

PROVA DE CONCEITO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FLUXO DE PESSOAS BASEADO EM TECNOLOGIA LoRaWAN E RFID PARA O TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Erik Ray B. Falcão, Diego A. Sousa, Tarcisio F. Maciel, Yuri C. B. Silva e André L. F. de Almeida

Resumo— O transporte público urbano possui um papel crucial na dinâmica das grandes cidades, concentrando uma parte significativa do fluxo de pessoas e representando um serviço essencial para o desenvolvimento urbano no contexto das cidades inteligentes. Considerando o crescimento de soluções sem fio para o controle integrado e conectividade urbana, as Redes de Sensores sem Fios (RSSFs) apresentam vantagens como baixo custo, baixo consumo de energia e boa capacidade de transmissão e processamento de dados. Neste contexto, este trabalho propõe uma solução para a coleta, processamento e análise de dados relativos ao serviço de transporte público urbano, utilizando RSSFs baseadas em tecnologias como o padrão *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) e a *Radio Frequency Identification* (RFID). A solução proposta foi implementada em *hardware*, incluindo nós sensores e *gateways*, resultando no desenvolvimento de protótipos de baixo custo para os respectivos nós. Foram realizados ensaios em campo, para diferentes situações, demonstrando um alcance para o sistema de até 4,5 km em condições favoráveis (linha de visada).

Palavras-Chave— LoRaWAN, RFID, Transporte Público Urbano, Redes de Sensores sem Fio.

Abstract— Urban public transportation systems play a crucial role in the dynamics of large cities, concentrating a significant part of the urban mobility and representing an essential service for the urban development in the context of Smart Cities. Considering the increase of wireless solutions for integrated control and urban connectivity, Wireless Sensor Networks (WSN) present advantages, such as low cost, low energy consumption, as well as transmission and data processing capabilities. In this context, this work proposes a solution for gathering, processing and analyzing data relative to the urban public transportation system, using WSNs based on technologies such as the Long Range Wide Area Networks (LoRaWAN) standard and Radio-frequency Identification (RFID). The proposed solution has been implemented in hardware, including sensor nodes and gateways, resulting in the development of low cost prototypes for the respective nodes. Field tests have been conducted, for different situations, demonstrating a system range of up to 4.5 km in favorable conditions (line of sight).

Keywords— LoRaWAN, RFID, urban public transportation, wireless sensor networks.

I. INTRODUÇÃO

Em grandes metrópoles, ainda existem pontos-chave de melhoria da qualidade do serviço ofertado a população, tais como: infraestrutura das vias, as condições dos veículos, a segurança interna e nos pontos de embarque e desembarque,

os congestionamentos no trânsito, dentre outros. No tocante à informação disponibilizada aos usuários do transporte público bem como ao gestor do sistema, o sistema de transporte atual ainda apresenta dificuldades referentes à divulgação precisa e em tempo real de dados sobre as frotas, os percursos e os horários dos ônibus, os períodos e os locais que apresentam maior fluxo de passageiros, as linhas que atuam em determinados pontos e terminais de ônibus, os atrasos, e os congestionamentos.

São nessas problemáticas do desenvolvimento urbano que atuam os conceitos das *Smart Cities* e da *Internet of Things* (IoT), visando incorporar a adoção das tecnologias de informação e comunicação (TIC) ao contexto das situações cotidianas dos indivíduos. As tecnologias baseadas em soluções sem fio para o controle integrado e a conectividade têm crescido vertiginosamente. Dentro deste contexto, as Redes de Sensores sem Fios (RSSFs) são componentes cruciais para o monitoramento inteligente do cidadão [1], [2], [3] e podem ser construídas com dispositivos relativamente baratos, pequenos, e com baixo consumo de energia e custo de manutenção. Suas capacidade de transmissão e de processamento de dados permitem sua implantação em uma grande variedade de cenários e aplicações diversas. Algumas aplicações de RSSF incluem a prevenção da poluição, a gestão de resíduos, o monitoramento da saúde, edifícios inteligentes, vigilância, transporte, controle de semáforos e monitoramento ambiental [4].

Neste contexto, os *Intelligent Transportation Systems* (ITSs) utilizam tecnologias de IoT e se ocupam, entre outras tarefas, da coleta dos mais variados dados através de sensores, permitindo otimizar rotas, horários e periodicidade para os sistemas de transporte, auxiliando a engenharia de tráfego e o planejamento urbano [5]. Com a integração de RSSFs a outras redes de comunicações, como a Internet, o uso de tecnologias de IoT surge como ferramenta para aquisição de dados neste e em outros contextos [6]. Entre estas tecnologias, a *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) representa uma opção atrativa devido a seu baixo consumo energético, longo alcance e boa qualidade de sinal [7], [8], além de operar em bandas de frequência não-licenciadas, eliminando assim custos referentes à aquisição de espectro.

Neste trabalho apresentamos uma prova de conceito para monitorar o sistema de transporte público urbano baseado nestas e outras tecnologias. O restante deste artigo está organizado como segue: a Seção II discute brevemente alguns trabalhos relacionados à proposta deste artigo, a Seção III apresenta o sistema proposto neste trabalho, a Seção IV discute os resultados obtidos, enquanto a Seção V apresenta as conclusões e perspectivas do estudo.

D. A. Sousa, Campus de Paracuru, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Paracuru-CE, e-mail: diego.sousa@ifce.edu.br; E. R. B. Falcão, T. F. Maciel, Y. C. B. Silva e A. L. F. de Almeida, Departamento de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, e-mail: erikray@gtel.ufc.br, {maciel,yuri,andre}@ufc.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Ciência, Tecnologia e Inovação de Fortaleza (Citinova), Programas Citilab III (Proc. P903619/2019), e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Programa Universal (Proc. 423357/2018-2).

II. MONITORAMENTO DO TRANSPORTE PÚBLICO E DO FLUXO DE PASSAGEIROS

O monitoramento de veículos e do fluxo de pessoas no transporte público urbano tem sido foco de diversos estudos. Em [6], um sistema de localização de ônibus utilizando módulos *Global Positioning System* (GPS) e *Long Range* (LoRa) controlados por um dispositivo do tipo Arduino UNO [9] foi estudado no Japão, demonstrando desempenho comparável e melhor custo em relação a soluções baseadas na tecnologia celular *Long Term Evolution* (LTE). Em [10], módulos GPS e LoRa sob controle de um módulo ESP32 foram utilizados para monitorar os ônibus no *campus* da UFERSA em Pau dos Ferros, RN. Em [11] um sistema similar foi proposto utilizando um controlador diferente. Entretanto, em todos os casos anteriores, diferente da proposta atual, as soluções propostas não previam a contabilização dos passageiros utilizando tecnologia de *Radio Frequency Identification* (RFID) mas apenas o rastreamento dos veículos de transporte público. Diferente dos trabalhos anteriores, em [12] considera-se um sistema bastante similar ao proposto neste artigo, onde o fluxo de passageiros é contabilizado utilizando tecnologia RFID. No entanto, naquele trabalho considera-se que os dados são transferidos utilizando a rede celular, enquanto neste artigo propõe-se a utilização da tecnologia LoRa, a qual segundo [6] e conforme descrito na Seção I oferece menor custo. Como supracitado existe uma grande variedade de estudos na área, que utilizam as mais diversas tecnologias para melhorar a gestão de tráfego a partir de dados coletados do transporte público. No entanto vale ressaltar que o trabalho [13] foi o que mais se relacionou com o sistema proposto, (embora o artigo seja necessariamente um conglomerado de tecnologias que se relacionam para o objetivo proposto), partindo como referência para guiar a construção do protótipo que atenda as necessidades da nossa realidade. Diferentemente de outras propostas o nosso sistema utilizará sensores na entrada/saída do coletivo para detectar o aumento e decréscimo de pessoas. Além do hardware (endpoint) escolhido ser diferente, futuramente com o sistema consolidado também prevemos a utilização de técnicas de IA para filtrar os dados coletados e ter a máxima eficiência no processo de detecção, contagem, transmissão, recepção e transformar isso em informações relevantes que possam ajudar a gerir o transporte público.

III. SOLUÇÃO PROPOSTA

O sistema de monitoramento do fluxo de pessoas no transporte público urbano proposto neste artigo visa contabilizar espaço-temporalmente o volume de usuários do serviço de forma confiável e com baixo custo. O sistema é composto por três partes: uma associada ao nó *sensor* no veículo de transporte; outra associada ao nó *gateway* conectado à Internet; e uma última associada a um servidor na Internet para tratamento dos dados obtidos, conforme ilustrado na Fig. 1.

O nó *sensor* é composto por:

- 02 módulos de identificação do tipo RFID associados respectivamente à entrada e à saída de passageiros no veículo de transporte.

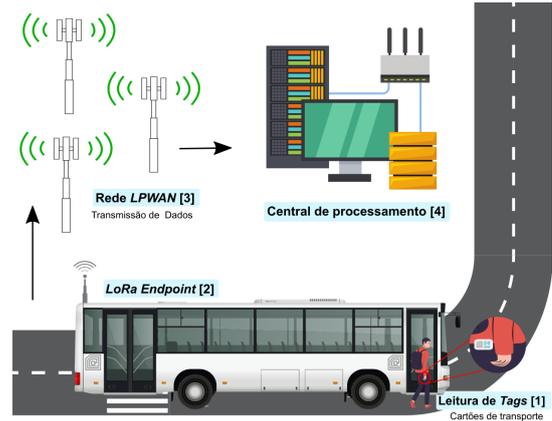


Fig. 1. Ilustração da solução proposta.

- 01 módulo de GPS para captura da localização do veículo de transporte.
- 01 transceptor LoRa (integrado ou não ao módulo controlador) para comunicações de dados com o nó *gateway*.
- 01 módulo controlador que organiza a operação dos módulos anteriores e o envio de dados.

O nó *gateway* é composto por:

- 01 transceptor LoRa para comunicações de dados com o nó *sensor*.
- 01 módulo controlador que organiza a recepção de dados e os encaminha ao servidor na Internet.

O servidor na Internet integrado ao sistema pode corresponder a um computador físico ou virtualizado em uma plataforma na nuvem. A Tabela I descreve a relação dos componentes-macro (inclui. marcas e modelos) utilizados nos nós *sensor* e *gateway*.

TABELA I
LISTA DE COMPONENTES UTILIZADOS.

Item	Descrição	Qtde.
Heltec LoRa ESP32 (V2)	Módulo micro-controlado com LoRa para operação como nó sensor	1
GY-GPS6MV2	Módulo GPS para captura da posição do veículo de transporte público	1
RFID-RC522	Leitores de RFID para registro de entrada e saída de passageiros	2
LoRa1276F30	Transceptor LoRa com 0.5 W de potência de transmissão e antena para uso na faixa ISM de 915 MHz	1
Raspberry Pi 3 Model B	Mini-computador para operação como <i>gateway</i>	1

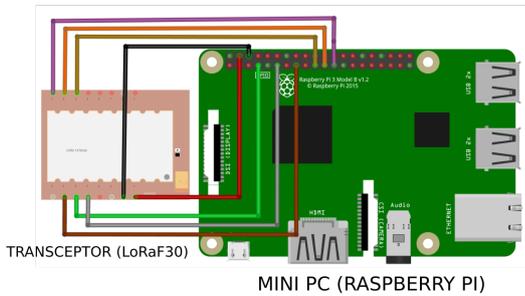
A Tabela II apresenta um estudo acerca do consumo retirado diretamente dos *datasheets* dos componentes citados. Para a solução proposta estamos prevendo o maior tempo que uma linha pode circular (20h) com contagem de pessoas, armazenamento na memória do microcontrolador, e transmissão por minuto desse dado da quantidade e das coordenadas. Todo esse sistema será ligado a bateria do ônibus, com o auxílio de um regulador de tensão (24V-5V) Em nosso escopo o nó *gateway* será ligado diretamente a uma rede de energia, não sendo necessária uma fonte de alimentação externa.

TABELA II

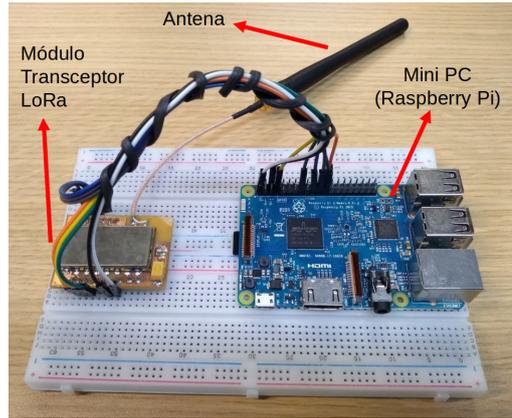
ALIMENTAÇÃO NOMINAL NECESSÁRIA PARA O FUNCIONAMENTO DO ENDPOINT

Item	Consumo Nominal (mA)
Heltec LoRa ESP32 (V2)	Sleep Mode (2880 mA/h), LoRa 915Mhz 20dB (30mA)
GY-GPS6MV2	Power Saver (720 mA/h), Tracking Mode (11mA)
RFID-RC522	Sleep Mode (72uA/h), Operation Mode (60mA)
Endpoint (ESP32 + GPS + 2X RFID)	4000 mA/h

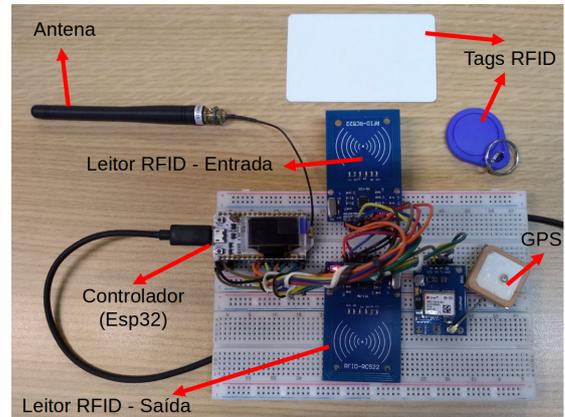
Para fins de experimentação, os nós *sensor* e *gateway* foram implementados em protoboard integrando os diferentes componentes-macro de *hardware* descritos na Tabela I e foram alimentados através de uso de um *powerbank* conectado a cada nó. O esquemático de conexão e os protótipos resultantes do *gateway* e do nó *sensor* são apresentados nas Figs. 2 e 3, respectivamente.



(a) Esquema de conexão do gateway.

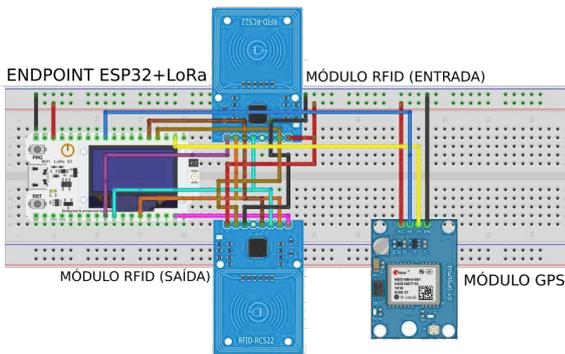


(a) Protótipo do nó gateway.



(b) Protótipo do nó sensor.

Fig. 3. Protótipos desenvolvidos.



(b) Esquema de conexão do nó sensor.

Fig. 2. Esquema de conexão dos componentes.

Com relação ao funcionamento do sistema, as suas principais etapas são descritas a seguir:

- **Deteção de eventos e coleta de dados do usuário:** nesta etapa inicial os leitores de RFID instalados estrategicamente nos ônibus detectam os eventos de entrada e saída de usuários portando *tags* RFID através da leitura de seus respectivos *tags*. A esses dados são associadas informações geográficas (obtidas via GPS) e temporais (momento da medição).
- **Transmissão dos dados obtidos pelos veículos para a rede LoRa:** os dados compilados na etapa anterior relativos aos vários passageiros são repassados internamente

para o transmissor LoRa e em seguida transmitidos via rádio para *gateways* LoRa.

- **Transmissão para a central de processamento:** através da infra-estrutura da rede LoRa os dados chegam ao centro de controle e monitoramento para análise.
- **Análise dos dados:** os dados coletados nos diferentes ônibus e transmitidos via rede LoRa para o servidor central poderão ser processados para gerar informações úteis sobre o funcionamento em tempo real do sistema, bem como estatísticas de médio e longo prazo. Dentre as possíveis métricas de análise podemos mencionar: tempo médio que se leva para chegar de uma parada a outra ao longo de uma rota, em diferentes momentos do dia; fluxo/concentração de passageiros em diferentes trechos de uma rota; acompanhamento em tempo real da lotação dos veículos e dos trechos mais congestionados.

IV. RESULTADOS OBTIDOS E APLICAÇÕES

Foram realizados testes utilizando os protótipos mostrados. Tal experimento consistia em executar um programa que tinha a função de realizar o envio regular de pacotes pelo nó *sensor*, cuja recepção e nível de sinal foi registrada pelo nó *gateway* para distâncias cada vez maiores entre os nós até que a comunicação não fosse mais possível. Deste modo, foi possível estimar o alcance médio do sistema proposto considerando os ambientes em que os testes foram conduzidos.

Para todos os ensaios realizados, foi considerada uma potência de transmissão de 20 dBm, antenas omnidirecionais de 3 dBi e fator de espalhamento SF7. Tais parâmetros garantiram a maior eficiência do sistema para o cenário proposto. Futuramente iremos realizar adaptações em tais nessas características do sistema para atender diferentes situações (tipo de antena, fator de espalhamento, potência do transceptor, adicionar mais leitores RFID e etc).

No primeiro ensaio o nó *gateway* foi colocado no ponto (P) indicado pela Figura 4, alimentado por um *powerbank*, a aproximadamente 15m do solo. O nó *endpoint* percorreu o caminho indicado pela Figura 4 com o auxílio de um notebook (para alimentação e visualização dos dados) e um carro, ao todo foram feitas 5 voltas simulando a rota do ônibus interno do *campus* do Pici/UFC. Os valores médios estão anotados na Tabela III.

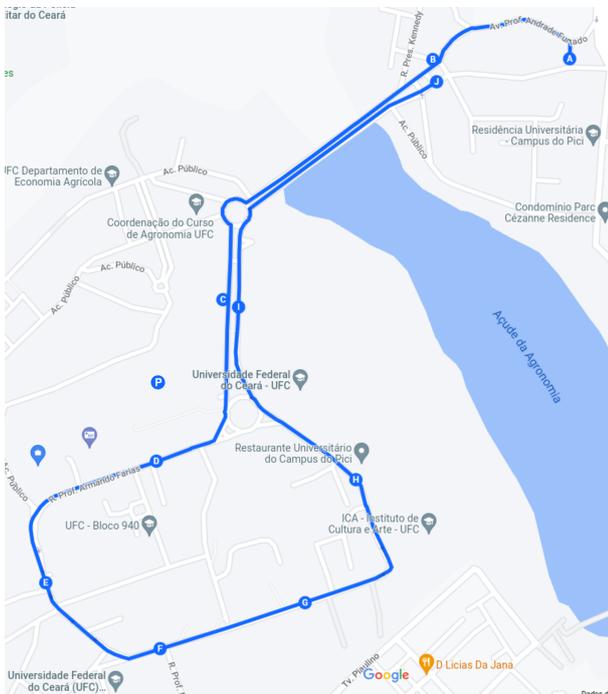


Fig. 4. Trajeto percorrido no primeiro ensaio.

TABELA III
RELAÇÃO DA POTÊNCIA DE SINAL COM OS PONTOS DE INTERESSE

Ponto de ônibus	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Distância (m)
A	-120	-8.50	852,50
B	-117	-6.00	694,40
C	-100	-5.00	141,74
D	-87	-7.00	154,95
E	-114	-7.50	423,69
F	-120	-8.00	461,90
G	-116	-7.50	439,59
H	-110	-6.00	360,05
I	-110	-5.00	159,84
J	-115	-5.50	674,22

O desempenho utilizando apenas um *gateway* foi satisfatório, no entanto por se tratar de uma localização com com inúmeras árvores e prédios, a falta de uma linha de visada

prejudicou bastante o sinal. A partir do estudo de campo realizado e dos resultados obtidos, apontamos que o ideal é que existam minimamente 2 *gateways* para cobrir com mais segurança todo o entorno, além de servir como uma redundância e evitando perda de dados nas áreas sombreadas pelos prédios e pela vegetação. A velocidade do veículo não interferiu nas medições e o experimento foi satisfatório para comprovar a eficiência do sistema em coletar os dados de entrada/saída emulados, as coordenadas (vide GPS) e realizar a transmissão/recepção via LoRa para o nó *gateway*.

O segundo ensaio, Figura 5 foi realizado com os mesmos equipamentos em ambiente urbano caracterizado por edificações de porte grande (20 andares ou mais) e pequeno (3 andares ou menos). O nó *gateway* foi posicionado no 14º andar de uma edificação (aproximadamente 45m do solo) enquanto o nó *sensor* foi deslocado da posição do *gateway* a 1,5m do nível das ruas do referido bairro afastando-se gradativamente do nó *gateway*. No ensaio em questão, em que havia linha de visada, o alcance máximo do sistema foi de 1,45km.

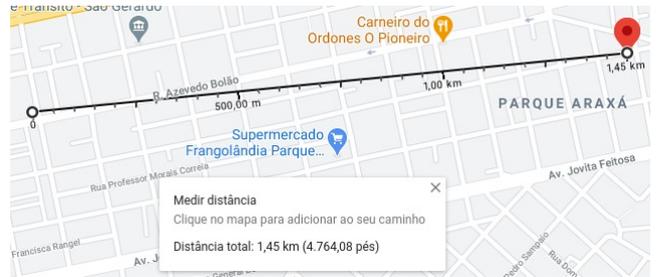


Fig. 5. Trajeto percorrido no segundo ensaio.

Os ensaios de coleta e transferência de dados do nó *sensor* para o nó *gateway* foram realizados em laboratório emulando a construção do *payload* dos pacotes composto pelos dados de entrada e saída de passageiros no veículo de transporte e remessa de dados, conforme ilustrado na Fig. 6.

Tais dados eram então enviados até a nuvem da *The Things Network* [14], para daí serem posteriormente processados. Os resultados obtidos nos ensaios de campo e de laboratório permitiram validar a implementação do sistema proposto, tanto no que se refere à conectividade em distâncias variando de algumas centenas de metros até aproximadamente 1,5 km.

Um terceiro teste de conectividade foi realizar no interior do Estado, no ambiente rural e com boa linha de visada o *gateway* conseguia receber informações do nó *endpoint* emissor até próximo de 5km. Este ensaio de campo permitiu verificar que o alcance do sistema é largamente condicionado à posição dos transceptores e à existência de linha de visada. Dado que o teste foi realizado com o mesmo hardware dos ensaios citados anteriormente.

Outra informação importante obtida através do estudo refere-se ao custo total dos protótipos. A saber, o custo dos nós *sensor* e *gateway* ficaram em aproximadamente R\$ 415,00 e R\$ 585,00, respectivamente, todo os itens podem ser facilmente encontrados no mercado nacional. O detalhamento dos custos por componente está descrito na Tabela IV.

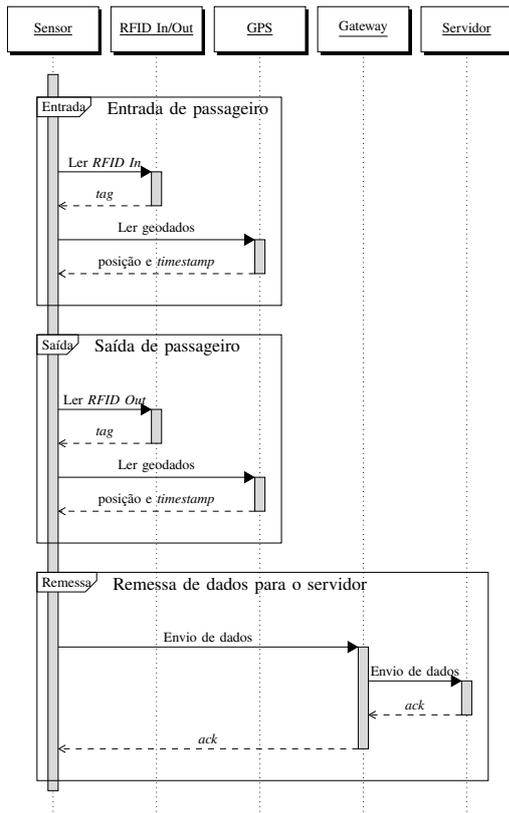


Fig. 6. Sequência de captura e remessa de dados em laboratório.

TABELA IV
VALORES UNITÁRIOS DO HARDWARE UTILIZADO

Equipamentos	Valor unitário (R\$)
Heltec LoRa ESP32 (V2)	249,99
GY-GPS6MV2	79,90
RFID-RC522	27,90
Módulo RF LoRa1276F30 - 915MHz	136,54
Raspberry Pi3 Model B+ Anatel	419,90

V. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Este trabalho propôs, implementou e analisou um sistema de baixo custo para o monitoramento do fluxo de pessoas no transporte público urbano. Foram realizados ensaios em campo demonstrando um alcance para o sistema de até 1,5 km em condições favoráveis (linha de visada). Entre as perspectivas deste trabalho, tem-se que os dados coletados pelo sistema proposto podem ser reunidos em um servidor e utilizados para construir grafos espaço-temporais direcionais que permitam a otimização de rotas, auxílio à decisão estratégica, auxílio à elaboração de planos diretores municipais e à gestão pública em geral. Em trabalhos futuros espera-se elaborar soluções de *software* que explorem os dados gerados a fim de produzir informações úteis para usuários e gestores dos sistemas de transporte, tais como tempo estimado de chegada, número de veículos em rota, notificação de eventos, entre outros.

REFERÊNCIAS

[1] Z. Lv, B. Hu, and H. Lv, "Infrastructure monitoring and operation for smart cities based on IoT system," *IEEE Transactions on Industrial*

Informatics, vol. 16, no. 3, pp. 1957–1962, Mar. 2020.

[2] T. Tryfonas and I. Askoxylakis, "Future cities and smart technologies: A landscape of ambition and caution," *ERCIM News*, no. 98, p. 8, Jul. 2014.

[3] C. Schneider, B. Achilles, and H. Merbitz, "Urbanity and urbanization: An interdisciplinary review combining cultural and physical approaches," *Land*, vol. 3, no. 1, pp. 105–130, Jan. 2014.

[4] G. P. Hancke, B. D. C. e Silva, and J. Gerhard P. Hancke, "The role of advanced sensing in smart cities," *Sensors*, vol. 13, no. 1, pp. 393–425, Dez. 2012.

[5] Y. Lin, P. Wang, and M. Ma, "Intelligent transportation system (ITS): Concept, challenge and opportunity," in *IEEE 3rd International Conference on Big Data Security on Cloud (Bigdatasecurity), IEEE International Conference on High Performance and Smart Computing (HPSC), and IEEE International Conference on Intelligent Data and Security (IDS)*, Mai 2017, pp. 167–172.

[6] T. Boshita, H. Suzuki, and Y. Matsumoto, "IoT-based bus location system using LoRaWAN," in *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2018, pp. 933–938.

[7] A. Yegin, T. Kramp, P. Dufour, R. Gupta, R. Soss, O. Hersent, D. Hunt, and N. Sornin, "3 - LoRaWAN protocol: specifications, security, and capabilities," in *LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications*, B. S. Chaudhari and M. Zennaro, Eds. Academic Press, 2020, pp. 37–63.

[8] J. C. Silva, J. J. P. C. Rodrigues, A. M. Alberti, P. Solic, and A. L. L. Aquino, "LoRaWAN – a low power WAN protocol for internet of things: A review and opportunities," in *2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)*, 2017, pp. 1–6.

[9] Arduino Store. (2021) Arduino Uno Rev 3. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

[10] J. J. do Rego Leite, "Implementação de um sistema de monitoramento de transporte estudantil utilizando ESP32 e rede LoRa," 2020, monografia (Bacharel em Engenharia de Computação), UFERSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), Mossoró, Brazil. [Online]. Available: <https://engcomputacaopaudosferros.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/87/2020/12/tcc-john.pdf>

[11] P. Guan, Z. Zhang, L. Wei, and Y. Zhao, "A real-time bus positioning system based on lora technology," in *International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, 2018, pp. 45–48.

[12] M. L. Ferreira, "Automação de metodologia para avaliação da demanda de passageiros para transportes públicos na mobilidade urbana por meio da tecnologia RFID," 2015, dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil. [Online]. Available: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-18072016-081932/publico/MauricioLimaFerreira2015.pdf>

[13] K. L. Nayak, A. Latha, and M. E. Akhtar, "A survey on data driven intelligent public transportation using LoRa," *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, vol. 2, no. 5, pp. 105–130, Mai. 2019. [Online]. Available: https://www.ijresm.com/Vol.2_2019/Vol2_Iss5_May19/IJRESM_V2_I5_140.pdf

[14] The Things Industries, "The things network," 2021. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/>