

O USO DE REDES LORA PARA SENSORIAMENTO INDUSTRIAL REMOTO

Paula Gonçalves Navarro¹
Ernesto Luis Malta Rodrigues²

RESUMO

A automação industrial busca otimizar uma linha de produção através de sistemas automáticos de controle de processos. Para tanto, compõe-se de três partes: sensoriamento, sistema de controle e atuadores. Através do sensoriamento, o sistema de controle é capaz de verificar se o processo sendo automatizado está se comportando da forma desejada. Caso não esteja, aciona determinados atuadores com o intuito de manter o processo dentro dos parâmetros desejados ou alertar alguma não conformidade. A Indústria 4.0 ampliou a automação industrial incluindo tecnologias da Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things*, IoT) e Computação em Nuvem. Ambas requerem que o sensoriamento seja remoto. Os desafios de comunicação enfrentados pela implementação de sensoriamento remoto na indústria são: baixo consumo de energia, baixa sensibilidade à ruído, longo alcance e baixo custo. As tecnologias atuais, como o Zigbee e o Bluetooth, não se aplicam, pois tem um curto alcance. As tecnologias celulares (2G, 3G ou 4G) tem longo alcance, mas não apresentam baixo consumo de energia. Devido a isto, tecnologias de redes de baixo consumo de energia e grande alcance (do inglês, *Low-Power Wide-Area Network*, LPWAN) foram desenvolvidas, sendo as mais atuantes: Wize, Sigfox, LoRa, MIoTy e Weightless. Destas, a LoRa tem se destacado pelo fato de utilizar uma faixa de frequência livre de licença. No caso do Brasil, a Anatel permite o uso da faixa de 915 MHz. Para este projeto, pretende-se controlar remotamente a temperatura de um forno elétrico. O controle, neste caso, é simples, pois o foco deste trabalho

¹ Aluna do 5º período do curso de Engenharia Mecânica da FAE Centro Universitário. Bolsista do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2021/2022). *E-mail*: paula.navarro@mail.fae.edu

² Orientador da Pesquisa. Doutor em Engenharia Industrial Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Professor da FAE Centro Universitário. *E-mail*: ernesto.rodrigues@fae.edu

está em apresentar uma forma prática de sensoriamento remoto utilizando LoRa. A solução apresentada não está limitada ao tipo de sensoriamento.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Rede LoRa. Internet das Coisas

INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 é baseada no emprego de tecnologias voltadas para automação e comunicação entre as diversas máquinas que compõem uma planta industrial, permitindo que os dados coletados possam ser analisados e que permitam tomadas de decisão que visem a eficiência da manufatura como um todo.

Neste sentido, as principais características da Indústria 4.0 são (MISRA; ROY; MUKHERJEE, 2021, p. 29):

- Dispositivos heterogêneos tais como sensores, atuadores e máquinas conectados entre si através de uma estrutura de rede, notadamente sem fio;
- Sistemas de informação que captam os dados brutos obtidos pelos sensores, tratando-os e disponibilizando-os para os sistemas de automação;
- Sistemas de automação interconectados capazes de tomar decisões sem a interferência humana, geralmente em tarefas prejudiciais a seres humanos;
- Sistemas de controle comandados por humanos que apresentam os dados coletados, permitindo a interferência humana se necessária.

Para permitir a intercomunicação entre dispositivos (item a), a Indústria 4.0 inclui a Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things*, IoT) denominando-a de *Industrial Internet of Things* com o intuito de permitir o sensoriamento remoto de equipamentos em linha de produção para o seu controle e acompanhamento (CONWAY, 2016, p. 2).

Os desafios de comunicação enfrentados pela implementação de sensoriamento remoto em ambiente industrial são: a necessidade de baixo consumo de energia, baixa sensibilidade à ruído, longo alcance e baixo custo. Desta forma, o uso WiFi é descartado devido ao seu alto consumo. Apesar do seu baixo consumo, o uso do Bluetooth não é viável, pois apresenta curto alcance. As tecnologias celulares atuais (3G ou 4G) tem longo alcance, mas necessitam de infraestrutura de custo elevado (uso de operadoras e torres). Devido a isto, tecnologias de redes de baixo consumo de energia e grande alcance (do inglês, *Low-Power Wide-Area Network*, LPWAN) foram desenvolvidas, sendo as mais comuns: Wize, Sigfox, LoRa, MLoTy e Weightless (ZHAO, 2020, p. 39-55). Destas, a LoRa tem se destacado pelo fato de utilizar uma faixa de frequência livre de licença, permitir uma boa imunidade à ruídos, baixo consumo e ser capaz de chegar a mais de 1 km. No Brasil, a frequência de 915 MHz é permitida sem restrições.

Considerando estes aspectos, o objetivo geral desta pesquisa foi projetar e construir um sistema de sensoriamento remoto de temperatura utilizando a rede LoRa.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 SENSORES

São elementos amplamente utilizados em automação que visam mensurar grandezas físicas, tais como temperatura e pressão, a fim de atender uma necessidade (MORAES; CASTRUCCI, 2010, p. 47).

Como o objetivo desta pesquisa se refere ao sensoriamento de temperatura, uma pesquisa foi feita sobre os sensores mais comuns, apresentados a seguir.

1.1.1 Termistor

É um componente cuja resistência varia com a temperatura em uma ampla faixa, geralmente de -40°C a mais de 200°C . Existem dois tipos: o de coeficiente positivo de temperatura (PTC) e o de coeficiente negativo de temperatura (NTC), sendo este último mais comum. O maior problema dele é sua não linearidade.

1.1.2 Termopar

Um termopar é constituído de dois metais distintos unidos em uma das extremidades. Quando há uma diferença de temperatura entre a extremidade unida e as extremidades livres, verifica-se o surgimento de uma tensão entre seus terminais. Apresentam uma ampla faixa de temperatura, indo além de 1.000°C .

O maior problema dele é que são lentos e exigem calibração precisa, além de se deteriorarem com o tempo.

1.1.3 Sensores Eletrônicos

São componentes eletrônicos que permitem a medição de temperatura através de uso de semicondutores, geralmente utilizando invólucros semelhantes a um transistor (TO-92). Os mais comuns são o LM35, TMP36 e o DS18B20.

O LM35 tem como característica gerar uma tensão de saída linearmente proporcional a temperatura, sendo 10 mV para cada grau Celsius. Sua faixa típica de utilização é de 2°C a 150°C . Alterações em sua polarização permitem que esta faixa de temperatura seja ampliada para -55°C a 150°C . Sua tensão de operação vai de 4 V a

30 V com consumo de apenas 60 μ A, tornando adequado para aplicações a bateria. O seu problema reside na sensibilidade que ele tem a interferências eletromagnéticas, comuns em ambiente industrial.

O TMP36 é semelhante ao LM35, porém suporta uma faixa de tensões mais limitada, de 2,7 V a 5,5 V, com consumo de apenas 50 μ A. O seu problema reside também na sensibilidade que ele tem a interferências eletromagnéticas, comuns em ambiente industrial.

O DS18B20 difere dos anteriores pelo fato de ser um sensor digital e não analógico. Isto traz a vantagem de imunidade a ruído e a possibilidade de conectar mais de um DS18B20 no mesmo barramento de leitura. Isto se deve ao fato dele utilizar um barramento *1-Wire* que utiliza apenas uma linha de dados para a comunicação. Sua faixa de utilização vai de -55°C a + 125°C operando com tensão de 3 V a 5,5 V com um consumo típico de 1 mA.

No caso desta pesquisa, escolheu-se o DS18B20 por apresentar um comportamento de medição melhor que o termistor e o LM35/TMP36 em um ensaio controlado feito por Martinazzo e Orlando (2016). A versão utilizada é apresentada na FIG. 1.

FIGURA 1 – Sensor DS18B20 utilizado no protótipo



FONTE: Os Autores (2022)

1.2 COMUNICAÇÃO SEM FIO

Os protocolos de comunicação sem fio mais conhecidos são o WiFi, Bluetooth e GSM Celular. Embora sejam protocolos muito utilizados, seu uso em ambientes industriais é reduzido, pelos motivos apresentados a seguir.

1.2.1 Wi-Fi

O Wi-Fi permite um grande fluxo de dados e múltiplas conexões simultâneas. Porém, enfrenta problemas de interferência devido ao fato de utilizar uma faixa universal de frequência, notadamente 2,4 GHz. Além disso, apresenta curto alcance e alto consumo de energia se comparado a outros protocolos de rede sem fio.

1.2.2 Bluetooth

O protocolo Bluetooth é mais imune a interferências se comparado ao Wi-Fi, devido ao fato de utilizar uma técnica que varia a sua frequência de tempos em tempos, evitando conflitos. Porém, da mesma forma que o Wi-Fi, apresenta baixo alcance.

1.2.3 Rede Celular

As redes 3G e 4G permitem longas distâncias, porém exigem uma infraestrutura de comunicação preexistente (operadoras) que cobram pelo seu uso. Além disso, apresentam um consumo elevado se a localização das torres de celular for distante.

1.2.4 LoRa

O protocolo LoRa é uma forma de modulação desenvolvida pela *Semtech* (2019). A sigla significa *Long Range*, ou seja, foi desenvolvida para redes de longa distância com viés de baixo consumo de energia e baixa taxa de transmissão de dados. Sua modulação é bem imune a ruídos e apresenta baixo custo. Apresenta vantagens em aplicações em que não há necessidade de alta taxa de transmissão de dados, notadamente em monitoramento industrial remoto.

1.3 MICROCONTROLADORES

Microcontroladores são computadores do tipo *System-on-a-chip* (SoC) que apresentam um ou mais núcleos de processador, memória e periféricos de entrada e saída em um único substrato de silício (*chip*). São desenvolvidos para aplicações embarcadas em oposição aos microprocessadores utilizados em computadores pessoais.

Eles são amplamente utilizados em automação tanto residencial quanto industrial e são caracterizados pelo seu baixo consumo de energia.

Dentre os microcontroladores mais comuns, pode-se citar o Arduino e o ESP32 da Espressif.

1.3.1 Arduino

O Arduino foi criado em 2005 em Ivrea, Itália, com o intuito de interagir em projetos escolares de forma a ter um orçamento menor que outros sistemas de prototipagem disponíveis naquela época. É uma plataforma *open-source* de computação baseada em uma placa simples com um microcontrolador e um ambiente de desenvolvimento para escrever programas para a placa.

A placa do Arduino consiste num microcontrolador da Atmel AVR de 8 bits, com componentes complementares para facilitar a programação e incorporação de outros circuitos. Um aspecto interessante é como os conectores são expostos, permitindo a interligação de outros módulos de expansão, conhecidos como *shields*. Isto permite prover suporte a Bluetooth, por exemplo.

O Arduino mais conhecido é o Arduino Uno (FIG. 2) que tem como características principais:

- Processador ATmega 328P de 8 bits;
- Clock de 16 MHz;
- Memória de 32 kB;
- 14 pinos digitais de Entrada/Saída;
- 6 pinos de leitura analógica (10 bits);
- Tensão de trabalho de 5 V.

FIGURA 2 – Arduino Uno

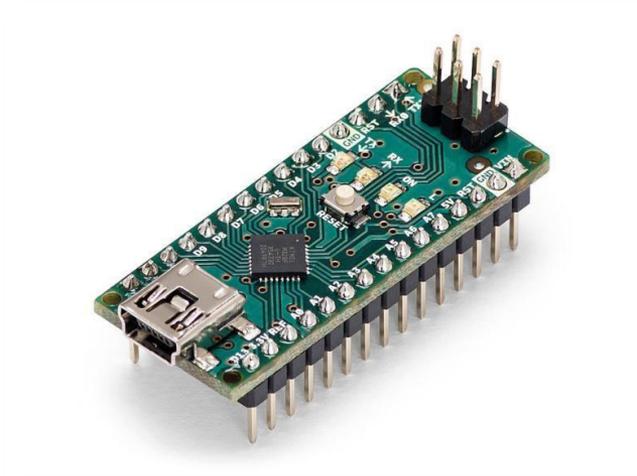


FONTE: Os Autores (2022)

Para o uso em aplicações voltadas para IoT, utiliza-se o Arduino Nano 33 IoT (FIG. 3) que tem como características:

- Processador SAMD21 Cortex®-M0+ 32bit low power ARM MC;
- Clock de 48 MHz;
- Memória de 32 kB;
- 14 pinos digitais de Entrada/Saída;
- 8 pinos de leitura analógica (8/10/12 bits);
- Suporte a WiFi 802.11 b/g/n;
- Suporte a Bluetooth 4.2 (BR/EDR e BLE);
- Tensão de trabalho de 3,3 V.

FIGURA 3 – Arduino Nano 33 IoT



FONTE: Os Autores (2022)

1.3.2 ESP32

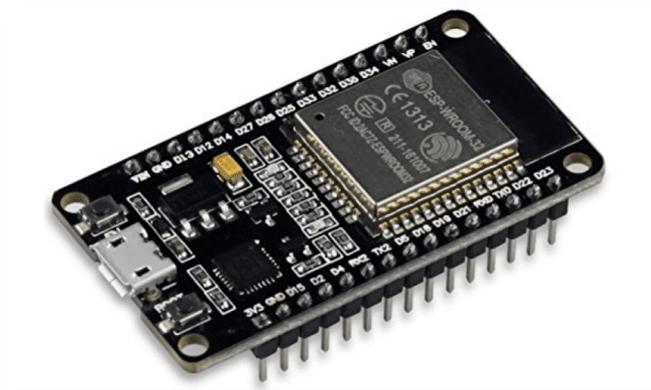
ESP32 é uma série de microcontroladores de baixo custo com baixo consumo de energia tendo suporte nativo a WiFi e Bluetooth. Foi criado e desenvolvido pela Espressif Sistemas, uma empresa Chinesa com sede em Xangai e é fabricado pela TSMC.

Como características principais, a sua versão mais comum, a ESP32 *DevKit* (FIG. 4) apresenta:

- Processador Xtensa 32 bits LX6 Dual Core;
- Clock de 80 MHz a 240 MHz, ajustável;
- Memória total de 520 kB;
- 36 pinos digitais de Entrada/Saída;

- 16 pinos de leitura analógica (12 bits);
- Suporte a WiFi 802.11 b/g/n;
- Suporte a Bluetooth 4.2 (BR/EDR e BLE);
- Tensão de trabalho de 3,3 V.

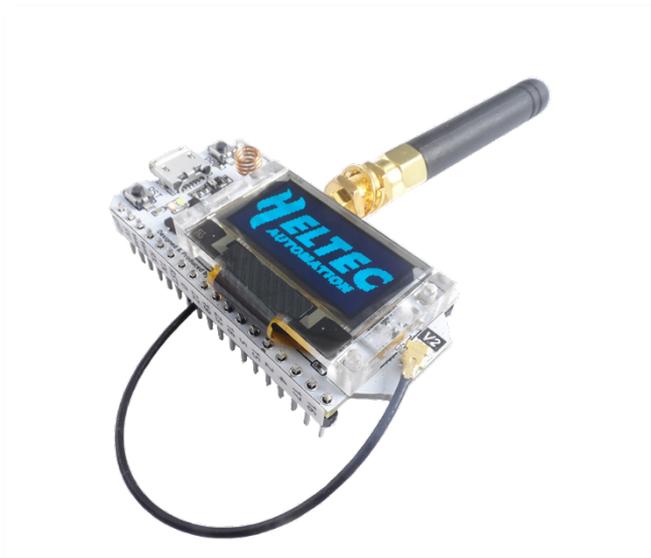
FIGURA 4 – ESP32 DevKit



FONTE: Os Autores (2022)

Para ter o suporte nativo a rede LoRa, optou-se pela aquisição do kit da Heltec, o WiFi LoRa 32 (FIG. 5) para este projeto.

FIGURA 5 – Heltec Wifi LoRa 32



FONTE: Os Autores (2022)

Este kit tem como principais características além das apresentadas para o ESP32:

- Utiliza o ESP32 com um chip LoRa SX1276;
- Interface para uso de bateria de lítio SH1.25-2 com sistema de carga na própria placa;
- WiFi, Bluetooth e LoRa disponíveis na própria placa;
- Antena própria para comunicação LoRa;
- *Display* OLED integrado.

Além de suporte a LoRa, este kit permite a utilização do seu *display* OLED para informar os dados transmitidos/recebidos pelo módulo.

2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

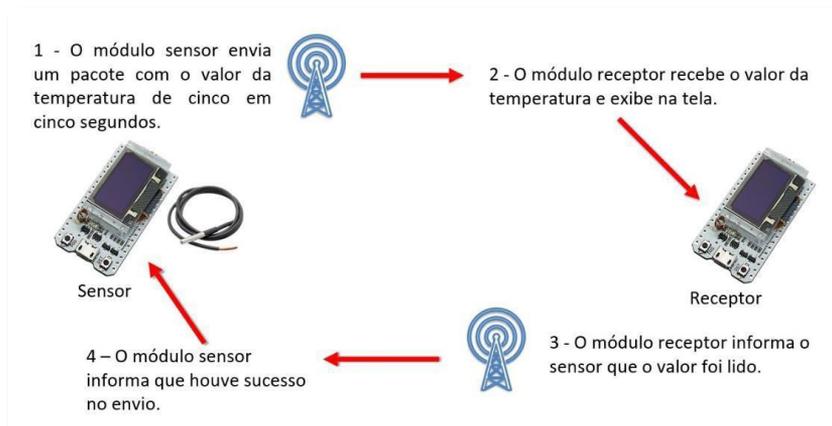
Para o desenvolvimento do protótipo, utilizou-se um sensor de temperatura DS18B20 juntamente com dois kits Heltec WiFi LoRa 32, um atuando como módulo sensor (responsável por ler a temperatura informada pelo DS18B20) e o outro como módulo receptor que recebe e exibe a temperatura lida. A comunicação entre eles é feita através do envio/recepção de um pacote de dados contendo a sua identificação e o valor da temperatura. A identificação é necessária para que não haja interferência de eventuais outros transmissores LoRa que estejam ao alcance, levando a leituras incoerentes.

O funcionamento ocorre em quatro etapas de forma ininterrupta:

1. O módulo sensor faz a leitura do DS18B20 e envia o valor lido para o módulo receptor. Depois disto, fica no aguardo da confirmação do módulo receptor. Esta leitura é feita de cinco em cinco segundos, configurável.
2. O módulo receptor fica em estado de aguardo até receber um pacote de dados do módulo sensor. Ao receber, exibe o valor lido na sua tela.
3. O módulo receptor envia para o módulo sensor a confirmação de que recebeu o pacote de dados enviado.
4. O módulo sensor exibe na sua tela a confirmação que o pacote de dados foi recebido pelo módulo receptor.

Na FIG. 6, há um diagrama que ilustra o seu funcionamento.

FIGURA 6 – Funcionamento

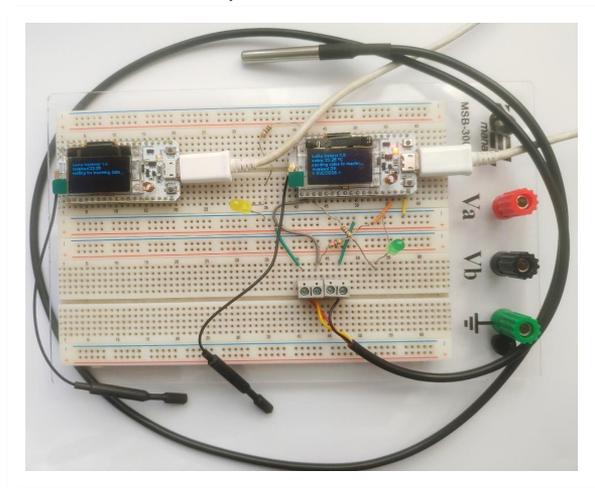


FONTE: Os Autores (2022)

Caso o módulo sensor não receba a confirmação do recebimento do pacote de dados até a próxima leitura, o LED amarelo pisca juntamente com um texto que será exibido informando a falha.

O protótipo foi montado em uma protoboard, conforme a FIG. 7.

FIGURA 7 – Protótipo utilizado



FONTE: Os Autores (2022)

Na FIG. 7, o kit à esquerda é quem recebe os dados do kit a direita que é quem captura os dados do sensor e envia para o kit da esquerda.

Na parte responsável pelo sensor, tem-se dois LEDs, um verde e um amarelo. O LED verde fica aceso quando é feita uma leitura da temperatura e conseqüente envio do valor para o outro kit (receptor). Caso a comunicação apresente falha, o LED amarelo pisca cinco vezes, indicando que não houve comunicação.

de 24,19°C e o sucesso no envio dada a confirmação pelo módulo receptor. No lado direito, a tela do módulo receptor indicando o recebimento do valor da temperatura.

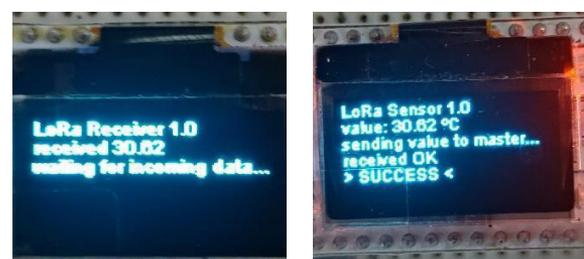
FIGURA 10 – Primeira leitura e recepção



FONTE: Os Autores (2022)

Em seguida, ligou-se o aquecedor de aquário e acompanhou-se a elevação da temperatura, sendo feita uma nova leitura, conforme FIG. 11. A temperatura elevou-se para um pouco mais de 30°C neste caso.

FIGURA 11 – Leitura após o início do aquecimento



FONTE: Os Autores (2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro da automação industrial, o sensoriamento remoto tem um papel importante no controle do processo de manufatura. É através dele que se mantém o processo dentro dos parâmetros desejados para a sua máxima eficiência. O objetivo deste projeto foi o de desenvolver um protótipo de sensoriamento remoto de temperatura utilizando a rede LoRa. O protótipo foi construído utilizando-se de dois kits da *Heltec* que utilizam o microcontrolador ESP32 juntamente com o sensor de temperatura digital DS18B20. O protótipo foi capaz de medir a temperatura de um copo com água e acompanhar a sua elevação feita através de um aquecedor de aquário. O módulo receptor se comunicou com sucesso com o módulo sensor apenas pela rede sem fio baseada em LoRa. O próximo passo deste projeto será o controle remoto de mais de um sensor de temperatura com a construção de um módulo central que monitora os sensores envolvidos enviando seus dados para um computador remoto.

REFERÊNCIAS

CONWAY, J. The industrial internet of things: An Evolution to a Smart Manufacturing Enterprise. **Schneider Electric**, Rueil-Malmaison, p. 1-15, Dec. 2016. Disponível em: <https://www.mhi.org/media/members/15373/131111777451441650.pdf> Acesso em: 1º maio. 2021.

ISLAM, R. et al. LoRa and server-based home automation using the internet of things (IoT). **Journal of King Saud University, Computer and Information Science**, Riyadh, v. 34, n. 6, Part B, p. 3703-3712, June 2022.

KANAGACHIDAMBARESAN, G. R. et al. (Ed.). **Internet of Things for Industry 4.0: Design, Challenges and Solutions**. Cham: EAI/Springer Innovations in Communication and Computing; Springer, 2020.

MARTINAZZO, C. A.; ORLANDO, T. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com Arduino. **Perspectiva**, Erechim, v. 40, n. 151, p. 93-104, set. 2016.

MISRA, S.; ROY, C.; MUKHERJEE, A. **Introduction to Industrial Internet of Things and Industry 4.0**. Boca Raton: CRC, 2020.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

ZHAO, Q. Presents the Technology, Protocols, and New Innovations in Industrial Internet of Things (IIoT) In: KANAGACHIDAMBARESAN, G. R. et al. (Ed.). **Internet of Things for Industry 4.0: Design, Challenges and Solutions**. Cham: EAI/Springer Innovations in Communication and Computing; Springer, 2020. p. 39-56.