

AVALIAÇÃO DA COBERTURA DO SISTEMA DE WI-FI FINGERPRINT EM ÁREAS DE SOMBRA DE UM SISTEMA GPS EM TRANSPORTE PÚBLICO

ASSESSMENT OF WIFI FINGERPRINT SYSTEM COVERAGE IN GPS SHADOW AREAS IN PUBLIC TRANSPORTATION

Fabio Soares Gonçalves^{1, i}
Caio Heitor Piramo de Oliveira^{2, ii}
Leandro Poloni Dantas^{3, iii}

RESUMO

O transporte público de São Paulo enfrenta problemas na precisão do GPS, especialmente em áreas urbanas densas que geram “áreas de sombra” no sinal. Este estudo avalia o uso do Wi-Fi *fingerprint* como tecnologia complementar para cobrir falhas de posicionamento. A coleta e análise de dados em um trajeto de 2,2 km indicaram que o sistema Wi-Fi cobre de forma eficaz grande parte dos pontos sem sinal GPS, reforçando a viabilidade da integração dessas tecnologias na gestão do transporte público.

Palavras-chave: Wi-Fi *fingerprint*, transporte público, GPS, áreas de sombra.

ABSTRACT

Public transportation in São Paulo faces challenges in GPS accuracy, especially in dense urban areas that create “shadow areas” in the signal. This study evaluates the use of Wi-Fi fingerprint as a complementary technology to address positioning failures. Data collection and analysis along a 2.2 km route indicated that the Wi-Fi system effectively covers a large portion of GPS shadow points, reinforcing the feasibility of integrating these technologies in public transportation management.

Keywords: Wi-Fi fingerprint, public transportation, GPS, shadow areas.

1 INTRODUÇÃO

O transporte público paulistano depende fortemente do AVL (*Automatic Vehicle Location*), que desde 2005 utiliza GPS e GPRS para rastrear e monitorar ônibus em tempo real, otimizando rotas e auxiliando na gestão operacional. Além da localização, o sistema fornece dados como velocidade, tempos de parada e estado mecânico dos veículos, essenciais para decisões estratégicas. No entanto, o GPS embarcado apresenta falhas em áreas urbanas densas, onde o sinal é obstruído por edifícios, criando “áreas de sombra” e comprometendo a precisão do rastreamento.

Como alternativa, estudos apontam para o Wi-Fi *fingerprint*, que aproveita a alta densidade de pontos de acesso Wi-Fi existentes nas cidades para estimar posições. Pesquisas demonstram que métodos híbridos, combinando GNSS (Sistema de

¹ Pós-graduado em Sistemas Embarcados no Centro universitário SENAI São Paulo – Campus “Anchieta”. E-mail: fabioifspecoa@gmail.com

² Pós-graduado em Sistemas Embarcados no Centro universitário SENAI São Paulo – Campus “Anchieta”. E-mail: caioheitor.oliveira@gmail.com

³ Professor Dr. no Centro universitário SENAI São Paulo – Campus “Anchieta” e do Insper. E-mail: leandro.poloni@sp.senai.br.

Navegação Global por Satélite) e Wi-Fi, superam o GPS isolado tanto em precisão quanto em eficiência energética. Essa abordagem de localização suplementar surge como solução promissora para melhorar a cobertura e a confiabilidade dos sistemas de transporte público em cenários urbanos complexos (Su; Chen; & Liu, 2022; apud Li et al., 2020; Du et al., 2018).

1.1 Problema de pesquisa

Os problemas enfrentados pelo sistema de posicionamento GPS em áreas urbanas densas, onde a cobertura do sinal pode ser comprometida, levantam a necessidade de soluções alternativas para garantir a precisão na localização dos veículos de transporte público.

1.2 Objetivo

O objetivo deste estudo é investigar a eficácia do sistema Wi-Fi *fingerprint* como uma alternativa para cobrir as áreas de sombra do GPS em trechos específicos da linha de ônibus da SPTrans, analisando a precisão e a eficiência desse sistema em comparação ao GPS tradicional.

1.3 Justificativa

A implementação de um sistema eficaz de monitoramento da localização dos veículos é crucial para a melhoria da qualidade do transporte público. Diante dos desafios enfrentados pelo GPS, a utilização de tecnologia Wi-Fi pode proporcionar uma solução viável para otimizar a operação do transporte urbano e oferecer um serviço mais confiável aos cidadãos.

2 METODOLOGIA

O estudo foi dividido em três etapas:

1. Levantamento do banco de dados de *fingerprints* – Coleta inicial de pontos de acesso Wi-Fi em um trecho de 2,2 km na Rua Clélia, zona oeste de São Paulo (Figura 1), com Raspberry Pi 3 B+ e módulo GPS Ublox Neo-6M;
2. Coleta simultânea de GPS e Wi-Fi – Percurso em automóvel com *scripts* para registrar dados de ambos os sistemas e associá-los via *timestamp*;
3. Análise dos dados – Identificação de áreas de sombra (FIX = 0 no GPS) e comparação com posições obtidas pelo Wi-Fi *fingerprint*.

Equipamentos (Figura 2):

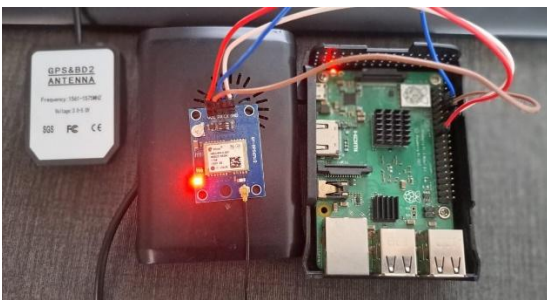
- Raspberry Pi 3 B+ (varredura Wi-Fi);
- GPS Ublox Neo-6M (coordenadas geográficas);
- *Scripts* Python para coleta, integração e visualização de dados (SQLite, Folium, Matplotlib).

Figura 1: Trajeto escolhido.



Fonte: Autores

Figura 2: Sistema utilizado, com módulo GPS à esquerda e Raspberry PI à direita.



Fonte: Autores

A Tabela 1 exemplifica o cruzamento de de *mac address* coletados dos pontos de acesso (APs) Wi-Fi e as coordenadas GPS correspondentes.

Tabela 1: Amostra do banco wifipositioning.db.

mac_address	latitude	longitude	timestamp
84:0B:BB:2E:AE:B8	-23.524.778.333.333.300	-46.704.101	2024-04-10 22:02:16.120314
60:3D:26:5D:85:DA	-23.524.814	-46.703.807.166.666.600	2024-04-10 22:02:16.181837
74:3A:EF:D9:B6:95	-23.524.838.833.333.300	-4.670.344.816.666.660	2024-04-10 22:02:16.229086
AA:42:1A:51:36:91	-23.524.873.499.999.900	-4.670.326.033.333.330	2024-04-10 22:02:16.277460
BE:2E:48:A5:56:A6	-23.524.814	-46.703.807.166.666.600	2024-04-10 22:02:16.311442
84:0B:BB:07:25:B8	-23.524.817.666.666.600	-46.703.653	2024-04-10 22:02:16.358636

Fonte: Autores

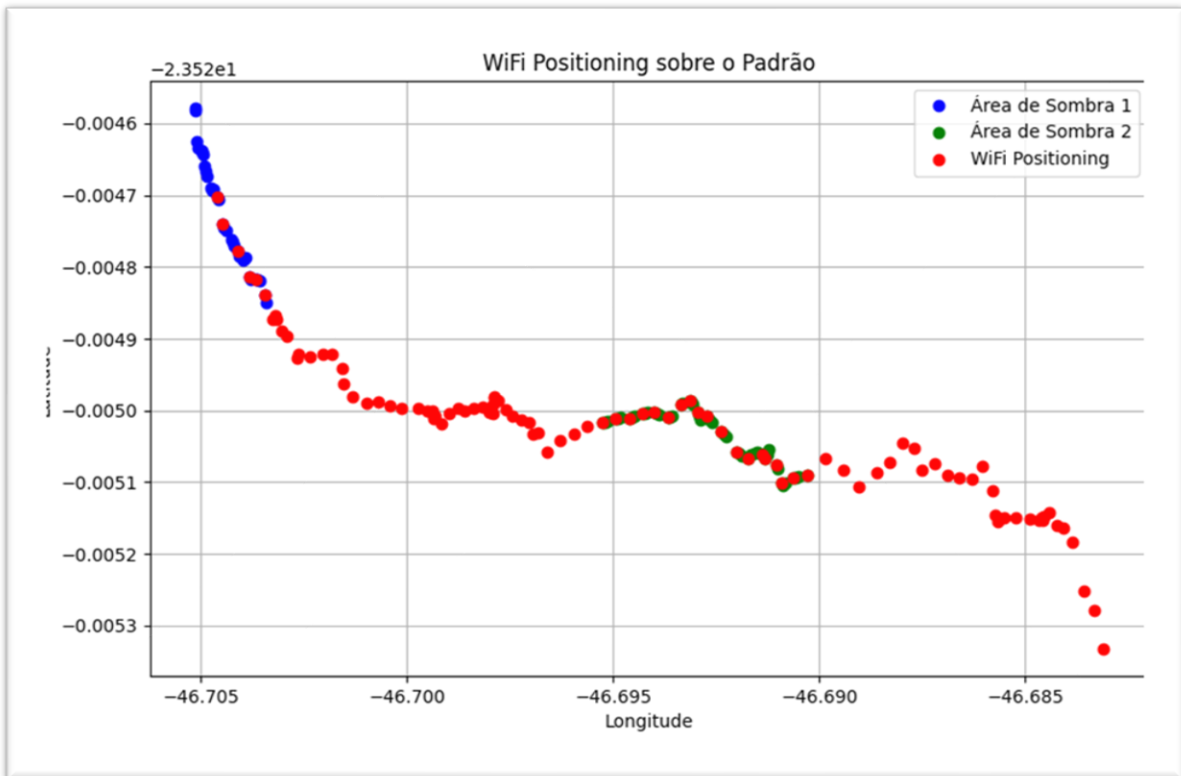
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante análise feita observou-se duas áreas de sombra de sinal GPS no trajeto analisado, uma com 124 metros no início do trajeto e outra maior com 475 metros no meio do trajeto.

As áreas de sombra foram preenchidas com as coordenadas dos *fingerprints* de sinal Wi-Fi coletados previamente em levantamento de sinais feito a pé.

A Figura 3 apresenta uma comparação visual entre os dados obtidos pelos sistemas Wi-Fi *fingerprint* sobre o trajeto padrão, destacando-se as áreas de sombra.

Figura 33: Cobertura do WiFi *fingerprint* sobre as áreas de sombra do GPS.



Fonte: Autores

A densidade e coerência dos pontos WiFi indicam que a tecnologia pode ser integrada ao AVL para suprir falhas do GPS. O uso de infraestrutura já existente reduz custos e facilita a implementação.

4 CONCLUSÃO

O sistema *WiFi fingerprint* demonstrou alto potencial para complementar o GPS em sistemas de transporte público, cobrindo integralmente as áreas de sombra identificadas no teste. Essa integração pode melhorar a confiabilidade do rastreamento de veículos em tempo real, especialmente em ambientes urbanos densos.

Os resultados sugerem que a adoção híbrida é prática, economicamente viável e de aplicação imediata. Estudos futuros devem ampliar o escopo para diferentes linhas e condições operacionais, reforçando a aplicabilidade do método.

REFERÊNCIAS

Du, H. et al. (2018)

DU, H., ZHANG, C., YE, Q., XU, W., KIBENGE, P. L., & YAO, K. **A hybrid outdoor localization scheme with high-position accuracy and low-power consumption.** EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, v. 2018, n. 1, p. 4, 2018. DOI: 10.1186/s13638-017-1010-4.

SU, Y., CHEN, L., & LIU, X. **Crowdsourced WiFi fingerprint localization in urban canyon.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. XLVI-3/W1-2022, Proceedings of the 7th International

Conference on Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location-Based Services (UPINLBS 2022), 18–19 mar. 2022, Wuhan, China. Disponível em:

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-3-W1-2022-177-2022>. Acesso em: 8 mai. 2024.

FACCHINI, E., & DIAS, E. M. **A Importância do Desenvolvimento de Processos de Controle e Métodos para Serviços de Ônibus Urbanos**. ADCAIJ: Avanços em Computação Distribuída, v. 8, n. 3, p. 51-65, 2019. Disponível em: <http://adcaij.usal.es>. Acesso em: 8 mai. 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, de forma especial, a Roberto Alves Gonçalves e Maria Valéria de Moura Piramo, pai e mãe dos autores, Fábio e Caio, respectivamente, que, com muita luta, possibilitaram que seus filhos pudessem realizar seus sonhos. Sua dedicação e apoio incondicional foram fundamentais na caminhada de ambos.

Agradecemos também a Constanza Costal Bolonha, esposa de Fábio, cujo suporte, dedicação e carinho foram essenciais para que ele pudesse perseguir esta conquista.

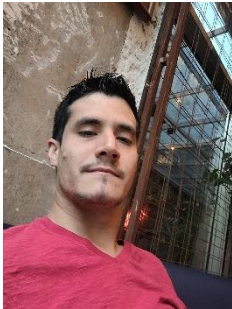
SOBRE OS AUTORES

ⁱ FABIO SOARES GONÇALVES



Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pelo Instituto Federal de São Paulo (2017) e Pós-Graduação em Sistemas Embarcados pela Faculdade SENAI Anchieta (2025). Trabalha com desenvolvimento de sistemas embarcados desde 2015. Hoje, ocupa o cargo de engenheiro de firmware especialista na Landis+Gyr. <https://orcid.org/0009-0008-8960-0585>

ⁱⁱ CAIO HEITOR PIRAMO DE OLIVEIRA



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Unip (2017), e Pós-Graduação em Sistemas Embarcados pela Faculdade SENAI Anchieta (2025). Trabalha com desenvolvimento de sistemas embarcados desde 2015. Hoje, ocupa o cargo de engenheiro de firmware sênior na Prodata Mobility. <https://orcid.org/0009-0002-6936-1798>

ⁱⁱⁱ LEANDRO POLONI DANTAS



Engenheiro (2004) e Doutor (2018) em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário FEI. Atuou por 15 anos na indústria eletrônica no desenvolvimento de novos produtos. Desde 2009, vem lecionando em cursos de pós-graduação, graduação e de nível técnico em diferentes instituições paulistanas. Atualmente é professor no Centro Universitário SENAI São Paulo e no Insper. <https://orcid.org/0000-0003-3674-336X>