

Monitoramento Ubíquo de Veículos em Ambientes Urbanos: Um Estudo de Caso em Salvador com SDR e ADS-B

José Ângelo Lefundes Coelho
angelolefundes@yahoo.com.br
Instituto Federal da Bahia

Allan Edgard Silva Freitas
allan@ifba.edu.br
Instituto Federal da Bahia

Manoel Carvalho Marques
manoelnetom@gmail.com
Instituto Federal da Bahia

ABSTRACT

The growing demand for urban land mobility solutions has driven the development of vehicle tracking tools as a promising alternative for urban public transport in several parts of the world. A comprehensive literature review, using the Methodi Ordinatio, was carried out through a systematic search in electronic databases such as ScienceDirect, IEEE Xplore, Scopus, and Web of Science. Some articles were selected for a literature review that addresses aspects of vehicle traceability applied in the context of public transport. We propose an approach based on SDR (Software Defined Radio) technology using ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), the paper presents the results for a preliminary validation, considering a case study in the city of Salvador, Bahia.

KEYWORDS

ADS-B, Vehicle geolocation, SDR, Real-time fleet tracking, Urban mobility.

1 INTRODUÇÃO

A modernização do transporte público é central para cidades inteligentes. Salvador transporta mais de 1,1 milhão de passageiros por dia em seu Sistema de Transporte Coletivo por Ônibus (STCO), composto por 947 veículos e monitorado pelo Centro de Controle Operacional (CCO) [17]. Apesar de avanços como o BRT, vias exclusivas e veículos mais modernos, ainda existem desafios no rastreamento em tempo real e na comunicação com a frota, especialmente em áreas de baixa infraestrutura. O sistema é dividido em três grandes Áreas Operacionais, facilitando a integração, mas também revelando desigualdades de conectividade. Salvador possui uma das piores coberturas de celular do país, com média de 2.582 habitantes por antena e até 5.075 em regiões periféricas, o que compromete o funcionamento de sistemas dependentes de redes móveis [8, 12].

Nesse contexto, a Figura 1 ilustra o desenho técnico básico do sistema de Rádio Definido por Software (SDR) utilizado neste estudo, composta por um fluxo de processamento que inicia com a captura do sinal de RF analógico, que é convertido para o domínio digital através de um conversor analógico-digital (ADC). O sinal digitalizado é então processado por um processador digital, implementado em FPGA, SoC ou DSP, responsável por tarefas como demodulação, filtragem e decodificação dos dados ADS-B. Após o processamento, os dados podem ser reconvertidos para sinal analógico por meio de um conversor digital-analógico (DAC), permitindo realimentação do sistema para ajustes automáticos. Além disso, a arquitetura conta com interfaces de entrada e saída de dados digitais, denominadas

Data In (para controle) e Data Out (para os dados processados), que possibilitam a comunicação com sistemas externos. Essa estrutura permite a flexibilidade e a adaptabilidade necessárias para a recepção e análise de mensagens ADS-B, viabilizando o rastreamento em tempo real dos veículos do transporte coletivo urbano de Salvador de forma autônoma e resiliente.

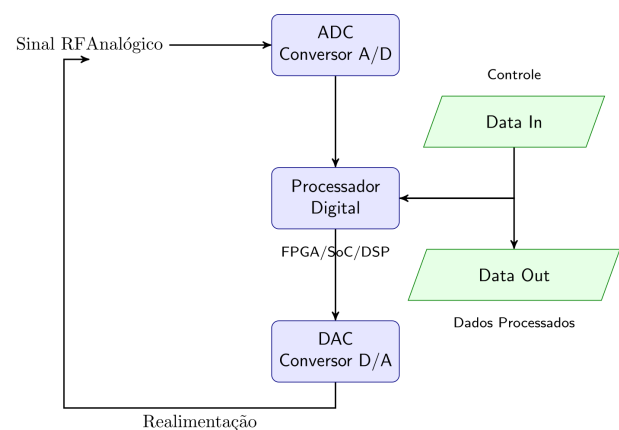


Figura 1: Desenho técnico SDR/ADS-B do projeto

O protocolo ADS-B, já consolidado na aviação civil [15] para a transmissão autônoma de dados de telemetria por radiofrequência, permite a emissão contínua de pacotes contendo geolocalização, velocidade, direção, altitude e identificação do veículo, sem dependência de infraestrutura de rede móvel ou internet.

Embora tradicionalmente aplicado à aviação, o ADS-B tem despertado interesse para soluções experimentais de baixo custo com SDR e plataformas como GNU Radio. Em 2018, foi demonstrada a viabilidade de implementar sistemas transmissores e receptores ADS-B com hardware de baixo custo (como HackRF e RTL-SDR), em um estudo pioneiro que utilizou técnicas de Rádio Definido por Software (SDR) [19]. No entanto, tal iniciativa, assim como outras encontradas na literatura, manteve o foco e a aplicação restritos ao contexto aeronáutico. Este trabalho propõe uma inovação ao adaptar essa tecnologia ao transporte terrestre urbano, transmitindo não apenas localização e velocidade, mas também dados avançados de telemetria, como temperatura interna do veículo, status do ar-condicionado, itinerário ativo, empresa operadora e dados operacionais relevantes para a gestão em tempo real.

Além de responder a uma deficiência estrutural local (falha de cobertura de sinal), a proposta se alinha às diretrizes do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável de Salvador (PlanMob) e ao esforço da cidade para incorporar tecnologias mais sustentáveis e

integradas. Entre 2021 e 2024, Salvador requalificou 650 pontos de ônibus, expandiu sua rede cicloviária para 335 km, reduziu em 37% as queixas por não parada nos pontos e elevou em 140% o uso do BRT [17]. Esses avanços revelam uma infraestrutura pronta para dar o próximo passo em direção à mobilidade inteligente, com dados confiáveis, transmissão independente e acesso em tempo real às condições operacionais da frota.

Portanto, este artigo descreve a concepção e implementação de um sistema experimental de rastreamento baseado em ADS-B com SDR, voltado para o transporte público coletivo urbano de Salvador. A proposta visa aumentar a autonomia tecnológica da cidade, melhorar a qualidade da informação prestada ao cidadão e promover um modelo replicável de inovação em mobilidade urbana para outras cidades brasileiras.

2 LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO

Foi conduzido por meio da metodologia Methodi Ordinatio, que combina critérios como citações, fator de impacto e ano de publicação. Essa abordagem garante uma seleção rigorosa e reprodutível dos trabalhos mais relevantes [1, 11, 14]. A busca foi conduzida com uso de palavras-chave relacionadas a ADS-B, rádio definido por software (SDR) e geolocalização de veículos.

Após filtros qualitativos (exclusão de documentos não revisados, irrelevantes ou duplicados), identificou-se que 90% dos estudos usavam apenas "ADS-B", enquanto 10% combinavam ADS-B e SDR, evidenciando uma pesquisa altamente especializada com pouca intersecção com outras áreas. 67 documentos foram encontrados usando combinações de termos como "ADS-B, SDR, geolocalização de veículos e monitoramento em tempo real". Apenas 10 estudos focavam exclusivamente em ADS-B (9) ou sua integração com SDR (1). Nenhum trabalho combinou ADS-B com outras tecnologias de rastreamento, indicando uma pesquisa altamente especializada e pouca interdisciplinaridade, exceto no caso do SDR. Conforme Tabela 1 foram selecionados os 4 documentos com as maiores pontuações para a revisão da literatura. Os resultados mostram que a pesquisa em ADS-B é majoritariamente especializada, com pouca integração a outras áreas, exceto em estudos que combinam ADS-B e SDR. Essa lacuna indica uma oportunidade para futuras pesquisas que explorem aplicações mais amplas, principalmente em contextos de mobilidade urbana.

3 ANÁLISE E DELIMITAÇÃO DA LACUNA CIENTÍFICA

Os resultados mostram que a pesquisa em ADS-B é majoritariamente especializada, com pouca integração a outras áreas, exceto em estudos que combinam ADS-B e SDR. Essa lacuna indica uma oportunidade para futuras pesquisas que explorem aplicações mais amplas, principalmente em contextos de vigilância para veículos terrestres e mobilidade urbana.

Abordagens atuais, baseados em GPS e redes móveis (GSM/GPRS) – exemplificados por aplicativos (ex.: Google Maps, Moovit) e soluções comerciais (ex.: Cobli, Infleet) – apresentam custos elevados e dependência de fornecedores e conectividade contínua, com limitações em áreas de baixa cobertura. Alternativas como BLE (alcance restrito) ou soluções participativas (dependência de usuários) também possuem desafios técnicos e operacionais [2–5, 9, 10, 16, 21].

Em contraste, por exemplo, o estudo *Collaborative Information System to Find Efficient Routes Using Public Transport* [20] apresenta uma solução colaborativa voltada à otimização de rotas de transporte público, baseada em aplicações web e mobile que dependem de conectividade constante e dados fornecidos por usuários e autoridades locais. Embora essa abordagem demonstre avanços relevantes no contexto de mobilidade urbana, sua eficiência está condicionada à infraestrutura de rede e à disponibilidade contínua de informações externas.

De forma semelhante, o trabalho *Micro-Navigation for Urban Bus Passengers: Using the Internet of Things to Improve the Public Transport Experience* [7] propõe um sistema de micro-navegação para passageiros de ônibus urbanos, utilizando conceitos de Internet das Coisas (IoT) e comunicação via redes Wi-Fi embarcadas. Apesar de demonstrar viabilidade técnica e elevado engajamento dos usuários, o sistema apresentou limitações como dependência de infraestrutura pública Wi-Fi e conectividade constante, necessidade de integração com dados de operadoras de transporte e inconsistências entre dados em tempo real e a realidade física, especialmente em casos de atrasos e mudanças de rota. Essas restrições evidenciam a vulnerabilidade de soluções que dependem fortemente de redes externas e de provedores de dados.

O presente trabalho, por sua vez, propõe um modelo complementar e mais autônomo, fundamentado em um sistema embarcado físico (hardware) e softwares integrados, utilizando técnicas de Rádio Definido por Software (SDR) e transmissão ADS-B. Essa arquitetura elimina a dependência de provedores externos e de conectividade móvel, viabilizando uma comunicação direta e independente entre os dispositivos da rede. Tal diferencial representa um avanço significativo frente aos sistemas puramente colaborativos ou dependentes de conectividade, ao oferecer uma solução de rastreamento robusta, resiliente e com menor custo operacional.

Embora a triangulação por antenas celulares apresente limitações em termos de acurácia, que descreve a proximidade do valor amostrado com o valor verdadeiro, é a diferença entre o valor esperado e o valor verdadeiro [6], a evolução das redes móveis tem contribuído para avanços significativos. O 3G ampliou a cobertura e viabilizou serviços básicos de localização; o 4G trouxe maior largura de banda e menor latência, elevando a confiabilidade das aplicações dependentes de georreferenciamento. Com o 5G, a alta densidade de antenas e a drástica redução da latência tornam a triangulação mais precisa e viável para aplicações em tempo real. Ainda assim, em centros urbanos de elevada densidade demográfica, com muitos edifícios, áreas de sombra de sinal e barreiras naturais como morros, a qualidade da cobertura pode ser reduzida, resultando em zonas de instabilidade e falhas na localização geográfica.

Diante disso, a combinação de SDR e ADS-B surge como uma alternativa inovadora, com potencial para reduzir a dependência de infraestrutura embarcada e redes móveis, oferecendo uma solução mais robusta para o rastreamento de frotas urbanas. Essa lacuna destaca a originalidade e relevância do presente estudo, abrindo caminho para pesquisas futuras nessa intersecção tecnológica.

4 PROPOSTA METODOLÓGICA

O núcleo da proposta deste trabalho consiste em um sistema completo de transmissão e recepção ADS-B com técnicas de broadcast

Tabela 1: Classificação de documentos pelo Methodi Ordinatio

ID	PAPER	FI	CI	ANO	IO
1	Data-driven airport management enabled by operational milestones derived from ADS-B messages	63	16	2022	23.063
2	CABBA: Compatible Authenticated Bandwidth-efficient Broadcast protocol for ADS-B	9	0	2025	10.009
3	ADS-B transmitter/receiver simulation to decode real aircraft trajectories with software defined radios	277	5	2019	9.277
4	Experimental RCS acquisition system: Using software defined radio to build a classification dataset	319	3	2013	1.319

adaptado para transporte terrestre, implementado através de Rádio Definido por Software (SDR) utilizando a plataforma GNU Radio. Conforme representado na Figura 2, o objetivo é criar uma solução de baixo custo, porém com desempenho profissional, capaz de transmitir não apenas localização e velocidade, mas também dados avançados de telemetria, como temperatura interna do veículo, status do ar-condicionado, itinerário ativo e empresa operadora

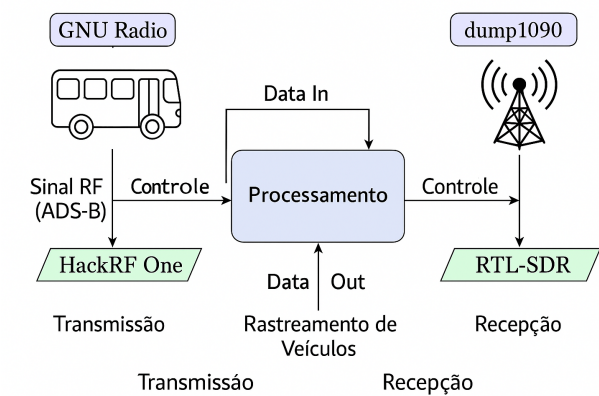


Figura 2: Representação técnica da solução

A solução proposta é estruturada em três camadas principais: transmissão, recepção e processamento. Os dados de GPS, históricos ou em tempo real, são processados e utilizados para monitorar, via aplicativo móvel, o deslocamento das frotas de veículos. A implementação desse sistema de rastreabilidade permitirá que os usuários do transporte público acessem informações atualizadas praticamente em tempo real sobre a previsão de horários de chegadas e partidas, facilitando o planejamento de viagens e melhorando a experiência de transporte.

4.1 Arquitetura do Sistema

O funcionamento básico do processamento ADS-B In e ADS-B Out, ilustrada de forma genérica na Figura 1 e o funcionamento detalhado da solução proposta na Figura 2, é composta por um fluxo de processamento de sinal completo. Na camada de transmissão, instalada nos veículos, utiliza-se o hardware HackRF One como transmissor SDR, operando na frequência de 1090 MHz – originalmente aeronáutica, mas adaptada para este projeto. A taxa de símbolos é fixada em 1 Mbps com modulação PPM modificada, oferecendo uma potência de saída de 20 dBm, suficiente para um alcance aproximado de 5 km em ambiente urbano.

Já na camada de recepção, emprega-se um receptor SDR de baixo custo, o RTL-SDR, com uma taxa de amostragem inicial de 2,88 MS/s, posteriormente convertida para 12 MS/s. Esta configuração garante uma sensibilidade de -90 dBm com uma taxa de erro de bits (BER) de 10 a uma relação sinal-ruído (SNR) de 15 dB. Por fim, o processamento digital do sinal é realizado com o auxílio da plataforma GNU Radio Companion, utilizando blocos personalizados desenvolvidos em C++ e Python, integrados em um único flowgraph que cobre tanto a transmissão quanto a recepção, fechando o ciclo de comunicação.

4.2 Inovações Técnicas

As principais contribuições técnicas desta proposta incluem a adaptação do protocolo ADS-B ao contexto do transporte terrestre urbano. Para tal, a estrutura da mensagem foi reduzida de 112 para 96 bits, otimizando-a para a transmissão de dados veiculares essenciais. Foram incluídos campos específicos para parâmetros operacionais relevantes, como identificação da linha, status do veículo e dados de telemetria. Adicionalmente, implementou-se um código de redundância cíclica (CRC) personalizado, projetado para oferecer maior robustez contra interferências comuns em ambientes urbanos.

A cadeia de processamento de sinal SDR também foi otimizada. Desenvolveu-se um bloco de modulação PPM adaptado para o ambiente GNU Radio, um filtro digital FIR para melhorar a qualidade do sinal e um algoritmo de sincronização aprimorado para aumentar a confiabilidade na decodificação das mensagens em condições de SNR variável.

4.3 Modelo Colaborativo de Implantação

Como ilustrado na Figura 3, o sistema proposto inova ao combinar uma infraestrutura híbrida, composta por Estações Rádio Base (ERBs) próprias e estações de crowdsourcing (ERBs domiciliares), para criar um modelo de monitoramento distribuído e colaborativo.

As ERBs, sejam próprias ou domiciliares, estarão equipadas com receptores RTL-SDR de baixo custo, utilizando um software de decodificação padronizado. A integração entre os nós da rede é realizada via protocolo MQTT, garantindo comunicação eficiente e confiável. Uma plataforma central de agregação é responsável por realizar a fusão dos dados provenientes de múltiplas estações, promovendo a validação por concordância espacial e disponibilizando os resultados consolidados para sistemas terceiros através de uma API REST. Essa abordagem colaborativa permite ampliar significativamente a cobertura geográfica e a precisão do monitoramento em tempo real, superando as limitações de infraestrutura tradicional.

A adoção deste modelo representa uma evolução significativa em relação aos métodos centralizados. Inspirado em soluções consolidadas no setor de aviação, como o FlightRadar24, este conceito

apoia-se na participação ativa da comunidade para captação e distribuição de dados. Ao permitir que cidadãos, empresas, universidades e entusiastas instalem receptores, a plataforma rompe as barreiras econômicas e físicas dos modelos tradicionais. A descentralização reduz drasticamente os custos de implantação e manutenção, eliminando a dependência de contratos com operadoras de rede e custos recorrentes de conectividade. Além disso, a redundância proporcionada por múltiplos receptores aumenta a resiliência do sistema, enquanto a validação cruzada dos dados melhora a acurácia e confiabilidade das informações, criando um ecossistema de inovação aberta e ciência cidadã.

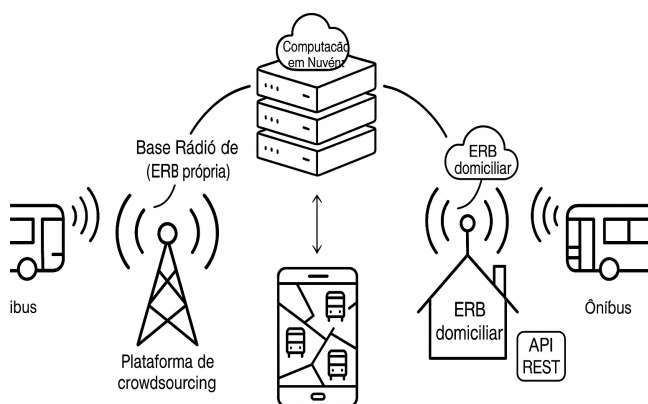


Figura 3: Modelo colaborativo da proposta

4.4 Viabilidade Econômica

Uma análise preliminar de custos foi realizada para estimar a viabilidade econômica da solução proposta. Do ponto de vista econômico, a proposta apresenta vantagens competitivas em relação às soluções comerciais baseadas em GPS diferencial ou redes móveis (ex.: Cobli, CittaMobi). O custo estimado por veículo equipado com um transmissor HackRF One é de aproximadamente \$400. Cada receptor RTL-SDR para as ERBs colaborativas tem um custo médio de \$37, valor significativamente inferior ao de soluções proprietárias.

Em contrapartida, sistemas comerciais tradicionais possuem um custo inicial por veículo que pode superar R\$ 1.000,00, além de implicarem custos operacionais mensais recorrentes com planos de dados móveis (GSM/GPRS/4G) e licenças de software. O modelo colaborativo proposto praticamente elimina esses custos operacionais contínuos, transferindo parte do investimento em infraestrutura para a comunidade, o que resulta em uma solução economicamente mais sustentável e escalável, especialmente para frotas de grande porte e para operação em áreas com pouca ou nenhuma cobertura de rede móvel.

5 VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL EM CENÁRIOS REAIS E LIMITAÇÕES

Para validar a viabilidade técnica da proposta, conduziu-se um teste de transmissão e recepção de sinais ADS-B na frequência de 1090 MHz, utilizando dispositivos de Rádio Definido por Software (SDR)

de baixo custo (HackRF One como transmissor e RTL-SDR como receptor). O transmissor foi instalado em um veículo em movimento, enquanto o receptor foi posicionado em um ponto fixo a 8,5 metros de altura, intencionalmente próximo a uma estação rádio-base (ERB) de telefonia móvel para avaliar a resistência a interferências eletromagnéticas. Devido a restrições logísticas iniciais, utilizaram-se dados de GPS simulados via arquivos CSV.

Os testes, realizados no bairro de Stella Maris em Salvador/BA, demonstraram a robustez da comunicação em ambiente urbano. O sistema manteve uma ligação estável em um perímetro urbano controlado com distâncias de até 1,5 km, superando obstáculos como edificações, condições climáticas adversas de vento, chuva e vegetação.

A modulação PPM e a arquitetura de broadcast garantiram a integridade do sinal. Os parâmetros de desempenho medidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da validação

Parâmetro	Resultado
Taxa de sucesso na decodificação	98,7%
Latência ponta-a-ponta	3,2 ± 0,5s
Consumo do transmissor (HackRF)	1,8W
Custo total de prototipação	\$420

Em contrapartida, uma solução baseada em LoRaWAN — protocolo comum em aplicações de IoT — foi submetida às mesmas condições para efeito de comparação. O desempenho do LoRaWAN foi significativamente inferior, exibindo instabilidade e perda de dados em distâncias menores. Esta limitação corrobora conclusões de [13, 18], que destacam a vulnerabilidade do protocolo em ambientes urbanos densos devido a:

- **Multipath fading** e interferências [13], que reduzem drasticamente seu alcance efetivo;
- Dependência crítica de infraestrutura fixa (ex.: receptores em paradas de ônibus), que impede o rastreamento contínuo [18];
- Suscetibilidade a ruídos no espectro não licenciado, agravada em áreas com alta densidade de dispositivos [13, 18].

Embora os resultados obtidos sejam promissores e demonstrem superioridade técnica em relação ao LoRaWAN no contexto testado, reconhece-se que a validação possui limitações. O uso de dados simulados e um alcance máximo de 1,5 km em um único bairro não são suficientes para comprovar a robustez total da solução em escala operacional. Portanto, esta fase experimental serve como uma prova de conceito bem-sucedida, que justifica e direciona a próxima etapa crucial: testes embarcados em veículos da frota urbana de Salvador, abrangendo diversas regiões e condições de tráfego.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs a adaptação da tecnologia ADS-B, consolidada na aviação, combinada com Rádio Definido por Software (SDR) para criar uma solução alternativa de rastreamento para o transporte público urbano de Salvador. A motivação central foi contornar os desafios de cobertura de rede móvel da cidade, que comprometem sistemas tradicionais baseados em GSM/GPRS.

Os resultados da prospecção bibliométrica confirmaram uma lacuna científica significativa na aplicação do ADS-B para mobilidade urbana terrestre, com a pesquisa existente sendo majoritariamente especializada no contexto aeronáutico. A validação experimental, ainda que em escala reduzida, demonstrou a viabilidade técnica do conceito, atingindo uma taxa de decodificação de 98,7% com baixa latência (3,2s) em um ambiente urbano, superando o desempenho de uma solução LoRaWAN em condições similares.

Reconhecem-se, contudo, as limitações do estudo. A análise econômica detalhada e atualizada—envolvendo custos por veículo, receptor e operação do modelo colaborativo—bem como uma comparação aprofundada com soluções comerciais (ex.: CittaMobi, Cobli) permanecem como etapas necessárias para validar a viabilidade prática da solução. Adicionalmente, a validação com dados simulados e alcance limitado a 1,5 km não é suficiente para atestar a robustez total do sistema em operação real. Portanto, recomenda-se como trabalhos futuros prioritários:

1. Reavaliar o custo do projeto para o cenário econômico atual.
2. A condução de testes embarcados em veículos da frota operacional de Salvador, abrangendo diversas regiões, incluindo áreas de baixa cobertura, para validação em escala real.
3. A elaboração de um estudo de viabilidade econômica robusto que quantifique os custos de implantação e operação e os compare com os modelos baseados em rede celular.
4. O desenvolvimento de um plano de replicação modular para estender a tecnologia a outras frotas estratégicas, como veículos escolares, ambulâncias e serviços de urgência.
5. Ampliar o estudo do espectro eletromagnético no intuito de definir melhor modelo de antena para transmissão e recepção de longo alcance.

Apesar das limitações, esta pesquisa apresenta uma contribuição inovadora ao transportar uma tecnologia robusta para um novo domínio de aplicação. A solução proposta tem o potencial de aumentar a autonomia tecnológica da cidade, melhorar a qualidade da informação fornecida ao cidadão e servir como um modelo replicável de inovação em mobilidade urbana para outras metrópoles brasileiras que enfrentam desafios similares de conectividade.

REFERÊNCIAS

- [1] M. H. F. Afonso, A. L. M. Souza, E. M. Ensslin, and S. R. Ensslin. 2012. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo ProKnow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental* 5, 2 (2012). doi:10.5773/rgsa.v5i2.424
- [2] Julia Turazzi Almeida. 2025. BUS TRACKER: Um novo jeito de rastrear as linhas de ônibus. Rio de Janeiro.
- [3] Ruth E. Anderson, Anthony Poon, Caitlin Lustig, Waylon Brunette, Gaetano Borriello, and Beth E. Kolko. 2010. Building a Transportation Information System Using Only GPS and Basic SMS Infrastructure. In *Proceedings of an International Conference on Information and Communication Technologies and Development (ICTD)*. Título alternativo ou versão complementar ao trabalho publicado na ICTD 2010.
- [4] Cobli. 2024. *Monitoramento e gestão de frotas*. Retrieved November 18, 2024 from <https://www.cobli.co>
- [5] O. Elijah et al. 2023. Transforming urban mobility with Internet of Things: public bus fleet tracking using proximity-based Bluetooth beacons. *Frontiers in Internet of Things* 2 (2023), 1255995.
- [6] Antonio Conceição Paranhos Filho, Camila Leonardo Mioto, Dhonatan Diego Pessi, Roberto Macedo Gamarra, Normandes Matos da Silva, Vinicius de Oliveira Ribeiro, and Jéssica Rabito Chaves. 2021. *Geotecnologias para Aplicações Ambientais*. Uniedusul, Brasil. <https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2021/01/GEOTECNOLOGIAS-PARA-APLICACOES-AMBIENTAIS.pdf> Acesso em: 9 out. 2025.
- [7] Stefan Foell, Gerd Kortuem, Reza Rawassizadeh, Marcus Handte, Umer Iqbal, and Pedro Marrón. 2014. Micro-Navigation for Urban Bus Passengers: Using the Internet of Things to Improve the Public Transport Experience. In *Proceedings of the 1st International Conference on IoT in Urban Space (Urb-IoT '14)*. Association for Computing Machinery (ACM), Rome, Italy, 1–8. doi:10.4108/icst-urb-iot.2014.257373
- [8] G1 Bahia. 2021. *Sinal de celular em Salvador é o segundo pior do país, diz estudo; problema está relacionado com o número de antenas na cidade*. Retrieved June 7, 2025 from <https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2021/11/30/sinal-de-celular-em-salvador-e-o-segundo-pior-do-pais-diz-estudo-problema-esta-relacionado-com-o-numero-de-antenas-na-cidade.ghtml>
- [9] J. de M. Gomes and F. G. de Paiva Júnior. 2020. A Utilização da Tecnologia no Apoio à Mobilidade Urbana: O Caso do Cittamobi Aplicativo Mobile. Trabalho acadêmico.
- [10] W. Hedgecock, M. Maroti, J. Sallai, P. Volgyesi, and A. Ledeczki. Desconhecido. *High-Accuracy Differential Tracking of Low-Cost GPS Receivers*. Technical Report. Institute for Software Integrated Systems, Vanderbilt University, Nashville, TN, USA. Relatório técnico.
- [11] J. P. T. Higgins and S. Green (Eds.). 2011. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0*. <http://www.cochrane-handbook.org> Acesso em: fevereiro 2015. Atualizado em março 2011.
- [12] Integra – Associação das Empresas de Transporte de Salvador. 2025. *Sistema de Transporte Público de Salvador*. Retrieved June 7, 2025 from <https://www.integrasalvador.com.br/sistema/>
- [13] J. G. James and S. Nair. 2017. Efficient, Real-time Tracking of Public Transport, Using LoRaWAN and RF Transceivers. In *IEEE Region 10 Conference (TENCON)*. IEEE, Malaysia, 2258–2261. doi:10.1109/TENCON.2017.8228246
- [14] Regina Negri Pagani, João Luiz Kovaleski, and Luis Mauricio Martins de Resende. 2018. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. (2018). <http://lattes.cnpq.br/7472869600330564> Publicado em: 6 maio 2018. Submetido em: 15 jun. 2016. Aprovado em: 15 maio 2017.
- [15] Fernanda Pereira. 2023. *Novo sistema de vigilância da FAB garantirá mais segurança aos voos no espaço aéreo brasileiro*. Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=novo-sistema-de-vigilancia-da-fab-garantira-mais-seguranca-aos-voos-no-espaco-aereo-brasileiro Acesso em: [data de acesso].
- [16] A. Poon, R. E. Anderson, W. Brunette, E. Johnson, C. Lustig, C. Putnam, and G. Borriello. 2010. Experiences with a transportation information system that uses only GPS and SMS. In *ACM/IEEE International Conference on Information and Communication Technologies and Development (ICTD)*. doi:10.1145/2369220.2369223 Acesso em: 20 jun. 2025.
- [17] Prefeitura Municipal de Salvador. 2025. *Capital da Mobilidade 2021–2024 – Relatório de Atividades*. Retrieved June 7, 2025 from <https://casacivil.salvador.ba.gov.br/wp-content/uploads/2025/02/Capital-da-Mobilidade-2021-2024.pdf>
- [18] Ricardo Salazar-Cabrera, Álvaro Pachón de la Cruz, and Juan Manuel Madrid Molina. 2021. Design of a Public Vehicle Tracking Service Using Long-Range (LoRa) and Intelligent Transportation System Architecture. *Journal of Information Technology Research* 14, 1 (2021), 147–166. doi:10.4018/JITR.2021010109
- [19] Lucas Lucindo Vieira. 2018. *Implementação de um Sistema ADS-B através de Técnicas de Rádio Definido por Software*. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.
- [20] Diego H. B. Zanchett, Jurair R. P. Junior, André F. Monteiro, Diego B. Haddad, and Laura S. Assis. 2019. Collaborative Information System to Find Efficient Routes Using Public Transport. In *Proceedings of the 25th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web (WebMedia '19)*. Association for Computing Machinery (ACM), Rio de Janeiro, Brazil, 473–476. doi:10.1145/3323503.3361717
- [21] P. Z. Zhou, Y. Q. Zheng, and M. Li. 2012. How long to wait? Predicting bus arrival time with mobile phone based participatory sensing. In *International Conference on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys)*. 379–392.