

Avaliação de LoRa para controlar um braço robótico de forma remota em uma cidade típica da Amazônia

Paulo de Oliveira, Alex da Silva, Kayro Costa, Leslye Eras, Diego da Silva

Resumo— Este trabalho avalia o alcance da tecnologia LoRa para controlar de forma remota um braço robótico na cidade de Marabá, que se caracteriza pela presença de árvores com uma altura média de 12 m e construções suburbanas. O braço é um protótipo construído com peças de MDF, capaz de realizar seis movimentos. Os testes mostraram que, sem linha de visada, o braço pode ser controlado remotamente a distâncias de até 500 m. Isto mostra que a tecnologia LoRa mesmo com uma largura de banda estreita é uma alternativa para controle a longas distâncias.

Palavras-Chave— LoRa, braço robótico, controle remoto.

Abstract— This work evaluates LoRa technology to remotely control a robotic arm in Marabá City, which has trees up to 12 m high and suburban buildings. The arm is a prototype built with MDF pieces, capable of performing six movements. The measurement campaign shows that without a line of sight, the arm was remotely controlled at distances of up to 500m. These results exhibit that LoRa technology, even with a narrow bandwidth, is an alternative to control over long distances.

Keywords— LoRa, robotic arm, remote control.

I. INTRODUÇÃO

O interesse pela Indústria 4.0 é cada vez maior, pois segundo [1], ela pode ser descrita como a integração de partes físicas do processo de manufatura e peças cibernéticas via redes. As áreas de interesse dentro da Indústria 4.0, consideradas neste artigo, são a robótica e a internet das coisas.

Na literatura podem ser encontrados trabalhos em que braços robóticos são utilizados em diferentes processos de fabricação, como cottage [2], montagem de peças mecânicas [3], triagem de objetos coloridos [4], entre outros, pois as principais vantagens são a precisão, velocidade e facilitar o trabalho. Além disso, os braços robóticos, sendo parte integrante dos robôs, permitem a possibilidade de acesso a locais com elevada periculosidade [5].

Por outro lado, uma das tecnologias mais desenvolvidas para a internet das coisas é o LoRa (Long Range-Longo alcance em português) [6]. Para comunicação sem fio, esta tecnologia tem um baixo consumo de energia e alcança longas distâncias. Algumas aplicações dela são: monitoramento da temperatura da vacina Covid-19 [7], detecção de incêndios florestais [8], aplicações agrícolas [9], entre outras.

Existem poucos trabalhos utilizando LoRa e robótica. Em [10], um controlador portátil para um braço robótico é projetado e testado em um ambiente interno. Um algoritmo para controlar os movimentos de um grupo de robôs móveis é desenvolvido em [11], os robôs trabalham em tempo real

usando a tecnologia LoRa, permitindo usar menos energia e prolongar o tempo de uso de um robô. Um algoritmo de rastreamento interno é apresentado em [12], em que os robôs não podem usar a visão por questões de privacidade, como em casas de repouso, hospitais e armazéns.

Neste trabalho, avalia-se o desempenho de um braço robótico controlado por Joystick, utilizando LoRa para a comunicação sem fio, entre o controlador e o braço, em ambiente externo. A cidade onde o estudo foi desenvolvido é Marabá, localizada na Região Amazônica do Brasil e caracterizada pela presença de árvores de 12 m de altura em média e construções suburbanas. Foi realizada uma campanha de medição, para medir o RSSI (Received signal strength indicator- Indicador de força do sinal recebido) de LoRa no qual o braço realizava todos os movimentos sem alterações. O mínimo RSSI foi de -130 dBm. Valores menores desse RSSI não garantiram todos os movimentos do braço robótico. Assim, a distância máxima de controle remoto foi 500 m, passando por zonas arborizadas e casas.

Esta metodologia foi escolhida porque nesta região existem grandes cultivos de soja, possui o terceiro maior rebanho do Brasil e tem extração de mineiro. Todas essas aplicações ocorrem em zonas rurais com pouca ou nenhuma cobertura de sistemas de comunicação tradicionais como Wifi ou telefonia móvel. O teste na cidade, com construções e árvores, permitiu concluir que pode haver aplicações de controle remoto, tanto na zona urbana como rural.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção II descreve a metodologia, a Seção III apresenta os resultados e a Seção IV conclui este artigo.

II. TECNOLOGIA LORA

Uma das tecnologias que faz parte das redes de área ampla e de baixa potência (LPWAN), é LoRa que por sus siglas em inglês significa Longo alcance. A camada física de LoRa foi patenteada pela Semtech em 2014. LoRa usa a modulação Chirp spread Spectrum (CSS-Espalhamento de espectro por chirp) com integração de Forward Error Correction (FEC-correção direta de erros)[13].

No Brasil a tecnologia LoRa está regulamentada pela Resolução N°680/2017 (Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita), as principais faixas para esta tecnologia são de 902-907,5 MHz e 915-928 MHz.[15]

A tecnologia LoRa permite configurar seis fatores de espalhamento (SF) diferentes de SF7-SF12. Quanto menor o SF mais dados podem ser transmitidos, mas o alcance é menor, assim por exemplo, o valor de sensibilidade mínima para SF7 é de -127 dBm e para SF 12 é de - 137 dBm, para uma largura de banda de 125 KHz . O Alcance teórico do LoRa para zonas

Alex Silva, Unifesspa, Marabá-Pa, e-mail: alex.wendel@unifesspa.edu.br, Kayro Costa, Unifesspa, Marabá-Pa, e-mail: kayrosantos@unifesspa.edu.br, Paulo Oliveira, Unifesspa, Marabá-Pa, e-mail: henry@unifesspa.edu.br, Leslye Eras, FEC, Unifesspa, Marabá-Pa, e-mail: lecastro@unifesspa.edu.br, Diego da Silva, FEC, Unifesspa, Marabá-Pa, e-mail: diegokasuo@unifesspa.edu.br.

urbanas é de 2 a 5 km [15]. Neste artigo será testado o alcance e sensibilidade do SF 7 na cidade de Marabá.

III. METODOLOGIA

A. Construção e configuração do braço robótico

Para a construção do protótipo foram usados os seguintes materiais:

- 4x 180° servo motor;
- 1x braço robótico para Arduino com peças de MDF;
- 2x placas protoboard;
- 2x LoRa Dragino Shield Modules (915 MHz);
- Cabos;
- 1x Joysticks do controlador de videogame bluetooth.

A Figura 1 mostra o local dos três servomotores responsáveis pelos movimentos do ombro, o cotovelo e a garra. A Figura 2 mostra o servo da base que permite o braço girar.

O sistema de comunicação para o controle remoto do braço é mostrado na Figura 3. Para a transmissão foram conectados um LoRa Shield usando cabo usb ao computador e um joystick conectado também ao computador, mas usando bluetooth. Na recepção, um LoRa Shield foi conectado ao braço robótico usando cabos também chamados de jumpers.

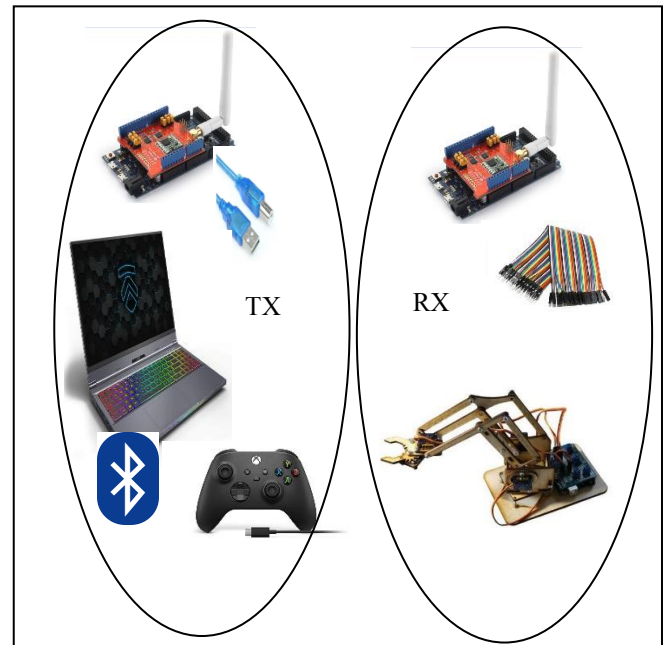


Figura 3. Sistema de controle remoto do braço robótico usando LoRa

Descrito o hardware usado para transmissão e recepção, agora será descrita a configuração de software. Assim para enviar os pacotes com as informações dos comandos do joystick ao transmissor LoRa foi desenvolvido um script em *pygame*, cuja interface é mostrada na Fig. 4. De acordo com o comando capturado, é montado um pacote de 3 bytes, sendo o primeiro byte o cabeçalho, o segundo byte informando o id do servo motor e o terceiro byte informando se o ângulo do servo deve ser aumentado ou diminuído. Este pacote é então encaminhado através da porta serial para o Arduino acoplado ao transmissor LoRa, que por sua vez transmite este pacote para o receptor LoRa acoplado ao braço robótico. As relações entre os servos e seus respectivos ids e os comandos de cada operação podem ser vistos na Tabela I e Tabela II, respectivamente. A base pode ser movida para a esquerda e para a direita. O ombro pode ser movido para frente e para trás. O cotovelo pode ser movido para cima e para baixo e a garra pode abrir e fechar.

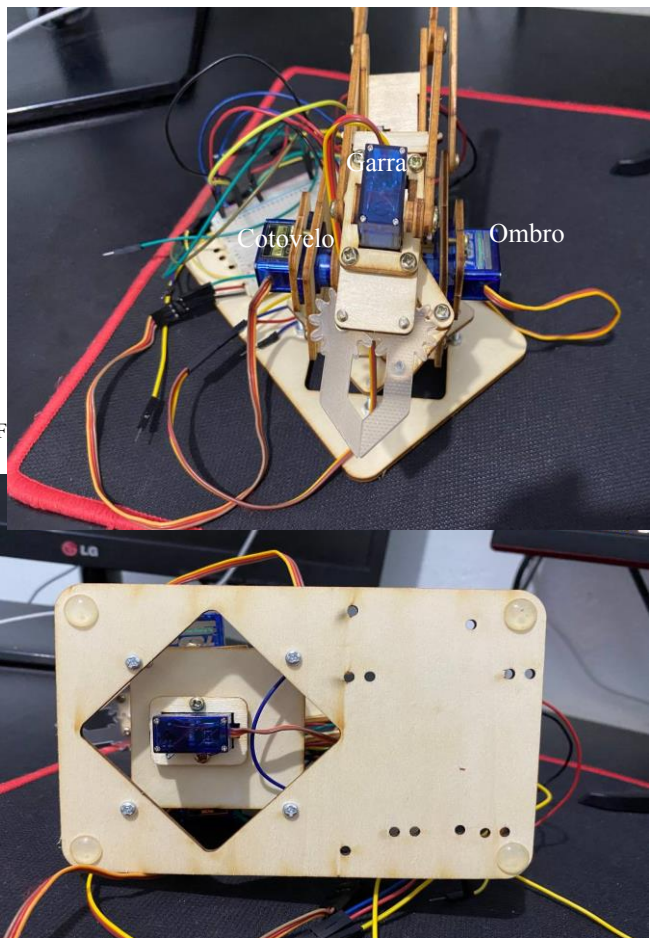


Figura 2. Servo motor da base.



Figura 4. Interface gráfica do aplicativo para receber os comandos do Joystick

TABELA I. IDS DOS SERVOMOTORES

Servo motor	ID
Base	0x00
Braço	0x01
Cotovelo	0x02
Garra	0x03

TABELA II. RELAÇÃO ENTRE COMANDO E MOVIMENTO

Movimento	Command
Acrescentar ângulo	0x01
Diminuir ângulo	0x00

B. Configuração dos LoRa Shield dragino

Para a transmissão, como ilustrado na Fig. 3, o LoRa Dragino shield foi configurado para receber os comandos do joystick e enviar os comandos para o outro LoRa Dragino Shield que está na recepção. Estes comandos controlam os servos motores, que são responsáveis pelo movimento do braço robótico. Adicionalmente, a métrica RSSI foi configurada para conhecer a atenuação causada pelos diferentes obstáculos entre transmissor e receptor e avaliar a sensibilidade máxima na qual o braço consegue fazer os seis movimentos. As bibliotecas utilizadas foram: *RadioHead* e *RH_RF95*. A configuração dos parâmetros do LoRa está detalhada na Tabela III, onde foi usado o fator de espalhamento sete, porque é o que tem a maior largura de banda da tecnologia LoRa.

Sempre que o transmissor LoRa envia um comando para o receptor, o mesmo mede o RSSI dessa transmissão e o exibe no console. As medidas do RSSI serão descritas na próxima seção.

TABELA III. CONFIGURAÇÃO DOS LORA SHIELD

Parâmetros LoRa	
Frequência	915 MHz
Factor de espalhamento (SF)	7
Potência de transmissão	10 dBm
Largura de Banda (BW)	125 KHz
Taxa de codificação (CR)	5(4/5)
Altura do transmissor	1,2 m
Altura do receptor	1,2 m

IV. CAMPANHA DE MEDIÇÃO

Antes da campanha de medição, foram testados os seis movimentos do braço, como mostrado na Figura 5. Deste modo, em 01 o braço está descendo, em 02 gira para direita, no número 03 gira para esquerda, no número 04 abre a garra e sobe e no número 05 fecha a garra e vá para frente. É importante informar que a garra abre e fecha em qualquer posição. Na imagem, em 06, o braço vá para atrás. Portanto, a campanha de medição foi realizada para testar a distância máxima na qual o braço robótico pode ser controlado para fazer os seis movimentos.

Na campanha de medição, o RSSI (indicação de intensidade do sinal recebido) foi usado como métrica. A rota para testar o braço robótico foi na cidade de Marabá, conforme mostrado na Fig. 6. O braço robótico estava localizado dentro de uma casa representada pelo ponto vermelho e o transmissor representado pelos pontos azuis, localizado em cinco distâncias diferente, atingindo até 500 m. Como o transmissor

estava em ambiente externo, diversos obstáculos foram encontrados, tais como: casas de até 10 m de altura, árvores com média de 12 m de altura e carros que atenuam o valor do RSSI.

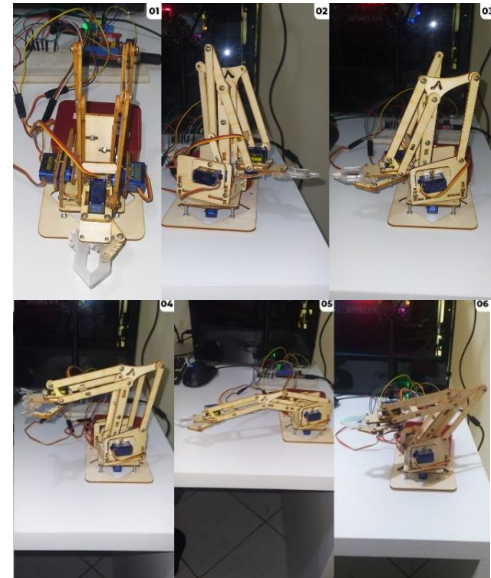


Figura 5. Movimentos do braço robótico

Os valores de RSSI foram medidos em pontos fixos com o receptor LoRa e transmissor, ambos com 1,2 m de altura, durante 1 minuto em cada ponto e, em seguida, foi feita uma média dos valores medidos.

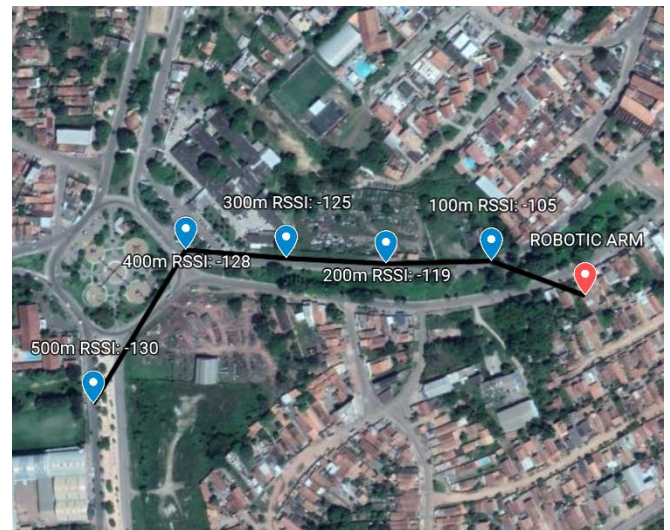


Figura 6. Transmissor (pontos azuis) receptor (ponto vermelho) localizados na cidade de Marabá.

V. RESULTADOS

Primeiramente, na Tabela IV são mostrados os ângulos máximos e mínimos que podem ser alcançados pelo braço robótico. Esses resultados foram obtidos em ambiente *indoor* e foram alcançados quando o transmissor foi localizado em diferentes posições na cidade de Marabá, conforme mostra a Figura 6. No entanto, o limite superior do cotovelo é reajustado dinamicamente para ser sempre menor ou igual a 170 graus

subtraídos da posição do ombro, enquanto a posição do ombro é maior que 85 graus, pois o ombro gira contra o cotovelo.

TABELA IV. ÂNGULOS MÁXIMOS E MÍNIMO DOS SERVOMOTORES

<i>Posição do servo motor</i>	<i>Ângulo mínimo (graus)</i>	<i>Ângulo máximo (graus)</i>
Base	10	170
Ombro	10	120
Cotovelo	10	85
Garra	155	176

Da campanha de medição, os valores de RSSI e a distância estão representados na Figura 7. Para uma distância de 100 m entre o transmissor e o braço robótico (receptor), o valor de RSSI foi de -105 dBm. O movimento do braço robótico funciona bem até 500 m com RSSI de -130 dBm. Em 600 m, o braço robótico não recebeu nenhum sinal. Como esperado, a Figura 7 mostra que o RSSI diminui com a distância. De 100 m a 200 m há uma atenuação significativa que pode ser atribuída a floresta entre transmissor e receptor. Também é importante mencionar que, o braço ainda apresentava movimentos inesperados em alguns momentos devido à falta de isolamento elétrico em alguns cabos. Ainda era possível obter um sinal do braço e executar comandos a distâncias de até 650 metros, elevando a altura do transmissor para 1,8 metros do solo.

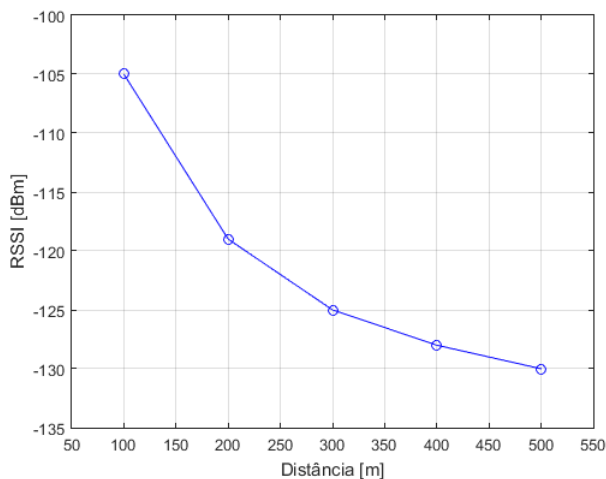


Figura 7. RSSI vs Distância

VI. CONCLUSÕES

Com base no que foi apresentado, pode-se concluir que é possível implementar um braço robótico para ser controlado a longas distâncias com a tecnologia LoRa. A sensibilidade mínima para controlar os 4 servomotores (base, cotovelo, ombro e garra) foi de -130 dBm a uma distância de 500 m, num meio com árvores de até 12 m de altura e construções entre o transmissor e o receptor.

Analisando os valores de RSSI, foi possível observar uma atenuação de até 15 dB causada pelas árvores na cidade de Marabá. Mas isso não impediu de o braço ser controlado remotamente.

Portanto, a tecnologia LoRa, configurada com um fator de espalhamento 7, mostrou-se capaz de enviar e receber dados para controlar um braço robótico com uma largura de banda estreita. Isto permitirá a implementação de aplicações de internet das coisas, tanto em ambientes urbanos como rurais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Unifesspa pela infraestrutura fornecida para os estudos. Agradecemos também ao laboratório LCT-UFPA pelos módulos Shield Lora dragino.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Rikalovic, N. Suzic, B. Bajic and V. Piuri, "Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Technological Perspective," in *IEEE Systems Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 2797-2810, June 2022, doi: 10.1109/JSYST.2021.3101673.
- [2] M. Furqan and E. M. Rathi, "Industrial Robotic Claw for Cottage Industries," 2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICOMET.2019.8673426.
- [3] C. Park, K. Park and D. Kim, "Design of dual arm robot manipulator for precision assembly of mechanical parts," 2008 International Conference on Smart Manufacturing Application, 2008, pp. 424-427, doi: 10.1109/ICSMA.2008.4505576.
- [4] M. Harun-Or-Rashid, S. M. Abid Shah, W. Shadman and M. A. Hossain, "Design and Development of a Robotic Arm for Sorting Colored Object," 2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0 (ACMI), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ACMI53878.2021.9528209.
- [5] Marques, P.R.F; França, M.P. and Duarte, R.B.. (2016). Prototipação de um braço robótico com atuadores eletropneumáticos e controlado por arduino. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Vol.8, No. 2; pp. 2
- [6] About LoRa Alliance® - LoRa Alliance® (loralliance.org)
- [7] Pinto, J. C. (2021). Sistema de monitoramento sem fio de temperatura aplicado a doses da vacina contra covid-19.
- [8] Sendra, S.; García, L.; Lloret, J.; Bosch, I.; Vega-Rodríguez, R. LoRaWAN Network for Fire Monitoring in Rural Environments. *Electronics* 2020, 9, 531. <https://doi.org/10.3390/electronics9030531>
- [9] W. Chanwattanapong, S. Hongdumnuen, B. Kumkhet, S. Junon and P. Sangmahamad, "LoRa Network Based Multi-Wireless Sensor Nodes and LoRa Gateway for Agriculture Application," 2021 Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics (RI2C), 2021, pp. 133-136, doi: 10.1109/RI2C51727.2021.9559804.
- [10] Rocha. Otávio Augusto D. C., Ramos. Costa Daniel. (2021). Avaliação da Comunicação LoRa no Controle de um Robô Móvel. Uberlândia, 2021.
- [11] da Cruz, O. A. R., & Ramos, D. C. (2021, October). Avaliação da Comunicação LoRa no Controle de um Robô Móvel. In *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI (Vol. 1, No. 1)*.
- [12] Yim, D., Chung, J., Cho, Y., Song, H., Jin, D., Kim, S., Ko, S., Smith, A. and Riegsecker, A. (2018). An experimental LoRa performance evaluation in tree farm. 2018. IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), pp. 1-6. doi: 10.1109/SAS.2018.8336764.
- [13] Haxhibeqiri, J., De Poorter, E., Moerman, I., & Hoebeke, J. (2018). A survey of LoRaWAN for IoT: From technology to application. *Sensors*, 18(11), 3995.

- [14] Anatel. Internet das coisas. Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/anexar-api/publico/anexos/download/a028ab5cc4e3f97442830bba0c8bd1dd>. Acesso em 11 de agosto de 2023.
- [15] Semtech. Understanding the LoRa® Adaptive Data Rate, 2019. Disponível em: https://loradevelopers.semtech.com/uploads/documents/files/Understanding_LoRa_Adaptive_Data_Rate_Downloadable.pdf. Acesso em 11 de agosto de 2023.