

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO MEDIDOR DE NÍVEL IOT

Lucas A. Noce¹ (IC), Danilo H. Spadoti¹ (PQ)

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: MQTT. NB-IoT. Sensoriamento ultrassônico.

Introdução

No contexto do desenvolvimento urbano, o crescimento das áreas impermeáveis gera desafios relacionados ao gerenciamento de águas pluviais. Estes desafios incluem o aumento do escoamento de água da chuva, picos de vazão e concentração de poluentes, e são exacerbados pelas contínuas mudanças climáticas. De acordo com Brasil et al. (2021), as soluções convencionais para o controle de enchentes se concentraram na ampliação da infraestrutura de sistemas de drenagem, mas isso se mostra custoso e exige constante expansão devido à urbanização em curso.

Por outro lado, as Soluções Baseadas na Natureza (NBS) oferecem uma abordagem mais ecológica e socioeconômica para enfrentar esses desafios. Apesar disso, muitas vezes essas abordagens operam de forma passiva e não se adaptam às condições em busca de otimização. Portanto, a aplicação do Controle em Tempo Real (RTC) é uma estratégia interessante para melhorar a eficiência das NBS.

Um exemplo de NBS é a biorretenção, que utiliza solo e vegetação para promover a infiltração da água da chuva e oferece benefícios como evapotranspiração, remoção de poluentes e aspectos estéticos e sociais. Para aplicar RTC a essas soluções, é fundamental obter dados precisos sobre o nível da água nas áreas de biorretenção.

Segundo Pereira et al. (2021), a cidade de São Paulo tem adotado células de biorretenção como parte de seu esforço para melhorar a qualidade da água da chuva escoada. Isso destaca a importância de dispositivos versáteis de medição de nível que possam ser implementados em diferentes contextos urbanos.

Medir o nível da água de forma precisa e sem contato direto é essencial para o sucesso desses dispositivos. Os sensores ultrassônicos, que emitem ondas sonoras de alta frequência e medem o tempo que leva para a onda retornar, são uma opção confiável, mas sua precisão pode ser afetada por fatores climáticos como temperatura e umidade (DUNN, 2005). No entanto, estes problemas podem ser corrigidos com medições desses fatores climáticos.

A escalabilidade das soluções de biorretenção

automatizadas é essencial, tornando desejável que os dispositivos transmitam dados para uma plataforma centralizada. Além disso, a alimentação por bateria é vantajosa para locais remotos sem acesso à rede elétrica.

Uma solução adequada para a transmissão de dados é a *Narrow-Band Internet of Things* (NB-IoT), que utiliza redes celulares existentes para transmissões confiáveis a longas distâncias com baixo consumo de energia (3GPP, 2020). O protocolo MQTT é comumente usado com o NB-IoT devido à sua simplicidade e adequação para aplicações deste tipo (MQTT ORGANIZATION, 2022).

Portanto, este trabalho visa desenvolver um dispositivo de medição de nível que utiliza sensores ultrassônicos com correção de fatores climáticos. Os dados obtidos serão transmitidos por NB-IoT, usando o protocolo MQTT, para uma plataforma *online* com um *dashboard* de visualização. O dispositivo será alimentado por baterias, proporcionando uma solução eficiente e escalável para medição de nível em áreas de biorretenção e outros contextos urbanos.

Metodologia

Para a realização deste projeto, foi desenvolvido um dispositivo em placa de fenoliteilhada com um microcontrolador ESP32, um módulo de sensoriamento ultrassônico AJ-SR04M, um sensor de temperatura e umidade DHT22, uma placa de desenvolvimento do módulo NB-IoT SIM7020, uma fonte de tensão ajustável e um resistor *shunt*. Os componentes foram instalados na placa por meio de *pin sockets* soldados. A Figura 1 mostra o dispositivo montado na placa e o esquemático do circuito está disposto na Figura 2.

Com auxílio do ambiente Arduino IDE, foi desenvolvido um software em linguagem C++ para o ESP32 (NOCE, 2023). Este programa, inicialmente, realiza as medições da temperatura e umidade com o sensor DHT22, através das funções disponibilizadas pela biblioteca DHT (ADAFRUIT INDUSTRIES, 2015). A partir desses dados, a velocidade do som pode ser calculada de acordo com o método proposto por Cramer (1993) e, em seguida, é feita a medição da distância com o módulo AJ-SR04M, por meio da leitura

da duração do pulso recebido pelo pino ECHO após o envio de um pulso positivo no pino TRIG. Na sequência, os dados obtidos são transmitidos por NB-IoT com o módulo SIM7020 aliado às bibliotecas TinyGSM (SHYMANSKY, 2016) e PubSubClient (O'LEARY, 2015), que realizam a conexão com a plataforma TagoIO (TAGO LLC, 2023) através do protocolo MQTT. Por fim, o ESP32 é colocado em modo *deep sleep* para economizar energia. A Figura 3 mostra o fluxograma do software desenvolvido.



Figura 1 – Dispositivo montado na placa ilhada

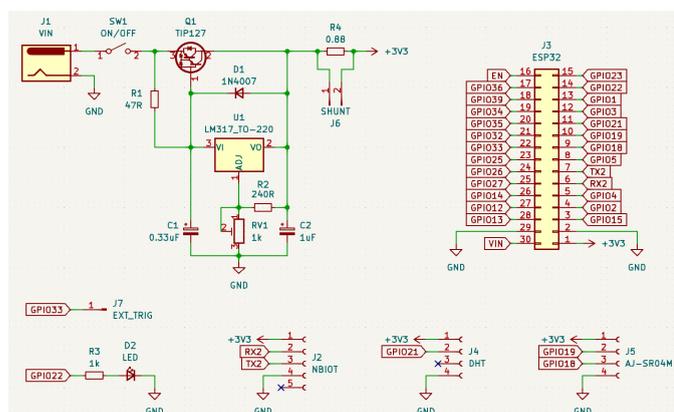


Figura 2 – Esquemático do circuito

Para testar o dispositivo, foram realizados três grupos de experimentos, executados em paralelo ao desenvolvimento do software do componente testado. O primeiro grupo trata da medição de distância com o AJ-SR04M, em que foram feitos quatro ensaios: um ensaio inicial no LabTel-LAIoT e três no LEPCH. Ao contrário dos três últimos, o primeiro ensaio ainda não contava com as correções de temperatura e umidade e consistiu apenas na comparação de medições do sensor com uma trena métrica. Nos ensaios do LEPCH, foram

utilizados tubos de acrílico e PVC preenchidos com água para avaliar a funcionalidade do método no meio aquoso.

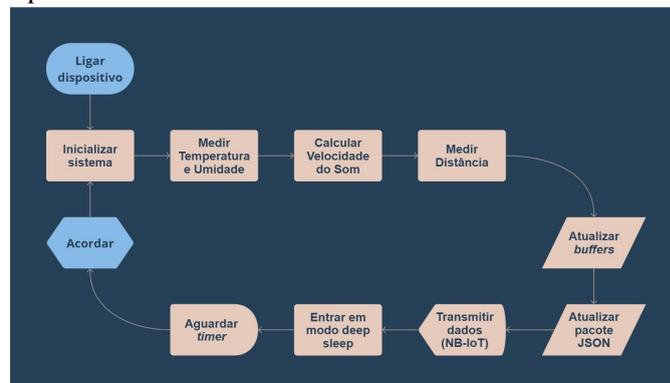


Figura 3 – Fluxograma do software

O segundo grupo de experimentos foi relacionado à transmissão de dados com o módulo SIM7020. Para isso, a plataforma TagoIO foi configurada e utilizada para confirmar o recebimento das informações enviadas.

Por fim, o terceiro grupo tratou da medição do consumo do módulo NB-IoT e, depois, do dispositivo como um todo. Nesses dois ensaios foi usado um resistor *shunt* como forma de medir a corrente elétrica e, conseqüentemente, o consumo de energia de cada caso.

Resultados e discussão

O primeiro ensaio realizado no LabTel-LAIoT comprovou o funcionamento do módulo AJ-SR04M, apresentando medições similares às da trena métrica, porém indicaram que seriam necessárias as correções dos fatores climáticos.

Os ensaios seguintes, executados no LEPCH, já implementaram essas correções e mostraram que o sensoriamento ultrassônico não possui uma boa performance quando se utiliza um guia de ondas de diâmetro próximo ao do transdutor ou com irregularidades nas paredes internas. No primeiro ensaio, em que foi usado o tubo de acrílico formado por dois tubos conectados (Figuras 4 e 5), o sensor deixou de medir corretamente a distância a partir da metade do comprimento do tubo, onde havia a junção das partes.

Em seguida, ao anexar o tubo de PVC 50 mm o sensor também perdeu coerência a partir de uma distância de 130 cm (Figura 6), apesar de este guia ser liso internamente. No entanto, no terceiro ensaio, em que foi usado o tubo de PVC 150 mm, o sensor apresentou resultados concordantes durante todo o ensaio até a última medição realizada a 270 cm de distância, como mostra a Figura 7.

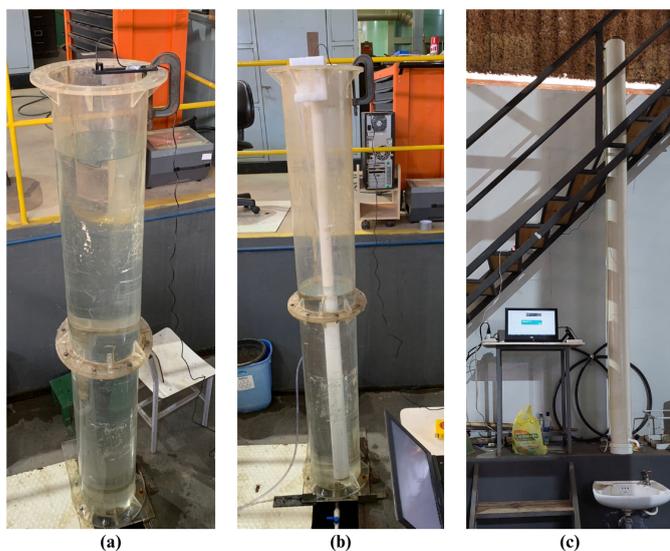


Figura 4 – Estrutura usada nos experimentos do LEPCH

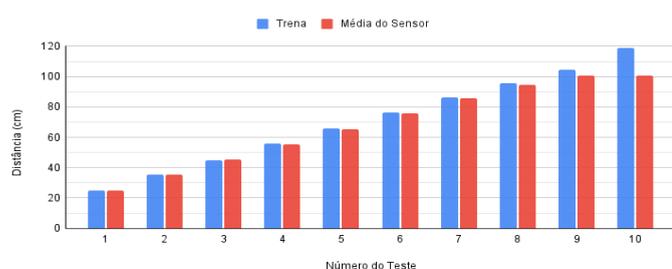


Figura 5 – Gráfico dos testes com o tubo de acrílico

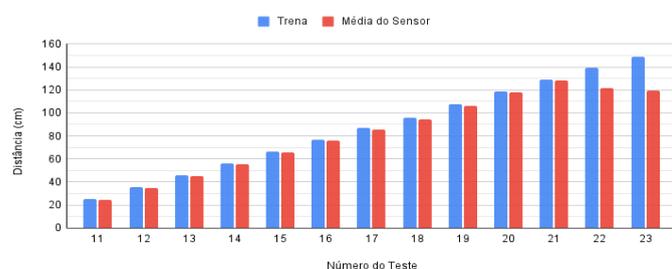


Figura 6 – Gráfico dos testes com o tubo de PVC 50mm

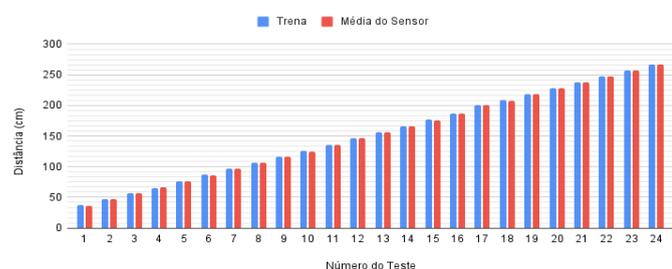


Figura 7 – Gráfico dos testes com o tubo de PVC 150mm

O grupo de experimentos seguinte analisou o comportamento das transmissões NB-IoT. O dispositivo foi programado para realizar medições de distância com correção e enviar os dados para a plataforma TagoIO a

cada minuto. As informações foram visualizadas em tempo real no *dashboard* criado (Figura 8), confirmando o funcionamento do aparelho.



Figura 8 – Dashboard da plataforma com os dados recebidos

O último grupo de experimentos foi voltado para a determinação do consumo de energia do dispositivo, através da medição da queda de tensão sobre o resistor *shunt* e posterior cálculo da potência e energia dissipadas. O primeiro experimento analisou o consumo apenas do módulo NB-IoT durante transmissões. Foram realizados 100 testes, divididos em cinco grupos de 20, em que cada grupo transmitiu um tamanho e/ou uma quantidade diferente de pacotes de dados. Para cada teste foi calculada a potência instantânea e o consumo total e, ao final, foi feita a média dos consumos de cada grupo. A Figura 9 mostra o consumo médio de energia para cada grupo de testes. É possível notar que o consumo aumenta com o maior tamanho e número de pacotes, porém o consumo por *byte* transmitido diminui conforme mais *bytes* são enviados. Isso indica que, para uma melhor eficiência energética, é interessante realizar o menor número de acionamentos possível do módulo.

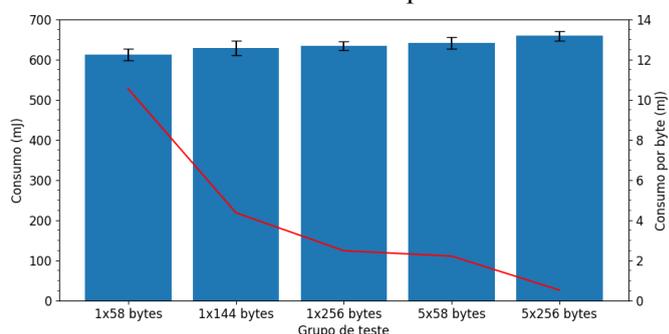


Figura 9 – Consumo médio do módulo NB-IoT

Por fim, o último experimento foi similar ao anterior, mas analisando o dispositivo como um todo - exceto pela fonte de tensão. Foram realizados 10 testes no total, em que o dispositivo apresentou um consumo médio de 1190 mJ. A Figura 10 mostra o comportamento da potência instantânea observado em um dos testes. É

possível notar que o período de atividade, em que o dispositivo faz as medições e transmissões, apresentou consumo entre 190 e 270 mW, com picos durante a transmissão chegando a cerca de 320 mW. Durante quase todo o teste há vários picos a cada 2,5 segundos - referentes ao ciclo DRX do SIM7020 (SIMCOM WIRELESS SOLUTIONS, 2019).

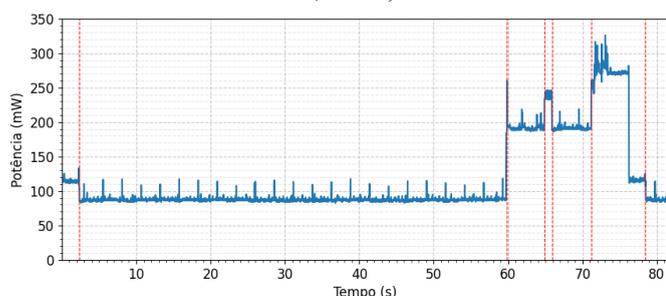


Figura 10 – Potência instantânea do dispositivo

Conclusões

Os experimentos realizados mostraram que este dispositivo de medição de nível com transmissão de dados por NB-IoT e compensação de temperatura e umidade representa uma solução confiável, precisa e eficiente em termos de energia, possibilitando um avanço na gestão de recursos hídricos e monitoramento ambiental. A integração da tecnologia NB-IoT garante uma grande cobertura e uma transmissão de dados contínua, tornando-o adequado para uma ampla gama de aplicações, incluindo NBS, agricultura e monitoramento de enchentes.

Trabalhos futuros podem ser feitos para otimizar o consumo de energia do dispositivo visando uma vida útil prolongada da bateria. Além disso, recomenda-se pesquisas e implementações em cenários do mundo real para perceber plenamente o potencial deste dispositivo.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Telecomunicações e Internet das Coisas (LabTel-LAIoT) da Universidade Federal de Itajubá e todos seus integrantes, que contribuíram imensamente para a realização deste trabalho. Aos técnicos do Laboratório Eletromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas (LEPCH), que possibilitaram os experimentos realizados.

Ao professor Danilo Henrique Spadoti por seu maravilhoso trabalho como orientador do projeto de pesquisa e à professora Marina Batalini de Macedo por toda contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo respaldo financeiro responsável pela viabilização deste trabalho.

Referências

- 3GPP. **3GPP TS 36.300**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2430>. Acesso em: 15 set. 2023.
- ADAFRUIT INDUSTRIES. **DHT-sensor-library**. v1.4.5. [S. l.], 31 mar. 2015. Disponível em: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>. Acesso em: 16 set. 2023.
- BRASIL, J.; MACEDO, M.; LAGO, C.; OLIVEIRA, T.; JÚNIOR, M.; OLIVEIRA, T.; MENDIONDO, E. Nature-Based Solutions and Real-Time Control: Challenges and Opportunities. **Water**, [s. l.], v. 13, n. 651, ed. 5, 28 fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w13050651>. Acesso em: 14 set. 2023.
- 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**, [s. l.], v. 93, ed. 5, p. 2510-2516, Maio 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.405827>. Acesso em: 14 set. 2023.
- DUNN, William C. Level. In: DUNN, William C. **Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control**. Norwood, MA, EUA: Artech House, 2005. cap. 8, p. 115-128. ISBN 1-58053-011-7.
- MQTT ORGANIZATION. **MQTT: The Standard for IoT Messaging**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://mqtt.org>. Acesso em: 11 set. 2023.
- NOCE, Lucas A. **IC-level-sensor**. [S. l.], 6 ago. 2023. Disponível em: <https://github.com/lucasnoce/IC-level-sensor>. Acesso em: 16 set. 2023.
- O'LEARY, Nick. **PubSubClient**. v2.8. [S. l.], 28 ago. 2015. Disponível em: <https://github.com/knolleary/pubsubclient>. Acesso em: 16 set. 2023.
- PEREIRA, M. C. S.; GOBATTI, L.; SOARES, M. C.; LEITE, B. C. C.; MARTINS, J. R. S. Soluções baseadas na natureza: quadro da ocupação da cidade de São Paulo por células de biorretenção. **Revista LABVERDE**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 95-120, 14 dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189292>. Acesso em: 14 set. 2023.
- SHYMANSKYI, Volodymyr. **TinyGSM**. v0.11.7. [S. l.], 1 dez. 2016. Disponível em: <https://github.com/vshymanskyi/TinyGSM>. Acesso em: 16 set. 2023.
- SIMCOM WIRELESS SOLUTIONS. **SIM7020 Series Low Power Mode Application Note**. [S. l.: s. n.], 10 mai. 2019. Disponível em: https://simcom.ee/documents/SIM7020/SIM7020%20Series_Low%20Power%20Mode_Application%20Note_V1.03.pdf. Acesso em: 16 set. 2023.
- TAGO LLC. **TagoIO**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://tago.io>. Acesso em: 16 set. 2023.