

# Desenvolvimento de Dispositivo IoT para Monitoramento de Recursos Hídricos

Lucas A. Noce

*Instituto de Engenharia de Sistemas  
e Tecnologia da Informação*

*Universidade Federal de Itajubá*

Itajubá, MG

lucas.noce@unifei.edu.br

Décio Rennó M. Faria

*Instituto de Engenharia de Sistemas  
e Tecnologia da Informação*

*Universidade Federal de Itajubá*

Itajubá, MG

deciorenno@unifei.edu.br

**Resumo**—O avanço da Internet das Coisas (IoT) tem impulsionado a integração de conectividade em sensores inteligentes, especialmente em dispositivos autônomos projetados para o monitoramento remoto de locais de difícil acesso. Novas tecnologias de comunicação móvel vem sendo desenvolvidas com foco nesses equipamentos, visando o equilíbrio entre consumo e taxa de dados. Dentre essas aplicações, o gerenciamento de recursos hídricos tem ganhado relevância por conta da crescente demanda por soluções de monitoramento ambiental, decorrente da intensificação das emergências climáticas. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo versátil voltado à supervisão remota de recursos hídricos.

**Palavras-chave**—Sensor de nível, Monitoramento remoto, Internet das Coisas.

**Abstract**—Advances in the development of the Internet of Things (IoT) have driven the integration of connectivity into smart sensors, especially in autonomous devices designed for remote monitoring of hard-to-reach locations. New mobile communication technologies have been developed with a focus on these devices, aiming to balance consumption and data rate. Among these applications, water resource management has gained relevance due to the growing demand for environmental monitoring solutions, resulting from the intensification of climate emergencies. In this sense, this paper will develop a versatile device aimed at remote supervision of water resources.

**Keywords**—Level sensor, Remote monitoring, Internet of Things.

## I. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) tem se destacado como uma área importante da tecnologia, permitindo a integração de diversos dispositivos e sensores para coletar e transmitir dados de maneira eficaz [1]. Neste contexto, a capacidade de monitorar e controlar variáveis ambientais de forma remota tem se mostrado cada vez mais valiosa [2].

Esta crescente importância da IoT se reflete na demanda por soluções que ofereçam não apenas conectividade, mas também precisão e confiabilidade na coleta e transmissão de dados [3]. Em locais de difícil acesso, como zonas rurais, ambientes industriais complexos ou áreas geograficamente isoladas, a capacidade de monitorar remotamente variáveis ambientais se torna crucial para a manutenção da segurança, eficiência e sustentabilidade das operações [4]. Até mesmo

as regiões urbanas têm sofrido cada vez mais com os efeitos das emergências climáticas e buscado implementar soluções voltadas ao escoamento urbano que se beneficiam do monitoramento remoto contínuo [5].

Isso porque o monitoramento de recursos hídricos, que consiste na coleta e análise de dados relacionados à qualidade, quantidade e dinâmica da água em diferentes ambientes, é essencial para a gestão sustentável desses recursos [6], permitindo identificar mudanças no nível da água, prever enchentes e avaliar a disponibilidade hídrica. Por conta disso, essas soluções são muito utilizadas em diversas aplicações como no acompanhamento do nível de reservatórios para abastecimento público, detecção de variações em rios para prevenir desastres naturais e controle de sistemas de irrigação em áreas agrícolas [7].

Nesse sentido, a integração desses dispositivos de monitoramento com tecnologias de comunicação sem fio, como GSM (*Global System for Mobile Communications*, tecnologia de 2G amplamente utilizada para transmissão de dados em regiões remotas) e LTE (*Long-Term Evolution*, padrão de comunicação móvel de 4G que combina alta velocidade com maior eficiência energética para IoT) se torna essencial. Quando alinhadas a plataformas de gerenciamento de dados, essas tecnologias desempenham um papel fundamental na organização e interpretação dos dados, garantindo que as informações sejam disponibilizadas de forma oportuna para os responsáveis pela operação [8].

Essas capacidades são especialmente importantes em aplicações como a gestão de recursos hídricos, onde o monitoramento contínuo de parâmetros como temperatura, umidade e nível da água de rios e reservatórios pode contribuir para a prevenção e mitigação de desastres naturais, otimizar o uso dos recursos e garantir o abastecimento adequado [9], [10]. Em processos industriais, a coleta constante de dados de nível de tanques é essencial para manter a qualidade e continuidade da produção e a segurança dos trabalhadores [11].

Nesse sentido, a implementação de sensores distribuídos conectados a uma rede central permite a obtenção de uma visão holística e em tempo real das condições do ambiente, o que é fundamental para a tomada rápida de decisões e destaca a relevância deste trabalho.

Este projeto foi parcialmente viabilizado pela empresa Telit Cinterion, que forneceu o modem LE910R1BR utilizado durante o desenvolvimento.

## II. PROPOSTA

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo IoT capaz de realizar o monitoramento remoto do nível de líquidos em ambientes variados, especialmente em locais onde a coleta manual e consistente de dados é inviável, como áreas de difícil acesso, regiões remotas e instalações industriais. O dispositivo projetado coleta dados e os transmite periodicamente para uma plataforma central, onde podem ser interpretados e utilizados para análises e tomadas de decisão.

O sistema consiste na utilização de um sensor ultrassônico, que é responsável por realizar medições de distância entre o transdutor e a superfície livre, isto é, a região limítrofe entre o ar e o líquido. A partir disso, o nível do líquido pode ser estimado com base no posicionamento e na altura de instalação do transdutor. Por não apresentar nenhum tipo de contato direto entre o sensor e o líquido, este método aumenta a aplicabilidade do dispositivo, já que pode ser utilizado para medição dos mais diversos tipos de líquidos sem sofrer com eventuais degradações oriundas deste contato [12]. O uso do sensor ultrassônico no dispositivo também o torna um equipamento de fácil instalação, bastando que haja visada direta entre o transdutor e o líquido.

Além dessa aplicação, um sensor de temperatura e umidade é utilizado para monitoramento das condições ambientais, que têm um impacto considerável na velocidade do som [13], afetando diretamente os resultados obtidos pelo sensor ultrassônico.

Neste projeto também é usado um modem de comunicação móvel para viabilizar a transmissão dos dados coletados pelo dispositivo. Este modem, por utilizar redes LTE Cat 1 bis e ser compatível com redes 2G, possui uma cobertura abrangente e baixo custo de operação, fato que torna essas tecnologias muito utilizadas em aplicações de IoT [14]. Os dados podem ser transmitidos para uma plataforma central de monitoramento, onde podem ser organizados e visualizados em uma interface acessível para o usuário final.

Um microcontrolador é responsável por processar e armazenar as leituras dos sensores e requisitar a transmissão das informações, garantindo que o dispositivo funcione de maneira autônoma e com baixo consumo de energia, ideal para operações em áreas de difícil acesso.

Assim, este projeto atende a uma necessidade crescente de sistemas IoT robustos e de baixo custo para monitoramento ambiental. Em um contexto de crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão de recursos naturais, essa solução permite a supervisão em tempo real das condições locais, contribuindo diretamente para a segurança e eficiência em setores que dependem de monitoramento contínuo, como o gerenciamento de represas, reservatórios e tanques industriais.

## III. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção, são apresentados os detalhes técnicos e as etapas de projeto do dispositivo IoT proposto. Inicialmente, discutem-se os componentes utilizados em cada sub-circuito, incluindo os sensores, microcontrolador, módulo de

comunicação e circuito de alimentação. Em seguida, aborda-se o processo de integração dos componentes e desenho da PCB (*Printed Circuit Board*). Por fim, é tratado o processo de desenvolvimento do *firmware* inicial, detalhando as principais funções e interações no dispositivo. Essa seção visa oferecer uma visão completa do desenvolvimento e demonstrar como o sistema foi projetado para cumprir os requisitos de monitoramento remoto e transmissão de dados.

As etapas de projeto do esquema elétrico e de desenho da PCB foram desenvolvidas com auxílio do *software* KiCad e a programação do *firmware* inicial foi feita através do *software* STM32CubeIDE. Todos os arquivos relacionados se encontram em um repositório no GitHub [15] e algumas imagens do projeto constam em apêndice.

### A. Principais Componentes Utilizados

1) *Sensor de Distância*: O sensor de distância é um dos principais componentes do projeto, pois é o responsável por realizar as medições necessárias para estimar o nível do líquido monitorado. Como mencionado anteriormente, foi escolhido um sensor de distância ultrassônico pela facilidade de instalação nos mais diversos locais, além da sua capacidade de realizar as medições sem ter contato físico direto com a água. O desenvolvimento deste dispositivo foi pensado de forma a ser compatível com mais de um modelo de sensor ultrassônico, como descrito a seguir.

O modelo escolhido para este projeto foi o módulo AJ-SR04M, que dispõe de todos os componentes e circuitos necessários para utilizar o transdutor ultrassônico acoplado a ele. Este dispositivo possui 4 pinos para sua operação, sendo 2 pinos de alimentação (VCC e GND) e os outros 2 para comunicação com o microcontrolador. Essa configuração de 4 pinos para operação é comum em vários outros sensores de distância (especialmente nos ultrassônicos) e, por isso, o *hardware* deste projeto é compatível com outros modelos de sensores, bastando alguns ajustes na implementação do *firmware*.

Para otimizar o consumo de energia do dispositivo, o módulo AJ-SR04M foi configurado para operar no método de largura de pulso de baixo consumo [16]. Neste modo, os pinos de comunicação são chamados de TRIG (gatilho, do inglês *trigger*) e ECHO (eco, do inglês *echo*) por conta da função desempenhada por cada um. O primeiro (TRIG) é usado pelo microcontrolador para acionar o módulo e requisitar uma medição, enquanto o pino ECHO é usado pelo módulo para indicar o Tempo de Voo (na sigla em inglês, TOF) - ou seja, o período decorrido entre a emissão do trem de pulsos de ultrassom e o retorno do primeiro trem de pulsos refletido.

2) *Sensor de Temperatura e Umidade Relativa*: Os sensores de distância ultrassônicos emitem um trem de pulsos sonoros em frequências inaudíveis pelo ser humano (no caso do AJ-SR04M, 40kHz) e medem com precisão o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção desse sinal [12]. Um ponto negativo deste tipo de sensor é que as medidas realizadas dependem fortemente da velocidade do som no instante da medição e ao longo do trajeto que o trem de pulsos percorre

[17]. Isso se dá pelo fato de que o sinal emitido pelo transdutor ultrassônico é uma onda mecânica e, portanto, a densidade do meio de propagação - neste caso, o ar - tem grande influência na velocidade de propagação da onda [13].

Uma forma de mitigar esse efeito é medir alguns parâmetros climáticos locais próximos a uma medição de distância e calcular a velocidade do som levando em conta os efeitos desses fatores [18], conforme as equações a seguir. A velocidade de propagação do som no ar depende fortemente da temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica, e, como esses parâmetros podem variar significativamente em um curto período, as medições de distância podem apresentar grandes erros caso esses indicadores não sejam utilizados na estimativa da velocidade.

$$c_0(T, P, x_w, x_c) = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + (a_3 + a_4 \cdot T + a_5 \cdot T^2) \cdot x_w + (a_6 + a_7 \cdot T + a_8 \cdot T^2) \cdot P + (a_9 + a_{10} \cdot T + a_{11} \cdot T^2) \cdot x_c + a_{12} \cdot x_w^2 + a_{13} \cdot P^2 + a_{14} \cdot x_c^2 + a_{15} \cdot x_w \cdot x_c \cdot P \quad (1)$$

$$x_w = h \cdot f \cdot \frac{P_{sv}}{P} \quad (2)$$

$$f = 1,00062 + 3,14 \cdot P \cdot 10^{-8} + 5,6 \cdot T^2 \cdot 10^{-7} \quad (3)$$

$$P_{sv} = \exp \left( 1,2811805 \cdot T^2 \cdot 10^{-5} - 1,9509874 \cdot T \cdot 10^{-2} + 34,04926034 - \frac{6,3536311 \cdot 10^{-3}}{T} \right) \quad (4)$$

Por exemplo, ao medir a altura de um objeto podemos obter uma leitura do sensor ultrassônico de 2,9 milissegundos. Se considerarmos a velocidade do som igual a 340m/s (valor médio comumente utilizado), a leitura corresponderá a uma distância de 1 metro (Eq. 6). No entanto, se as condições locais de temperatura e umidade relativa forem de 25°C e 50%, respectivamente, e utilizarmos esses valores para estimar a velocidade do som [18] no local, obteremos cerca de 347m/s para a velocidade e um resultado próximo de 1,02 metros para a distância (Eq. 7). Em situações de monitoramento de rios, lagos ou grandes tanques, essa pequena diferença na distância pode significar uma variação muito grande no volume de água, o que demonstra a necessidade de se utilizar as condições climáticas na estimativa da velocidade do som.

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \implies \Delta S = V \cdot \Delta t \quad (5)$$

$$\Delta S = 340 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \approx 1m \quad (6)$$

$$\Delta S = 347 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \approx 1,02m \quad (7)$$

Por conta disso, este projeto conta com um sensor de temperatura e umidade relativa do ar, permitindo que as medidas de distância sofram menos flutuações. Os dados de pressão atmosférica não são coletados pelo dispositivo por

terem uma menor influência na variação da velocidade do som em relação às outras duas variáveis climáticas citadas [13].

O sensor de temperatura e umidade relativa escolhido para este projeto é o AHT20, que se comunica com o microcontrolador através de um barramento I2C. Este sensor tem uma ampla janela de trabalho, podendo operar em condições de 0 a 100% da umidade relativa (*RH*) e de -40 a 85°C [19]. Além disso, possui ótimos parâmetros de performance, como um erro típico de apenas  $\pm 2\%RH$  para a umidade e de  $\pm 0,3^\circ C$  para a temperatura.

3) *Módulo de Comunicação Móvel*: Para assegurar a conectividade do dispositivo, este projeto utiliza o modem LE910R1BR, fabricado pela Telit Cinterion [20]. Esse módulo é baseado na tecnologia LTE Cat 1 bis, uma variante da LTE Cat 1 desenvolvida pela 3GPP na *Release* 13 e projetada especificamente para aplicações IoT [21]. Além disso, o modem é compatível com redes 2G, possibilitando conectividade em regiões onde a cobertura LTE é limitada ou inexistente.

A tecnologia Cat 1 bis mantém as características de desempenho da Cat 1 original, como taxa de dados, largura de banda e latência, além de operar sobre a mesma infraestrutura de rede. No entanto, sua principal vantagem está na utilização de apenas uma antena para transmissão, o que reduz custos e simplifica o *design* do dispositivo sem comprometer a eficiência da comunicação [14].

4) *Microcontrolador*: Para integrar e controlar todos os componentes do projeto, foi escolhido o microcontrolador STM32F103RBT6, da STMicroelectronics [22]. Esse dispositivo possui uma arquitetura de 32 *bits* baseada no núcleo ARM Cortex-M3, oferecendo um equilíbrio entre desempenho e eficiência energética, ideal para aplicações em IoT que exigem processamento rápido e consumo reduzido. Contando com várias portas digitais (GPIOs) e diversos periféricos integrados, como interfaces para comunicação USB, UART e I2C, o STM32F103RBT6 permite uma comunicação eficiente com todos os componentes escolhidos.

O microcontrolador STM32F103RBT6 conta com recursos de gerenciamento de energia, que possibilitam a operação em diferentes modos de consumo, adequando-se às necessidades do dispositivo conforme o contexto de uso. Essa flexibilidade é essencial para aplicações em locais remotos, onde a disponibilidade de energia pode ser limitada. O STM32F103RBT6 também conta com uma memória *flash* interna de 128KB, que pode ser parcialmente utilizada para armazenar dados históricos das medições, contribuindo para o desempenho do dispositivo.

## B. Projeto do Esquema Elétrico

O esquema elétrico do dispositivo foi elaborado de acordo com as especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes de cada componente. A seguir são apresentados os subcircuitos que compõem o dispositivo e os detalhes do desenvolvimento do projeto. A Fig. 1 ilustra as conexões entre cada subcircuito, sendo as setas em laranja correspondentes às ligações de alimentação e em preto as relacionadas às trilhas de sinal.

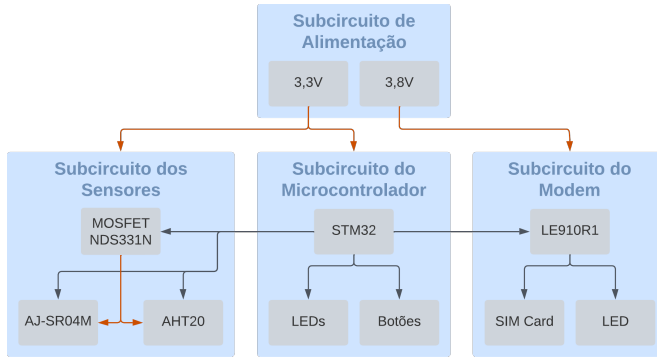


Fig. 1. Diagrama de conexões do circuito

1) *Subcircuito de Alimentação*: O subcircuito de alimentação (Apêndice A) é o responsável por fornecer as tensões e correntes necessárias para a correta operação do dispositivo. Para cumprir com esse objetivo, foi levantado o consumo máximo de cada componente utilizado no projeto, de acordo com os *datasheets*. Dispositivos com consumo abaixo de 1mA foram desconsiderados nesta análise. A tabela I mostra as características de alimentação desses componentes.

TABELA I  
ANÁLISE DE CONSUMO DOS COMPONENTES

Componente	Tensão nominal [V]	Consumo máximo [mA]
LE910R1BR	3,8	550
STM32F103RBT6	3,3	50
LED vermelho	3,3	25
LED azul	3,3	20
AJ-SR04M	3,3	2,5
AHT20	3,3	1

A partir desses dados, é possível perceber que o subcircuito de alimentação deve fornecer duas tensões reguladas: 3,8V e 3,3V. Além disso, deve ser capaz de entregar no mínimo 550 mA de corrente para o circuito de 3,8V e 98,5 mA para o circuito 3,3V (já que o projeto possui 2 LEDs vermelhos e 2 azuis), em condições de consumo máximo em regime permanente. Para alimentar os outros componentes não considerados nesta análise, os transientes de corrente durante a operação do dispositivo e demais perdas do circuito, foi acrescentada uma margem de segurança.

Para este projeto, foram escolhidos dois reguladores de tensão do tipo LDO da Texas Instruments: para o circuito de 3,3V foi selecionado o TLV1117-33 e para 3,8V foi escolhido o TLV1117-ADJ. Ambos são capazes de entregar até 1,2A de corrente (valor típico [23]) e, portanto superam os valores mínimos necessários do dispositivo.

O TLV1117-33 possui uma saída fixa de 3,3V e requer apenas a adição de capacitores na entrada e na saída para filtrar ruídos e assegurar maior estabilidade na tensão e na corrente de saída. Já o TLV1117-ADJ, é um regulador de tensão ajustável e é necessário selecionar corretamente os resistores de ajuste para garantir que a tensão desejada seja regulada na saída. O valor desses resistores foi calculado seguindo as recomendações do *datasheet*, como mostrado a seguir. Para

este componente, os valores padrão de  $V_{REF}$  e  $I_{ADJ}$  são de 1,25V e 80μA, respectivamente [23]. Foi determinado um valor arbitrário de 21kΩ para o resistor R2. Também foram adicionados diodos de proteção aos dois reguladores, como recomendado pelo *datasheet*.

$$V_{OUT} = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + (I_{ADJ} \cdot R2) \quad (8)$$

$$R1 = \frac{V_{REF} \cdot R2}{V_{OUT} - V_{REF} - (I_{ADJ} \cdot R2)} \quad (9)$$

$$R1 = \frac{1,25 \cdot 21k}{3,8 - 1,25 - (80\mu \cdot 21k)} \quad (10)$$

$$\therefore R1 \approx 30k\Omega \quad (11)$$

Além dos reguladores, o subcircuito de alimentação possui uma chave que liga ou desliga a alimentação de todo o circuito e conta com duas formas de alimentação: através de um conector do tipo *barrel jack* e de um conector micro USB. Em cada conexão foi adicionado um diodo *schottky* para proteger a placa contra alimentação com polaridade reversa e também para possibilitar a utilização simultânea dos dois métodos de alimentação. Caso a tensão de entrada de um dos conectores seja maior que a do outro, o diodo da linha de menor tensão será reversamente polarizado, permitindo que apenas a fonte de maior tensão alimente o circuito.

O conector micro USB também está ligado ao microcontrolador para permitir transferência de dados, como envio de mensagens para *debug* de *firmware*, por exemplo. Essa conexão é feita através do circuito integrado TXS0102DCU [24], que fornece proteção contra ESD (*Electrostatic Discharge*) e realiza a tradução entre os níveis de tensão 5V e 3,3V, garantindo a compatibilidade entre o microcontrolador e o dispositivo USB conectado.

O subcircuito de alimentação também possui um LED que indica se a placa está alimentada com 3,3V e duas barras de pinos com os níveis GND e 3,3V, que facilitam a medição das tensões.

2) *Subcircuito do Microcontrolador*: O subcircuito do microcontrolador (Apêndice B) contém os componentes importantes para o funcionamento do microcontrolador e dos outros dispositivos conectados a ele. Primeiramente foram adicionados capacitores de desacoplamento em cada um dos pinos de alimentação do microcontrolador, conforme indicado no *datasheet* [22]. Esses capacitores são responsáveis por filtrar eventuais oscilações de tensão, garantindo maior estabilidade na alimentação do dispositivo.

O pino de alimentação VDDA é responsável pela alimentação de vários periféricos internos do STM32F103RBT6, incluindo os subcircuitos de ADCs, PLL e osciladores RC internos [22]. Por se tratarem de circuitos sensíveis a ruídos, foi incluída mais uma etapa de filtragem nesse pino através da adição de um indutor de 39nH em série.

Foi adicionado o cristal oscilador ao subcircuito do microcontrolador, responsável por fornecer uma fonte de *clock* estável e precisa. Para este projeto, foi escolhido um cristal oscilador de 16MHz, que é o maior valor suportado pelo STM32F103RBT6 de acordo com o *datasheet* [22].

O subcircuito do microcontrolador conta com dois botões para os sinais de *reset* e *boot*, responsáveis por reiniciar o microcontrolador e selecionar o modo de inicialização do dispositivo, respectivamente. Além disso, o circuito possui dois LEDs ligados a duas GPIOs do microcontrolador, 5 GPIOs e barramento SPI externalizados para uso eventual e dois resistores *pull-up* conectados aos dois pinos do barramento I2C necessários para o funcionamento do protocolo, conforme recomendado pelo *datasheet* [22].

Também possui uma barra de 5 pinos conectados ao microcontrolador para permitir a gravação do *firmware* através de uma interface SWD. Este protocolo de gravação utiliza um pino para *clock* (SWCLK) e outro para transferência de dados (SWDIO). Um terceiro pino (SWO) pode ser utilizado opcionalmente para que o microcontrolador envie alguns dados, muito utilizado para *debug*.

3) *Subcircuito dos Sensores*: Este subcircuito possui os dois sensores utilizados no projeto e um transistor responsável por habilitar o fornecimento de energia para os dispositivos (Apêndice C). O transistor utilizado é o AO3401A [25], um MOSFET canal P de intensificação (*enhancement*). Um fator importante deste componente a se destacar é que seu limiar de acionamento da porta (*gate threshold*,  $V_{GS(th)}$ ) é de apenas  $-1V$ , além de possuir uma alta capacidade de corrente no dreno (suporta uma corrente  $I_D$  de até  $-4,2A$ ), que viabiliza sua utilização para chaveamento de potência.

O MOSFET foi conectado de forma que a fonte (*source*) está ligada à alimentação da placa (3,3V), o dreno (*drain*) está ligado aos pinos de alimentação de cada sensor (VDD) e a porta (*gate*) está conectada a uma GPIO do STM32F103RBT6. Dessa forma, o microcontrolador pode habilitar a alimentação dos sensores ao levar a tensão na porta do transistor para 0V ( $V_{GS} = -3,3V$ ) ou desabilitar a alimentação levando a tensão a 3,3V ( $V_{GS} = 0V$ ). Para que o estado do transistor não seja indeterminado em nenhum momento, um resistor de  $20k\Omega$  é conectado como *pull-up* na porta do MOSFET, fazendo com que o transistor seja cortado por padrão.

O sensor de distância AJ-SR04M é ligado à PCB através de uma barra de pinos que conecta os dois pinos responsáveis pela operação do módulo a duas GPIOs do microcontrolador. Os outros dois pinos do sensor, relacionados à alimentação, são conectados ao GND e VDD. Para evitar grandes variações de tensão, dois capacitores de desacoplamento são conectados ao pino VDD do módulo.

Por fim, o sensor de temperatura e umidade relativa AHT20 é conectado ao barramento I2C para comunicação com o microcontrolador e seus pinos de alimentação são conectados ao GND e VDD. Seguindo as recomendações do *datasheet* [19], um resistor de  $330\Omega$  foi ligado em série com o pino VDD, além de dois capacitores de desacoplamento.

4) *Subcircuito do Modem*: Este subcircuito possui diversos componentes para garantir o correto funcionamento do LE910R1BR (Apêndice D). Primeiramente, a alimentação de 3,8V do módulo passa por uma etapa de filtragem recomendado pelo fabricante [20], que consiste em um filtro  $\pi$  para reduzir o ruído de chaveamento produzido durante o funcionamento do modem. Além disso, esse módulo possui alguns periféricos externos que operam a uma tensão de 1,8V, como a interface UART que será utilizada. Por isso, um par de capacitores de desacoplamento é utilizado nos dois pinos de fornecimento dessa tensão (VAUX).

O LE910R1BR pode ser ligado e desligado através de um pulso de tensão no pino  $\overline{ON\_OFF}$ . Seguindo as recomendações do *datasheet*, esse pino é controlado pelo microcontrolador através de um MOSFET canal N. Neste projeto, foi utilizado o MOSFET NDS331N, que também pode ser acionado diretamente por uma GPIO.

Outro pino utilizado é o STAT\_LED, uma GPIO do próprio modem que mostra o estado de operação do dispositivo e que é comumente conectado a um LED para uma indicação facilmente visível. Para que não haja problemas de sobrecorrente no pino do modem, o LED é conectado a outro MOSFET NDS331N.

A UART do modem trabalha a uma tensão de 1,8V que não é diretamente compatível com os 3,3V de operação do STM32F103RBT6. Para torná-los compatíveis, foram projetados dois deslocadores de tensão (*level shifters*) baseados no MOSFET NDS331N, um para cada pino utilizado da UART (RX e TX). Esse transistor foi escolhido por apresentar tempos de chaveamento baixos - o maior deles sendo o tempo de subida ( $t_r$ ) de apenas 50 ns [26] -, o que o torna viável para esta aplicação, uma vez que o *baudrate* (taxa de transmissão) padrão da UART do modem é de 115200 bps, que representa um período de bit corresponde a  $1/115200 \approx 8,7\mu s$ , cerca de 173 vezes maior que o tempo de chaveamento do transistor.

O *level shifter* baseado em MOSFET é um circuito simples, construído por meio da ligação da fonte à menor tensão (LV, *Low Voltage*) e do dreno à maior tensão (HV, *High Voltage*), ambos através de resistores *pull-up* para as tensões correspondentes. A porta do transistor é conectada diretamente a LV, como mostra a Fig. 2. Dessa forma, se o dreno for conectado a uma entrada digital (RX), uma saída digital (TX) conectada à fonte pode saturar o MOSFET ao aplicar 0V, tornando a tensão  $V_{GS}$  igual a LV e levando, portanto, o dreno para 0V. A saída TX pode também aplicar LV na fonte, o que leva  $V_{GS}$  para 0V, cortando o transistor e levando o dreno para HV por conta do resistor *pull-up*. Por outro lado, RX pode ser ligado à fonte e TX ao dreno. Assim, ao aplicar 0V no dreno, a fonte também é levada para 0V, mantendo a saturação do MOSFET já que  $V_{GS} = LV$ . Se o dreno for levado para HV, a tensão na fonte cresce até atingir LV, momento em que  $V_{GS}$  se torna igual a 0, cortando o transistor e mantendo a fonte em LV por conta do resistor *pull-up*.

Para possibilitar as comunicações por redes móveis, é necessário conectar um SIM card ao LE910R1BR, que se comunica através de 3 pinos: um para *clock* (SIMCLK), um para

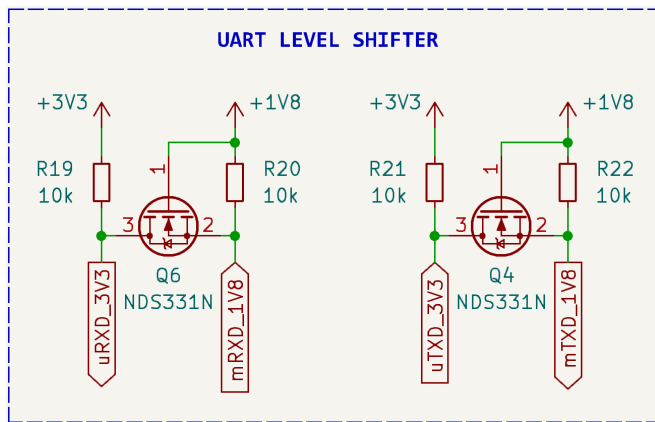


Fig. 2. Circuito *level shifter* da UART

dados (SIMIO) e um para *reset* do cartão. Por recomendação do *datasheet* do modem [20], capacitores de desacoplamento são conectados a esses sinais e, para incrementar a filtragem desses sinais, foram também adicionados resistores de  $22\Omega$  em série nessas linhas. Vale ressaltar que o pino de dados é conectado a um resistor *pull-up* também por recomendação do fabricante. Além disso, foram adicionados dois circuitos integrados USBLC6-2SC6, que implementam uma proteção contra descargas eletrostáticas (ESD) nas linhas por meio de diodos TVS, aumentando a confiabilidade do dispositivo quanto ao manuseio do conector de SIM *card*.

O modem também necessita de uma antena para transmitir e receber dados. Para isso, um conector SMA foi adicionado para facilitar a instalação da antena. Um filtro pi de dois estágios foi incorporado ao projeto sem valores calculados para possibilitar um possível ajuste empírico da impedância da trilha, caso necessário.

Alguns *test points* foram adicionados em pontos estratégicos do modem para que seja possível a verificação desses sinais após a solda do componente, uma vez que o LE910R1BR possui um encapsulamento do tipo LGA, em que os *pads* são voltados para a parte de baixo do módulo.

### C. Layout da PCB

Iniciou-se o desenho da PCB pela distribuição dos componentes em pequenos grupos, de acordo com a função desempenhada. Foi escolhido manter o subcircuito de alimentação na porção superior esquerda da placa, permitindo que eventuais elevações de temperatura dos reguladores tenham um menor impacto nos circuitos do microcontrolador e do modem, posicionados em regiões mais distantes. O circuito de rádio frequência (RF) foi posicionado na extremidade à direita da placa, o mais distante possível de outros sinais de alta frequência, como o cristal oscilador e o barramento SPI. Além disso, circuitos muito sensíveis a ruído, como o cristal oscilador e a antena LTE, foram posicionados o mais próximo possível das suas respectivas conexões visando reduzir o comprimento das trilhas, como mostra a Fig. 3.

A placa foi desenvolvida com 4 camadas, sendo as duas camadas externas utilizadas para roteamento de sinais e plano GND e as duas internas utilizadas somente para distribuição

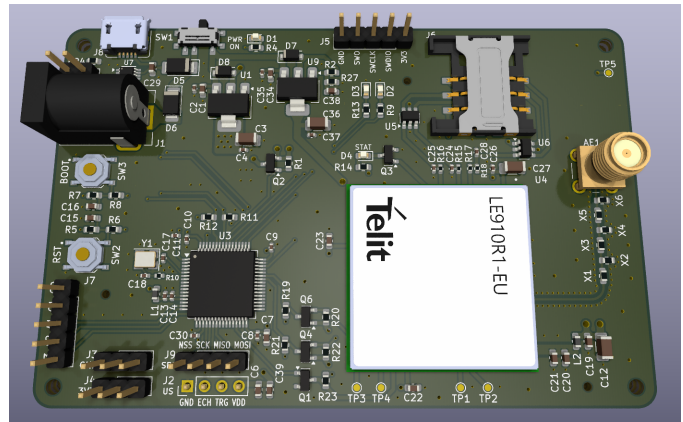


Fig. 3. Vista 3D do layout desenvolvido

de tensão (uma camada de plano GND e outra de plano 3,3V). A camada superior contém a maioria das trilhas de sinal, incluindo o circuito da antena e, por isso, a camada interna de plano GND está situada imediatamente abaixo da superior, contribuindo na blindagem das trilhas aos ruídos de RF.

Para possibilitar uma melhor eficiência na transferência de energia ao longo do circuito de RF, a largura da trilha que conecta a antena LTE ao modem foi calculada para garantir uma impedância de  $50\Omega$ , conforme especificado no *datasheet* do LE910R1BR [20]. Para isso, foi utilizada uma ferramenta disponibilizada pela fabricante da PCB, a JLCPCB [27]. Nessa ferramenta, são adicionadas informações de impedância desejada, tipo de trilha (neste caso, trilha coplanar de extremidade única), posicionamento das camadas do sinal e da referência e distância da trilha RF para o plano de referência coplanar, além do *stack-up* da placa (que indica a ordenação e espessura das camadas e o material dielétrico utilizado entre cada camada de cobre). Com isso, a trilha foi desenhada com a espessura calculada (de  $0,3424mm$ ) e o espaçamento desejado para o plano de referência (de  $0,5080mm$ ).

Os terminais do modem e do conector SMA possuem dimensões muito maiores que a largura da trilha e, por isso, foram adicionados *teardrops* nesses pontos. Um *teardrop* é uma forma geométrica trapezoidal desenhada nos pontos de conexão de uma trilha para evitar que haja um ângulo reto nessa região, o que pode gerar uma mudança muito brusca na impedância da linha. Ao adicionar essas formas trapezoidais, a alteração de impedância se dá de forma gradual, o que reduz as reflexões de sinal.

Grande parte dos componentes - incluindo o modem e o conector da antena - estão na camada superior, não apenas para facilitar a montagem, mas também para garantir que a maioria dos sinais sensíveis e de alta frequência ficassem na mesma camada. O dispositivo foi projetado para ser instalado com esta face voltada para cima, facilitando a visualização dos LEDs indicadores, a montagem da antena e demais conexões.

Além disso, o sensor de temperatura e umidade relativa foi posicionado na camada inferior para que as medições de temperatura sejam menos impactadas pela variação térmica dos outros componentes durante a operação. O posicionamento das conexões do sensor de distância também foi projetado para



que este fique voltado para baixo, facilitando a instalação do sensor e do transdutor, já que, na maioria das aplicações, a placa poderá ser instalada acima da água.

Por fim, todas as barras de pinos, conectores e *test points* foram posicionados nas extremidades da placa para facilitar sua utilização e favorecer o acesso aos demais componentes.

#### D. Firmware Inicial

Foi desenvolvido uma versão inicial de *firmware* [15] que realiza medições de distância corrigidas pela temperatura e umidade relativa aferidas de acordo com as equações (1) a (4) e transmite esses dados para a plataforma Tago. Este *firmware* tem como objetivo validar o funcionamento dos blocos de *hardware* e mostrar o dispositivo em operação. O programa é baseado em uma máquina de estados cíclica (Fig. 4), em que o dispositivo realiza medições, transmite os dados e entra em modo de baixo consumo por um período, até ser acordado por um alarme interno.

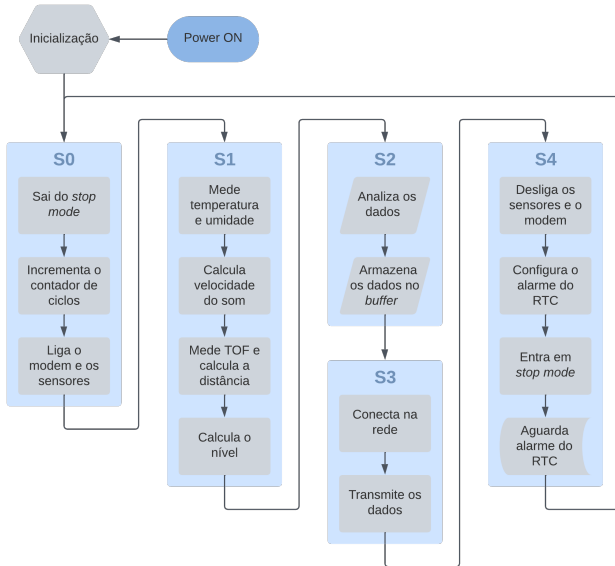


Fig. 4. Fluxograma do *firmware*

## IV. RESULTADOS

#### A. Validação de Hardware

Após a fabricação da placa, iniciou-se o processo de validação do *hardware* pelo subcircuito de alimentação. Após alguns testes, foi constatado que o componente recebido não correspondia ao modelo solicitado.

Visando solucionar o problema, uma nova abordagem foi proposta, que consistiu na substituição do regulador ajustável por um fixo de 3,3V. Para garantir que a tensão de saída continuasse próxima a 3,8V, o pino de referência GND do novo regulador foi conectado em série a um diodo polarizado diretamente (Fig. 5). Dessa forma, a queda de tensão produzida pelo diodo (de aproximadamente 0,5V no caso do 1N4002W) desloca a referência do regulador de 0V para 0,5V, resultando em uma tensão de saída de  $3,3 + 0,5 = 3,8V$ .

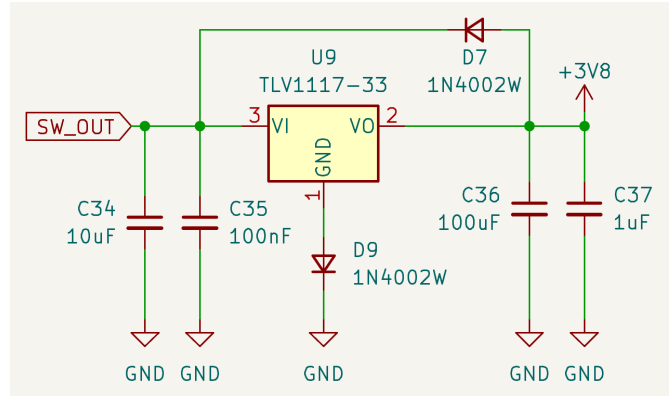


Fig. 5. Nova abordagem para a fonte 3,8V

Essa solução apresentou um bom funcionamento nos testes iniciais sem carga, mas após a conexão do modem, os demais testes voltaram a demonstrar resultados insatisfatórios, o que evidenciou uma falha de projeto relacionada ao circuito de alimentação do LE910R1BR. Após revisitar o *datasheet*, foram notados alguns detalhes nas recomendações de projeto do circuito de alimentação que não foram seguidos durante o desenvolvimento. O primeiro deles é relacionado aos picos de corrente durante a operação do modem, que podem chegar a 2A, em especial durante transmissões 2G (GSM/GPRS).

Em conjunto com isto, as diretrizes de *design* de uma fonte com entrada de 5V e de 12V são substancialmente diferentes. No caso da entrada de 5V, o *datasheet* recomenda a utilização de uma fonte chaveada, mas argumenta que a diferença entre as tensões de entrada e de saída (*drop-out*, neste caso de  $5 - 3,8 = 1,2V$ ) é pequena e que, portanto, um regulador LDO pode ser utilizado desde que soluções térmicas (como dissipadores) sejam levados em consideração. Além disso, o regulador recomendado pelo *datasheet* é um LT1528, que possui corrente de saída máxima de até 3A. Já no caso da entrada de 12V, o documento discute que um regulador LDO não é recomendado e de que uma fonte chaveada deve ser usada. Além do mais, em ambos os casos é recomendado que o capacitor presente na saída seja tolerante a 10V.

A fonte projetada neste trabalho para o modem foi baseada em um regulador LDO com corrente de saída máxima típica de 1,2A, bem abaixo dos 2A de pico mencionados. No projeto inicial, a tensão de entrada do LDO poderia variar entre 5 e 15V, seguindo os limites descritos no *datasheet* do TLV1117-ADJ. Como discutido anteriormente, a utilização de um regulador LDO para *drop-outs* maiores que 1,2V não é recomendada pelo *datasheet* do modem.

Levando estes pontos em consideração, fica evidente que o projeto do circuito de alimentação do LE910R1BR foi subdimensionado e que a solução mais recomendada é a substituição do regulador LDO por uma fonte chaveada, como uma fonte *buck* que pode ser projetada para permitir tensões de entrada compatíveis com as de projeto (5 a 15V) e fornecer a corrente necessária para o funcionamento do modem.

Foi encontrado, ainda, outro erro de projeto relacionado à

implementação dos botões de *boot* e *reset*. De acordo com o *datasheet* do STM32F103RBT6 [22], o microcontrolador possui três formas de ser inicializado dependendo do nível de tensão nos pinos BOOT0 e BOOT1 (PB2), como mostra a tabela II.

TABELA II  
MODOS DE *boot* DO STM32F103RBT6

BOOT0	BOOT1	Inicialização
0	x	Memória <i>flash</i>
1	0	Memória ROM ( <i>bootloader</i> )
1	1	Memória SRAM

Como o método de gravação escolhido para o projeto foi a interface SWD, é necessário iniciar o microcontrolador pela memória *flash*, ou seja, o pino BOOT0 deve estar em nível 0V. No entanto, no projeto inicial esse pino fica com 3,3V por padrão por conta do resistor de *pull-up* R7. Fez-se necessária uma alteração do circuito, que consistiu na substituição deste circuito do botão por um resistor *pull-down* de 10k $\Omega$ . Essa é uma solução simplificada que exclui a funcionalidade de seleção, e em uma eventual versão posterior do dispositivo, sugere-se um circuito como o ilustrado na Fig. 6.

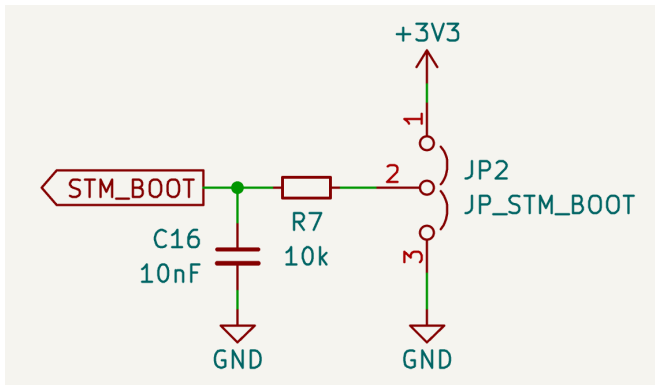


Fig. 6. Circuito sugerido para o pino BOOT0

### B. Firmware de validação

Foi desenvolvido um *firmware* inicial para validação do funcionamento dos componentes. Cada um dos componentes principais (LEDs, sensores e modem) foi testado individualmente antes da integração de todas as funcionalidades em um único código. Para esses testes, foi utilizada a funcionalidade de *debug* do STM32CubeIDE, disponível através da interface SWD. Assim, o programa pode ser executado linha a linha e pausado a qualquer momento, facilitando a depuração de código.

Os primeiros testes realizados tiveram como objetivo o controle dos LEDs conectados ao microcontrolador (Fig. 7). Em seguida, foi validado o funcionamento do sensor de temperatura e umidade relativa AHT20, que se comunica com o microcontrolador através do barramento I2C. Foram necessários alguns ajustes no programa para que a decodificação dos bits

de leitura recebidos fossem interpretados corretamente e, ao final, o *firmware* foi capaz de requisitar medições e traduzir as leituras em valores coerentes de temperatura e umidade. Com isso, o funcionamento do barramento I2C também foi validado.

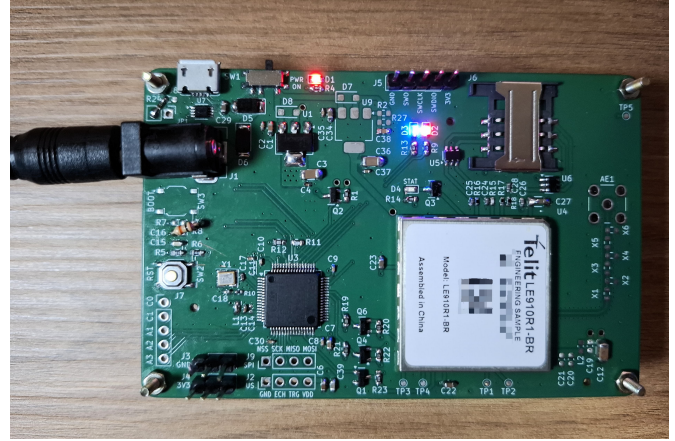


Fig. 7. Dispositivo em funcionamento durante testes de *firmware*

O próximo item testado foi o sensor ultrassônico, visando a obtenção de dados de distância. Após alguns ajustes no programa, foi possível realizar leituras a uma distância controlada, alcançando resultados muito próximos da distância medida com auxílio de uma fita métrica.

Na sequência, foi testada a funcionalidade da máquina de estados com ciclos temporizados de baixo consumo (*stop mode*). O dispositivo foi programado para realizar uma medição (de temperatura e umidade e distância) a cada 30 segundos, desligando os sensores e entrando em *stop mode* durante o tempo ocioso. A operação desse ciclo foi validada através da observação dos LEDs de indicação, que piscam a cada medição.

Por conta dos problemas encontrados no circuito de alimentação do modem, não foi possível realizar os testes previstos de transmissão de dados para a plataforma *online* de monitoramento.

### V. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um dispositivo IoT para monitoramento remoto de recursos hídricos que pode ser aplicado em diversas situações. Os testes realizados demonstraram que o sistema é capaz de coletar dados ambientais com precisão e utilizá-los para aumentar a confiabilidade das medições de distância. A solução proposta contribui para a área de monitoramento ambiental, oferecendo um dispositivo compacto e com baixo consumo de energia, características são essenciais para aplicações em locais remotos onde o acompanhamento contínuo é necessário, mas as condições de acesso e de comunicação são limitadas. Os resultados obtidos reforçam o potencial de sistemas IoT na gestão de recursos naturais, especialmente considerando a crescente demanda por dados ambientais precisos para tomada de decisão em situações de escassez hídrica e eventos climáticos extremos.



O dispositivo apresentou limitações, principalmente relacionadas ao subcircuito de alimentação, que não foi capaz de fornecer a energia necessária para o funcionamento do modem LTE. Também foram encontradas algumas outras complicações, especialmente no processo de validação de *hardware*, que puderam ser solucionadas com pequenos ajustes.

Estudos futuros podem explorar outras topologias para a fonte de alimentação de 3,8V, em especial utilizando fontes chaveadas. Este tipo de fonte apresenta uma melhor eficiência energética em relação aos LDOs e deve ser capaz de fornecer a potência necessária para o modem. Trabalhos posteriores também podem aplicar o circuito sugerido para a seleção do pino BOOT0 para solucionar definitivamente esta limitação.

Dessa forma, este trabalho não apenas ofereceu uma solução para o monitoramento de recursos hídricos à distância, mas também contribuiu para o aprimoramento de dispositivos IoT que visam atender demandas ambientais de vigilância remota.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Décio Rennó, por sua dedicação, paciência e valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação foi essencial para a superação dos desafios enfrentados.

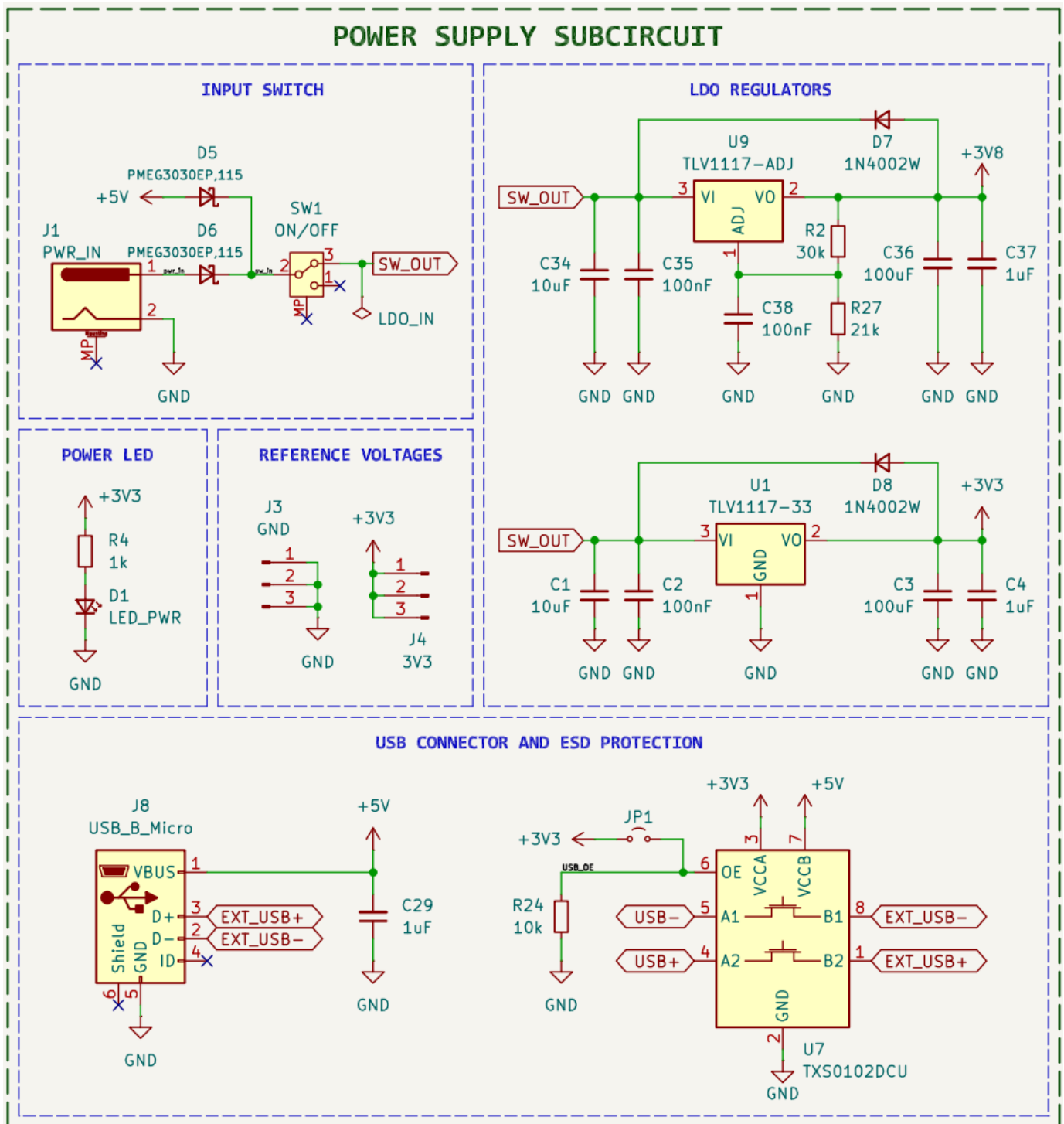
Sou grato à Telit Cinterion por fornecer os recursos usados na realização deste projeto, bem como aos colegas de trabalho pelo auxílio prestado durante o desenvolvimento.

Por fim, agradeço à minha família pelo apoio incondicional, confiança e incentivo, que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Em especial, agradeço à minha namorada, Maria Eduarda, por estar sempre ao meu lado me ajudando a enfrentar os desafios.

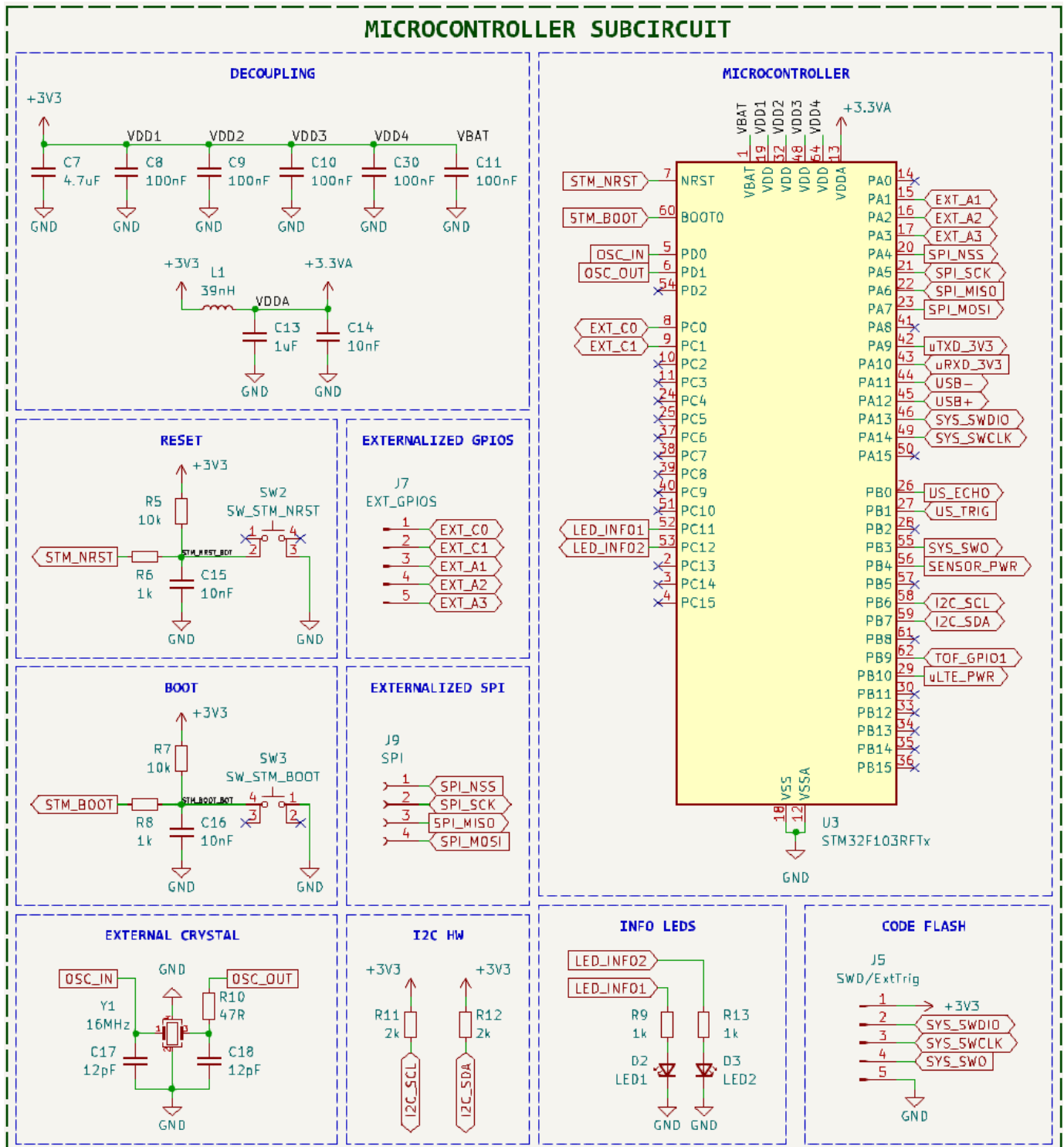
#### REFERÊNCIAS

- [1] MOUHA, Radouan Ait Radouan Ait et al. Internet of things (IoT). **Journal of Data Analysis and Information Processing**, v. 9, n. 02, p. 77, 2021.
- [2] ABRAHAM, Shiny; BEARD, Joshua; MANIJACOB, Renjith. Remote environmental monitoring using Internet of Things (IoT). **2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)**. IEEE, 2017. p. 1-6.
- [3] CARRION, Patrícia et al. Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. **Human Factors in Design**, v. 8, n. 15, p. 049-066, 2019.
- [4] BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes et al. Indústria 4.0 e sustentabilidade: Uma aplicação da internet das coisas (iot) na proteção ambiental. **IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto**, UFSC, 2021.
- [5] BRASIL, José et al. *Nature-based solutions and real-time control: Challenges and Opportunities*. *Water*, v. 13, n. 5, p. 651, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/5/651>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- [6] SANTOS, Gilmar O.; HERNANDEZ, Fernando BT. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 60-68, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100009>. Acesso em: 14 dez. 2024.
- [7] AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. Monitoramento de recursos hídricos e parâmetros de qualidade de água em bacias hidrográficas. *Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações*, v. 2, p. 204, 2018.
- [8] STILLER, Burkhard et al. An overview of network communication technologies for IoT. **Handbook of Internet-of-Things**, v. 12, 2020.
- [9] PERUMAL, Thinnagan; SULAIMAN, Md Nasir; LEONG, Chui Yew. Internet of Things (IoT) enabled water monitoring system. **2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)**. IEEE, 2015. p. 86-87.
- [10] ULLO, Silvia Liberata; SINHA, Ganesh Ram. Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors. **Sensors**, v. 20, n. 11, p. 3113, 2020.
- [11] FREITAS, Arnold de Araujo. A internet das coisas e seus efeitos na indústria 4.0. 2017.
- [12] TEXAS INSTRUMENTS. Ultrasonic Sensing Basics: Application Note. Rev. D, 2019. 15 p. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/slaa907d/slaa907d.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- [13] CRAMER, Owen. The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and CO2 concentration. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 93, ed. 5, p. 2510-2516, Maio 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.405827>. Acesso em: 7 nov. 2024.
- [14] ONOMONDO. LTE Cat 1 bis: An ultimate guide with practical examples. 3 maio 2023. Disponível em: <https://onomondo.com/blog/what-is-lte-cat-1-bis-and-why-is-it-good-for-iot/>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- [15] NOCE, Lucas A. Level Sensing Device. 2024. Disponível em: [https://github.com/lucasnoce/TFG\\_LevelSensingDevice](https://github.com/lucasnoce/TFG_LevelSensingDevice). Acesso em: 11 nov. 2024.
- [16] FABIAN ENTERPRISES. Arduino Distance Measuring Transducer Sensor Model:AJ-SR04M: User Manual. 2023. 4 p. Disponível em: <https://www.fabian.com.mt/viewer/42585/pdf.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2024.
- [17] DA SILVA, Guilherme Melo; DE CARVALHO BUENO, Rafael; BLENINGER, Tobias. Desenvolvimento de um sensor ultrassônico para medição contínua do nível da água de corpos d'água e uma análise da influência da temperatura do ar, 2024. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/239/II-FLUHIROS0088-1-0-20240729-131840.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2024.
- [18] GIACOMO, P. Equation for the Determination of the Density of Moist Air (1981). **Metrologia**, Sèvres, França, v. 18, ed. 1, p. 33-40, 7 jan. 1982. DOI 10.1088/0026-1394/18/1/006. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0026-1394/18/1/006>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- [19] AOSONG. Data Sheet AHT20: Humidity and Temperature Sensor. V1.0. 2021. 16 p. Disponível em: [https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc\\_datasheet\\_2310231158\\_Aosong--Guangzhou-Elec-AHT20\\_C2757850.pdf](https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2310231158_Aosong--Guangzhou-Elec-AHT20_C2757850.pdf). Acesso em: 4 nov. 2024.
- [20] TELIT CINTERION. LE910R1: Hardware Design Guide. Rev 8. 2023. 82 p. Disponível em: <https://www.telit.com/le910r1-download-zone/>. Acesso em: 4 nov. 2024.
- [21] 3rd Generation Partnership Project. 3GPP TS 36.101. v. 13.25.0, 2023. Disponível em: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2411>. Acesso em: 7 nov. 2024.
- [22] STMICROELECTRONICS. Datasheet - STM32F103x8 STM32F103xB: Medium-density performance line Arm®-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, USB, CAN, 7 timers, 2 ADCs, 9 com. interfaces. Rev 19. 2023. 114 p. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103rb.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2024.
- [23] TEXAS INSTRUMENTS. TLV1117 Adjustable and Fixed Low-Dropout Voltage Regulator. Rev M. Dallas, Texas, 2023. 40 p. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv1117.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2024.
- [24] TEXAS INSTRUMENTS. TXS0102 2-Bit Bidirectional Voltage-Level Translator for Open-Drain and Push-Pull Applications. Rev J. Dallas, Texas, 2023. 39 p. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/txs0102.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- [25] Tech Public. AO3401A: P-Channel Enhancement Mode Power MOSFET. 2024. 6 p. Disponível em: [https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc\\_datasheet\\_2208111730\\_TECH-PUBLIC-AO3401A\\_C5122001.pdf](https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2208111730_TECH-PUBLIC-AO3401A_C5122001.pdf). Acesso em: 11 nov. 2024.
- [26] Tech Public. NDS331N: 20V N-Channel Mosfet. 2024. 5 p. Disponível em: [https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc\\_datasheet\\_2304031730\\_TECH-PUBLIC-NDS331N\\_C5123903.pdf](https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2304031730_TECH-PUBLIC-NDS331N_C5123903.pdf). Acesso em: 9 nov. 2024.
- [27] JLCPCB. PCB Impedance Calculator. 2024. Disponível em: <https://jlcpcb.com/pcb-impedance-calculator>. Acesso em: 9 nov. 2024.

APÊNDICE A  
SUBCIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO



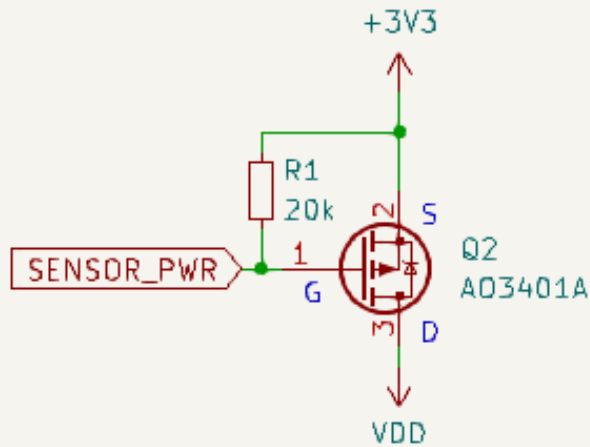
# APÊNDICE B SUBCIRCUITO DO MICROCONTROLADOR



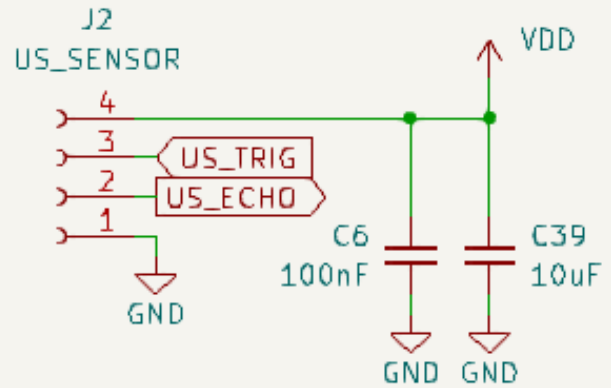
APÊNDICE C  
SUBCIRCUITO DOS SENSORES

## SENSORS SUBCIRCUIT

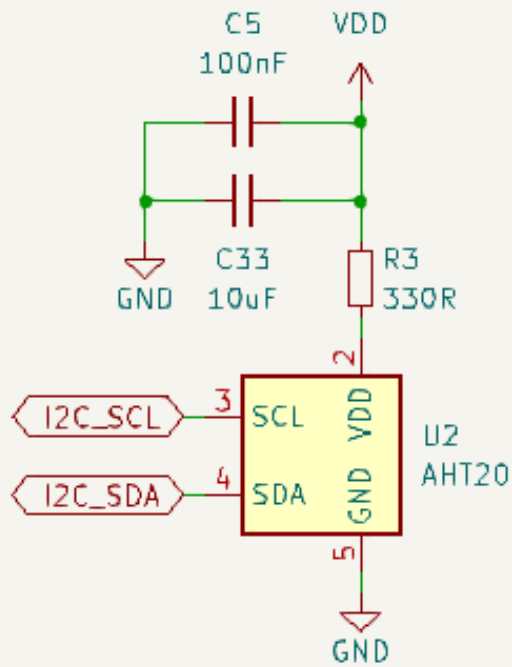
### SENSORS POWER ON/OFF



### ULTRASONIC SENSOR



### AHT20 SENSOR



## APÊNDICE D

### SUBCIRCUITO DO MODEM

