

## CAPÍTULO 2

# DESENVOLVIMENTO DE FRONT-END E BACK-END PARA NÓS SENSORES SEM FIO

---

*Data de submissão: 08/11/2023*

*Data de aceite: 01/12/2023*

### **Paulo Fernandes da Silva Júnior**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0000-0001-6088-6446>

### **José Ribamar Cerqueira Muniz**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0009-0006-1354-2847>

### **Ewaldo Eder Carvalho Santana**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0000-0002-8894-5353>

### **Antônio Augusto de Araújo Oliveira**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0009-0004-1419-0025>

### **Gustavo de Sousa Marques**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0009-0008-4357-3438>

### **Victor Wendel de Melo Pereira Jardim**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0009-0009-5180-3595>

### **Bartolomeu Israel de Souza**

Universidade Federal da Paraíba - UFPB  
João Pessoa, Paraíba  
<https://orcid.org/0009-0004-3076-0980>

### **Gabrielle Muniz Fernandes**

Instituto Federal da Paraíba - IFPB  
João Pessoa, Paraíba  
<https://orcid.org/0009-0004-3076-0980>

### **Iori Fernando C. Rodrigues**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0009-0007-3957-1301>

### **Aline Mariana Barros Silva**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0009-0003-9437-7035>

### **Khalil Ravikson Alcântara do Carmo**

Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA  
São Luís, Maranhão  
<https://orcid.org/0009-0004-8557-2987>

**RESUMO:** Neste trabalho é desenvolvido o *front-end* e o *back-end* para um nó sensor sem fio sem acesso à Internet, com a apresentação dos dados coletados em formato gráfico e exportados em formato de valores separados por vírgula. O nó sensor foi construído com um sensor DHT22 para coleta temperatura e umidade do ar, dois sensores de temperatura do solo, dois sensores de umidade de solo, dois sensores de umidade para o troco da árvore e um sensor de temperatura para o troco, implantados no caule de uma árvore, e na região próxima das raízes, com uso de um microcontrolador ESP32 e uma placa solar para alimentação da bateria e manutenção de sistema com uma fonte de energia renovável. A partir dos resultados observados pode-se avaliar que o sistema, obteve um resultado satisfatório com o funcionamento do sistema e o armazenamento, apresentação e carregamento dos dados coletados de forma independente sem acesso à Internet e com a possibilidade de acesso por um computador pessoal ou um dispositivos móveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nó sensor, *back-end*, *front-end*, temperatura, umidade.

## FRONT-END AND BACK-END DEVELOPMENT FOR WIRELESS SENSOR NODES

**ABSTRACT:** In this work, the front-end and back-end for a wireless sensor node without Internet access are developed, with the presentation of the collected data in graphical format and exported in the form of comma-separated values. The sensor node was built with a DHT22 sensor to collect air temperature and humidity, two soil temperature sensors, two soil moisture sensors, two humidity sensors for tree change and a temperature sensor for tree change, deployed on the stem of a tree, and in the region close to the roots, using an ESP32 microcontroller and a solar panel to power the battery and maintain the system with a renewable energy source. From the results observed, it can be assessed that the system obtained a satisfactory result with the functioning of the system and the storage, presentation and loading of data collected independently without access to the Internet and with the possibility of access by a personal computer or mobile devices.

**KEYWORDS:** Sensor node, front-end, back-end, temperature, humidity.

## INTRODUÇÃO

Um nó sensor é a menor parte de uma rede de sensores, que tem como objetivo de coletar dados ambientais, para tomadas de decisão em aplicações internas e externas (AL-TURJMAN, 2018). A comunicação de um nó sensor em uma rede de sensores sem fio (RSSF) pode utilizar diversos protocolos de comunicação e frequências de operações diferentes, como Wi-Fi, redes locais sem fio (*Wireless Local Area Network* – WLAN), ISM (*Industrial Scientific and Medical*), ou Bluetooth, utilizando um sistema de comunicação e conexão embarcadas. As RSSF coletam dados ambientais, em áreas internas ou externas, como zonas urbanas na operação de cidades inteligentes, casas e prédios inteligentes, rurais, indústrias, em veículos, pessoas, podendo ser aplicadas em sistemas de comunicação M2M (*Machine to Machine*) (VERDONE, *et al.*, 2008), (FOSTER, *et. al.*, 2017).

Os dados coletados pelos nós sensores são enviados para uma unidade central, podendo ser um nó *master*, um computador ou uma plataforma em nuvem. Os nós podem ser compostos por diversos sensores conectados a um microcontrolador, com um sistema de transmissão e recepção de sinais sem fio, alimentados por uma bateria, operando unidos para realizar uma tarefa específica (AL-TURJMAN, 2018), (AKYILDIZ, et. al., 2002), (FOSTER, et. al., 2017), (NAWALE, et. al., 2016). As RSSF podem ser usadas em diversas aplicações, como cuidados de saúde, domótica, monitoramento de ambientes externos, em áreas metropolitanas ou rurais e em dispositivos vestíveis para coletar informações do corpo humano ou de animais (AL-TURJMAN, 2018). Os nós sensores tem como características baixo custo e eficiência energética, operando de forma coerente e colaborativa, para realizar uma tarefa específica (AL-TURJMAN, 2018).

Uma das partes importantes do nó sensor sem fio é a alimentação, que deve manter a energia do funcionamento do microcontrolador, dos sensores e do sistema de comunicação (FOSTER, et. al., 2017), (NAWALE, et. al., 2016), (DWIVEDI, et. al., 2017), (PEDERSEN, et. al., 2017), (KESHTGARI, et. al., 2012), (GOEL, et. al., 2018). A fonte de energia ou alimentação do nó sensor e do master devem ser eficientes, com a possibilidade de uso de recursos sustentáveis que possibilitem um maior tempo de vida útil para a rede. As pesquisas sobre os tipos de alimentação são importantes para o funcionamento efetivo da rede.

Segundo (Pedersen *et al.*, 2017), uma rede de sensores sem fio pode ser compreendida por quatro pontos cruciais, são eles: o posicionamento geográfico; a obtenção das informações; apoio à decisão; e o tratamento variável para os dados obtidos. Uma proposta para reunir informações locais confiáveis, que podem ser usadas como base para avaliação e tomada de decisões, mesmo a longas distâncias, é uma RSSF aplicada às condições ambientais (Keshtgari *et al.*, 2012; Goel *et al.*, 2018).

Um nó sensor sem fio tem a capacidade de sensoriamento do ambiente e comunicação com outros nós, formando uma rede sem fio, podendo ser usado diversos tipos de sensores, tais como de temperatura, umidade, posição, gás, vibração, luminosidade, fluxo, pressão, etc. Os nós tem como objetivo coletar e armazenar dados de um ambiente por um período, enviado para uma estação de coleta permanente. Os nós individualmente possuem pouca capacidade computacional e deve ter baixo consumo energético (RUIZ *et al.*, 2004). A comunicação entre os nós sensores e a base pode ser executada por um *gateway*, o qual deve garantir a confiabilidade da comunicação e a integridade do dados enviado. Para isto o *gateway* é equipado com recursos adicionais para suportar o recebimento e a transmissão dos dados. Algumas aplicações podem utilizar um ponto de acesso, que pode ser um nó sensor responsável por uma rede específica na qual os outros nós sensores utilizam para se comunicar com os nós *master*, ou com a base central (RUIZ *et al.*, 2003).

Neste trabalho é desenvolvido um *back-end* e um *front-end* para um nó sensor sem fio sem acesso à Internet, com uma página de acesso aos dados coletados em formato

gráfico, e exportados em formato de valores separados por vírgula (*Comma Separated Values* – CSV). O trabalho está dividido em mais quatro partes além desta Introdução. Na seção 2 são indicados os materiais e métodos utilizados. Na seção 3 a Tecnologia das Redes de Sensores Sem Fio sobre o tema abordado é abordado, com o Projeto de uma Rede de Sensores Aplicada a Avaliação Ambiental Em Uma Árvore na seção 4 e as Considerações Finais na seção 5.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa está dividida em duas etapas:

1<sup>a</sup> – O levantamento bibliográfico sobre as rede de sensores sem fio, e seus principais componentes, como microcontrolador, fontes de alimentação sensores, tipos de conexão, dentre outros. Assim, na primeira etapa é realizada o levantamento do estado da arte sobre as redes de sensores, as fontes de energia utilizadas em rede de sensores, com o uso de alimentação usual, como rede de energia convencional e de tipos híbridos, como as placas solares, e dos sistemas utilizados na apresentação dos dados e representação gráfica dos dados coletados;

2<sup>a</sup> – Desenvolvimentos de testes em protótipos de RSSF e do *front-end* e *back-end* com a avaliação dos resultados a adequação ao projeto final. A segunda parte do projeto são indicados os melhores resultados com acesso local e sem acesso via Internet, levando em considerações os diversos tipos de equipamentos usados, como microcontroladores, microprocessadores, sistema de comunicações e os sensores.

A proposta das RSSF é o uso das placas de desenvolvimento ESP32, como sistemas microcontrolados, com conexão aos nós sensores, em redes com e sem acesso à Internet. Nas redes sem acesso à Internet, será utilizado um minicomputador, como o Raspberry Pi, como ponto de acesso à rede, bem como nó master e banco de dados para armazenar os dados. Assim, é necessário a pesquisa para alimentação do minicomputador para uso em locais onde não haja rede elétrica convencional. Em toda a rede, nós sensores e nó master, deve ser realizado o teste de consumo de energia, comparando os resultados com os valores indicados nas planilhas de dados dos dispositivos utilizados, indicando o consumo total de cada nó, bem como as melhores opção de alimentação para cada tipo específico de equipamento e aplicação.

O desenvolvimento do nó sensor aplicado às áreas externas para monitoramento dos parâmetros de um cajueiro, pode ser dividido em 3 partes:

1 – Levantamento bibliográfico sobre a uso da Rede de Sensores Sem Fio em agricultura de precisão e como se dá essa aplicação;

2 – Elaboração de um sistema de monitoramento em área externa através de um Nó sensor com sensores necessários para medir os parâmetros visados;

3 – Aplicação da RFFS na agricultura de precisão para monitorar uma árvore através

das informações coletadas pelos sensores desta rede implementada.

A medição da umidade do tronco e do solo é utilizado o sensor de umidade resistivo RSMS. Para medir a temperatura e umidade do ar, é utilizado o DH22.

O nó sensor é alimentado por duas baterias de 3,8 V em série, que fornecem energia suficiente para o ESP32 que necessita de apenas 5 V para seu bom funcionamento, assim é possível manter a rede de sensores ligada sem a uso de uma alimentação cabeada. Para fornecer energia às baterias e mantê-las carregadas, alimentando a rede de sensores sem fio ligada foi adicionada uma placa solar com geração de 5V de tensão e 5000 mA de corrente. A placa solar foi utilizada para atuar no carregamento das baterias, promovendo o aumentando da vida útil do nó sensor.

Pode-se visualizar na Figura 1 os dispositivos utilizados na construção do nó sensor.

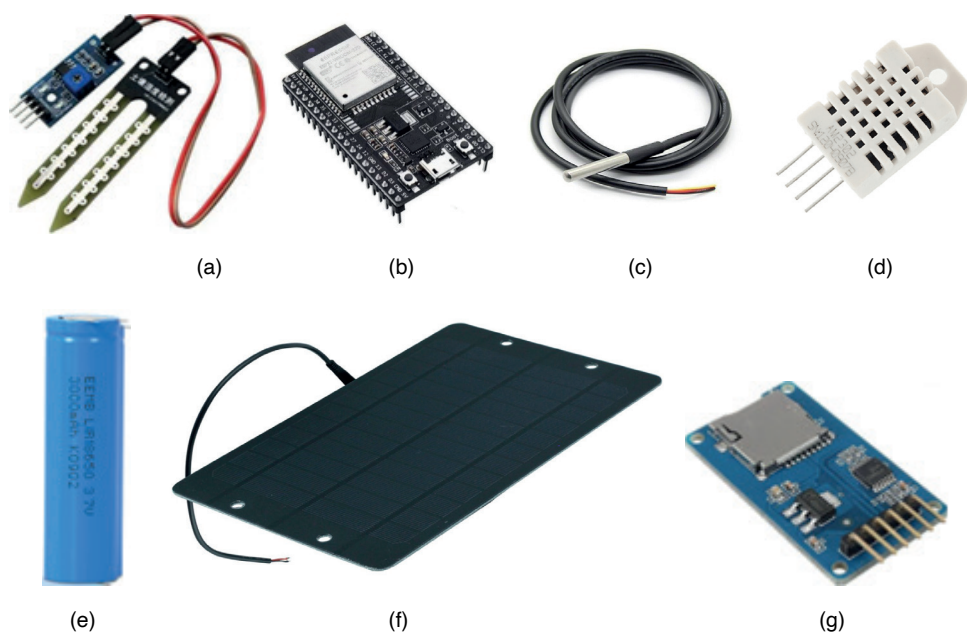


Figura 1 – Dispositivos usados no projeto: a) Sensor de umidade resistivo RSMS; b) microcontrolador ESP32; c) sensor de temperatura do solo DS18B20; d) sensor de temperatura e umidade do ar DHT22; e) bateria de 3,8V; f) placa solar; g) leitor de cartão microSD.

Fonte: Autor, 2023.

O projeto apresenta uma estrutura física em que são conectados os sensores em uma placa de cobre. A aplicação do nó sensor foi feita em uma Catingueira, árvore tradicional do Nordeste brasileiro, podendo atingir até 5 metros de altura. O microcontrolador ESP32 é colocado no topo da árvore juntamente com o DHT22. São implementados três RSMS no projeto, um deles no tronco da árvore, para medir a umidade da catingueira e verificar os parâmetros medidos ao decorrer do tempo, outro sensor de umidade resistivo é aplicado

na raiz da árvore, para monitorar a umidade e servir de parâmetro de comparação com os dados coletados pelo outro sensor de umidade resistivo que é implantado há 5 metros de distância da árvore, para verificar o consumo da árvore em relação à umidade do solo. O nó sensor apresenta quatro DS18B20, que são aplicados: no tronco, um na parte mais interna do tronco e outro mais externo, para comparar a temperatura do tronco em que se encontra a xilema que transporta a seiva bruta na parte mais interna do tronco, e o floema conduz seiva elaborada na parte mais externa do tronco da árvore; um DS18B20 é colocado na raiz da planta fornecendo os dados para serem comparados com os de um outro sensor colocado há 5 metros da árvore, para verificar as influências das raízes da árvore no solo em que ela está em contato, como pode ser visto na Figura 2.

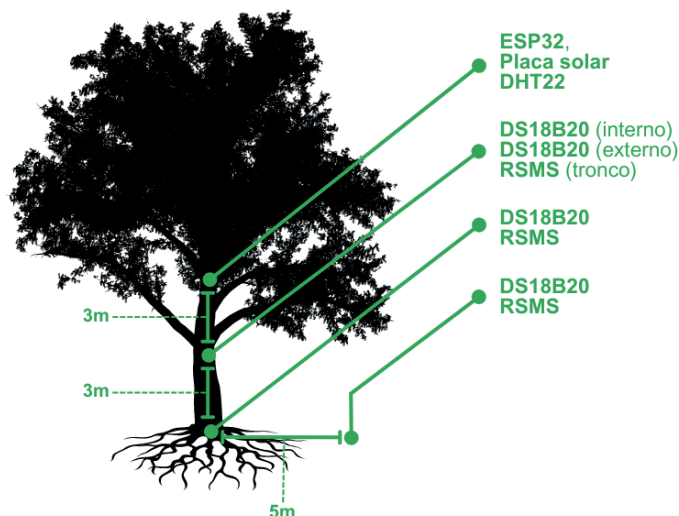


Figura 2 – Localização dos componentes.

Fonte: Autor.

As instruções ao sistema, foram desenvolvidas para otimização de energia do nó sensor, para isto foi utilizada a técnica de *sleep*, no qual as funções básicas do microcontrolador são mantidas enquanto todos os demais serviços permanecem desligados, como por exemplo o sistema de transmissão e recepção de sinais. Este procedimento promove a economia de energia utilizada pelo nó sensor sem fio, otimizando o uso das baterias.

O sistema desenvolvido trata as amostras coletadas e guardando-as em um banco de dados dentro de um micro SD que é implementado no sistema através de um módulo de micro cartão SD. O conteúdo pode ser coletado quando o usuário recolhe os dados manualmente através da conexão do ESP32 com uma rede, permitindo o acesso do usuário através de um *web server*.

A visualização das informações da coleta feita pelo nó sensor apresentadas pela *dashboard* do projeto, é necessário que o usuário se conecte na mesma rede em que está conectado o *web server*, e insira o *IP* fornecido para se conectar ao servidor e assim visualizar ou fazer *download* dos dados. Os parâmetros das amostras são guardados em um banco de dados dentro do cartão e podem ser baixados pelo usuário através de um botão disponível na *dashboard* do projeto, a própria *dashboard* e o servidor também são armazenados no cartão. Isso é possível por conta do *Fron-end* que permite a visualização e interação, e também do *Back-end* que é responsável pela programação da lógica do sistema.

## TECNOLOGIA DAS REDES DE SENSORES SEM FIO

As redes de sensores têm como principais objetivo fazer o monitoramento de variáveis ambientais, existindo diversos tipos que são classificadas conforme os seguintes parâmetros cobertura, frequência e funcionalidade.

A **cobertura** de operação das redes indicam que podem operar em diversas tecnologias sem fio como as redes pessoais (*Wireless Personal Area Network – WPAN*), redes locais (*Wireless Local Area Network – WLAN*), redes metropolitanas (*Wireless Metropolitan Area Network – WMAN*) e redes de longa distância (*Wireless Wide Area Network – WWAN*).

As redes também podem ser diferenciadas conforme as **frequências** de operação, considerando o alcance, potência, largura de banda, regulamentação e o custo. Os principais tipos de frequências utilizada em rede sensores podem observados na Tabela 1.

Uma rede de sensores também pode ser diferenciada de acordo com a as **funcionalidades**, com uso em monitoramento ambiental, vigilância e segurança, saúde e bem estar e em controle e automação.

Tipo	Frequência de operação mínima	Frequência de operação máxima
Baixa frequência	30 KHz	300 KHz
Média frequência	300KHz	3 MHz
Alta frequência	3 MHz	30 MHz
Ultra alta frequência	30 MHz	300 MHz

Tabela 1: Principais frequências de operação de redes de sensores.

Fonte: Autor, 2023.

A **topologia** utilizada também é um forma de categorizar uma rede de sensores, indicando a forma como os componentes de uma rede se conectam entre si, buscando o melhor desempenho. As principais topologias utilizadas em rede de sensores sem fio são:

- **Topologia estrela**, na qual todos os dispositivos são conectados em um dispositivo central, e tem como principal vantagem gerenciamento e isolamento de erros;
- **Topologia cluster ou árvore**, em que os dispositivos são organizados de forma hierárquica semelhante ao desenho de uma árvore onde são conectados os dispositivos principais chamados de raízes e os finais de folhas;
- **Topologia malha**, na qual todos os dispositivos são conectados entre si, havendo sempre rotas para se conectar a qualquer outro dispositivo da rede, tem como sua principal vantagem a escalabilidade.

## Front-end para Rede de Sensores Sem Fio

O *Front-end* de uma aplicação computacional corresponde a parte que é responsável pela interface gráfica, interação e visualização dos dados pelos usuários. O *Front-end* utiliza *HTML*, *CSS* e *JavaScript* como linguagens, além de *frameworks* e outras bibliotecas que facilitam o desenvolvimento e o *design* da interface que será acessada pelos usuários (LINDLEY, 2019). O *Front-end* tem comunicação direta com o *Back-end*, que é responsável pela conexão entre o *Front-end* e o servidor. Ele é a parte da aplicação *web* responsável pela coleta, processamento, armazenamento e gerenciamento dos dados, através de protocolos *web* como *HTTP* e *Web Socket*, *APIs* etc. (LINDLEY, 2019).

Para rede de sensores sem fios, o *front-end* não é diferente: é ele quem corresponde à interface de integração com o usuário, ou seja, corresponde ao lado do cliente (AMORIM et al., 2019). Pode-se utilizar diferentes padrões arquitetura, linguagens em conjunto e *frameworks* para simplificar a programação e desenvolvimento dele, como por exemplo, o padrão *Model-View-Controller* (*MVC*) ou o *PAC* (*Presentation-Abstraction-Control*), linguagens como *HTML*, *CSS* e *JavaScript* e *frameworks* como *Angular.js*, o *Bootstrap* e o *Materialize*. O uso de cada ferramenta pode variar de acordo com o objetivo e função de cada projeto de rede de sensores sem fio.

No projeto é desenvolvido o front que irá mostrar a última leitura realizadas pelos sensores na página dashboard, os gráficos irão apresentar as últimas leituras realizadas pelos sensores, sendo as leituras de umidade e temperatura. Como destacado por Raghavendra et al. (2010), o *Front-end* desempenha uma função análoga aos sentidos humanos, capturando os estímulos do ambiente físico e traduzindo-os em informações compreensíveis pelo sistema de rede.

A página fornece um botão de exportar o registro, fazendo com que os valores existentes no banco de dados no micro cartão SD sejam baixados no dispositivo do usuário em formato *CSV*. Em um teste da aplicação da rede é possível a visualização das informações da árvore medida pela *RSSF* através da Figura 3, nela mostra como será informado ao usuário as amostras da última coleta da coleta da rede.

A visualização das informações da rede é apresentada em gráficos, dessa forma é



possível a compreensão dos registos das coletas feitas pelo nó sensor, que foi programado para coletar temperatura e umidade em determinados horários e dormir enquanto não está sendo utilizado para otimizar o uso de energia das baterias. Os gráficos de temperatura e umidade dos sensores são apresentados na Figura 4.

É possível a visualização das demais opções do menu de navegação como por exemplo as informações da rede de sensores na Figura 5. As informações adicionais sobre os desenvolvedores do sistema do nó sem fio pode ser visualizada nas Figuras 6 e 7, elas mostram o laboratório responsável pela construção do projeto e sua área de pesquisa, o curso e a universidade ao qual pertence os integrantes da equipe.

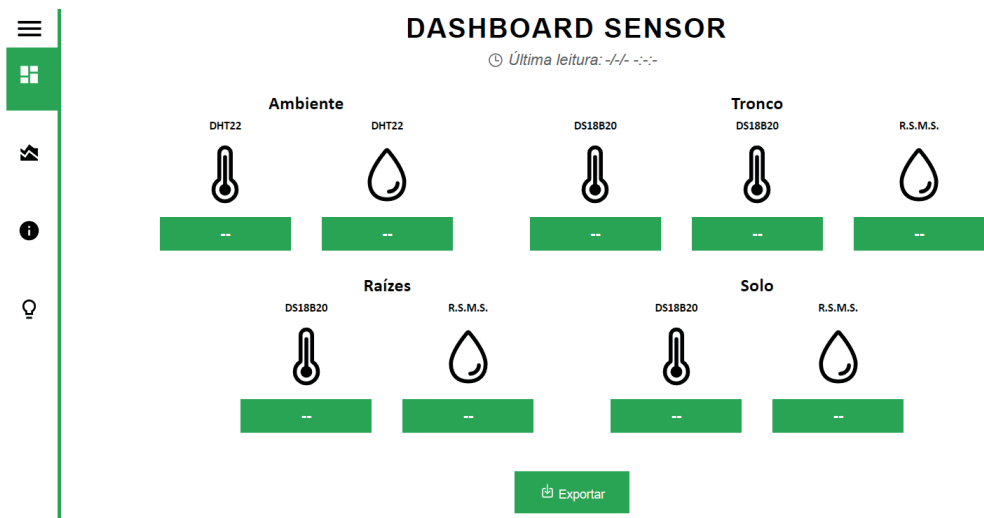


Figura 3 – Dashboard do projeto

Fonte: Autor



Figura 4 – Gráficos modelo  
 Fonte: Autor

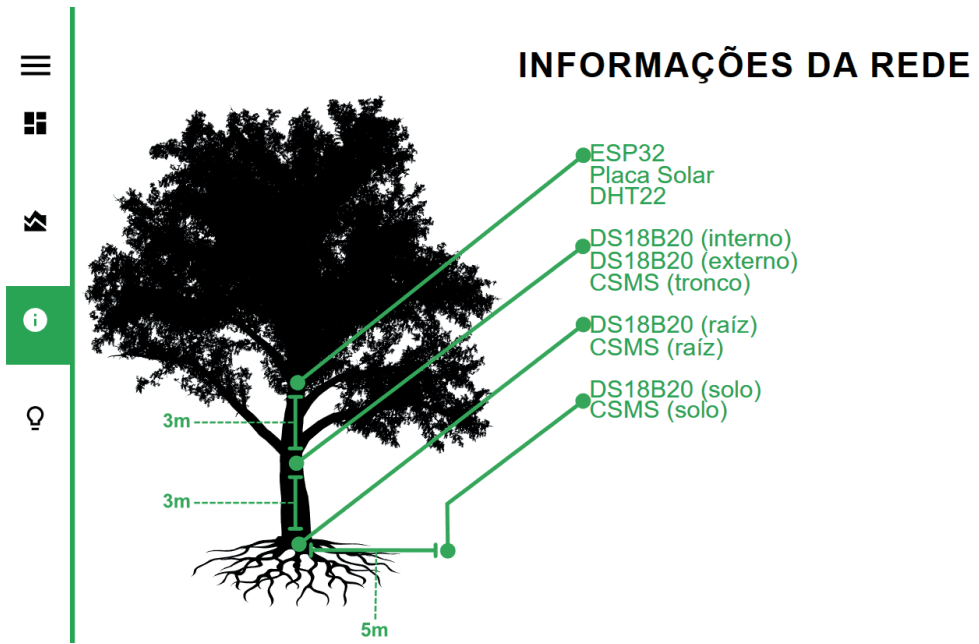


Figura 5 – Informações da rede.  
 Fonte: Autor



Figura 6 – Informações adicionais

Fonte: Auto

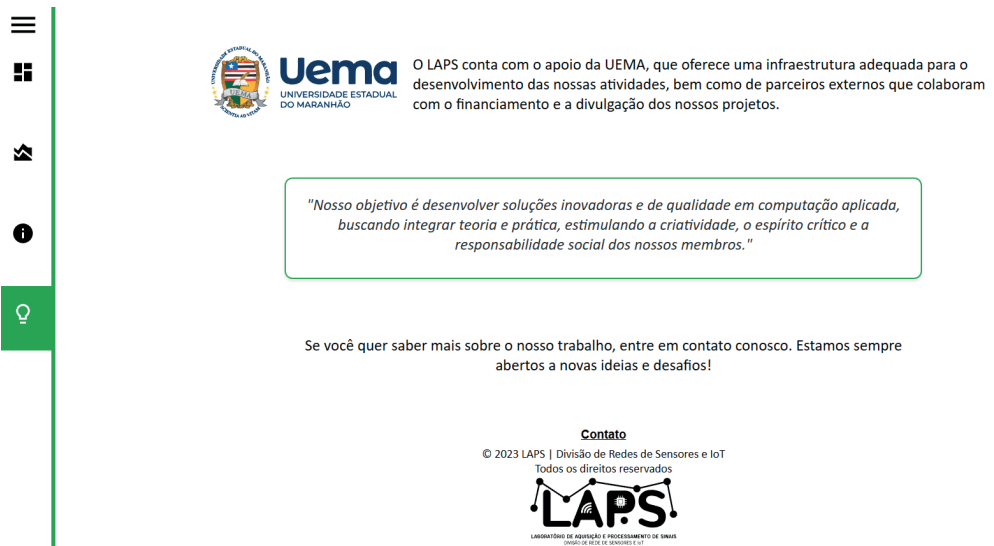


Figura 7 – Instituição e demais dados

Fonte: Autor

## Back-end para Rede de Sensores Sem Fio

A obtenção dos registros e de todo o processo de programação do projeto é dado pela aplicação do *Back-end*, que é responsável por organizar tudo no sistema como:

funcionamento do sistema de coleta das amostras; o tratamento das variáveis; a alocação das medições da árvore no banco de dados; como é organizado o período em que o ESP32 estará dormindo. O *Back-end* permite que o conteúdo captado pelos sensores seja armazenado no banco de dados dentro do micro SD, que podem ser disponibilizados ao usuário através do *front*, permitindo o *download* dos dados coletados pelos sensores em formato CSV.

O *Back-end* nas redes de sensores sem fio desempenha um papel crucial ao possibilitar a transformação dos valores brutos coletados pelos sensores em informações relevantes e tratáveis. Conforme destacado por Li *et al.* (2017), o *Back-end* atua como o “cérebro” da rede, agregando e processando os dados para a extração de conhecimento, tomada de decisões e execução de ações, de acordo com os objetivos da aplicação.

A alimentação do nó sensor utilizando uma placa solar fornece uma energia renovável que é ser otimizada aplicando o modo *sleep* no ESP32, para entrar em um estado de baixo consumo de energia que chamado de *sleep*, no qual não há coleta de dados, mas apenas a manutenção dos serviços mínimos do nó sensor. Dessa forma é possível estender a vida útil do nó sensor. Nesse caso, no projeto foi estabelecido horários específicos do dia em que o ESP32 iria estar coletando as variáveis de ambiente, tendo momentos do dia como horários de foco para a obtenção das amostras. O *Back-end* permite a gestão eficiente dos recursos, especialmente em redes de sensores sem fio com restrições de energia. Os algoritmos de gerenciamento de dados implementados no *Back-end*, conforme proposto por Wang *et al.* (2018), otimizam o uso de energia, controlam a latência e priorizam a transmissão de dados críticos, garantindo um equilíbrio entre a eficácia da rede e a economia de recursos.

O *Back-end* permite o envio de comandos ao microcontrolador o instruindo a coleta em horários pré-estabelecidos para a otimização do consumo de energia. O projeto em questão implementa esta técnica do modo *sleep* que permite monitoramentos de cultivos agrícolas, em que a coleta dos dados pode ser enfatizada em picos ou não de emissão da luz solar, tendo as amostras coletadas em momentos mais relevantes. A lógica do *Back-end* pode ser entendida através da Figura 8 através de um fluxograma.

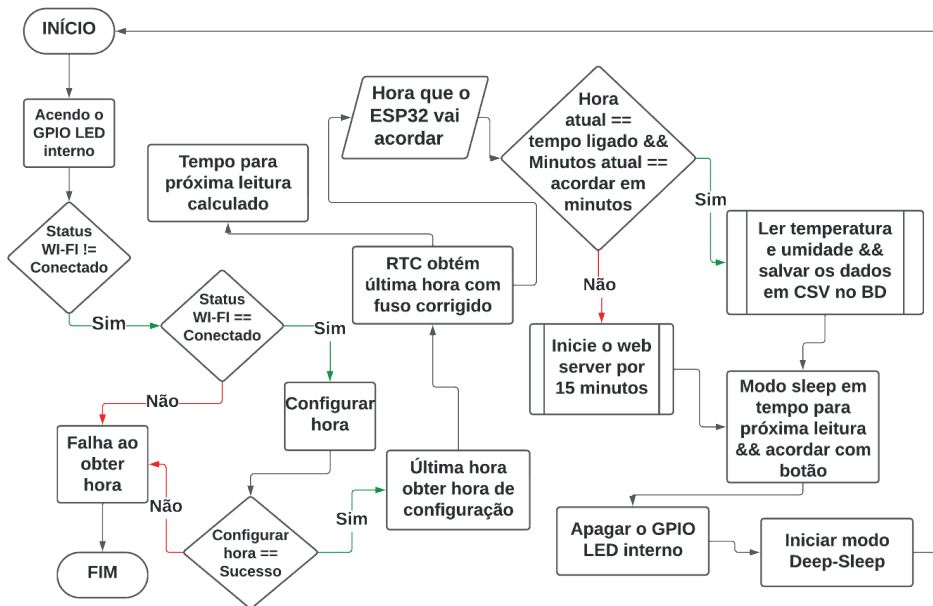


Figura 8 – Fluxograma do *Back-end*

Fonte: Autor

## Redes de Sensores Aplicada a Agricultura De Precisão

A Agricultura de Precisão (AP), denominada no inglês pelos os termos *Precision Agriculture*, *Precision Farming* ou *Site-specific Crop Management*, está relacionado ao uso de tecnologias sem fio para captação de variáveis ambientes e da análise de dados, envolvendo desde *hardware*, componentes físicos, próprios até os mais variados programas de computador especializados e redes de telecomunicação, para transmissão e recepção de dados, gerando um sistema complexo que permite coletar dados para monitoramento e avaliação de áreas cultivadas, com a aplicação de fertilizantes e fitofármacos, regulação da densidade da sementeira e plantação, controle do uso de água, entre outros trabalhos (BERNARDI, 2014).

A aplicação de redes de sensores sem fio na agricultura pode permitir a aquisição de dados de forma contínua no campo, estando disponíveis ao usuário para a tomada de decisões. Além de contribuir para o aumento da produtividade e no uso racional de insumos. Os tipos de dados a ser coletado, os sensores a serem usados e a forma de uso dos resultados podem ser vários no uso em agricultura. (ALCANTUD e ROSA)

As principais vantagens no uso das Redes de Sensores Sem Fio são a ausência de cabeamento e a flexibilidade, podendo ser utilizada principalmente em áreas de difícil acesso, com maior agilidade na instalação, na modificação, e menor custo operacional,

podendo, conciliar diferentes topologias. Em contrapartida, a restrição de energia consumida pelos nós sensores devem ser considerada, uma vez que são alimentados por baterias (SILVA, 2009).

## PROJETO DE UMA REDE DE SENSORES APLICADA A AVALIAÇÃO AMBIENTAL EM UMA ÁRVORE

O nó sensor desenvolvido pode ser visualizado na Figura 9, com os cabos RJ45 CAT5 ethernet utilizados como extensores para cada sensor utilizado, com a indicação do circuito do nó sensor e a alimentação pelas baterias e da placa solar.

O sistema é montado em uma placa de cobre para conectar os componentes, nessa placa é adicionado os *jumpers*, resistores de 331 ohm para o DHT22, resistor de 4,7K $\Omega$  para os sensores de temperatura DS18B20, a aplicação desses sensores de temperatura se dá por conta de um método da automação que consiste em implementar o funcionamento de vários sensores de temperatura em um mesmo barramento *OneWire*, ou seja, todos os DS18B20 usados estão conectados em uma só porta do microcontrolador, e botão físico para iniciar o servidor *Web*.

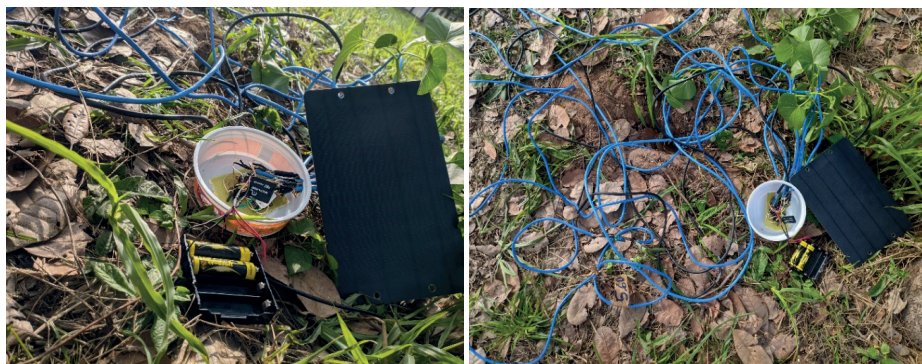


Figura 9 – Sistema montado

Fonte: Autor

Após a implementação e funcionamento do nó sensor na árvore, foram coletados dados de umidade e temperatura do ambiente próximo e interno da árvore, indicando a eficiência do nó sensor. O controle do consumo energético do microcontrolador e o carregamento das baterias através da placa solar possibilitou um sistema energeticamente eficiente com manutenção contínua. Pode ser visto a aplicação da alimentação através das baterias e placa solar na Figura 10.

As informações fornecidas pelo *Front-end* do projeto permitem a avaliação das amostras coletadas durante o funcionamento do nó sensor sem fio no momento do acesso ao *web server*. No *dashboard* podem ser observadas as últimas medições de temperatura e umidade efetuadas pelo nó, com um corte temporal. Os dados coletados durante um

intervalo de tempo são mostrados em um gráfico como o da Figura 12, dessa forma é possível a apresentação de todas as informações coletadas pelos sensores dentro de um determinado período, permitindo a compreensão e acompanhamento da mudança nos parâmetros da árvore em cada parte dela que está sendo medida.



Figura 10 – Funcionamento da RSSF

Fonte: Autor, 2023

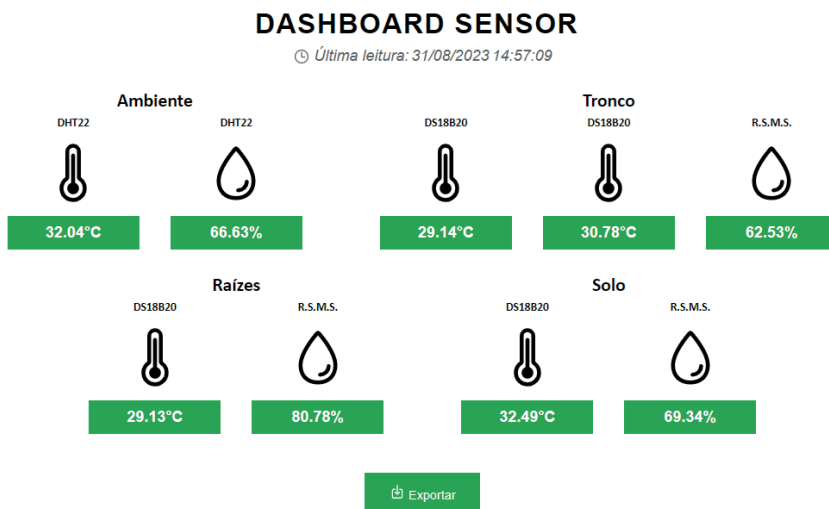


Figura 11 – Resultados na *Dashboard*.

Fonte: Autor, 2023.

As coletas feitas pelo nó sensor durante a aplicação do projeto de monitoramento de uma árvore pode ser vistas nos gráficos da Figura 12, o ESP32 foi programado para coletar temperatura e umidade a cada quatro horas e as medições se estenderam por 48 horas, permitindo melhor compreensão e previsão do que pode acontecer com cada local medido. Os dados coletados nesses horários são necessários para uma análise sobre o comportamento da árvore em questão na avaliação ambiental, pois eles mostram a variação dos valores obtidos pelos sensores de temperatura e umidade ao longo do tempo, fazendo possível uma apresentação mais clara e intuitiva, facilitando a compreensão das informações pelos usuários.

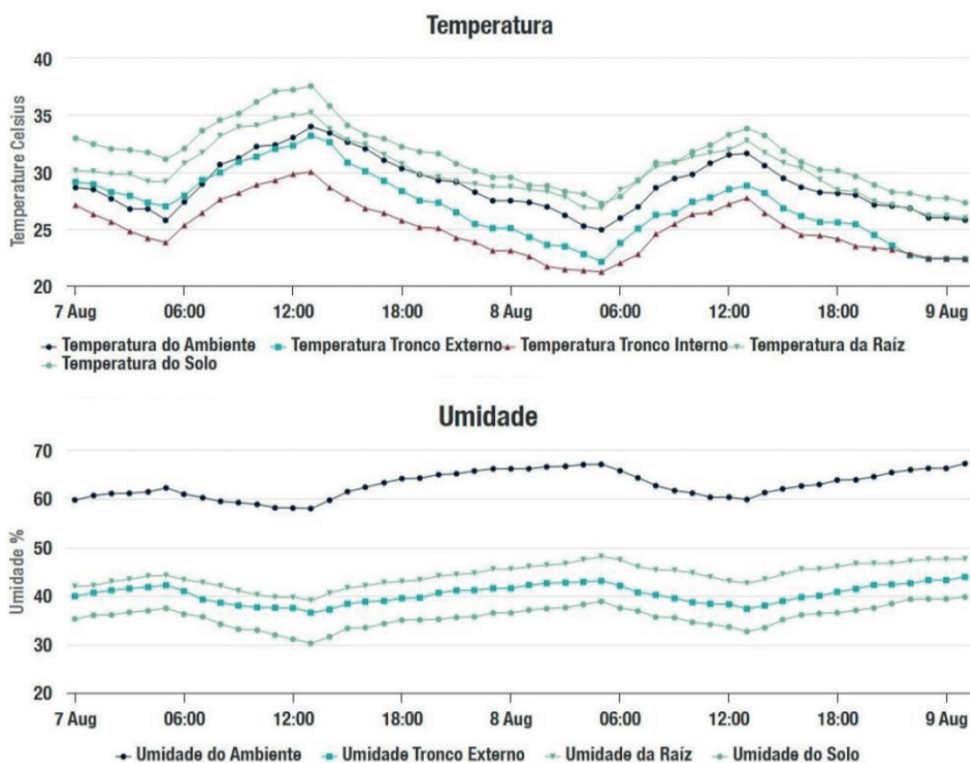


Figura 12 – Temperatura e umidade

Fonte: Autor, 2023.

É possível concluir através das informações fornecidas pelos gráficos, que há uma variação da umidade e temperatura em todos os sensores implantados na árvore, em que os sensores ao mesmo tempo têm um aumento e redução da temperatura e da umidade, devido as variações das condições climáticas no local, no entanto cada parte da árvore mantém uma média de diferença de temperatura e umidade em relação aos demais sensores. O mesmo pode ser percebido com os sensores de umidade de todas as



partes da árvore, as umidades alteram relativamente juntas de acordo com a umidade do ambiente em que elas estão localizadas.

De acordo com os dados informados pelos sensores através do gráfico, conclui-se que os sensores que se localizam nas partes mais externas, ou seja, mais próximas ao ambiente externo, tendem a captar uma maior elevação na temperatura, com uma diferença de temperatura entre os sensores mais internos em relação aos mais externos, como por exemplo o sensor que se encontra na parte mais interna do tronco capturou temperatura mais baixa em relação ao sensor mais externo também implementado no tronco.

Os registros efetuados pelo nó de sensores sem fio durante 2 dias indicam que as temperaturas dos sensores se mantiveram mais baixas nas madrugadas e noites nos horários de 00h até 8h, das 20h até 8h e das 20h até 00h, no qual foi observado uma redução nas temperaturas, estando entre 18°C a 27°C. Em contrapartida, as coletadas efetuadas entre os horários das 8h até 16h foi observada maior elevação de temperatura se mantendo entre 27°C a 34°C.

Os sensores de umidade registraram nos turnos de 00h até 8h, 16h até 8h e de 16h até 00h a umidade dentro da árvore e solo uma maior elevação em seus parâmetros, enquanto a umidade do ar se manteve com uma considerada diferença tanto em elevação quanto em declínio de umidade, estando entre 33% a 53%. Nos horários de 8h até 16h nos houve uma diminuição na umidade relativa tanto do tronco da árvore, como a umidade da raiz e do solo há uma distância de 5 metros da árvore, se mantendo sempre em um intervalo entre 33% a 39%.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi desenvolvido um nó sensor com *Back-end* e *Front-end* próprios, aplicado a ambientes internos e externos com alimentação utilizando energia renovável através de uma placa solar. O protótipo utilizou um microcontrolador ESP32, quatro sensores de temperatura do solo DS18B20, três sensores de umidade do solo resistivo, um módulo de micro cartão SD, um sensor de umidade e temperatura do ar DHT22, baterias para alimentação do nó sensor com energia renovável através de uma placa solar. As coletas das amostras foram realizadas de quatro em quatro horas, e a partir dos resultados pode-se avaliar que o sistema funcionou de forma eficiente independente da Internet, com alimentação por fonte renovável, e *Front-end* e *Back-end* próprios, com a possibilidade de integração com dispositivos móveis, utilizando protocolos comerciais como o *Wi-Fi*.

## AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à o CAPES, CNPq, FAPEMA, UEMA, FAPEAM, UFAM, FAPESQ-PB, IFPB, UFCG e UFMA pelo apoio ao trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALCANTUD, M. B.; ROSA, P. R. Aplicação De Redes De Sensores Sem Fio Na Agricultura De Precisão: Uma Reflexão Teórica. *Colloquium Exactarum*, p. 36-41.

BERNARDI, A. C. C. E. A. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Embrapa, Brasília, 2014.

SILVA, M. A. M. D. Rede de sensores para aplicação em agricultura: um estudo de caso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009.

AMORIM, Luciana S. et al. Sistema para Controle e Monitoramento de Ambientes Utilizando Internet das Coisas.

LINDLEY, Cody. *Front-end Developer Handbook 2019: Learn the entire JavaScript, CSS and HTML development practice*. 1. ed. Frontend Masters, 2019.

RUI, Yong; SHE, Alfred C.; HUANG, Thomas S. Modified Fourier descriptors for shape representation-a practical approach. In: *Proc of First International Workshop on Image Databases and Multi Media Search*. Citeseer, 1996. p. 22-23.

FOROUZAN, B. A. Comunicação de dados e redes de computadores. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

NETTO, G. T. Redes de sensores sem fio: revisão. 2016. Disponível em: [netto.ufpel.edu.br](http://netto.ufpel.edu.br). Acesso em: 07 ago. 2023.

Raghavendra, C. S., Sivalingam, K. M., Znati, T. F. (2010). *Wireless Sensor Networks: Principles and Practice*. CRC Press.

Li, X., Chang, V., Huang, X., & Chen, D. (2017). IoT-Based Big Data: From Smart City towards Next Generation Super City. *Future Generation Computer Systems*, 76, 668-676.

Wang, D., Zhang, Y., Li, D., & Li, X. (2018). Energy-Efficient Data Management for IoT-Based Wireless Sensor Networks. *Future Generation Computer Systems*, 82, 196-204.