

# **A DIGITALIZAÇÃO DO TRANSPORTE PÚBLICO EM CIDADES DE MÉDIO PORTE: PROPOSTA DE UM SISTEMA DE RECARGA ONLINE PARA O TRANSPORTE COLETIVO URBANO DE UBERABA (MG)**

Roger David Rodriguez Aranda<sup>1</sup>; Raul Sérgio Reis Rezende<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Uberaba - UNIUBE, Brasil

Autor Correspondente: [rogerrodriguezaranda@gmail.com](mailto:rogerrodriguezaranda@gmail.com)

## **RESUMO**

Este estudo apresenta a proposta de desenvolvimento de um sistema digital de recarga online para cartões de transporte utilizados pela empresa concessionária do transporte coletivo urbano de Uberaba (MG). A iniciativa tem como objetivo contribuir para a modernização da mobilidade urbana em cidades de médio porte, por meio da integração de tecnologias digitais de pagamento e gestão de dados. O trabalho fundamenta-se em modelos teóricos de aceitação tecnológica, padrões de segurança para transações financeiras e diretrizes de proteção de dados, além de considerar a utilização do padrão General Transit Feed Specification (GTFS) para otimização da gestão da mobilidade urbana. A metodologia contempla a definição da arquitetura do sistema, a adoção de práticas de desenvolvimento ágil e a análise de requisitos de segurança e conformidade normativa, considerando a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e o padrão PCI DSS. Como resultados esperados, destacam-se a ampliação da conveniência para os usuários, a redução de custos operacionais e o avanço na digitalização dos serviços públicos de transporte. O estudo propõe, portanto, um modelo tecnológico potencialmente replicável em outros contextos urbanos de médio porte.

Palavras-chave: transporte público; pagamentos digitais; mobilidade urbana; GTFS; recarga online.

## ABSTRACT

This study presents a proposal for the development of a digital online recharge system for transportation cards used by the concessionaire company of urban public transportation in Uberaba, Minas Gerais, Brazil. The initiative aims to contribute to the modernization of urban mobility in medium-sized cities through the integration of digital payment technologies and data management systems. The study is grounded in theoretical models of technology acceptance, security standards for financial transactions, and data protection guidelines, while also considering the use of the General Transit Feed Specification (GTFS) standard to optimize urban mobility management. The methodology includes defining the system architecture, adopting agile development practices, and analyzing security and regulatory compliance requirements in accordance with the Brazilian General Data Protection Law (LGPD) and the Payment Card Industry Data Security Standard (PCI DSS). Expected results include increased convenience for users, reduced operational costs, and progress in the digitalization of public transportation services. Thus, the study proposes a technological model with potential for replication in other medium-sized urban contexts.

Keywords: public transportation; digital payments; urban mobility; GTFS; online recharge.

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho detalha o desenvolvimento técnico e o arcabouço normativo de um sistema de recarga digital para a empresa concessionária do transporte coletivo urbano de Uberaba, com o objetivo de modernizar a bilhetagem eletrônica em Uberaba (MG) e alinhar o serviço às demandas de uma cidade inteligente. Nesse contexto, a digitalização dos serviços públicos tem se consolidado como um dos principais caminhos para a melhoria da eficiência administrativa e da qualidade dos serviços oferecidos à população. No âmbito da mobilidade urbana, em especial, a modernização dos sistemas de bilhetagem e pagamento constitui um elemento central para ampliar a acessibilidade, reduzir custos operacionais e melhorar a experiência dos usuários do transporte coletivo.

Em cidades de médio porte, como Uberaba (MG), a ausência de soluções digitais de recarga de cartões de transporte ainda representa uma limitação significativa para usuários e operadores do sistema. A dependência de pontos físicos de recarga pode gerar filas, deslocamentos adicionais e dificuldades de acesso ao serviço, especialmente para determinados grupos da população. Nesse cenário, o desenvolvimento de plataformas digitais de recarga surge como uma alternativa promissora para promover maior conveniência, eficiência e inclusão digital.

Este artigo tem como objetivo apresentar a fundamentação teórica e tecnológica para o desenvolvimento de um sistema online de recarga de cartões de transporte da concessionária responsável pelo transporte coletivo no

município de Uberaba. A proposta integra conceitos de mobilidade urbana inteligente, pagamentos digitais e gestão de dados, alinhando-se às tendências contemporâneas de transformação digital em serviços públicos.

Além da dimensão tecnológica, o estudo também considera fatores relacionados à adoção de novas tecnologias pelos usuários, incluindo aspectos comportamentais e de usabilidade. Para isso, são utilizados referenciais teóricos consolidados na literatura, como o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) e a Teoria da Autodeterminação (SDT), que auxiliam na compreensão dos fatores que influenciam a aceitação de sistemas digitais.

Adicionalmente, o trabalho incorpora diretrizes técnicas e normativas relevantes para o desenvolvimento de sistemas digitais seguros e confiáveis, incluindo o padrão Payment Card Industry Data Security Standard (PCI DSS) para segurança de transações financeiras e a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) para proteção de dados pessoais. Também é considerada a adoção do padrão General Transit Feed Specification (GTFS), amplamente utilizado para estruturar dados de transporte e integrar sistemas de mobilidade com plataformas de navegação e planejamento de rotas.

A investigação está estruturada em quatro eixos principais: (1) os fatores psicológicos que influenciam a aceitação de novas tecnologias por diferentes públicos; (2) a expansão dos pagamentos digitais, com destaque para o PIX e sua aplicação no setor de transporte; (3) os requisitos de segurança e conformidade necessários às transações financeiras online; e (4) o papel do padrão GTFS na modernização da gestão da mobilidade urbana. A análise articulada desses eixos sustenta as hipóteses do projeto e reforça sua contribuição para a discussão sobre inovação em serviços públicos.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para assegurar que a solução tecnológica proposta seja robusta, segura e aceita pelo público-alvo, a metodologia deste trabalho foi estruturada em cinco pilares fundamentais, detalhados a seguir.

### **2.1 Modelos Teóricos (TAM e SDT)**

A fundamentação teórica da interface e da experiência do usuário baseia-se no Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM), proposto por Davis (1989). O modelo postula que a intenção de uso é determinada pela Utilidade Percebida (PU) - o quanto o sistema melhora o desempenho do usuário - e pela Facilidade de Uso Percebida (PEOU) - o quão livre de esforço é a utilização do sistema. No contexto de grupos vulneráveis, como a população idosa, a literatura indica que a utilidade percebida exerce um efeito mais significativo sobre a intenção de uso do que a facilidade de uso (Chen; Chan, 2014).

Complementarmente, integra-se a Teoria da Autodeterminação (SDT) (DECI; RYAN, 1985), focada na motivação humana. O sistema busca satisfazer as necessidades de autonomia (permitir recargas a qualquer momento), competência (oferecer uma interface intuitiva que gere senso de eficácia) e relacionamento (fortalecer a confiança por meio da transparência).

## 2.2 Desenvolvimento da Aplicação e Metodologia Ágil

O desenvolvimento da aplicação segue uma metodologia ágil híbrida, combinando práticas do Scrum e Kanban. O ciclo de vida do *software* foi organizado nas seguintes etapas:

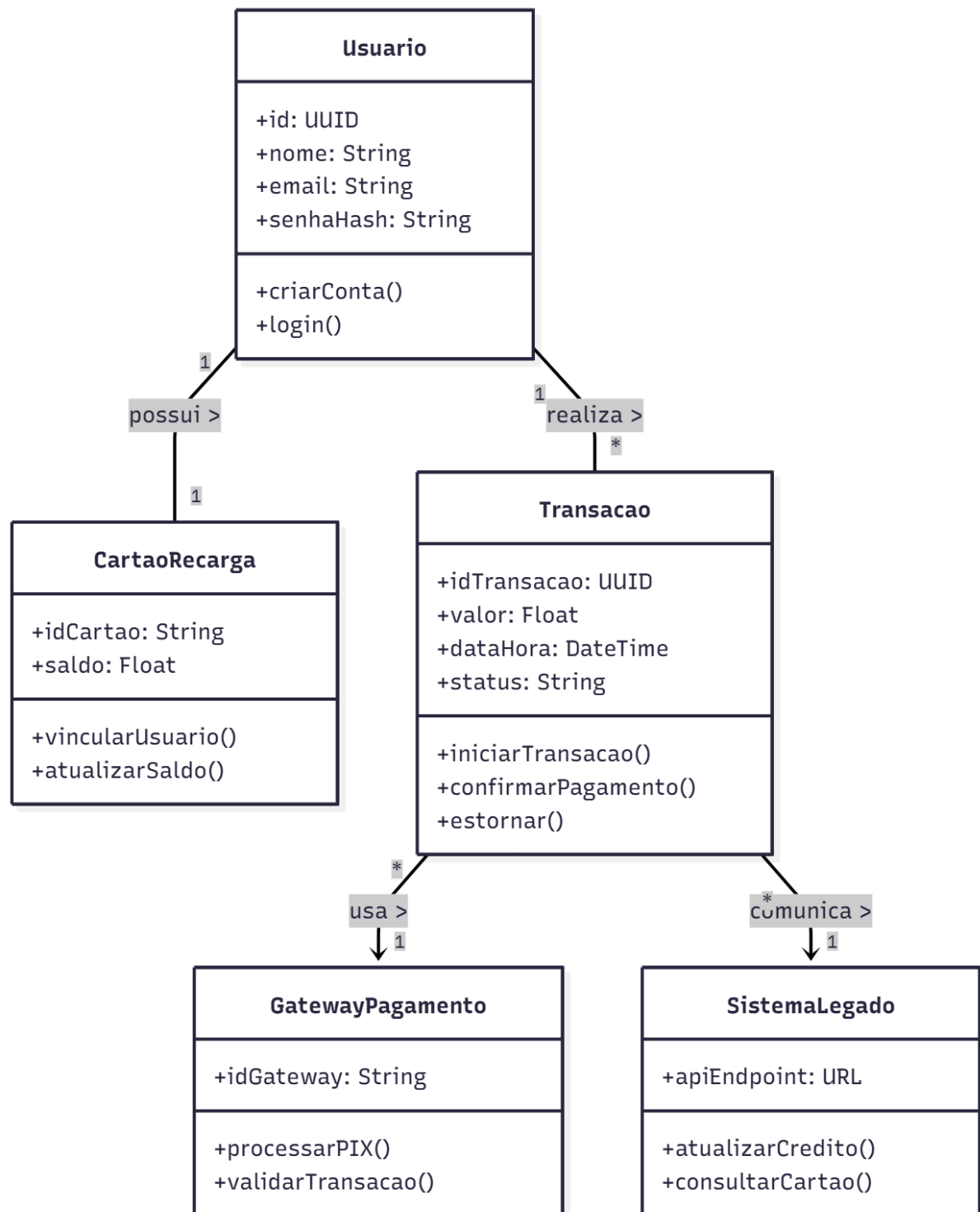
1. **Análise de Requisitos:** Levantamento de requisitos funcionais (como cadastro, *login*, recarga via PIX) e não funcionais (acessibilidade, tempo de resposta), documentados no *Software Requirements Specification* (SRS).
2. **Prototipagem:** Criação de *wireframes* de baixa e alta fidelidade para validar o fluxo de navegação antes da codificação.
3. **Implementação:** Desenvolvimento iterativo dos módulos de gestão de conta, carteira digital e processamento de pagamentos.
4. **Testes:** Execução de testes unitários e de integração, seguidos por testes de usabilidade (SUS - System Usability Scale) para validar a aderência aos modelos TAM e SDT.

## 2.3 Arquitetura do Sistema e Integração

A arquitetura da solução foi projetada para garantir escalabilidade e alta disponibilidade. O sistema opera com arquitetura de microsserviços ou, alternativamente, com estrutura modular, conforme ilustrado no Diagrama de Classes (Figura 1) e no Diagrama de Casos de Uso (Figura 2).

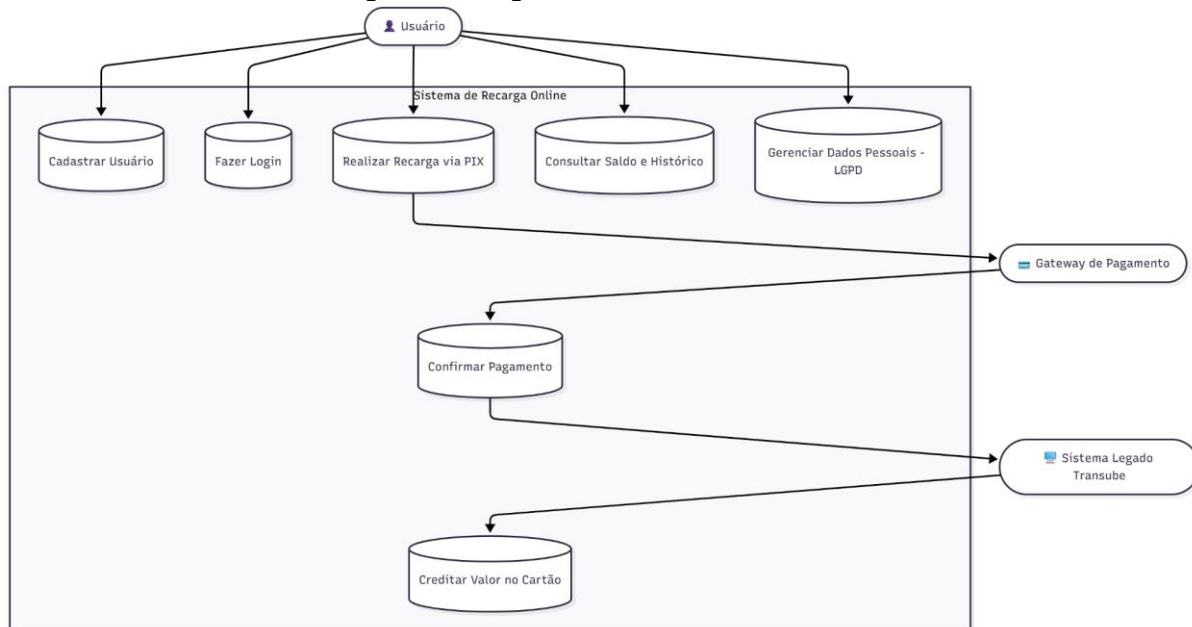
- Front-end: desenvolvido com *frameworks* modernos, como React ou Angular, com o objetivo de garantir interface responsiva, acessível e adaptada a dispositivos móveis e *desktops*.
- Back-end: Construído em linguagens robustas (Node.js/Nest.js ou Python), responsável pela regra de negócios, autenticação via tokens JWT e orquestração das transações.
- Banco de Dados: Utiliza-se um banco relacional (PostgreSQL) para dados estruturados transacionais (usuários, cartões, histórico) e, opcionalmente, um banco NoSQL (Firestore) para logs de auditoria e notificações em tempo real.

Figura 1 – Diagrama de Classes do Sistema de Recarga



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

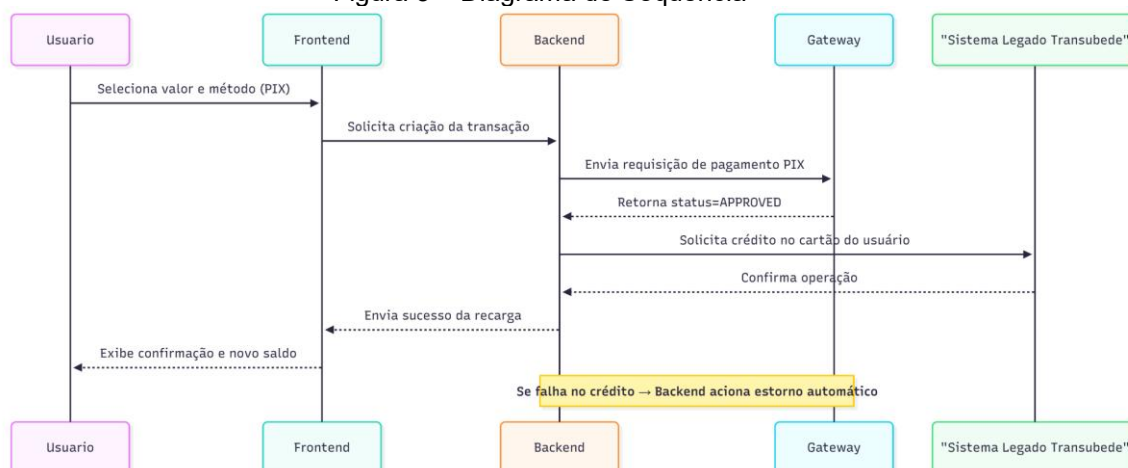
Figura 2 – Diagrama de Casos de Uso



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

O fluxo técnico da recarga é crítico e deve garantir a atomicidade da transação. Conforme detalhado no Diagrama de Sequência (Figura 3), o sistema inicia a transação no gateway de pagamento e, somente após a confirmação do recebimento (status approved), solicita a liberação do crédito na API legada da operadora do serviço. Mecanismos de *fallback*, como o estorno automático, foram previstos para situações em que o pagamento é processado, mas a inserção do crédito não é concluída.

Figura 3 – Diagrama de Sequência



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

## **2.4 Segurança e Conformidade (LGPD / PCI DSS)**

A segurança da plataforma é alicerçada em normas internacionais. Para o processamento de pagamentos, o sistema adere ao Payment Card Industry Data Security Standard (PCI DSS). Uma estratégia central consiste na utilização de gateways de pagamento certificados que empregam tokenização, garantindo que dados sensíveis do cartão de crédito não sejam armazenados nos servidores da empresa concessionária, o que reduz significativamente o escopo de risco (PCI Security Standards Council, 2024).

Paralelamente, a conformidade com a LGPD deve ser assegurada por meio de mecanismos de consentimento, transparência no tratamento de dados pessoais, criptografia das informações sensíveis e possibilidade de gerenciamento dos dados pelo usuário, respeitando os princípios de finalidade, necessidade e segurança.

## **2.5 Adoção do Padrão GTFS**

Além da recarga, o projeto inova ao propor a estruturação dos dados de transporte no formato General Transit Feed Specification (GTFS). Segundo Vieira *et al.* (2024), a integração de rotas de ônibus com plataformas como o Google Maps é fundamental para reduzir disparidades de acesso e promover uma mobilidade mais equitativa, especialmente em áreas com menor densidade de informação.

O sistema inclui um módulo capaz de exportar dados estáticos (rotas, paradas, horários) que podem ser consumidos por grandes plataformas de navegação. Essa possibilidade posiciona o sistema de transporte coletivo urbano de Uberaba como parte de uma estratégia de cidade inteligente, ao ampliar a transparência das informações e favorecer o planejamento dos deslocamentos pelos usuários.

## **3 Resultados Esperados**

O projeto constitui uma aplicação prática de um conjunto interconectado de teorias, padrões técnicos e diretrizes normativas. O Quadro 1 sintetiza a análise da literatura e a contribuição de três trabalhos selecionados para a fundamentação da proposta.

Foram selecionados três trabalhos com base em sua relevância temática, atualidade e aderência ao escopo do projeto.

Quadro 1 – Contribuições da literatura para a fundamentação da proposta

2014	<b>Referência</b>	CHEN, K.; CHAN, A. H. S. Gerontechnology acceptance by elderly Hong Kong Chinese: a senior technology acceptance model (stam). <b>Ergonomics</b> , [S.L.], v. 57, n. 5, p. 635-652, 24 mar. 2014.
	<b>Tema Central</b>	Adoção de tecnologia por idosos com base no TAM.
	<b>Possíveis contribuições</b>	Fornecer uma nuance crítica ao TAM clássico, mostrando que a utilidade percebida é o principal preditor da adoção por idosos, o que orienta o design da interface e a comunicação do projeto.
2025	<b>Referência</b>	CONTERNO, R. C.; SANTOS, G. D. Mobilidade Urbana em Cidades Inteligentes: lacunas, tendências e oportunidades. <b>Revista Brasileira de Geografia Física</b> , [S.L.], v. 18, n. 2, p. 1475-1497, 17 fev. 2025.
	<b>Tema Central</b>	Mobilidade urbana em cidades inteligentes. Lacunas de pesquisa em cidades de médio porte.
	<b>Possíveis contribuições</b>	Contextualiza a relevância do projeto proposto para a empresa concessionária de Uberaba, demonstrando que a pesquisa se insere em uma lacuna identificada na literatura, frequentemente voltada às grandes metrópoles. Também sustenta a escolha de Uberaba como estudo de caso.
2025	<b>Referência</b>	OLIVEIRA, L. M. F.; ALVES, R. M.; GONTIJO, E. C. Sistema de bilhetagem eletrônica para transporte público: um estudo realizado no campus universitário da UFRJ. Boletim do Gerenciamento: <b>Revista Eletrônica</b> , Rio de Janeiro, v. 1, n. 46, p. 14-25, 2025.
	<b>Tema Central</b>	Bilhetagem eletrônica e sua gestão por órgãos públicos.
	<b>Possíveis contribuições</b>	Destaca a importância de o órgão gestor assumir a governança do banco de dados da bilhetagem eletrônica para fins de inovação e gestão. Reforça o valor da proposta de gerar um ativo de dados em GTFS para a empresa de transporte coletivo urbano de Uberaba e para o poder público municipal.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Cada uma das três hipóteses centrais do TCC está diretamente relacionada à fundamentação teórica apresentada.

- **H1 (Eficiência do Usuário):** Estima-se que a implementação de um sistema online de recarga possa resultar em uma redução de até 70% no tempo médio total despendido pelos usuários para realizar o processo de recarga. Essa hipótese constitui uma métrica quantitativa relacionada ao construto de Utilidade Percebida (PU), proposto pelo Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM).
- **H2 (Usabilidade e Confiança):** Busca-se atingir um índice superior a 90% de satisfação dos usuários em relação à segurança e à usabilidade da plataforma. Essa hipótese é sustentada por três pilares

teóricos: a Facilidade de Uso Percebida (PEOU), do TAM; os fatores de Competência e Relacionamento (confiança), da Teoria da Autodeterminação (SDT); e a conformidade com os padrões de segurança estabelecidos pelo PCI DSS e pela LGPD.

· **H3 (Custo-Benefício Operacional):** Estima-se que a adoção da plataforma digital de recarga possa contribuir para uma redução de até 30% nos custos operacionais da empresa concessionária. A viabilidade econômica dessa hipótese está diretamente relacionada ao nível de adesão e utilização efetiva do sistema, aspecto que também encontra respaldo na fundamentação teórica baseada no TAM e na SDT.

## 4 DISCUSSÃO

A discussão dos resultados esperados deste trabalho encontra respaldo nas evidências apresentadas na literatura, reforçando a hipótese de que a adoção de soluções digitais de recarga pode contribuir significativamente para a melhoria da experiência do usuário, para a redução de custos operacionais e para a ampliação da eficiência e da transparência na gestão da mobilidade urbana. Nesse contexto, destaca-se a utilização de tecnologias de pagamento instantâneo, como o PIX, cuja aplicação em sistemas de transporte coletivo de cidades de médio porte ainda é pouco explorada pela literatura. Assim, a proposta deste estudo amplia essa discussão ao analisar a viabilidade e os possíveis impactos dessa tecnologia no cenário de Uberaba (MG), especialmente no que se refere à conveniência, rapidez e acessibilidade no processo de recarga.

Além disso, a pesquisa aborda uma importante dimensão social ao considerar a inclusão digital em serviços públicos essenciais. Ainda são limitados os estudos que aplicam, de forma prática, teorias de adoção de tecnologia por idosos e outros públicos com maior vulnerabilidade digital no contexto do transporte coletivo. Nesse sentido, o projeto contribui ao demonstrar como princípios de design centrado no usuário, associados aos referenciais do Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) e da Teoria da Autodeterminação (SDT), podem favorecer a adoção da solução, promovendo ganhos em mobilidade, autonomia e qualidade de vida.

Outro aspecto relevante refere-se à compreensão da bilhetagem eletrônica não apenas como um mecanismo de cobrança, mas como um ativo estratégico de dados. A literatura sobre a gestão de sistemas de bilhetagem por entes públicos ou concessionárias ainda é limitada, especialmente no que diz respeito ao uso dessas informações para planejamento urbano e inovação. Ao propor a modelagem dos dados do sistema de transporte coletivo local no padrão GTFS, este trabalho contribui para demonstrar como a bilhetagem eletrônica pode ampliar a transparência das informações, subsidiar decisões estratégicas e integrar-se a plataformas digitais de navegação e monitoramento.

Por fim, a pesquisa agrega valor à área de desenvolvimento de software ao propor uma arquitetura contemporânea, baseada em metodologias ágeis, como Scrum e Kanban, e em tecnologias full stack com potencial de escalabilidade e segurança para transações financeiras críticas. Para a gestão pública local, a contribuição manifesta-se na possibilidade de otimização de custos operacionais, conforme previsto na hipótese H3, e na criação de um ativo estratégico de dados estruturado em GTFS, favorecendo a transparência, a inclusão digital da população e o alinhamento de Uberaba ao conceito de cidades inteligentes.

## 5 CONCLUSÃO

O projeto de um sistema de recarga *online* para a empresa concessionária do transporte coletivo urbano de Uberaba encontra respaldo em teorias consolidadas, padrões de mercado e necessidades sociais concretas. A articulação entre o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) e a Teoria da Autodeterminação (SDT) oferece uma abordagem abrangente para o desenho da solução, enquanto a adesão aos padrões PCI DSS, à LGPD e ao GTFS reforça a segurança, a conformidade legal e a contribuição para o planejamento urbano. A análise da literatura indica que o projeto é tecnicamente viável e academicamente relevante, pois enfrenta lacunas relacionadas à digitalização do transporte em cidades de médio porte e à adoção de tecnologia por públicos mais vulneráveis. Desse modo, o trabalho apresenta potencial para servir como modelo replicável, evidenciando como a tecnologia pode favorecer a inclusão social e a eficiência urbana.

Como trabalho futuro, recomenda-se a implementação de um protótipo funcional e a validação empírica junto aos usuários e à gestão pública municipal.

## REFERÊNCIAS

ABECS. **Pagamentos digitais no transporte público: próximos passos.** Panorama ABECS, 2024. Disponível em: <https://panoramaabecs.com.br/pagamentos-digitais-no-transporte-publico-proximos-passos/>. Acesso em: 14 set. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

CHEN, K.; CHAN, A. H. S. Gerontechnology acceptance by elderly Hong Kong Chinese: A senior technology acceptance model (STAM). **Ergonomics**, v. 57, n. 5, p. 635-652, 2014.

CONTERNO, R. C.; SANTOS, G. D. Mobilidade Urbana em Cidades Inteligentes: lacunas, tendências e oportunidades. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 1475-1497, 17 fev. 2025.

DAVIS, F. D. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. **MIS Quarterly**, v. 13, n. 3, p. 319-340, 1989.

DECI, E. L.; RYAN, R. M. **Intrinsic motivation and self-determination in human behavior**. New York: Plenum, 1985.

GOOGLE. **Visão geral da GTFS Static**. Google for Developers, 2025. Disponível em: <https://developers.google.com/transit/gtfs?hl=pt-br>. Acesso em: 14 set. 2025.

OLIVEIRA, L. M. F.; ALVES, R. M.; GONTIJO, E. C. Sistema de bilhetagem eletrônica para transporte público: um estudo realizado no campus universitário da UFRJ. Boletim do Gerenciamento: **Revista Eletrônica**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 46, p. 14-25, 2025.

PCI SECURITY STANDARDS COUNCIL. **PCI DSS**: padrão de segurança de dados. Versão 4.0. Wakefield, 2024.

VIEIRA, J. E. *et al.* Mobilidade Equitativa: Otimização em tempo real de rotas de ônibus para comunidades rurais com integração ao Google Maps. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 10, n. 04, p. 2581-2597, abr. 2024.