

# Vá de Bike: Plataforma IoT para Aluguel de Bicicletas

João G. A. Carvalho, Diogo M. M. Rosa, Matheus E. P. Camargo, Luiz F. V. Dias, Guilherme P. Aquino e Evandro C. Vilas Boas

**Resumo**— Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma plataforma IoT (*Internet of things*) para aluguel compartilhado de bicicletas como um solução sustentável para mobilidade em ambientes urbanos. A plataforma é composta por uma eletrônica de hardware para ancoragem de bicicletas, um aplicativo móvel para interação do usuário com o serviço, um banco de dados para armazenamento de informações e um servidor Broker baseado no protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) para gerenciamento da comunicação entre as demais entidades. Como forma de incentivo ao uso, emprega-se um sistema de *cash back* implementado no aplicativo por meio de uma carteira digital.

**Palavras-Chave**— Desenvolvimento *mobile*, Internet das Coisas, aluguel de bicicletas, mobilidade urbana.

**Abstract**— This work presents the development of an IoT (*Internet of things*) platform for bicycle rental as a sustainable solution for mobility in urban environments. The platform comprises electronic hardware to dock bicycles, a mobile application for user interaction with the service, a database for storing information, and a Broker server based on the MQTT protocol (*Message Queuing Telemetry Transport*) for managing communication among other entities. In addition, a cash-back system is implemented in the application through a digital wallet to encourage use.

**Keywords**— Bike rental, Internet of Things, mobile development, urban mobility.

## I. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana representa um importante fator na definição da qualidade de vida. A princípio, esse aspecto se caracteriza pela oferta de infraestrutura física apropriada para a mobilidade de pedestres e veículos, provendo condições para que o tráfego flua de forma organizada e segura [1], [2]. Dessa forma, a administração urbana deve considerar o planejamento, monitoramento e sinalização apropriado das vias para oferecer condições ótimas de trânsito [3]. Em um contexto econômico e social, a mobilidade urbana também inclui a oferta de serviços de transporte público, como linhas de ônibus e metrô, ou privado, como táxis, de pessoas e cargas. Em relação à sustentabilidade, a mobilidade urbana visa oferecer e incentivar o uso de veículos não poluentes

como bicicletas, por meio de investimento em ciclovias para reduzir o uso de veículos privados e públicos [4]–[6].

Nesse cenário, a aplicação do conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT) contribui para a introdução de novos modelos de serviços em mobilidade urbana, principalmente no setor privado [5], [7]–[9]. Por exemplo, modelos de negócios redefinem a interação entre passageiros e serviços de transporte por meio de veículos privados através da conexão direta via aplicativos móveis. Essa abordagem conectou serviços de táxi e expandiu o escopo de atuação para a inclusão de veículos paralelos e o uso conjunto desses serviços por grupos de passageiros, viável financeiramente. Além disso, alguns aplicativos móveis facilitam o compartilhamento de caronas para pessoas com mesmo destino, indo além dos limites geográficos de uma cidade. De modo geral, esses serviços contribuem para o incentivo à redução de veículos em tráfego por meio da oferta de transporte alternativo, redefinindo a mobilidade urbana através da conectividade, acessibilidade e viabilidade econômica.

Aplicativos com foco em modelos de mobilidade urbana sustentável também surgiram com base no conceito de IoT [1], [5], [9]. Dessa forma, veículos não emissores de poluentes, como patinetes e bicicletas, são ofertados em grandes centros urbanos como opções de mobilidade para deslocamentos em curta distância, além do transporte público ou privado. Esse modelo de negócio dispõe o veículo em uma plataforma em que o cliente pode retirá-lo por meio de um sistema de monetização por aluguel, utilizando um aplicativo móvel, e a devolução ocorre na mesma plataforma ou em outra disponibilizadas pela empresa na área urbana. Baseado nesse modelo, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma plataforma IoT para aluguel de bicicletas em campus universitário como forma de prover opções em mobilidade urbana ao público, incentivando a sustentabilidade.

A plataforma de aluguel de bicicletas é denominada de "Vá de Bike" e composta por uma solução em *hardware* embarcado e um aplicativo móvel. O *hardware* é responsável pelo suporte à bicicleta e por prover segurança usando trava eletromagnética. O aplicativo apresenta um conjunto de funcionalidades para que o usuário consiga realizar o empréstimo e devolução da bicicleta, interagindo com a plataforma. Além disso, desenvolveu-se um sistema de cobrança por cartão de crédito e débito em conjunto com um sistema de *cashback* para incentivo ao uso. O desenvolvimento do projeto é abordado em cinco seções. Na Seção II, discutem-se plataformas semelhantes disponibilizadas comercialmente e também em desenvolvimento por meio de trabalhos relacionados. A solução proposta é organizada em uma arquitetura vertical IoT,

João G. A. Carvalho, Diogo M. M. Rosa, Matheus E. P. Camargo, Luiz F. V. Dias, Guilherme P. Aquino e Evandro C. Vilas Boas, Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, Santa Rita do Sapucaí - MG, e-mail: joao.jg@ges.inatel.br, diogo.menegaldo@get.inatel.br, matheus.enrico@get.inatel.br, l.felipe@ges.inatel.br, guilhermeaquino@inatel.br, evandro.cesar@inatel.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Laboratório CS&I e Centro de Segurança Cibernética do Inatel (CxSC Telecom).

sendo discutidas as tecnologias habilitadoras e plataformas de desenvolvimento utilizadas para a implementação da solução na Seção III. Demonstra-se a implementação prática da proposta na Seção IV. Na Seção V, apresentam-se os principais comentários e propostas de trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

A bicicleta é um meio de transporte convencional que está sendo reintroduzido em centros urbanos como uma alternativa sustentável em mobilidade [5], [6], [10]. Esse meio de locomoção permite a redução do tráfego de veículos automotores e, conseqüentemente, de emissão de gás carbono resultante da queima de combustíveis fósseis. Além disso, torna-se uma atividade física para o usuário, estimulando a saúde e bem-estar. Bicicletas comunitárias surgem como um modelo de negócio escalonável de compartilhamento, de forma acessível ao usuário. As transações financeiras e a liberação/devolução das bicicletas podem ser realizadas por meio de diferentes interfaces, como aplicações *web* ou móveis.

No Brasil, existem algumas soluções em operação de projetos de bicicletas comunitárias como as bicicletas do Itaú, Yellow e Uber [11]–[13]. O modelo de negócios do Itaú, denominado de *Bike Itaú*, permite que o usuário retire a bicicleta em uma plataforma e a retorne em outra, distante geograficamente da primeira. Já o modelo de empréstimo de bicicletas da Yellow e Uber é *dockless*, ou seja, emprestam-se e devolvem-se as bicicletas em qualquer ponto geográfico da cidade. Essas bicicletas possuem um sistema de trava próprio, dispensando o uso de plataformas. Os projetos de bicicletas comunitárias também se estendem a outros países. Na capital da França, tem-se o sistema de empréstimo de bicicletas Vélib [14]. Em Londres e Barcelona, citam-se os projetos Santander Cycle e Bicing [15], [16]. Esses modelos de negócio se assemelha ao sistema *Bike Itaú*, empregando plataformas para empréstimo e devolução das bicicletas.

Paralelo aos modelos comerciais, verificam-se propostas de projetos para construção de plataformas IoT para aluguel de bicicletas, com aplicações locais ou implementação em ambientes urbanos [17]–[22]. De modo geral, os projetos apresentam uma solução em *hardware* dedicada à implementação da plataforma que retém a bicicleta [17]. Placas de desenvolvimento como Raspberry Pi, Arduino e similares são empregadas para prover processamento local de dados e atuação por meio de sensores e atuadores. Algumas soluções consideram instalar o *hardware* na bicicleta, tornando-a conectada e sem o uso de uma plataforma de ancoragem [19]. Para prover conectividade às soluções, utilizam-se protocolos de comunicação como WiFi, ZigBee, LoRaWAN e Ethernet. O uso de banco de dados prevalece em todas as propostas, assim como o desenvolvimento de uma interface com o usuário seja via painel na plataforma, aplicação *web* ou móvel.

Por exemplo, foi desenvolvida uma plataforma para aluguel de bicicleta com foco em um sistema de autenticação de usuários simples para atender a um campus universitário [17]. O empréstimo do veículo é feito por meio de comunicação em campo próximo (*Near Field Communication*, NFC) e interação através de telas de cristal líquido (*liquid crystal*

*display*, LCD). Em [19], os autores propuseram uma solução *dockless* com o *hardware* de controle instalado diretamente na bicicleta, com o empréstimo realizado por meio de uma aplicação móvel. Cada solução tem uma trava que pode ser liberada pela leitura de um QR code através do aplicativo. Para recarregar o módulo de *hardware* da bicicleta, utilizou-se de uma placa solar instalada em uma cesta acoplada à bicicleta. Além disso, foi desenvolvido um sistema de compartilhamento e monitoramento de bicicletas com foco em pequenas localidades [21]. O módulo de *hardware* é instalado na bicicleta e envia dados de localização, velocidade, direção, aceleração e identificador para uma plataforma por meio de tecnologia LoRaWAN.

## III. ARQUITETURA DA PLATAFORMA *Vá de Bike*

A plataforma *Vá de Bike* é composta por módulos de *hardware*, banco de dados, servidor Broker e aplicação móvel estruturada em uma arquitetura de quatro camadas [23]–[25], como visto na Figura 1. A camada de atuação integra um microcontrolador e atuadores para operar a plataforma do ponto de vista de *hardware*. A camada de rede conecta a eletrônica de *hardware* com as soluções de *middleware* e aplicação. A camada de *middleware* provê recursos para armazenamento e processamento de dados advindos das camadas de atuação e aplicação. A comunicação entre diferentes entidades é gerenciada pelo servidor Broker por meio de arquitetura publica/assina. Por fim, tem-se a aplicação móvel que permite a interação de múltiplos usuários com as plataformas.

A arquitetura da plataforma *Vá de Bike* consiste no uso de diferentes tecnologias habilitadoras e plataformas de desenvolvimento, permitindo uma solução que oferece um conjunto de funcionalidades para o usuário final. Na Figura 1, tecnologias habilitadoras e plataformas de desenvolvimento são estruturadas com base na arquitetura de camadas da plataforma *Vá de Bike*. A camada de atuação utiliza a placa de desenvolvimento Node MCU para integração e controle dos módulos de *hardware*. Essa placa oferece conexão WiFi nativa, permitindo explorar o protocolo WiFi com tecnologia habilitadora para a camada de rede. Dessa forma, empregam-se comandos específicos da biblioteca `WiFi` da linguagem de programação do Node MCU para conectá-lo a uma rede WiFi disponível. Nesse projeto, utiliza-se o protocolo de comunicação WiFi, pois visa-se a instalação das plataformas em ambientes com cobertura WiFi.

A camada de *middleware* implementa o banco de dados com base na plataforma de código aberto LAMP. Essa plataforma utiliza o sistema operacional Linux, o servidor web Apache, o banco de dados relacional MySQL e a linguagem Python para programação e gerenciamento. O servidor Broker emprega o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) para centralizar o gerenciamento de envio e recepção de mensagens por meio da arquitetura publica/assina. Esse protocolo permite a comunicação assíncrona entre clientes diferentes com baixo processamento e consumo de memória e banda quando comparado com outros protocolos, como HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), atendendo as premissas do projeto [25]. Por fim, a aplicação móvel é programada

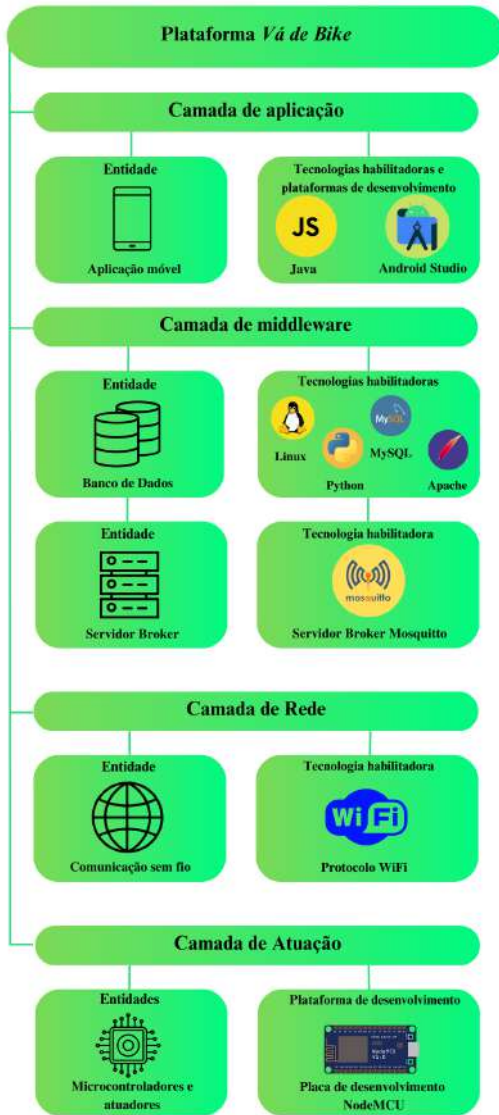


Fig. 1. Arquitetura em camadas da plataforma *Vá de Bike*, evidenciando as tecnologias habilitadoras e plataformas de desenvolvimento.

empregando a linguagem Java por meio de plataforma de desenvolvimento integrado Android Studio, provendo suporte ao desenvolvimento de *front-end* e *back-end*.

Na Figura 2, apresenta-se a arquitetura de comunicação entre as entidades. O servidor Broker centraliza a troca de mensagens entre o *hardware* do terminal/plataforma de ancoragem da bicicleta, o banco de dados e o aplicativo móvel. O módulo de *hardware* do terminal/plataforma conecta-se ao servidor para receber instruções definidas pelo usuário através do aplicativo móvel. Por outro lado, o banco de dados e aplicativo móvel conectam-se ao servidor para trocar informações de cadastro de usuários, bem como viabilizar a navegação pelas funcionalidades do aplicativo.

#### IV. IMPLEMENTAÇÃO DA PLATAFORMA *Vá de Bike*

Nessa seção, utiliza-se a arquitetura em camadas definida para a plataforma *Vá de Bike* para discutir a implementação em termos de funcionalidades de *hardware* e *software*.

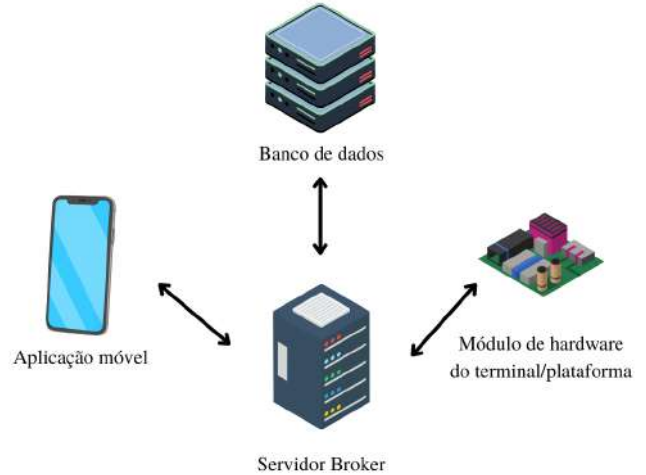


Fig. 2. Arquitetura de comunicação utilizando o servidor Broker baseado no protocolo MQTT.



Fig. 3. Terminal/plataforma de acoplamento da bicicleta para empréstimo.

#### A. Módulos do terminal/plataforma

A eletrônica de *hardware* do terminal/plataforma é composta por um microcontrolador Node MCU modelo ESP 8266 que integra uma trava eletromagnética, um módulo relê e um visor LCD. Para viabilizar a instalação dos componentes eletrônicos, utiliza-se uma estrutura física construída em madeira para fins de prototipação, conforme visto na Figura 3. A alimentação do sistema é feita por meio de fontes de tensão reguladas conectadas à rede elétrica de 127 V para atender às especificações de voltagem do microcontrolador e da trava eletromagnética. O módulo relê é controlado pelo Node MCU para ativar/desativar a trava eletromagnética e liberar/acoplar a bicicleta. A trava eletromagnética permite a fácil adaptação da bicicleta para uso no terminal, uma vez que a parte metálica é fixada na região do guidão do veículo utilizando peças impressas em 3D. O visor LCD tem a função de informar ao usuário, de forma visual, o identificador da plataforma, o qual é utilizado durante o processo de empréstimo e devolução da bicicleta.

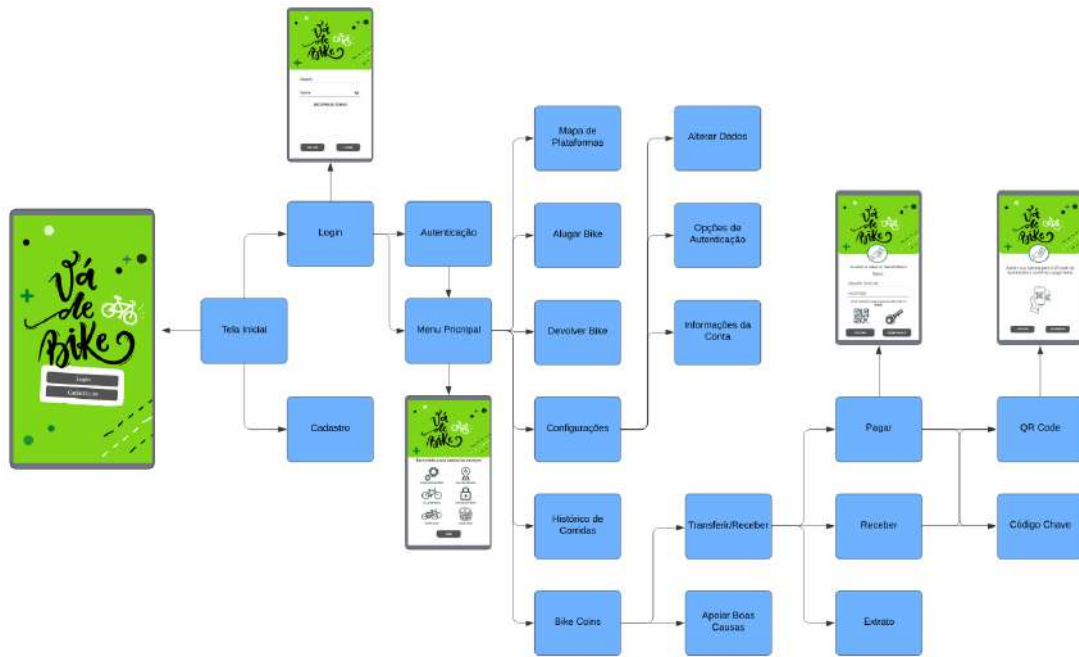


Fig. 4. Diagrama de funcionalidades do aplicativo móvel *Vá de Bike* e exemplo de algumas telas desenvolvidas em Android Studio.

### B. Aplicativo móvel

O aplicativo móvel *Vá de Bike* implementa as funcionalidades apresentadas na Figura 4. A tela inicial permite ao usuário acessar as telas de cadastro e login. O cadastro requer o preenchimento de um formulário informando o nome, e-mail, senha e dados de cartão de crédito ou débito. Em seguida, faz-se uma validação de e-mail por meio do envio de um código de verificação. Concluídas as etapas anteriores com sucesso, o usuário está cadastrado no aplicativo e suas informações são armazenadas no banco de dados. Devido à coleta de dados sensíveis no cadastro do usuário, o aplicativo móvel implementa uma função de *hash* utilizando o algoritmo SHA-256 para converter senhas e dados financeiros em um *hash* para fins de trânsito dessas informações em rede. O processo de login também implementa medidas básicas de segurança por meio do processo de autenticação por dois fatores, enviando um token para o respectivo e-mail do usuário cadastrado.

O acesso ao aplicativo leva um usuário ao menu principal de funcionalidades, que inclui mapa de terminais/plataformas, aluguel e devolução de bicicletas, configurações de usuário, histórico de corridas e carteira digital. O mapa permite ao usuário localizar pontos de empréstimo e devolução que correspondem ao local de instalação de terminais/plataformas. Para isso, o aplicativo consulta o banco de dados para requisitar a latitude e longitude de cada terminal. O processo de aluguel de bicicletas requer que o usuário informe o identificador do terminal em que a bicicleta está ancorada e confirme a solicitação. Em seguida, o sistema envia informações para a eletrônica de *hardware* fazer a liberação da bicicleta. No processo de devolução, o usuário também deve informar o identificador da plataforma em que irá ancorar a bicicleta e confirmar a devolução. Nesse momento, o sistema energiza a trava eletromagnética para que a bicicleta seja atracada.

O histórico de corridas exibe todas as atividades de uso do serviço com detalhes do tempo de percurso, valor pago e *cashback* recebido.

As funcionalidades de configuração de usuário permitem a alteração de dados cadastrais, o gerenciamento de cartões de débito ou crédito para pagamento, habilitar/desabilitar a autenticação de dois fatores no processo de login e deletar a conta. Por fim, foi implementada uma carteira digital com o intuito de incentivar o uso do serviço por meio de um sistema de *cash back*. Após cada corrida, o usuário recebe um valor em *bike coins*, moeda digital da carteira, que pode ser utilizado para pagamento de corridas futuras, transações entre usuários do aplicativo ou doação para instituições filantrópicas da região. No caso de transações entre usuários do serviço, é possível transferir ou receber valores por meio de inserção manual de dados, leitura de QR code ou por chave de cobrança. Essas funcionalidades são gerenciadas pelo aplicativo em conjunto com o banco de dados. As transações financeiras são registradas em um extrato para consulta. O saldo em *cashback* não pode ser sacado, sendo uma premissa de incentivo ao uso da solução.

### C. Banco de dados e servidor Broker

O banco de dados é relacional e possui oito tabelas, das quais apenas três estão diretamente relacionadas. As tabelas possuem chaves primárias e atributos auto-explicativos, conforme visto na Figura 5. As informações de usuário são registradas em uma tabela utilizada pela aplicação móvel para gerenciar o acesso múltiplo de usuários. Essa tabela se relaciona com aquelas de armazenamento de informações de empréstimo de bicicletas e plataforma, viabilizando as funções de aluguel e devolução do aplicativo. As demais tabelas armazenam dados referentes às outras funcionalidades do aplicativo.

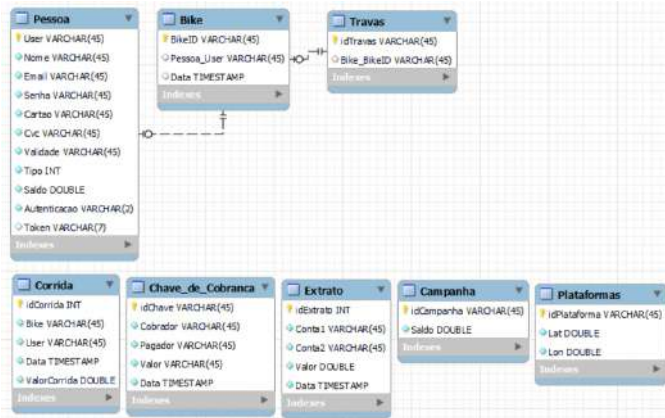


Fig. 5. Diagrama de tabelas do banco de dados.

O acesso ao banco de dados acontece somente pelo lado do servidor Broker, por meio de um código `server-side` desenvolvido em linguagem Python. Isso faz com que o servidor atue como um intermediário para informações armazenadas no banco de dados. Portanto, o código `server-side` recebe mensagens de tópicos enviados pelo aplicativo, identifica as requisições enviadas, faz o tratamento adequado das informações recebidas e devolve para o aplicativo somente um código de resultado da ação. Dessa forma, tem-se uma camada de segurança maior ao evitar o envio de informações sensíveis diretamente para o aplicativo. Essa medida de segurança previne ataques de injeção de SQL.

## V. CONCLUSÕES

Esse trabalho discutiu o desenvolvimento de uma plataforma IoT para o empréstimo de bicicletas, visando oferecer o serviço de forma compartilhada como uma alternativa sustentável para a mobilidade em ambientes urbanos. Para o desenvolvimento da plataforma, empregaram-se algumas tecnologias habilitadoras e plataformas de desenvolvimento para prover a eletrônica de *hardware* responsável por gerenciar a ancoragem da bicicleta, bem como para a operacionalização do banco de dados, servidor Broker e aplicação móvel. A implementação prática da solução proposta permitiu explorar sua viabilidade em um ambiente de prototipagem. Portanto, trabalhos futuros visam melhorias no sistema proposto para aplicação comercial, como por exemplo, desenvolvimento de uma versão complementar para iOS e a agregação de soluções em comunicação segura. Além disso, pretende-se realizar testes em ambiente real.

## REFERÊNCIAS

[1] P. Jittrapirom, V. Caiati, A. M. Feneri, S. Ebrahimigharehbaghi, M. J. Alonso-González, and J. Narayan, "Mobility as a service: A critical review of definitions, assessments of schemes, and key challenges," *Urban Planning*, vol. 2, no. 2, pp. 13–25, 2017.

[2] M. Kamargianni, W. Li, M. Matyas, and A. Schäfer, "A critical review of new mobility services for urban transport," *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 3294–3303, 2016.

[3] P. Rode and N. F. da Cruz, "Governing urban accessibility: moving beyond transport and mobility," *Applied Mobilities*, vol. 3, no. 1, pp. 8–33, 2018.

[4] G. Cepeliauskaite, B. Keppner, Z. Simkute, Z. Stasiskiene, L. Leuser, I. Kalnina, N. Kotovica, J. Andiš, and M. Muiste, "Smart-mobility services for climate mitigation in urban areas: Case studies of baltic countries and germany," *Sustainability*, vol. 13, no. 8, p. 4127, 2021.

[5] J. Zhou, Y. Guo, J. Sun, E. Yu, and R. Wang, "Review of bike-sharing system studies using bibliometrics method," *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 2022.

[6] Y. Zhou, Y. Yu, Y. Wang, B. He, and L. Yang, "Mode substitution and carbon emission impacts of electric bike sharing systems," *Sustainable Cities and Society*, vol. 89, p. 104312, 2023.

[7] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.

[8] M. Savastano, M.-C. Suci, I. Gorelova, and G.-A. Staviš, "How smart is mobility in smart cities? an analysis of citizens' value perceptions through ict applications," *Cities*, vol. 132, p. 104071, 2023.

[9] S. Narayanan and C. Antoniou, "Shared mobility services towards mobility as a service (maas): What, who and when?" *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 168, p. 103581, 2023.

[10] M. A. Razzaque and S. Clarke, "Smart management of next generation bike sharing systems using internet of things," in *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)*. IEEE, 2015, pp. 1–8.

[11] Itaú. Bike Itaú. [Online]. Available: <https://bikeitau.com.br/bikerio/>

[12] A. Esporte. Yellow começa a oferecer bicicleta elétrica compartilhada no Brasil. [Online]. Available: <https://g1.globo.com/carros/noticia/2019/03/11/yellow-comeca-a-oferecer-bicicleta-eletrica-compartilhada-no-brasil.ghtml>

[13] A. Batista. Jump: veja como funcionam as bicicletas elétricas da Uber. [Online]. Available: <https://www.techudo.com.br/noticias/2019/09/jump-veja-como-funcionam-as-bicicletas-eletricas-da-uber.ghtml>

[14] Vélib'. Vélib' Metropole. [Online]. Available: <https://www.velib-metropole.fr/pt>

[15] Santander. Santander Cycles. [Online]. Available: <https://tfl.gov.uk/modes/cycling/santander-cycles>

[16] Bicing. Mou-te de manera sostenible per Barcelona! [Online]. Available: <https://www.bicing.barcelona/>

[17] I. G. Purwanda, T. Adiono, S. Situmorang, F. Dawani, H. A. Samhany, and S. Fuada, "Prototyping design of a low-cost bike sharing system for smart city application," in *2017 International Conference on ICT For Smart Society (ICISS)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.

[18] D. Angulo-Esguerra, C. Villate-Barrera, W. Giral, H. C. Florez, A. T. Zona-Ortiz, and F. Díaz-Sánchez, "Parkurbike: An iot-based system for bike parking occupation checking," in *2017 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*. IEEE, 2017, pp. 1–5.

[19] C. Pakdeewanich, R. Tiyyarattanachai, and I. Anantavasilp, "Locally designed campus smart bike sharing system: lessons learned and design optimization for thailand," in *2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*. IEEE, 2020, pp. 721–725.

[20] M. Nordahl, B. Magnusson, G. Hedin, and A. Åkesson, "Smart bikes: Gradual update of iot systems," in *2020 IEEE 24th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop (EDOCW)*. IEEE, 2020, pp. 99–102.

[21] A. Al-Ali, R. Aburukba, A. Riaz, A. Al Nabulsi, D. Khan, S. Khan, and M. Amer, "Iot-based shared community transportation system using e-bikes," in *2021 5th International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*. IEEE, 2021, pp. 61–65.

[22] A. Al-Rahamneh, J. J. Astrain, J. Villadangos, H. Klaina, I. P. Guembe, P. Lopez-Iturri, and F. Falcone, "Bi2bi communication: Toward encouragement of sustainable smart mobility," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 9380–9394, 2022.

[23] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Commun. Surv.*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.

[24] L. Ambrosio, P. L. S. Paulino, J. Antiquera, G. P. Aquino, and E. C. Vilas Boas, "EcoWaste: A Smart Waste Platform Enabling Circular Economy," in *2021 IEEE 19th Student Conference on Research and Development (SCORED)*, 2021, pp. 411–415.

[25] A. A. da Conceição, L. P. Ambrosio, T. R. Leme, A. C. S. Rosa, F. F. Ramborger, G. P. Aquino, and E. C. Vilas Boas, "Internet of Things Environment Automation: A Smart Lab Practical Approach," in *2022 2nd International Conference on Information Technology and Education (ICIT&E)*, 2022, pp. 01–06.