19
5.1 Trabalhos futuros.....	20
6. REFERÊNCIAS.....	21
7. ANEXO DE IMAGENS.....	24

1 INTRODUÇÃO.

A transição da humanidade de caçadores e coletores para agricultores foi um marco histórico da civilização. Essa mudança ocorreu no período neolítico, por volta de 12.000 anos atrás, quando os humanos começaram a domesticar plantas e animais (DIAMOND, 1997).

A agricultura forneceu uma fonte de alimento estável e permitiu o crescimento populacional e o desenvolvimento de sociedades complexas (BOSERUP, 1965). Com o passar do tempo, os humanos aprenderam a cultivar uma variedade de culturas, como trigo, cevada e legumes, que se tornaram a base de sua dieta (HARLAN, 1992). Além disso, a agricultura permitiu o desenvolvimento de ofícios especializados, já que nem todos precisavam se dedicar à produção de alimentos, levando ao desenvolvimento de novas tecnologias e ao progresso da civilização (CHILDE, 1950).

A agricultura não apenas transformou a vida cotidiana, mas também moldou a paisagem cultural e física (CROSBY, 2003). Através dela, a humanidade foi capaz de alterar o ambiente de acordo com suas necessidades. Florestas foram derrubadas para dar lugar a grandes campos agrícolas e sistemas de irrigação foram construídos para fornecer água às colheitas (CROSBY, 2003). Com todos esses avanços na agricultura, começaram a surgir novas demandas tecnológicas para contribuir no cultivo (CASEY & SMITH, 2020).

Essas demandas tecnológicas começaram desde novas ferramentas, a substituição da força bruta humana por equipamentos movidos a tração animal e depois por máquinas. Também surgiu a necessidade de aprimorar os estudos no campo, visando entender sobre irrigação, adubação, temperatura, ventos, irradiação solar (CASEY & SMITH, 2020).

Assim, chegamos aos dias atuais, nas grandes propriedades, com monitoramento por satélite e drones, ensaios de solo, adubos

químicos para melhorar as condições do solo para o plantio, grandes sistemas de irrigação substituindo e acompanhando as chuvas, para manter a umidade ideal para cada cultivo (LIEBERT et al., 2022).

Por outro lado, os pequenos produtores que não têm grandes terrenos e nem condições para implementar todos esses equipamentos em sua propriedade, acabam utilizando os métodos mais rudimentares, como medição pluviométrica, encaminhamentos de amostras do solo para análise química do solo, visualização das folhagens (que acabam mostrando algum tipo de deficiência do solo, que acaba refletindo na aparência das folhas), pequenas estufas para controlar o calor, umidade e irradiação (HAYES, 2022).

Em resposta às demandas tecnológicas na agricultura, este trabalho foca no desenvolvimento de equipamentos para coleta de dados de temperatura e umidade do solo e do ar, além de um sensor barométrico, com uma das finalidades de ser um equipamento de fácil acesso e baixo custo, podendo se tornar uma solução como ajuda para tomada de decisão para pequenos agricultores, podendo ler as condições atuais coletadas do ambiente pelo equipamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

2.1 CLIMA E AGRICULTURA.

Dentro da agricultura é visível os cuidados como a adubação do solo elevando sua qualidade, e tratamentos químicos para correção de PH, mas não é só isso que uma planta necessita para seu crescimento.

2.1.1 TEMPERATURA.

Para (CHERLINKA, 2021) a temperatura do solo e o crescimento das plantas estão fortemente relacionados, sendo o calor que induz o crescimento da vegetação com a absorção de água e nutrientes para o crescimento geral das plantas, e em baixas

temperaturas acabam inibindo a captação de água, devido à menor viscosidade da água, e retardam o processo da fotossíntese. As altas temperaturas do solo, provocam a desidratação da argila e rachadura na areia, reduzindo seu conteúdo e aumentando a concentração de lodo. Quanto mais quente o solo, maior é a emissão de dióxido de carbono, esse calor excessivo faz com que o terreno acabe rachando devido à evaporação e a penetração de água no solo é insuficiente. Ele explica como deve ser feito, para solucionar esse problema, controlando a temperatura do solo, com cobertor e folhagem, o sombreamento do solo, irrigação do solo, entre outras técnicas.

Figura 1 – Degradação do solo.



Fonte: br.pinterest.com.

2.1.2 UMIDADE.

(FERNANDES, 2023) explica, que devido à diminuição da camada de ozônio, acaba interferindo com chuvas intensas durante o período do verão, e o aquecimento do solo contribui para a evaporação da água presente no ambiente, formando mais chuvas. Essas chuvas intensas acabam lavando os nutrientes essenciais para as plantas como NPK, e enxofre, movendo para longe das raízes. Com grandes períodos de estiagem, torna-se necessário a irrigação, pois a água é um elemento fundamental em todas as etapas da cultura, desde a germinação até a maturação das sementes.

Figura 2 – Chuva na plantação de soja.



Fonte: goio.news

2.1.2 RELAÇÃO TEMPERATURA E PRESSÃO.

A relação entre a temperatura do ar e a pressão atmosférica é um tópico complexo e dinâmico. A pressão atmosférica, que é o peso do ar sobre a superfície da Terra, varia com a temperatura do ar. Quando as temperaturas são mais baixas, o ar se torna mais denso, aumentando a pressão. Por outro lado, quando as temperaturas aumentam, as partículas se afastam, o ar se torna menos denso e a pressão diminui. Essa dinâmica é influenciada por vários fatores, incluindo a altitude e as condições climáticas. Assim, a relação entre a temperatura do ar e a pressão atmosférica é uma peça chave na meteorologia e na climatologia. Além disso, essa relação é crucial para a previsão do tempo e para entender as mudanças climáticas globais (SANTOS; DELGADO, 2020).

2.2 REDES MESH.

(ABELÉM et al., 2007) definem redes *mesh* como redes sem fio com topologia dinâmica, variável e de crescimento orgânico. Os nós dessas redes se comunicam usando variantes dos padrões IEEE 802.11 e 802.16, e o roteamento é dinâmico. A característica fundamental das redes mesh é o encaminhamento por meio de múltiplos saltos.

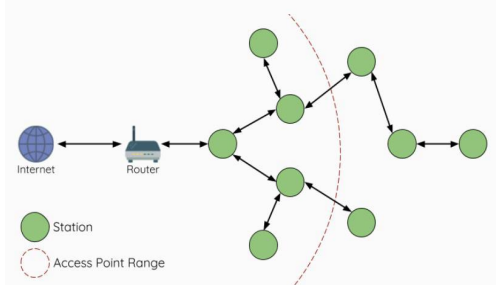
(GERK, 2007) explica que, ao contrário das redes *ad hoc*, nas quais as redes *mesh* se baseiam, as redes mesh não enfrentam restrições à mobilidade e ao consumo de energia. Isso ocorre porque os nós mesh normalmente têm localização fixa e podem ser facilmente alimentados.

A força do sinal é mantida dividindo-se as longas distâncias em pequenos saltos. Os nós intermediários não apenas regeneram o sinal, mas também tomam decisões de encaminhamento baseadas no conhecimento da rede.

Os nós *mesh* são pontos de acesso que incorporam as funções de roteamento.

Alguns dos nós também funcionam como *gateways* para interconexão com outras redes. Normalmente, o tráfego flui dos nós *mesh* para os *gateways*.

Figura 3 – Arquitetura da rede mesh.

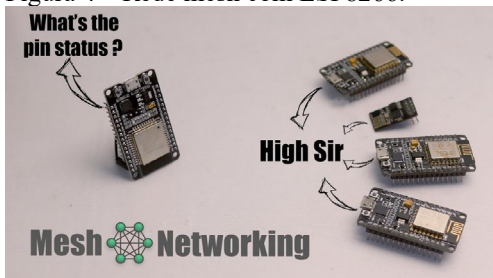


Fonte: www.hackster.io

2.3 BIBLIOTECA PAINLESSMESH.

A *painlessMesh* é uma biblioteca potente que facilita a implementação de redes mesh com os dispositivos ESP8266 e ESP32, sendo uma escolha popular para projetos que exigem comunicação entre vários dispositivos ESP (*painlessMesh*, 2023). Mantida por Edwin van Leeuwen, a biblioteca é compatível com as arquiteturas esp8266 e esp32 e pode ser facilmente instalada através do Gerenciador de Bibliotecas do Arduino IDE (Arduino, 2023).

Figura 4 – Rede mesh com ESP8266.



Fonte: community-assets.home-assistant.io

A rede estabelecida pela *painlessMesh* é auto-organizada e autogerida, com todos os nós interconectados (*painlessMesh*, 2023). A rede adota uma topologia estrela para prevenir caminhos circulares. O tamanho máximo da rede *mesh* é determinado pela memória *heap* que pode ser alocada para cada sequência de conexões. Cada nó funciona como um ponto de acesso, com um

limite de quatro nós por ponto de acesso.

A rede utiliza objetos JSON para todas as mensagens transmitidas. Isso é feito por duas razões: facilitar a interpretação do código e das mensagens pelos humanos e permitir a integração com aplicações *JavaScript Front-End* e aplicações web.

Figura 5 – Ex. estrutura da mensagem JSON.

```

[
  {
    "id": 0,
    "nome": "Marla Ferreira",
    "idade": 26,
    "sexo": "Feminino",
    "estado": "Rio de Janeiro"
  },
  {
    "id": 1,
    "nome": "João Silva",
    "idade": 32,
    "sexo": "Masculino",
    "estado": "São Paulo"
  },
  {
    "id": 2,
    "nome": "Marieta Julia"
  }
]

```

Fonte: pt.stackoverflow.com

As informações de roteamento são compartilhadas por meio de mensagens de sincronização de nós. Cada nó informa seus vizinhos sobre todos os outros nós aos quais está diretamente conectado e todas as suas respectivas sub conexões. Assim, cada nó tem uma visão em tempo real de toda a malha e sabe quais "nós" estão conectados à malha. Essas informações são atualizadas a cada três segundos.

As mensagens trocadas entre os nós podem ser divididas em mensagens de controle e mensagens do usuário. As mensagens de controle são trocadas entre os nós para compartilhar informações de roteamento e sincronizar o tempo entre os nós. Por outro lado, as mensagens do usuário são criadas pelo usuário e enviam um objeto JSON para um único nó ou o transmitem pela rede.

O endereço do nó é derivado dos últimos quatro *bytes* do endereço MAC do microcontrolador. Pacotes de controle são trocados apenas entre nós vizinhos e consistem em vários tipos.

A sincronização ocorre por meio de um par de mensagens. Primeiro, o nó envia um **NODE_SYNC_REQUEST** para seus vizinhos. Esta mensagem é do tipo 5 ("type": 5). Em seguida, os vizinhos respondem com um **NODE_SYNC_REPLY** ("type": 6).

Cada nó mantém uma lista de conexões e

para cada conexão, uma lista de cada sub conexão. A lista de conexões contém as conexões que serão recebidas pelo nó e a conexão, no máximo uma, que será iniciada pelo nó. Dessa forma, cada nó tem conhecimento da topologia completa da rede.

Para mensagens individuais, o nó de destino e a origem são identificados. Primeiro, a conexão a ser usada é procurada. A conexão direta ou a conexão, com uma sub conexão com o nó de destino. A mensagem é enviada para esse nó. Quando o nó não é o nó de destino, a mensagem é retransmitida para a próxima conexão, consultada da mesma maneira. Isso se repete até que a mensagem chegue ao nó de destino. As mensagens não são confirmadas. Isso deve ser implementado no nível do aplicativo.

Para mensagens de *broadcast* ou mensagens enviadas para todos os nós, todas as conexões são percorridas e as mensagens são enviadas para cada conexão. Ao receber a mensagem, a mesma é retransmitida para todas as conexões do nó de recebimento, exceto para o nó que recebeu, ou seja, ele mesmo.

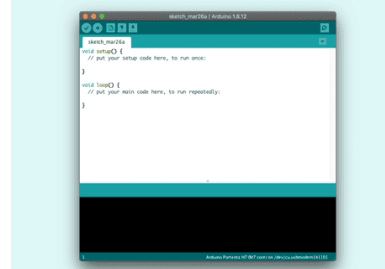
A *painlessMesh* é uma escolha popular para projetos que exigem comunicação entre vários dispositivos ESP, permitindo que os desenvolvedores se concentrem em criar aplicações inovadoras e interessantes para suas redes *mesh* (painlessMesh, 2023).

2.4 ARDUINO IDE.

A Arduino IDE é uma plataforma de desenvolvimento de código aberto que facilita a escrita e envio de código para placas de desenvolvimento. Ela é um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) que serve como plataforma de desenvolvimento para codificação e atualização das placas de desenvolvimento com a utilização da linguagem C/C++. A nova versão principal do Arduino IDE é mais rápida e poderosa, com um editor moderno, interface responsiva, preenchimento automático, navegação de código e até mesmo um depurador ao vivo.

A Arduino IDE 2.0 é de código aberto e seu código-fonte está hospedado no GitHub. Além disso, a Arduino IDE suporta MicroPython para programar suas placas e a Arduino PLC IDE permite programar usando linguagens IEC 61131-3 e misturar esboços Arduino. (EBSCO Information Services, 2019) (Software | Arduino, 2023).

Figura 6 – Arduino IDE.



Fonte: docs.arduino.cc

2.5 REDES DE SENSORES SEM FIO.

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são uma tecnologia emergente que oferece uma funcionalidade sem precedentes para monitorar, instrumentar e, potencialmente, controlar o mundo físico (LOUREIRO, 2006). Elas se caracterizam pela capacidade de monitorar uma ou mais variáveis de interesse em um determinado evento (CARVALHO et. Al., 2012). Uma das principais vantagens das RSSF é que as posições dos nós sensores não precisam ser pré-definidas, implicando que a rede de sensores deve possuir protocolos e algoritmos com capacidade de auto-organização. No entanto, os nós de uma rede de sensores podem ser descartados ou saírem de serviço por várias razões, como problemas na disposição, falhas nos componentes e falhas de comunicação (RUIZ et. Al., 2003). Mesmo com a falha de um nó, a topologia da rede é dinâmica.

Cada RSSF possui particularidades próprias, devido ao tipo de aplicação e aos seus objetivos, portanto, o requisito de um protocolo difere conforme as características de cada rede (BRITTES, 2007). Algumas redes necessitam de transferência de dados contínuos e outras em um intervalo de tempo maior ou ainda somente quando realizam

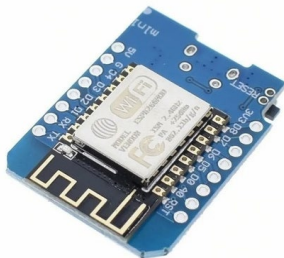
uma solicitação à estação base (gateway). Devido ao grande número de nós ativos em uma RSSF, dificilmente se aplicaria a utilização dos protocolos tradicionais, baseados em IP, pois nesse caso, haveria um alto tráfego de controle para a manutenção da rede (LAZZAROTTO, 2008).

2.6 EQUIPAMENTOS.

2.6.1 WEMOS D1 MINI (clone).

O Wemos D1 Mini é um “*System on a Chip*” (SoC), ou “Sistema no Chip”, que utiliza o ESP-12F, um microcontrolador de 32 bits, fabricado pela companhia chinesa Expressif. Este módulo é equipado com um transmissor Wi-Fi, tornando-o uma escolha popular, especialmente no domínio da automação residencial. Ele possui 11 pinos de entrada e saída de propósito geral (GPIOs), além de uma entrada analógica, permitindo programá-lo como qualquer Arduino ou outro microcontrolador. A comunicação Wi-Fi integrada é uma grande vantagem, pois permite utilizar todos os recursos de rede e hospedar uma aplicação web para responder a requisições.

Figura 7 – Wemos D1 MINI (clone).



Fonte: blogmasterwalkershop.com.br

Operando com uma tensão de 3.3V e uma velocidade de clock de 80MHz, que pode ser aumentada para até 160MHz, o Wemos D1 Mini é equipado com uma memória flash de 4MB, permitindo armazenar e recuperar informações mesmo quando o dispositivo é desligado e ligado novamente. Ele também suporta vários protocolos de segurança Wi-Fi, incluindo TKIP, WEP, CRC, CCMP, WPA/WPA2 e WPS, e é compatível com

MicroPython, Arduino e NodeMCU, oferecendo flexibilidade para os desenvolvedores escolherem a plataforma de programação que melhor atenda às suas necessidades. Em resumo, o Wemos D1 Mini é uma placa compacta e poderosa que oferece uma ampla gama de funcionalidades, tornando-o uma escolha ideal para projetos de IoT e automação residencial.

2.6.2 SENSOR BME280.

O BME280 é um sensor ambiental compacto, ideal para aplicações móveis. Ele mede pressão, umidade e temperatura em um único pacote LGA de 8 pinos. Este sensor é adequado para aplicações móveis e *wearables*, onde o tamanho reduzido e o consumo de energia são essenciais (BOSCH, 2023). A Adafruit disponibiliza o BME280 em uma placa de circuito impresso personalizada, que inclui um regulador de 3,3V e deslocamento de nível, permitindo que seja usado com um microcontrolador de lógica de 3V ou 5V (ADAFRUIT, 2023). Além disso, o BME280 é conhecido por sua confiabilidade e durabilidade, tornando-o uma escolha popular entre os entusiastas da eletrônica. Seu design robusto e capacidade de operar em uma ampla gama de condições ambientais o tornam ideal para uma variedade de aplicações, desde o monitoramento do clima até o controle de sistemas de *HVAC* (do inglês *Heating, Ventilation and Air Conditioning*). Com sua capacidade de fornecer leituras precisas e confiáveis, o BME280 continua a definir o padrão para sensores ambientais integrados (BOSCH, 2023).

Figura 8 – sensor BME280.



Fonte: www.smartkits.com.br

2.6.3 SENSOR DS18B20.

O DS18B20, produzido pela Maxim Integrated, é um sensor de temperatura digital conhecido por sua precisão de $\pm 0,5$ °C em uma ampla faixa de temperaturas, variando de -55 °C a + 125 °C (MAXIM INTEGRATED, 2023). Ele possui uma interface digital 1-*Wire*, que facilita a leitura da temperatura convertida internamente de analógico para digital. Uma característica única do DS18B20 é que cada sensor tem um código serial de 64 bits, permitindo que vários desses sensores operem no mesmo barramento 1-*Wire*. O DS18B20 é extremamente versátil e pode ser usado em uma variedade de aplicações. Ele é particularmente útil para medições de temperatura em ambientes úmidos ou até mesmo subaquáticos, graças à sua versão em forma de sonda impermeável. Seja para controles termostáticos, sistemas industriais, produtos de consumo, termômetros ou qualquer sistema sensível à temperatura, o DS18B20 é uma opção confiável (MAXIM INTEGRATED, 2023).

Figura 9 – sensor Ds18b20.



Fonte: curtocircuito.com.br

2.6.4 SENSOR AHT10.

Figura 10 - sensor AHT10.



Fonte: www.d3noob.org

O AHT10 é um sensor altamente preciso,

capaz de medir tanto a temperatura quanto a umidade. Ele é ideal para uso com microcontroladores, Arduino e Raspberry Pi (AOSONG, 2023). O sensor é equipado com um ASIC recém-projetado, um elemento de detecção de umidade capacitivo de semicondutores *MEMS* (do inglês *Micro-Electro-Mechanical Systems*) aprimorado e um elemento de detecção de temperatura padrão no chip. Ele fornece um sinal digital calibrado no formato I2C padrão e opera idealmente com uma tensão de 3.3V. Este sensor é extremamente versátil e pode ser usado como substituto para sensores populares como o DHT11, AM2302, SHT20, entre outros. Ele é adequado para medições de temperatura e umidade em ambientes úmidos e até mesmo subaquáticos. O AHT10 possui comunicação do tipo I2C e dimensões físicas muito pequenas, além de baixo consumo de energia e pinagem própria para uso imediato, já que está integrado em uma placa (AOSONG, 2023).

2.6.5 SENSOR CAPACITIVO DE UMIDADE DO SOLO.

Figura 11 - sensor capacitivo de umidade do solo.



Fonte: curtocircuito.com.br

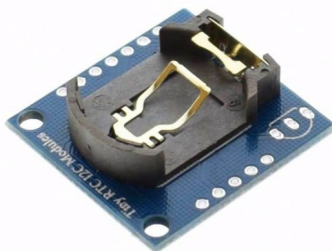
O Sensor de Umidade do Solo Capacitivo V2.0 é um dispositivo de alta precisão que utiliza a detecção capacitiva para medir a umidade do solo, ao contrário de outros sensores que utilizam detecção resistiva (SENSEAIR, 2023). Este sensor é feito de material resistente à corrosão, o que lhe confere uma excelente vida útil. Ele é inserido no solo e fornece dados em tempo real sobre a umidade do solo. Este módulo de sensor possui um regulador de tensão

integrado, permitindo uma faixa de tensão de operação de 3.3 ~ 5.5V. Além disso, o Sensor de Umidade do Solo Capacitivo V2.0 é equipado com um ASIC recém-projetado, um elemento de detecção de umidade capacitivo de semicondutores **MEMS** (do inglês **Micro-Electro-Mechanical Systems**) aprimorado e um elemento de detecção de temperatura padrão no chip. Ele fornece um sinal digital calibrado no formato I2C padrão. O sensor opera idealmente com uma tensão de 3,3V. Este sensor é especialmente desenvolvido para integração em projetos com microcontroladores, Arduino e Raspberry Pi (SENSEAIR, 2023).

2.6.6 MÓDULO DS1307 (RTC).

O Módulo RTC DS1307 é um dispositivo de alta precisão que fornece dados de tempo e calendário completos, incluindo segundo, minutos, dia, data, mês e ano (ARDUINO E CIA, 2021). Ele pode operar em formatos de 12 ou 24 horas e faz ajustes automáticos para meses com menos de 31 dias e anos bissextos (BA0SH1, 2018). Este módulo possui um circuito integrado que detecta falhas de energia e ativa automaticamente uma bateria para evitar a perda de dados (BA0SH1, 2018). A comunicação de dados e endereços é feita através do protocolo I2C (ARDUINO E CIA, 2021). O seu consumo de corrente é inferior a 500nA no modo bateria, com o oscilador em funcionamento (BA0SH1, 2018). Devido à sua precisão e facilidade de uso, o Módulo RTC DS1307 é comumente utilizado em projetos com Arduino (ARDUINO E CIA, 2021).

Figura 12 - módulo DS1307(RTC).

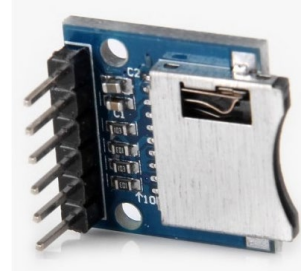


Fonte: curtocircuito.com.br

2.6.7 MÓDULO MICROSD.

O Módulo **MicroSD card** é um componente eletrônico versátil que permite a interação com cartões microSD, facilitando a leitura e gravação de dados (ARDUINO E CIA, 2021). Este módulo é amplamente utilizado em plataformas de desenvolvimento como Arduino e ESP8266 (BA0SH1, 2018). Ele suporta cartões formatados em FAT16 e FAT32 e opera com uma tensão de alimentação de 3,3V a 5V (ARDUINO E CIA, 2021). A comunicação entre o módulo e o microcontrolador é realizada através do protocolo SPI (BA0SH1, 2018). Devido ao seu tamanho compacto, o módulo microSD é ideal para projetos que requerem um fator de forma pequeno (ARDUINO E CIA, 2021). Ele oferece uma solução eficiente para o armazenamento de uma abundância de dados não voláteis, como arquivos de texto, músicas, fotos e vídeos (BA0SH1, 2018). Segundo o fabricante, o módulo é compatível com cartões de memória microSD de até 2 GB e cartões microSDHC de alta velocidade de até 32 GB (ARDUINO E CIA, 2021).

Figura 13 – Módulo MicroSD.



Fonte: www.huinfinito.com.br

3 METODOLOGIA DO TRABALHO.

3.1 METODOLOGIA.

Este projeto de pesquisa é do tipo aplicada, quali-quantitativa, exploratória, descritiva e estudo de caso.

O trabalho foi realizado em dois locais: “Espaço HUB (CEUB)” para o desenvolvimento, e na Fazenda “Esperancinha Boa Vista” Paracatu-MG para

coleta de dados. Foram coletados os dados de temperatura e umidade do solo e do ar de um ponto, separado do ponto principal, a uma distância que ainda se comuniquem pela rede de malha sem fio.

Quanto a análise dos dados, o equipamento principal (nomeado de “Home”) coletou os dados dos demais equipamentos, conectados à rede, e armazenou em dois arquivos. Com esses dados coletados de cada sensor, foram gerados gráficos de análise.

3.2 DESENVOLVIMENTO.

O Sistema foi desenvolvido em uma rede mesh isolada, e gerada pelos próprios equipamentos, como uma distância aproximada de sete metros, entre o principal isolado do terreno, chamado de “Home”, e o segundo equipamento com os sensores no ambiente externo, foi chamado de “externo”. A rede foi criada através do uso de uma biblioteca chamada de “*painlessMesh*”, que faz um autogerenciamento, facilitando a entrada de novos dispositivos, e suas comunicações internas.

Foram desenvolvidos dois equipamentos, para fazer o monitoramento da temperatura e umidade. Como o projeto tem um foco principal em ser econômico, para isso foi pesquisado dispositivos e sensores com um custo baixo que cumprem o seu papel com eficiência. Logo, foi escolhido como o microcontrolador principal o “Wemos D1 mini(clone)” que contem um módulo ESP8266/ESP-12F, pequeno e compacto, e com um baixo consumo.

Os equipamentos foram construídos, com o pensamento de desenvolver um para ser o principal, e com uma função bem definida. O principal, que no planejamento e desenvolvimento deste trabalho, recebeu o nome de “home”, tem como foco principal de receber todas as mensagens de outros equipamentos, conectados à mesma rede, e guardar essas mensagens em um arquivo de texto, dentro de um cartão microSD.

3.2.1 EQUIPAMENTOS.

3.2.1.1 “HOME”.

O equipamento “home”, conta com alguns módulos e sensores, para enriquecimento de informações sobre o ambiente, e auxílio no gerenciamento e armazenamento dos dados. Junto a placa de desenvolvimento “Wemos”, foi acrescentado o módulo BMP/BME280, um sensor que captura os dados de temperatura e umidade do ar, e pressão atmosférica, também foi instalado nesse equipamento o DS1307(RTC), que é um módulo de “relógio de tempo real”, que mesmo sem alimentação externa ele continua marcando o tempo por meio de uma bateria de relógio, e o terceiro módulo dentro do equipamento “home” é um adaptador de cartão microSD, para poder armazenar o arquivo de texto em um cartão instalado. Também cabe registro que foi utilizado para alimentação do equipamento um conjunto de 3 baterias 18650 de 4,2V e 9800mAh cada, um módulo carga e proteção para baterias, e um módulo elevador de tensão para 5V (7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 44 e 45).

A figura 14 (7 ANEXO DE IMAGENS), mostra o diagrama esquemático desenvolvido para o equipamento “home” que é responsável pelo recebimento das mensagens da rede mesh, pela leitura do módulo de RTC, e leitura do sensor BMP/BME280, e por escrever todas as informações no cartão microSD. As ligações foram feitas respeitando as portas de comunicação exigidas por cada módulo e sensor. As ligações de todas as conexões podem ser acompanhadas pelo diagrama esquemático da figura 14 (7 ANEXO DE IMAGENS).

3.2.1.2 “EXTERNO”.

O equipamento “externo”, conta com três sensores, que permitem a captura de quatro informações diferentes, essas informações estão atreladas à condição do ambiente externo. Junto ao microcontrolador “Wemos D1 Mini”, foi acrescentado um Sensor Capacitivo de Umidade do Solo (S.C.U.S.),

um sensor de temperatura DS18B20 encapsulado e a prova d'água, e um sensor de umidade e temperatura do ar AHT10. Tanto o sensor DS18B20 e o "S.C.U.S." enterrados no solo para captura de dados, e o sensor AHT10 pendurado em galho ou estaca afastado do solo. E também cabe registro que foi utilizado para alimentação do equipamento um conjunto de 4 baterias 18650 de 4,2V e 9800mAh cada, um módulo carga e proteção para baterias, e um módulo elevador de tensão para 5V. Uma alimentação interna assim como no equipamento "home" (7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 46 e 47).

A figura 15 (7 ANEXO DE IMAGENS), mostra o diagrama esquemático desenvolvido para o equipamento "externo", responsável pelo envio das mensagens, contendo os valores de cada sensor de umidade e temperatura do solo e ar, via rede mesh. Assim como no "home", as ligações foram feitas respeitando as portas de comunicação exigidas por cada módulo e sensor, essas ligações de todas as conexões podem ser acompanhadas pelo diagrama esquemático da figura 15 (7 ANEXO DE IMAGENS).

3.2.2 PROGRAMAÇÃO.

3.2.2.1 "HOME".

O programa foi desenvolvido para o monitoramento do ambiente, ele utiliza o sensor BME280 para coletar dados de temperatura, umidade e pressão, e também armazena esses dados em um cartão microSD a cada 30 segundos, juntamente com a data e hora atual fornecida por um módulo de relógio em tempo real (RTC). Além disso, o programa é capaz de se comunicar com outros dispositivos por meio de uma rede sem fio *mesh*, permitindo que ele receba e registre mensagens desses dispositivos. Tudo isso é realizado de maneira eficiente e confiável, tornando o programa uma solução robusta para monitoramento do ambiente.

O funcionamento do programa pode ser

separado em 4 tópicos: Inicialização; Leitura do Sensor; Impressão e Armazenamento de Dados; e Comunicação Mesh.

1. Inicialização: O programa começa inicializando a comunicação serial, o sistema de arquivos do cartão microSD, o sensor BME280, o RTC e a rede mesh. Se qualquer um desses componentes falhar ao inicializar, o programa imprimirá uma mensagem de erro na comunicação serial (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 16).

2. Leitura do Sensor: No loop principal, o programa verifica se passaram 30 segundos desde a última leitura do sensor. Se sim, ele lê a temperatura, umidade e pressão do sensor BME280 (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 17).

3. Impressão e Armazenamento de Dados: Os valores lidos do sensor, juntamente com a data e hora atual, são impressos na comunicação serial e gravados em um arquivo no cartão SD (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 18).

4. Comunicação Mesh: O programa é capaz de se comunicar com outros dispositivos por meio de uma rede sem fio mesh. Quando uma mensagem é recebida de outro nó na rede, o programa grava a mensagem, juntamente com a data e hora atual, em um arquivo no cartão SD. O nome do arquivo é o ID do nó que enviou a mensagem (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 19).

3.2.2.2 "EXTERNO".

O programa foi desenvolvido para monitorar a temperatura e umidade do ar e do solo, próximos a alguma área de cultivo. Ele usa o sensor AHT10 para medir a temperatura e a umidade do ar, o sensor DS18B20 para medir a temperatura do solo e um sensor de umidade do solo para medir a umidade do solo. Esses dados são coletados a cada 30 segundos e, em seguida, transmitidos para uma rede *mesh* sem fio, permitindo que os dados sejam compartilhados com outros dispositivos na rede. Isso permite um monitoramento contínuo e em tempo real das condições

ambientais, fornecendo dados valiosos para aplicações como a agricultura de precisão.

O funcionamento desse programa, é mais simples do que o anterior, e pode ser separado em 3 tópicos: Inicialização; Leitura do Sensor; e Transmissão de Dados.

1. Inicialização: O programa começa inicializando a comunicação serial, os sensores AHT10 e DS18B20 e a rede mesh. Se qualquer um desses componentes falhar ao inicializar, o programa retornará e não prosseguirá com o restante do código (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 20).

2. Leitura do Sensor: No loop principal, o programa atualiza o estado da rede *mesh*. Além disso, a cada 30 segundos, ele lê a temperatura e a umidade do sensor AHT10, a temperatura do sensor DS18B20 e a umidade do solo (Figura – 21).

Figura 21 – Atualização da rede Mesh.

```
void loop() {
    mesh.update();
}
```

Fonte: Autor.

3. Transmissão de Dados: Os valores lidos dos sensores são então formatados em uma string e transmitidos para a rede mesh (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 22).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.

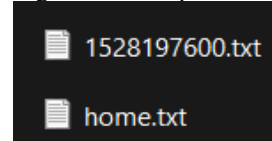
4.1 INSTALAÇÃO.

Os equipamentos foram instalados no local de teste prático e real, na Fazenda descrita na metodologia. O equipamento “externo” junto a uma bananeira, com o sensor de umidade do solo e de temperatura enterrados próximos às raízes da bananeira, o sensor de temperatura e umidade do ar foi amarrado ao tronco da bananeira. O equipamento “home” foi instalado dentro da “sede”, abrigado do ambiente externo.

Ambos os equipamentos foram ligados às 18 horas e 13 minutos do dia 10 de novembro, permaneceram ligados por 24 horas, para coletar dados a cada 30

segundos. Dados esses armazenados em dois arquivos dentro do cartão microSD.

Figura 23 – Arquivos recuperados do microSD.



Fonte: Autor.

4.2 COLETA DE DADOS.

Para registro, sobre os dados recolhidos do microSD, o equipamento “home” obteve sucesso em registrar 24 horas e 26 minutos de dados a cada 30 segundos, por outro lado, o equipamento externo entregou 5 horas e 30 minutos de dados, posteriormente averiguado, sendo o motivo encontrado de ter sido mexido por algum animal durante a noite, que ocasionou rompimento da conexão da bateria interna. Mas rederam uma boa quantidade de informações, o “home” conseguiu capturar 2.932 linhas de dados do sensor BME280, o “externo” capturou 372 linhas de informações dos 3 sensores.

4.3 TRATAMENTO DOS DADOS.

Esses dados foram coletados, por meio de mensagens JSON, e armazenados em um arquivo em formato de texto, extensão “.txt”. Da maneira como foi construído o programa principal, esse texto segue um padrão de escrita dos dados obtidos, e armazena em dois arquivos, um para cada equipamento. Esses dados, só podem ser lidos no formato de texto, e para fazer uma análise dos dados em planilhas e tabelas, precisam ser tratados e convertidos em um novo arquivo com extensão “.csv”.

4.3.1 “HOME”.

Para realizar o tratamento dos dados do “home”, foi necessário em primeiro lugar reescrever o arquivo original (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 24), pois o tempo e os dados estavam em linhas diferentes, em segundo lugar foi preciso ler esse segundo

arquivo gerado e recortar de cada linha as informações necessárias, e armazenar em uma variável correspondente, e em último lugar criar um arquivo “csv” (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 27) separado por “;” para assim abrir em um editor de planilhas.

Para esse fim foi desenvolvido um programa em python (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 26) específico para o tratamento dos dados do “home”, seguindo o padrão de apresentação dos dados do sensor BME280, e gerando o arquivo final em “csv”.

4.3.2 “EXTERNO”.

Na realização o tratamento dos dados do “externo”, foi feito de maneira semelhante ao tratamento de dados do “home”, seguindo todas as etapas iniciais e se diferenciando na parte do tratamento dos dados dos sensores, sendo que no “home” havia somente um sensor que entregava três dados diferentes, no “externo” há três sensores diferentes para quatro dados. Logo foi desenvolvido um programa em python específico (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 28), para ler o arquivo original (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 25) e criar o arquivo “csv” (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 29), um pouco mais complexo que código anterior, sendo que há quatro dados, sendo dois de temperatura e dois de umidade, um par de temperatura e umidade para o solo e outro para o ar (7 ANEXO DE IMAGENS – Figura 28).

4.4 GERAÇÃO DOS GRÁFICOS.

Foram selecionados os dois arquivos com os sete dados, recolhidos dos quatro sensores conectados aos equipamentos “home” e “externo”, resultando em 14 gráficos.

4.4.1 GRÁFICO UMIDADE (BME280).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 30” apresenta o gráfico da umidade do ar, por meio de dados coletados do sensor BME280, no período de 24 horas e 26

minutos. O gráfico mostra a variação da umidade do ar, que no dia em que foi coletado esse dado, mostrou que a umidade alcançou a sua porcentagem máxima de 60% por volta das 6:00 da manhã, e sua porcentagem mínima de 20% por volta das 17:00 da tarde.

4.4.2 GRÁFICO DA TEMPERATURA (BME280).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 31” apresenta o gráfico da Temperatura do ar, por meio de dados coletados do sensor BME280, no período de 24 horas e 26 minutos. O gráfico mostra a variação da temperatura do ar, que no dia em que foi coletado esse dado, mostrou que a temperatura alcançou o seu valor máximo de 36 °C por volta das 15:00 da tarde, e seu valor mínimo de 21 °C por volta das 06:00 da manhã.

4.4.3 GRÁFICO DA PRESSÃO (BME280).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 32” apresenta o gráfico da pressão atmosférica, por meio de dados coletados do sensor BME280, no período de 24 horas e 26 minutos. O gráfico mostra a variação da pressão atmosférica, que no dia em que foi coletado esse dado, mostrou que a pressão na localidade alcançou o seu valor máximo de 933,6hPa por volta das 09:00 da manhã tarde, e seu valor mínimo de 927,7hPa por volta das 16:00 da tarde. Nota-se também uma variação da pressão, que apresentou um valor estável de 930,7hPa por volta das 2:00 da manhã, valor este que se encontra dentro da média de máxima e mínima.

4.4.4 GRÁFICO DA UMIDADE DO AR (AHT10).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 33” apresenta o gráfico da umidade do ar, por meio de dados coletados do sensor AHT10, no período de 5 horas e 30 minutos. O gráfico mostra a variação da umidade do ar, que no dia em que foi coletado esse dado,

mostrou que a umidade alcançou o seu valor máximo de 61% por volta das 23:00 da noite, e seu valor mínimo de 36% por volta das 18:30 da noite.

4.4.5 GRÁFICO DA TEMPERATURA DO AR (AHT10).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 34” apresenta o gráfico da temperatura do ar, por meio de dados coletados do sensor AHT10, no período de 5 horas e 30 minutos. O gráfico mostra a variação da temperatura do ar, que no dia em que foi coletado esse dado, mostrou que a temperatura alcançou o seu valor máximo de 28 °C por volta das 18:30 da noite, e seu valor mínimo de 21 °C por volta das 23:00 da noite.

4.4.6 GRÁFICO DA UMIDADE DO SOLO.

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 35” apresenta o gráfico da umidade do solo, por meio de dados coletados do sensor “S.C.U.S.”, no período de 5 horas e 30 minutos. O gráfico mostra a variação da umidade do solo, que no dia em que foi coletado esse dado, mostrou que a umidade alcançou o seu valor máximo de 63,2% por volta das 18:00 da noite, e seu valor mínimo de 61,2% por volta das 23:00 da noite.

4.4.7 GRÁFICO DA TEMPERATURA DO SOLO.

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 36” apresenta o gráfico da temperatura do solo, por meio de dados coletados do sensor DS18B20, no período de 5 horas e 30 minutos. O gráfico mostra a variação da temperatura do solo, que no dia em que foi coletado esse dado, mostrou que a temperatura alcançou o seu valor máximo de 31,8 °C por volta das 18:00 da noite, e seu valor mínimo de 25,8°C por volta das 23:00 da noite.

4.4.8 GRÁFICO DA UMIDADE DO SOLO E DO AR (AHT10).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 37” apresenta um gráfico comparativo da umidade do solo e do ar, através dos dados coletados dos sensores do equipamento externo, no período de 5 horas e 30 minutos.

4.4.9 GRÁFICO DA TEMPERATURA DO SOLO E DO AR (AHT10).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 38” apresenta um gráfico comparativo da temperatura do solo e do ar, através dos dados coletados dos sensores do equipamento externo, no período de 5 horas e 30 minutos.

4.4.10 GRÁFICO DA UMIDADE DO SOLO E DO AR (AHT10 E BME280).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 39” apresenta um gráfico comparativo da umidade do solo e do ar, através dos dados coletados de todos os sensores de umidade instalados, foi feito um corte nos dados do sensor BME280 que é maior um pouco mais de 4 vezes, que o registro dos outros sensores, logo o período analisado foi de 5 horas e 30 minutos.

4.4.11 GRÁFICO DA TEMPERATURA DO SOLO E DO AR (AHT10 E BME280).

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 40” apresenta um gráfico comparativo da temperatura do solo e do ar, através dos dados coletados de todos os sensores de temperatura instalados, foi feito um corte nos dados do sensor BME280 que é maior um pouco mais de 4 vezes, que o registro dos outros sensores, logo o período analisado foi de 5 horas e 30 minutos.

4.4.12 GRÁFICO DE DISPERSÃO UMIDADE E TEMPERATURA BME280.

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 41” apresenta um gráfico de dispersão construído com todos os dados de umidade e temperatura do ar, ambos do sensor

BME280. No gráfico são exibidos os pontos em que se coincidem um valor percentual de umidade do ar e um valor de temperatura, em uma amostragem de 2.932 dados, também apresenta uma linha de tendência, que mostra que quanto menor a temperatura a umidade do ar acaba apresentando um maior valor percentual.

4.4.13 GRÁFICO DE DISPERSÃO PRESSÃO E UMIDADE BME280.

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 42” apresenta um gráfico de dispersão construído com todos os dados de umidade do ar e pressão atmosférica do sensor BME280. No gráfico são exibidos os pontos em que se coincidem um valor percentual de umidade do ar e um valor de pressão atmosférica, em uma amostragem de 2.932 dados, também apresenta uma linha de tendência, que mostra que quanto menor a pressão a umidade do ar acaba apresentando um menor valor percentual, mas a aparência do gráfico mostra que essa relação não segue um padrão bem definido.

4.4.14 GRÁFICO DE DISPERSÃO PRESSÃO E TEMPERATURA BME280.

A “7 ANEXO DE IMAGENS - Figura 43” apresenta um gráfico de dispersão construído com todos os dados de temperatura do ar e pressão atmosférica do sensor BME280. No gráfico são exibidos os pontos em que se coincidem um valor de temperatura do ar e um valor de pressão atmosférica, em uma amostragem de 2.932 dados, também apresenta uma linha de tendência, que mostra que quanto maior a temperatura do ar menor a pressão atmosférica, e quanto menor a temperatura do ar maior a pressão atmosférica.

Esse gráfico acaba demonstrando um conceito físico, em que quando o ar está aquecido ele se dilata e acaba diminuindo sua pressão, em um ambiente. Mas a pressão registrada, que apresenta uma média de 931hPa, que convertendo para um valor de atmosfera técnica resulta em

aproximadamente 0,949at, que faz relação com a altitude acima do nível do mar, encontrando um valor 668 metros de altitude, 20 metros mais baixo que a cidade de Paracatu-MG, e 504 metros mais baixo que Brasília-DF.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Este trabalho demonstrou a viabilidade de criar uma rede mesh de sensores sem fio capaz de coletar e processar dados climáticos. O sistema foi implementado com sucesso em uma fazenda em Paracatu-MG, onde coletou dados de temperatura, umidade e pressão do ar e temperatura do solo. Os dados foram transmitidos através da rede mesh para um dispositivo interno, onde foram armazenados e posteriormente analisados.

A análise dos dados coletados forneceu percepções valiosas sobre as condições climáticas na fazenda, permitindo uma melhor gestão das culturas. Além disso, o sistema provou ser flexível e auto-organizável, com a capacidade de se adaptar às mudanças nas condições ambientais.

No entanto, o projeto enfrentou alguns desafios, como a interferência de animais no equipamento externo e o curto prazo para coleta dos dados, devido a aulas e avaliações nos finais de semana, impedindo a coleta de uma densidade de dados maior, e o teste prático de mais um equipamento “externo” para agregando com dados e testando a rede *mesh*. Apesar de todos esses desafios, o sistema demonstrou ser uma ferramenta valiosa para a agricultura de precisão.

Os arquivos que foram elaborados, e coletados, durante o desenvolvimento deste trabalho, foram armazenados na plataforma do *GitLab*, está visível para todo o público, o link está localizado ao final das referências, e também pode ser acessado escaneando o *qr code* da Figura 48. O projeto armazenado no *GitLab* contém todos os programas desenvolvidos para os equipamentos, os programas desenvolvidos e utilizados para o tratamento dos dados, além dos próprios dados coletados.

Figura 48 – QR Code com o link do GitLab



Fonte: Autor e <https://qrcodefacil.com/>.

5.1 TRABALHOS FUTUROS.

Este projeto tem o potencial de auxiliar trabalhos futuros, fornecendo um grande volume de dados para análise e tomada de decisões. A infraestrutura da rede mesh está preparada para coletar qualquer tipo de dados de sensores necessários e atuar em diversos sistemas.

Como trabalho futuro, planeja-se comprar e desenvolver outros sensores para enriquecimento de dados do ambiente, também desenvolver um sistema de informação com um painel administrativo e uma interface web para monitoramento visual dos parâmetros coletados com os sensores instalados. Com isso será possível implementar acionamento remoto de válvulas e motores, a geração de relatórios automáticos e a atualização remota dos nós. A rede mesh também permitirá o desenvolvimento de um sistema de controle, mais preciso, que mostre todos os locais onde instalados e seus atuadores e sensores.

6 REFERÊNCIAS:

ABELÉM, A. J. G. et. al. Redes Mesh: Mobilidade, Qualidade de Serviço e Comunicação em Grupo. Minicurso SBRC, 2007. Disponível em: <<http://www.dcc.ic.uff.br/~celio/papers/minicurso-sbrc07.pdf>>. Acesso em: 15 de outubro de 2023.

ADAFRUIT. BME280 Temperature, Humidity and Pressure Sensor. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/2652>>. Acesso em: 09 de novembro. 2023.

AOSONG. AHT10: High Precision Digital Humidity & Temperature Sensor. Disponível em: <<https://www.aosong.com/en/products-33.html>>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.

ARDUINO E CIA. Módulo Micro SD com Arduino. 2021. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/modulo-micro-sd-com-arduino/>>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

ARDUINO E CIA. Módulo RTC DS1307 com Arduino. 2021. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/modulo-rtc-ds1307-com-arduino/>>. Acesso em: 06 de novembro de 2023.

BA0SH1. DS1307 Real Time Clock Breakout Board Kit. 2018. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/ds1307-real-time-clock-breakout-board-kit/overview>>. Acesso em: 07 de novembro de 2023.

BA0SH1. Micro SD card tutorial. 2018. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/micro-sd-card-tutorial/overview>>. Acesso em: 07 de novembro de 2023.

BELLWOOD, P. First Farmers: The Origins of Agricultural Societies. Wiley-Blackwell, 2005.

BOSCH. BME280: Integrated Environmental Unit. Disponível em: <<https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>>. Acesso em: 09 de novembro de 2023.

BOSERUP, E. The conditions of agricultural growth: the economics of agrarian change under population pressure. London: Earthscan Publications Ltd, 1965.

BRITTES, M. P. Uma Proposta Para Melhoria de Desempenho do Protocolo Leach para RSSF. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CARVALHO, F. B. S. de et. al. Aplicações Ambientais de Redes de Sensores Sem Fio. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, vol. 2, no 1, 2012. Disponível em: <<http://rtic.com.br/index.php/rtic/article/view/18/17>>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

CASEY, B.; SMITH, K. The impact of mechanization on agriculture. The Bridge on Agriculture and Information Technology, v. 41, n. 3, 2011.

CHERLINKA, V. EOS. Temperatura Do Solo Na Agricultura: Efeitos Na Produtividade, 2021. Disponível em: <<https://eos.com/pt/blog/temperatura-do-solo/>>. Acesso em: 07 de novembro de 2023.

CHILDE, V. G. The dawn of European civilization. London: Kegan Paul, 1950.

CROSBY, A. W. The Columbian exchange: biological and cultural consequences of 1492. Westport, Conn.: Praeger, 2003.

DIAMOND, J. Armas, germes e aço: os destinos das sociedades humanas. Tradução de M. Santarrita. Rio de Janeiro: Record, 1997.

- EBSCO Information Services. Citing Articles in ABNT Style. Disponível em: <https://connect.ebsco.com/s/article/Citing-Articles-in-ABNT-Style?language=en_US>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.
- EMBRAPA. Artigo: A tecnologia na agricultura. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/338874/artigo-a-tecnologia-na-agricultura>>. Acesso em: 11 de novembro de 2023.
- EMBRAPA. Artigo: Irrigação no Brasil: necessidade e opção estratégica. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/338874/artigo-irrigacao-no-brasil-necessidade-e-opcao-estrategica>>. Acesso em: 11 de novembro de 2023.
- EMBRAPA. Satélites e drones ajudam a monitorar sistemas de ILPF. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/338874/satelites-e-drones-ajudam-a-monitorar-sistemas-de-ilpf>>. Acesso em: 11 de novembro de 2023.
- FERNANDES, D. Nutrição de Safras. Clima e agricultura: Relações e impacto na plantação, 2023. Disponível em: <<https://nutricaoesafras.com.br/clima-e-agricultura>>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.
- GERK, L. F. Qualidade de Serviço em Redes sem Fio em Malha. Escola de Engenharia – Universidade Federal Fluminense, 2007. Disponível em: <<http://www.midiacom.uff.br/~debora/fsmm/trab-2007-2/qosmesh.pdf>>>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.
- HARRIS, D. R. The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia. UCL Press, 1996.
- HARLAN, J. R. Crops and man. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, 1992.
- HAYES, M. The future of small farms: innovations for inclusive transformation. Michigan State University, 2022. Disponível em: “<<https://www.canr.msu.edu/news/the-future-of-small-farms-innovations-for-inclusive-transformation>>”. Acesso em: 20 de outubro de 2023.
- JOHNSON, D. L. An environmental history of the Middle Ages: the crucible of nature. Routledge, 2010.
- JONES, M. et al. Food globalisation in prehistory. World Archaeology, v. 43, n. 4, p. 665-675, 2011.
- LARAZZOTO, P. Algoritmos de Roteamento Hierárquico em Redes de Sensores Sem Fio Utilizando Algoritmos Evolutivos para Determinação de Cluster-Head’s. Dissertação de Mestrado em Ciências – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- LEE, Edwin van. PainlessMesh. 2023. Disponível em: <<https://github.com/gmag11/painlessMesh>>. Acesso em: 14 de outubro de 2023.
- LIEBERT, R. et al. Mechanizing agriculture: impacts on labor and productivity. CEQA, 2022.
- LOUREIRO, A. A. F. Redes de Sensores Sem Fio. Grandes Desafios da Pesquisa em Computação para o Período 2006-2016. Disponível em: <http://ic.unicamp.br/~cmbm/desafios_SBC/loureiroredesensores.pdf>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.
- MARTIN, G. J. Ethnobotany: A methods manual. Routledge, 2017.
- MAXIM INTEGRATED. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2023.

PAINLESSMESH / painlessMesh. GitLab. Disponível em: <<https://gitlab.com/painlessMesh/painlessMesh>>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

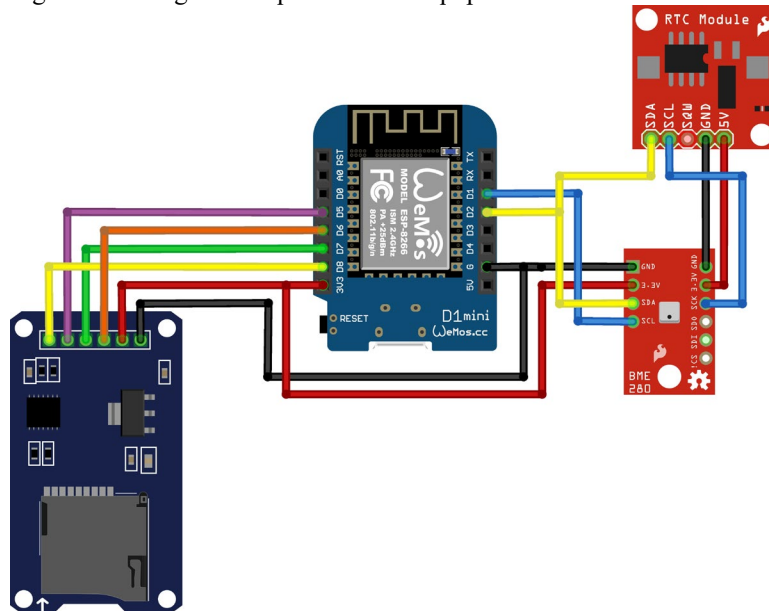
Painless Mesh - Arduino Reference. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/painless-mesh/>>. Acesso em: 03 de novembro de 2023.

Revista Brasileira de Zootecnia. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbz/a/abcdeFGHIJ/?lang=pt>>. Acesso em: 11 de novembro de 2023.

PAIVA, R. V. TCC - GitLab. Programas desenvolvidos, e dados gerados durante o desenvolvimento do TCC. Disponível em: <<https://gitlab.com/raphael.paiva/tcc>>. Desde 25 de novembro de 2023.

7 ANEXO DE IMAGENS.

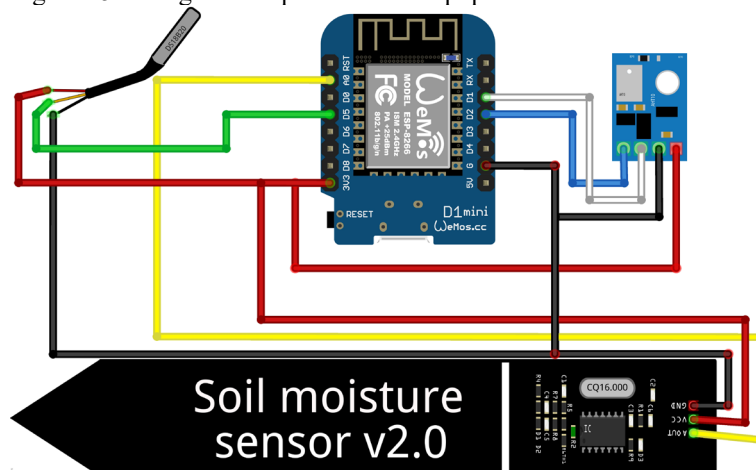
Figura 14 - Diagrama esquemático do equipamento “Home”.



Fonte: Autor.

As ligações de todas as conexões podem ser acompanhadas pelo diagrama esquemático da figura 14, o módulo adaptador de cartão microSD se liga ao Wemos D1 mini (MISO - fio laranja – D6; MOSI – fio verde – D7; SCK – fio lilas – D5; CS – fio amarelo – D8; VCC – fio vermelho – 3V3; GND – fio preto – G), o módulo RTC e o sensor “BME280” se liga ao Wemos pela comunicação I2C (GND – fio preto – G; VCC – fio vermelho – 3V3; SDA – fio amarelo – D2; SCL – fio azul – D1).

Figura 15 – Diagrama esquemático do equipamento “externo”.



Fonte : Autor.

As ligações de todas as conexões podem ser acompanhadas pelo diagrama esquemático da figura 15, o “S.C.U.S.”(sensor capacitivo de umidade do solo) faz ligação ao Wemos D1 mini por meio de uma porta analógica(VCC – fio vermelho – 3V3; GND – fio preto – G; AOUT – fio amarelo – A0), o sensor DS18B20 faz ligação por meio de uma porta digital(VCC – fio vermelho – 3V3; GND – fio preto – G; DQ – fio verde – D5), o sensor “AHT10” se comunica por I2C(GND – fio preto – G; VCC – fio vermelho – 3V3; SDA – fio azul – D2; SCL – fio branco – D1).

Figura 16 – Inicialização “home”.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
    Serial.println("Falha ao montar o sistema de arquivos");
    return;
  }

  if (!bme.begin(0x76)) {
    Serial.println("Falha na inicialização do sensor BME280.");
    return;
  }

  if (!rtc.begin()) {
    Serial.println("Não foi possível encontrar um módulo RTC válido.");
    return;
  }

  if (!rtc.isrunning()) {
    Serial.println("RTC não está funcionando!");
    rtc.adjust(DateTime(2023, 11, 10, 7, 42, 30));
  }

  mesh.setDebugMsgTypes(ERROR | STARTUP);
  mesh.init(MESH_SSID, MESH_PASSWORD, &scheduler, MESH_PORT);

  mesh.onReceive(&receivedCallback);
}
```

Fonte: Autor.

Figura 17 – Leitura do BME280.

```
void loop() {
  mesh.update();

  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;

    float tempBME280 = bme.readTemperature();
    float humBME280 = bme.readHumidity();
    float presBME280 = bme.readPressure() / 100.0F;
  }
}
```

Fonte: Autor.

Figura 18 – Impressão e armazenamento.

```
String msg = "home - Temperatura BME280: ";
msg += tempBME280;
msg += " *C, Umidade BME280: ";
msg += humBME280;
msg += " %, Pressão BME280: ";
msg += presBME280;
msg += " hPa";

String fileName = "/home.txt";
File dataFile = SD.open(fileName.c_str(), FILE_WRITE);

if (!dataFile) {
  Serial.println("Falha ao abrir o arquivo de dados para escrita");
  return;
}

dataFile.print("Tempo: ");
dataFile.print(now.day(), DEC);
dataFile.print('/');
```

Fonte: Autor.

Figura 19 – Recebimento e armazenamento.

```
void receivedCallback(uint32_t from, String &msg) {
  Serial.println("Mensagem recebida: " + msg);

  String fileName = "/" + String(from) + ".txt";

  File dataFile = SD.open(fileName.c_str(), FILE_WRITE);

  if (!dataFile) {
    Serial.println("Falha ao abrir o arquivo de dados para escrita");
    return;
  }

  DateTime now = rtc.now();
  dataFile.println("Tempo: " + String(now.day()) + "/" + String(now.month()) + "/" + String(now.year()) + " " + String(now.hour())
  dataFile.println(msg);
  dataFile.close();
}
}
```

Fonte: Autor.

Figura 20 – Inicialização “externo”.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (!aht.begin()) {
    return;
  }
  sensors.begin();
  mesh.setDebugMsgTypes(ERROR | STARTUP);
  mesh.init(MESH_SSID, MESH_PASSWORD, &scheduler, MESH_PORT);
  scheduler.addTask( taskSendMessage );
  taskSendMessage.enable();
}
}
```

Fonte: Autor.

Figura 22 – Transmissão dos dados.

```
void sendMessage() ;

Task taskSendMessage( TASK_SECOND * 30, TASK_FOREVER, &sendMessage );

void sendMessage() {
  sensors.requestTemperatures();
  float tempDS18B20 = sensors.getTempCByIndex(0);

  sensors_event_t humidity, temp;
  aht.getEvent(&humidity, &temp);
  float humAHT10 = humidity.relative_humidity;
  float tempAHT10 = temp.temperature;

  int soilMoistureRaw = analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN);
  float soilMoisturePercent = map(soilMoistureRaw, 0, 1023, 0, 100);

  String msg = "externo - Temperatura DS18B20: ";
  msg += tempDS18B20;
  msg += " *C, Temperatura AHT10: ";
  msg += tempAHT10;
  msg += " *C, Umidade AHT10: ";
  msg += humAHT10;
  msg += " %, Umidade do Solo: ";
  msg += soilMoisturePercent;
  msg += " %";

  mesh.sendBroadcast(msg);
}
}
```

Fonte: Autor.

Figura 24 – Dados “home”.

```
Tempo: 10/11/2023 18:13:10
home - Temperatura BME280: 30.76 *C, Umidade BME280: 38.92 %, Pressão BME280: 930.10 hPa
Tempo: 10/11/2023 18:13:40
home - Temperatura BME280: 30.52 *C, Umidade BME280: 29.86 %, Pressão BME280: 930.08 hPa
Tempo: 10/11/2023 18:14:10
home - Temperatura BME280: 30.50 *C, Umidade BME280: 29.83 %, Pressão BME280: 930.07 hPa
Tempo: 10/11/2023 18:14:40
home - Temperatura BME280: 29.86 *C, Umidade BME280: 31.36 %, Pressão BME280: 930.09 hPa
Tempo: 10/11/2023 18:15:10
home - Temperatura BME280: 29.69 *C, Umidade BME280: 31.23 %, Pressão BME280: 930.03 hPa
Tempo: 10/11/2023 18:15:40
home - Temperatura BME280: 29.83 *C, Umidade BME280: 29.41 %, Pressão BME280: 930.07 hPa
Tempo: 10/11/2023 18:16:10
home - Temperatura BME280: 30.04 *C, Umidade BME280: 27.90 %, Pressão BME280: 930.05 hPa
```

Fonte: Autor.

Figura 25 – Dados “externo”.

```
Tempo: 10/11/2023 18:13:6
externo - Temperatura DS18B20: 30.56 *C, Temperatura AHT10: 27.24 *C, Umidade AHT10: 43.25 %, Umidade do Solo: 63.00 %
Tempo: 10/11/2023 18:13:36
externo - Temperatura DS18B20: 30.56 *C, Temperatura AHT10: 27.18 *C, Umidade AHT10: 45.06 %, Umidade do Solo: 63.00 %
Tempo: 10/11/2023 18:14:36
externo - Temperatura DS18B20: 30.63 *C, Temperatura AHT10: 27.58 *C, Umidade AHT10: 38.15 %, Umidade do Solo: 63.00 %
Tempo: 10/11/2023 18:15:6
externo - Temperatura DS18B20: 30.63 *C, Temperatura AHT10: 27.48 *C, Umidade AHT10: 41.73 %, Umidade do Solo: 63.00 %
Tempo: 10/11/2023 18:15:36
externo - Temperatura DS18B20: 30.63 *C, Temperatura AHT10: 27.37 *C, Umidade AHT10: 41.97 %, Umidade do Solo: 63.00 %
Tempo: 10/11/2023 18:16:6
externo - Temperatura DS18B20: 30.63 *C, Temperatura AHT10: 27.43 *C, Umidade AHT10: 41.13 %, Umidade do Solo: 63.00 %
Tempo: 10/11/2023 18:16:36
externo - Temperatura DS18B20: 30.63 *C, Temperatura AHT10: 27.57 *C, Umidade AHT10: 41.14 %, Umidade do Solo: 63.00 %
```

Fonte: Autor.

Figura 26 – “dados_home.py”.

```
import csv

with open('dados/home.txt', 'r') as f:
    lines = f.readlines()

with open('dados_home.txt', 'w') as f:
    for i in range(0, len(lines), 2):
        f.write(lines[i].strip() + ' ' + lines[i+1])

with open('dados_home.txt', 'r') as f:
    lines = f.readlines()

data = []
for line in lines:
    parts = line.split(' ')
    date = parts[1]
    time = parts[2]
    temp = float(parts[7].split('*')[0])
    humd = (float(parts[11].split('%')[0]))/100
    press = float(parts[15].split('h')[0])
    t_ar = "{:.4f}".format(temp).replace( _old: ". ", _new: ", ")
    h_ar = "{:.4f}".format(humd).replace( _old: ". ", _new: ", ")
    p_ar = "{:.4f}".format(press).replace( _old: ". ", _new: ", ")
    data.append((date, time, t_ar, h_ar, p_ar))

with open('all_data_home.csv', 'w', newline='') as f:
    writer = csv.writer(f, delimiter=';')
    writer.writerow(['Tempo', '', 'Sensor AHT10', '', '', '', '', ''])
    writer.writerow(['Data', 'Hora', 'Temperatura (°C)', 'Umidade (%)', 'Pressão (hPa)'])
    for row in data:
        writer.writerow([row[0], row[1], row[2], row[3], row[4]])
```

Fonte: Autor.

Figura 27 – “all_data_home.csv”.

	A	B	C	D	E
1	Tempo		Sensor AHT10		
2	Data	Hora	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Pressão (hPa)
3	10/11/2023	18:13:10	30,76	38,92%	930,1
4	10/11/2023	18:13:40	30,52	29,86%	930,08
5	10/11/2023	18:14:10	30,5	29,83%	930,07
6	10/11/2023	18:14:40	29,86	31,36%	930,09
7	10/11/2023	18:15:10	29,69	31,23%	930,03
8	10/11/2023	18:15:40	29,83	29,41%	930,07
9	10/11/2023	18:16:10	30,04	27,90%	930,05
10	10/11/2023	18:16:40	30,2	31,39%	930,04
11	10/11/2023	18:17:10	30,25	31,77%	930,06
12	10/11/2023	18:17:40	30,3	30,16%	930,11
13	10/11/2023	18:18:10	30,22	28,58%	930,07
14	10/11/2023	18:18:40	30,13	29,10%	930,1
15	10/11/2023	18:19:10	30,03	31,63%	930,11

Fonte: Autor.

Figura 28 – “dados_externo.py”.

```
import csv

with open("dados/1528197608.txt", 'r') as f:
    lines = f.readlines()

with open('dados_externo.txt', 'w') as f:
    for i in range(0, len(lines), 2):
        f.write(lines[i].strip() + ' ' + lines[i + 1])

with open('dados_externo.txt', 'r') as f:
    lines = f.readlines()

data = []
for line in lines:
    parts = line.split(' ')
    date = parts[1]
    time = parts[2]
    temp_solo = float(parts[7].split(',')[0])
    temp_ar = float(parts[11].split(',')[0])
    hum_ar = (float(parts[15].split('%')[0])) / 100
    hum_solo = (float(parts[20].split('%')[0])) / 100
    t_solo = "{:.4f}".format(temp_solo).replace(_old=".", _new=",")
    t_ar = "{:.4f}".format(temp_ar).replace(_old=".", _new=",")
    h_ar = "{:.4f}".format(hum_ar).replace(_old=".", _new=",")
    h_solo = "{:.4f}".format(hum_solo).replace(_old=".", _new=",")
    data.append((date, time, t_solo, t_ar, h_ar, h_solo))

with open('all_data_externo.csv', 'w', newline='') as f:
    writer = csv.writer(f, delimiter=',')
    writer.writerow(['Tempo', '', 'Temperatura do', 'Umidade do', 'Umidade do'])
    writer.writerow(['Data', 'Hora', 'Solo (°C)', 'Ar (°C)', 'Solo (%)', 'Ar (%)'])
    for row in data:
        writer.writerow([row[0], row[1], row[2], row[3], row[5], row[4]])
```

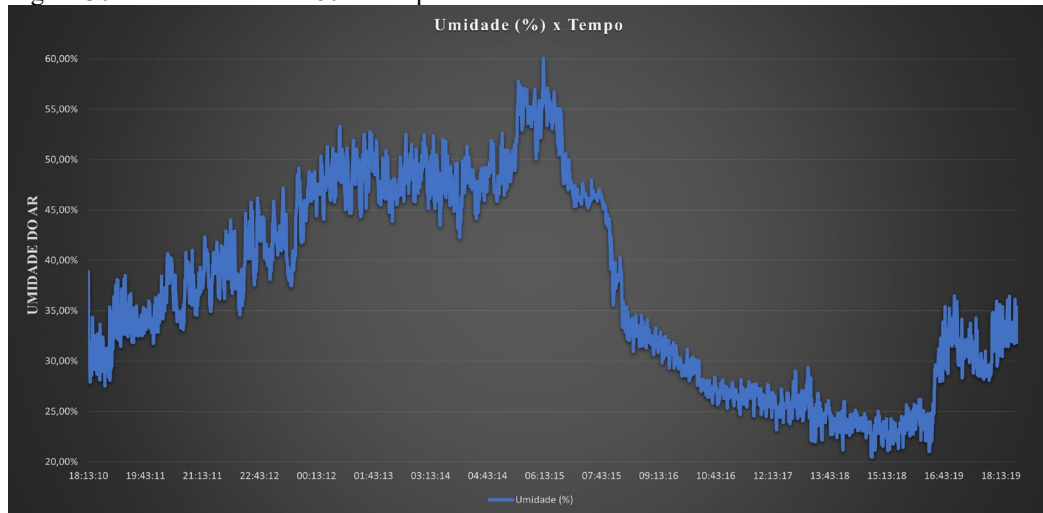
Fonte: Autor.

Figura 29 – “all_data_externo.csv”.

	A	B	C	D	E	F
1	Tempo		Temperatura do	Umidade do		
2	Data	Hora	Solo (°C)	Ar (°C)	Solo (%)	Ar (%)
3	10/11/2023	18:13:06	30,56	27,24	63,00%	43,25%
4	10/11/2023	18:13:36	30,56	27,18	63,00%	45,06%
5	10/11/2023	18:14:36	30,63	27,58	63,00%	38,15%
6	10/11/2023	18:15:06	30,63	27,48	63,00%	41,73%
7	10/11/2023	18:15:36	30,63	27,37	63,00%	41,97%
8	10/11/2023	18:16:06	30,63	27,43	63,00%	41,13%
9	10/11/2023	18:16:36	30,63	27,57	63,00%	41,14%
10	10/11/2023	18:17:06	30,63	27,73	63,00%	39,05%
11	10/11/2023	18:17:36	30,56	27,83	62,00%	40,04%
12	10/11/2023	18:18:06	30,63	27,86	63,00%	38,29%
13	10/11/2023	18:18:36	30,56	27,69	63,00%	40,46%
14	10/11/2023	18:19:06	30,56	27,62	63,00%	40,44%
15	10/11/2023	18:19:36	30,5	27,43	63,00%	41,32%
16	10/11/2023	18:20:06	30,56	27,37	63,00%	44,68%

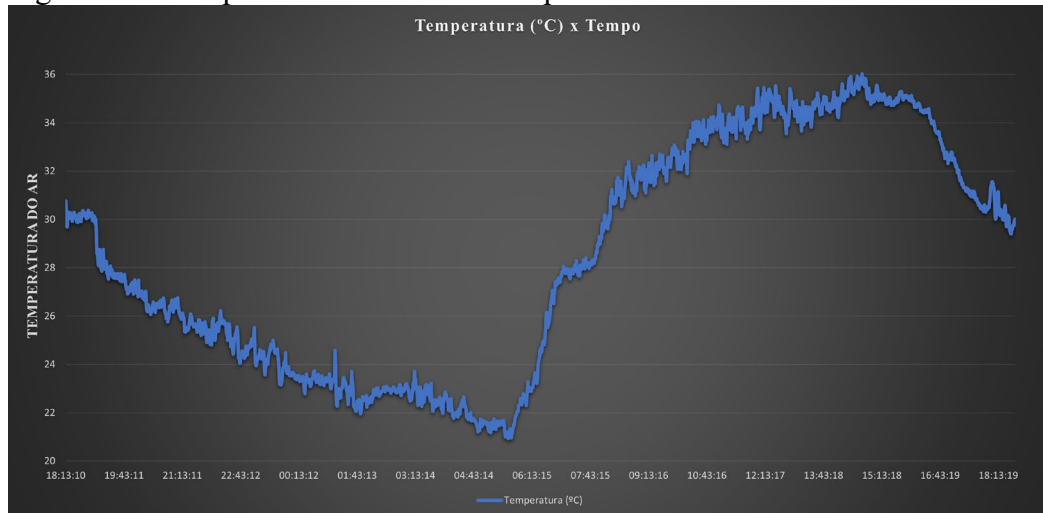
Fonte: Autor.

Figura 30 – Umidade BME280 x Tempo.



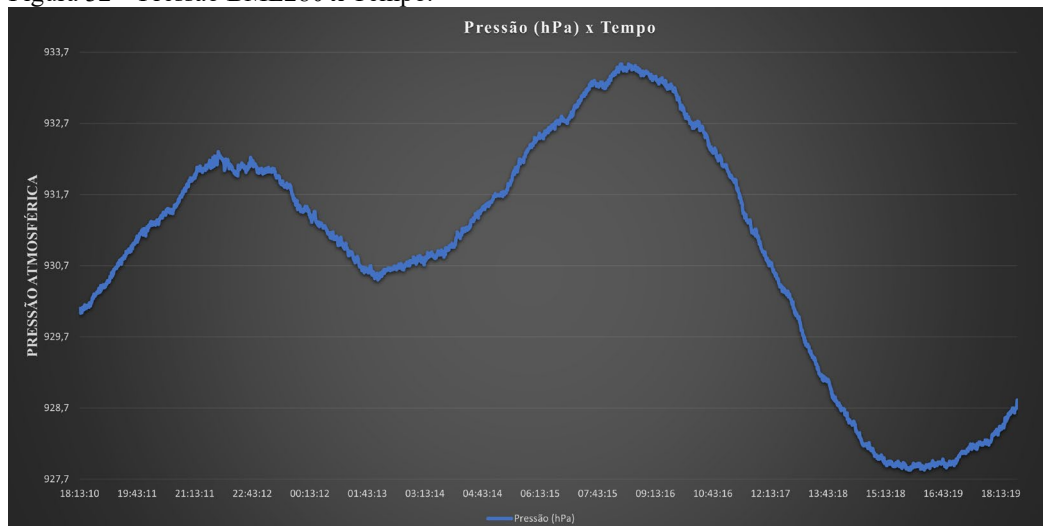
Fonte: Autor.

Figura 31 – Temperatura BME280 x Tempo.



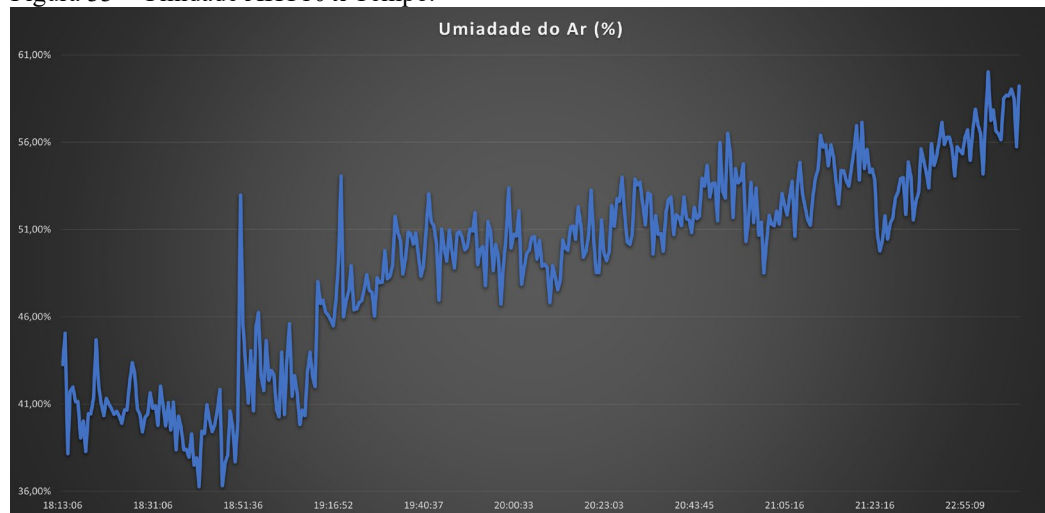
Fonte: Autor.

Figura 32 – Pressão BME280 x Tempo.



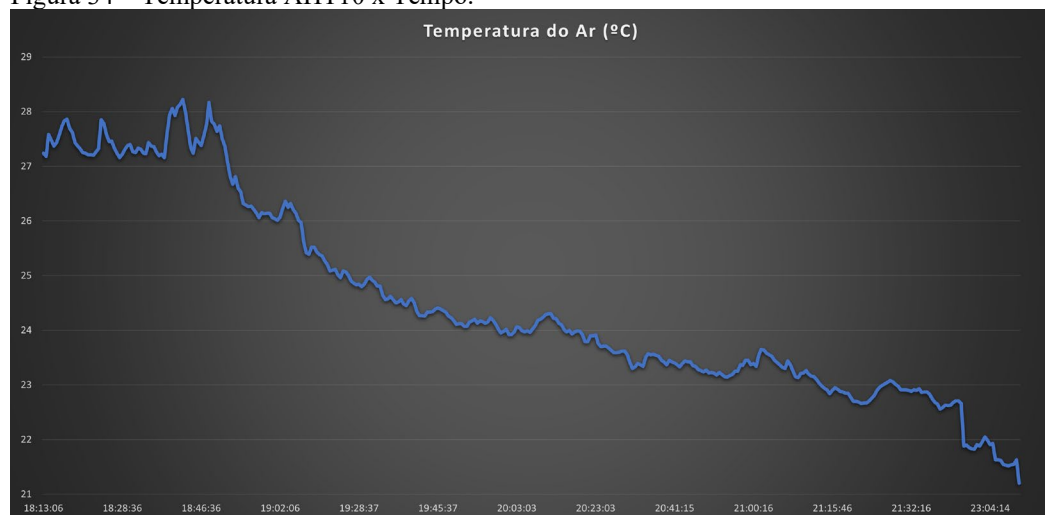
Fonte: Autor.

Figura 33 – Umidade AHT10 x Tempo.



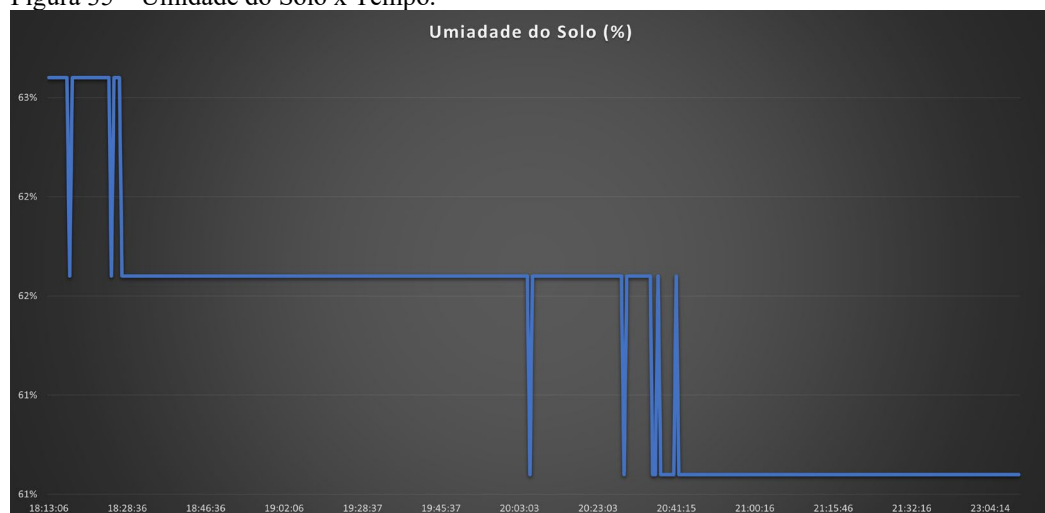
Fonte: Autor.

Figura 34 – Temperatura AHT10 x Tempo.



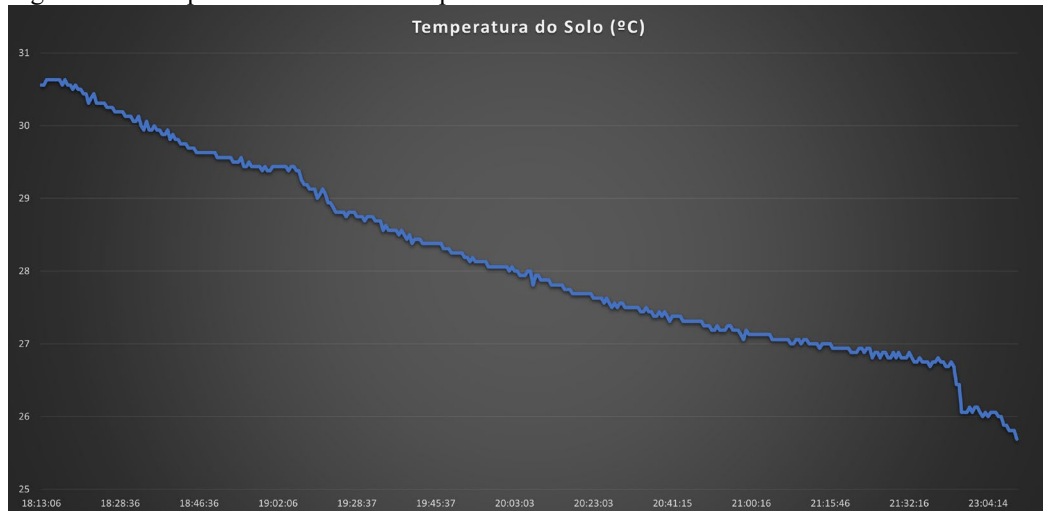
Fonte: Autor.

Figura 35 – Umidade do Solo x Tempo.



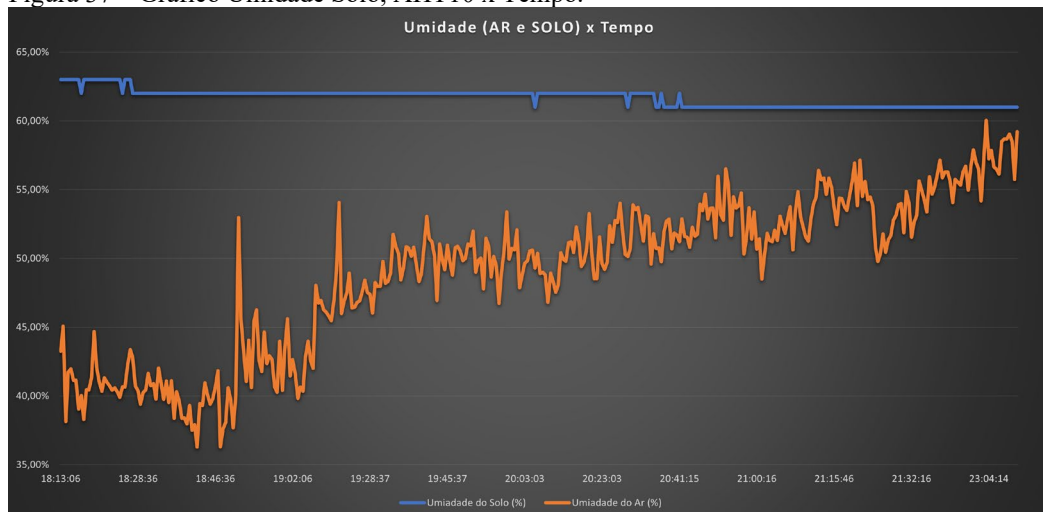
Fonte: Autor.

Figura 36 – Temperatura do Solo x Tempo.



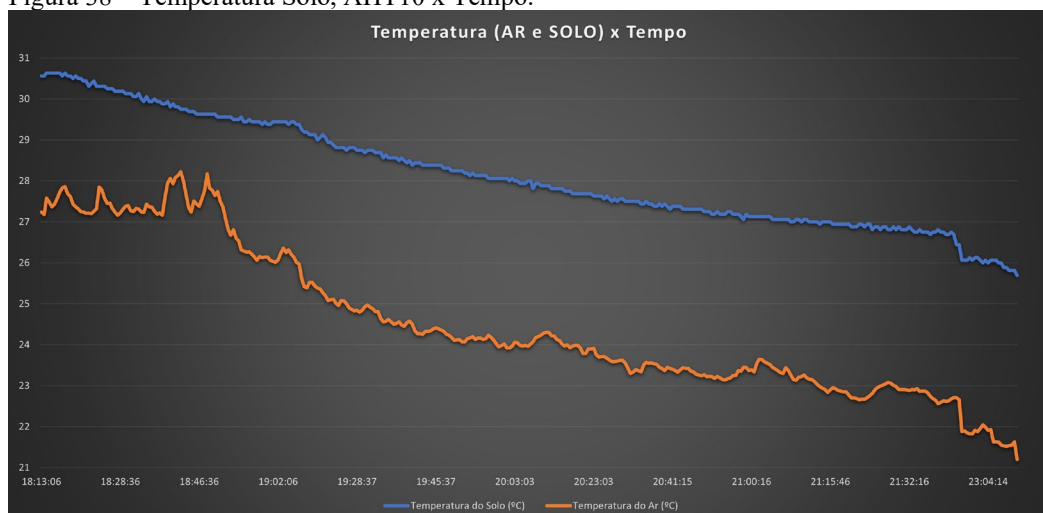
Fonte: Autor.

Figura 37 – Gráfico Umidade Solo, AHT10 x Tempo.



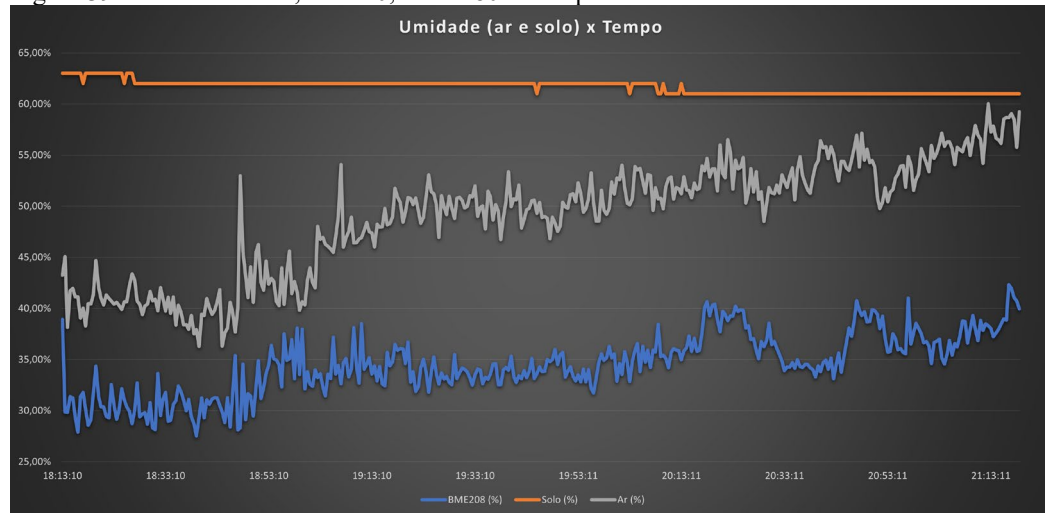
Fonte: Autor.

Figura 38 – Temperatura Solo, AHT10 x Tempo.



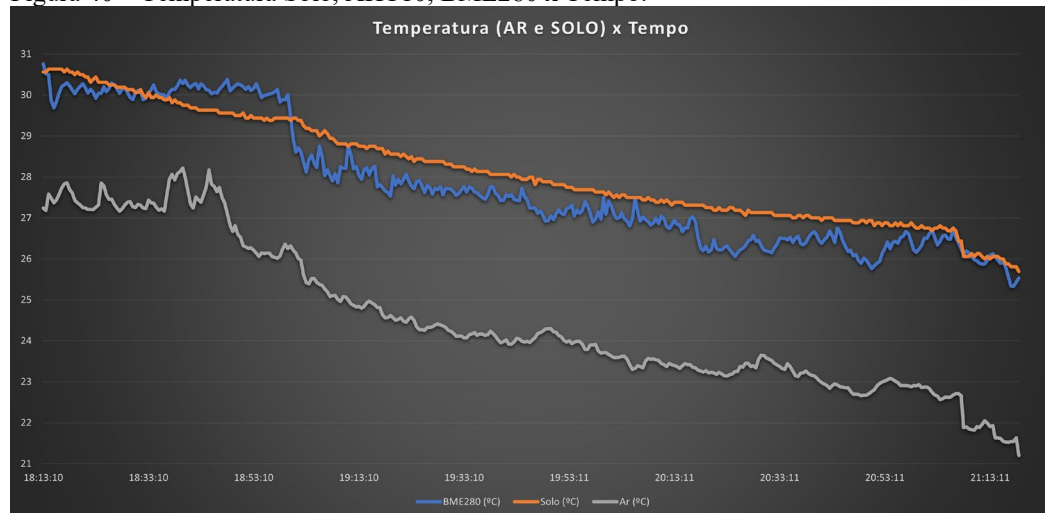
Fonte: Autor.

Figura 39 – Umidade Solo, AHT10, BME280 x Tempo.



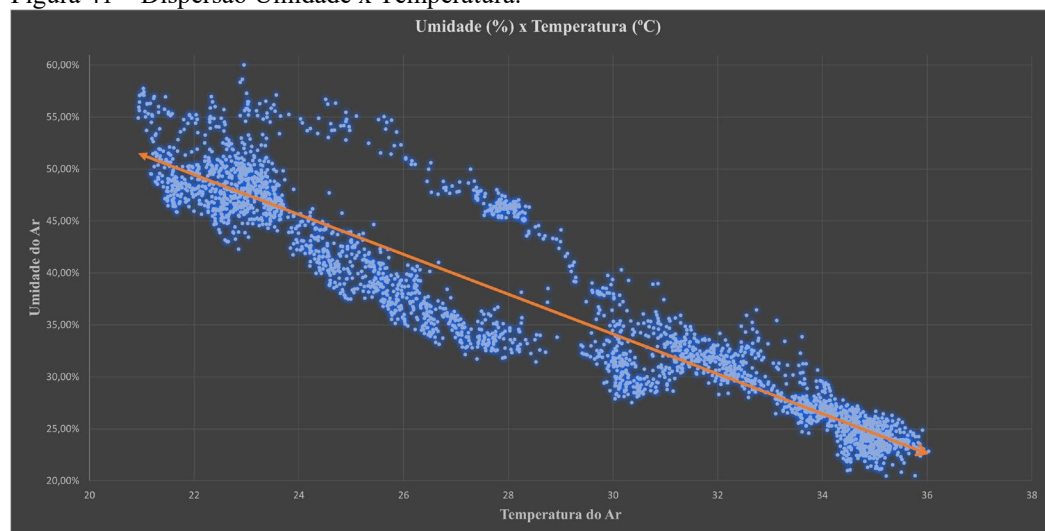
Fonte: Autor.

Figura 40 – Temperatura Solo, AHT10, BME280 x Tempo.



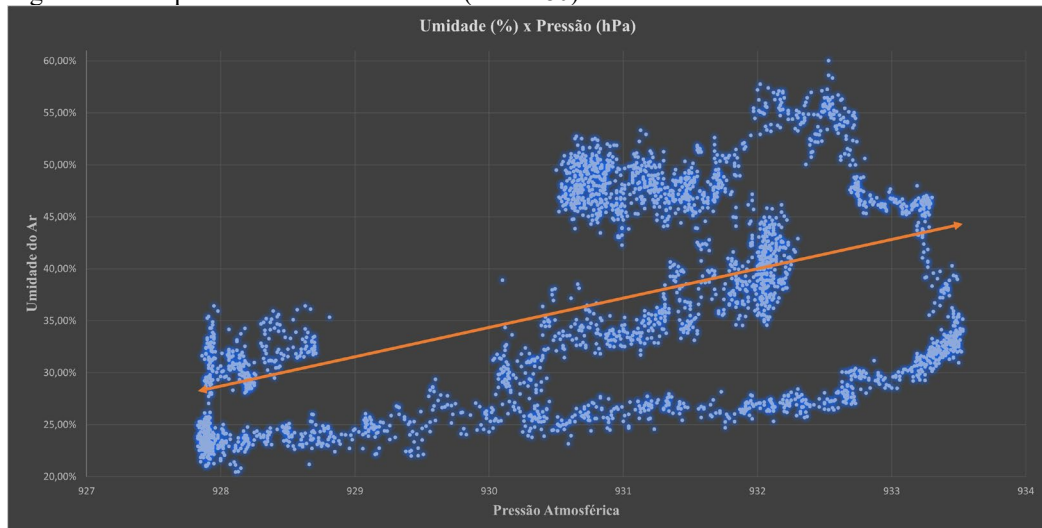
Fonte: Autor.

Figura 41 – Dispersão Umidade x Temperatura.



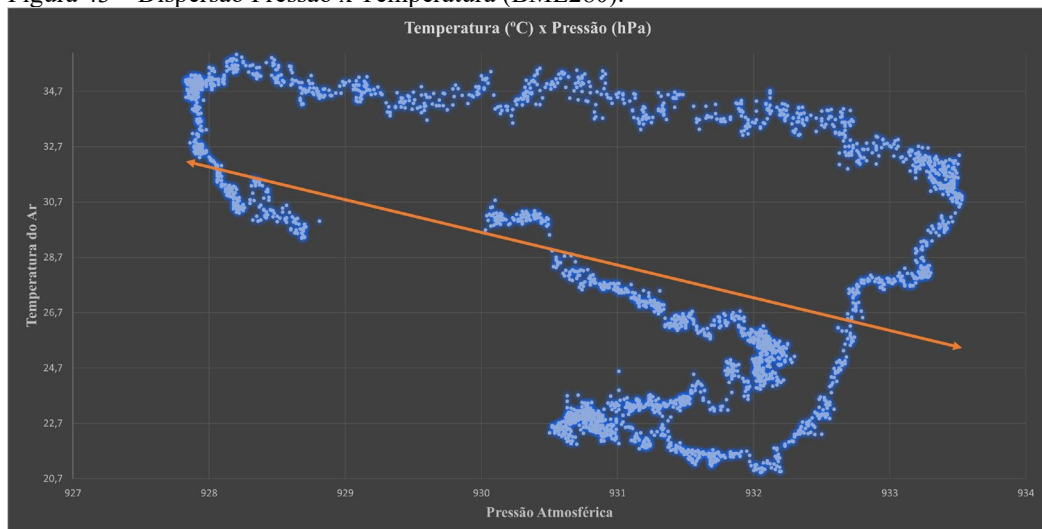
Fonte: Autor.

Figura 42 – Dispersão Pressão x Umidade (BME280).



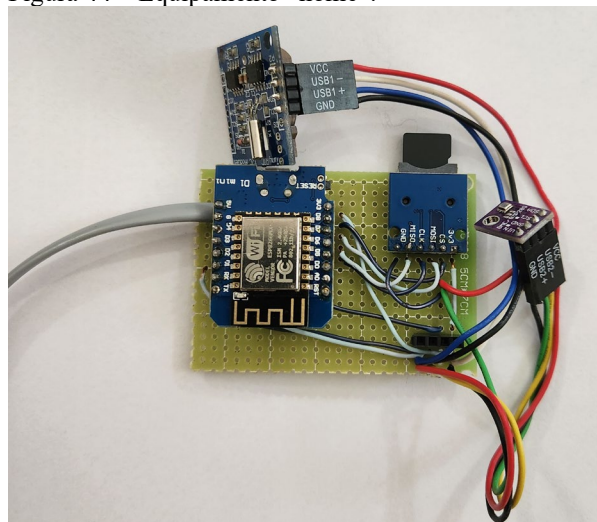
Fonte: Autor.

Figura 43 – Dispersão Pressão x Temperatura (BME280).



Fonte: Autor.

Figura 44 – Equipamento “home”.



Fonte: Autor.

