

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS USUÁRIOS A PARTIR DA SIMULAÇÃO DE UM HUB DE TRANSPORTE INTELIGENTE

Mariana Aparecida Rodrigues – mariana_rodrigues@unifei.edu.br

Josiane Palma Lima – jplima@unifei.edu.br

Palavras-chave: Simulação Baseada em Agentes, Hubs de Mobilidade, Integração Modal, Mudança comportamental

1. INTRODUÇÃO

A urbanização tem avançado globalmente nas últimas décadas, impactando o planejamento urbano e os sistemas de transporte. Segundo a ONU (2022), mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas, e esse número deve ultrapassar dois terços até 2050. No Brasil, esse índice já supera 87% (IBGE, 2022).

Esse crescimento consolidou o transporte rodoviário como principal meio de deslocamento, pela facilidade de implantação em comparação ao ferroviário. Entretanto, a priorização do transporte individual gerou efeitos negativos, como congestionamentos, aumento no tempo de viagem, insegurança viária e queda na qualidade de vida (Carvalho, 2013). Além disso, veículos respondem por cerca de 60% das emissões de gases de efeito estufa no setor (Lopes Toledo e Lèbre La Rovere, 2018).

Diante desse cenário, é fundamental ampliar a oferta e integrar os modais, promovendo viagens mais acessíveis, rápidas e sustentáveis (Almatar, 2024). Os hubs de mobilidade e os Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS) surgem como soluções estratégicas. Os hubs integram diferentes modais, oferecendo infraestrutura e serviços que estimulam deslocamentos sustentáveis (CoMok, 2019; Arnold *et al.*, 2023), enquanto os ITS utilizam tecnologias para monitorar e gerir o tráfego em tempo real (Almatar, 2024; Poslat *et al.*, 2015).

Essa pesquisa tem o objetivo de avaliar os impactos da implantação de um sistema integrado e inteligente sobre o comportamento dos usuários, com foco no transporte público coletivo e na mobilidade ativa.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Hubs e Sistemas Inteligentes de Transporte

Os hubs de mobilidade são espaços que integram modais públicos, compartilhados e ativos, com infraestrutura e serviços que incentivam deslocamentos sustentáveis e ampliam o acesso a oportunidades sociais e econômicas (CoMoUK, 2019; Arnold *et al.*, 2023).

Os *e-hubs* são voltados à integração de modais elétricos, com infraestrutura para recarga de veículos compartilhados, contribuindo para a descarbonização urbana (Hosseini *et al.*, 2023; INTERREG NORTH-WEST EUROPE, 2023). Os *smart hubs* incorporam tecnologias como aplicativos para planejamento e pagamento de viagens, quiosques digitais e informação em tempo real, aumentando a eficiência e a satisfação dos usuários (Papantoniou *et al.*, 2025).

Paralelamente, os ITS aplicam Tecnologias de Informação e Comunicação (ICT) e dispositivos de Internet das Coisas (IoT), como sensores, câmeras e rastreadores GPS, para otimizar o planejamento e a operação da rede viária, oferecendo dados em tempo real para gestão de tráfego, segurança e comunicação com os usuários (Almatar, 2024; Poslad *et al.*, 2015; Mahrez *et al.*, 2025). Os ITS, aliados a estratégias como gamificação, recompensas e *feedbacks* sobre o impacto das viagens, como gasto calórico ou emissão de Co², podem incentivar mudanças modais e ampliar o uso de transportes sustentáveis (Poslad *et al.*, 2015). Em áreas suburbanas europeias, o uso de tecnologias inteligentes, em especial o processamento de dados em tempo real para a otimização de rotas, melhora a eficiência e a acessibilidade do transporte público, elevando a satisfação dos usuários (Prokopenko *et al.*, 2025).

2.2 Modelagem Baseada em Agentes aplicada à mobilidade urbana

Os sistemas de transporte envolvem interações complexas entre indivíduos, modos, infraestruturas, serviços e tecnologias, influenciadas por fatores espaciais, sociais e econômicos (Qbouche, Rhoulami, 2022; Bastariato, *et al.*, 2023). A Modelagem Baseada em Agentes (Agent-Based Models – ABM) é uma abordagem eficaz para representar essa complexidade, permitindo simular interações entre agentes autônomos, como pedestres, motoristas, veículos e até cidades, com características e comportamentos distintos e capacidade de aprendizado e adaptação ao ambiente (Crooks e Heppenstall, 2012).

Grande parte das pesquisas com ABM no contexto da mobilidade urbana, foca no aprimoramento dos sistemas de transporte, com crescente interesse na simulação de redes integradas e na aplicação de tecnologias inteligentes. Embora haja ênfase em ganhos de eficiência e crescimento econômico, outras questões como acessibilidade, sustentabilidade e saúde urbana

ainda são poucos exploradas. A maioria dos estudos utiliza dados de status de tráfego, enquanto apenas um terço foca no comportamento dos agentes. Dados da rede de pedestres, ciclistas e cartões inteligentes têm sido utilizados para avaliar a adoção de motos ativos e públicos. Também é aplicada para avaliar impactos de planos de desenvolvimentos nas mudanças modais (Divasson-J. *et al.*, 2025; Bastariato, *et al.*, 2023).

2.3 Metodologia

A pesquisa será aplicada, com foco na geração de conhecimento prático. Classifica-se como descritiva, buscando caracterizar os fenômenos e comportamentos observados. Adotará abordagem quantitativa, fundamentada na coleta e análise de dados numéricos (Gerhardt, Silveira, 2009; Triviños, 1987).

O método utilizado será a Modelagem Baseada em Agentes (ABM), possibilitando simular o comportamento de diferentes usuários, como passageiros, motoristas, pedestres e ciclistas, frente à implantação de um hub de mobilidade inteligente. Os agentes serão modelados com base em dados de uma pesquisa origem/destino, considerando atributos como preferências de deslocamento, restrições temporais, sensibilidade ao custo e capacidade de adaptação às mudanças na infraestrutura e serviços.

A construção do modelo envolverá dados sobre a rede viária, localização dos pontos de integração, horários dos serviços e dados de deslocamento dos usuários, organizados via Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permitirá a integração dos dados georreferenciados ao ambiente da simulação, garantindo maior precisão e contextualização espacial. A simulação incluirá o sistema de transporte atual e o modelo proposto, um hub de mobilidade com diferentes modais e tecnologias inteligentes.

Serão simulados cenários para avaliar impactos como mudança modal, tempo de deslocamento, redução de congestionamentos e emissões. Os resultados serão validados estatisticamente com dados reais, assegurando a confiabilidade do modelo.

3. RESULTADOS ESPERADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa combina infraestrutura integrada, tecnologias digitais e modelagem computacional para avaliar os efeitos de um hub inteligente sobre o comportamento dos usuários. Espera-se que atingir maior adoção de modais sustentáveis, redução no tempo de deslocamento, nos congestionamentos e nas emissões. A integração eficiente e o uso de tecnologias inteligentes devem melhorar a experiência dos usuários e ampliar a acessibilidade ao sistema de transporte. Os

resultados poderão oferecer subsídios para o planejamento urbano e políticas públicas voltadas à melhoria da qualidade de vida nas cidades.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio à realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMATAR, K. M. Sustainable Smart City Planning: Advances in Intelligent Transportation and E-Transportation Management. **International Journal of Transport Development and Integration**, v. 8, n. 1, p. 167-177, 2024.

ARNOLD, T.; FROST, M.; TIMMIS, A.; DALE, S.; ISON, S. Mobility Hubs: Review and Future Research Direction. *Transportation Research Record*, v. 2677, n. 2, p. 858-868, 2023.

BASTARIANTO, F. F.; HANCOCK, T. O.; CHOUDHURY, C. F.; MANLEY, E. Agent-based models in urban transportation: review, challenges, and opportunities. *European Transport Research Review*, v. 15, n.19, 2023.

CARVALHO, C. H. R. Mobilidade urbana: avanços, desafios e perspectivas. In Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Org.), *Novos marcos regulatórios: quinze anos de Estatuto da Cidade e a nova Lei da Mobilidade Urbana* (Cap. 14). Brasília: Ipea, 2016.

COMOUK. Mobility Hubs Guidance. CoMoUK, Leeds, 2019. <https://como.org.uk/wp-content/uploads/2019/10/Mobility-Hub-Guide-241019-final.pdf>. Acesso: agosto 2025.

CROOKS, A. T.; HAPPENSTALL, A. J. Introduction to agent-based modelling. In **Agent-based models of geographical systems**, p. 85-105. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012.

DIVASSON-J, A.; MACARULLA, A. M.; GARCIA, J. I. BORGES, C. E. Agent-based modeling in urban human mobility: a systematic review. **Cities**, v. 158, 2025.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

HOSSEINI, K.; STEFANIEC, A.; O'MAHONY, M.; CAULFIELD, B. Optimising shared electric mobility hubs: Insights from performance analysis and factors influencing riding demand, *Case Studies on Transport Policy*, v. 13, 2023.

IBGE. Panorama do Censo Demográfico 2022. Disponível: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso: 01 ago. 2025.

INTERREG NORTH-WEST EUROPE. *eHUBS – Smart Shared Green Mobility Hubs*. Disponível: <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/ehubs-smart-shared-green-mobility-hubs/>. Acesso: 27 ago. 2025.

LOPES TOLEDO, A. L., LÈBRE LA ROVERE, E. Urban Mobility and Greenhouse Gas Emissions: Status, Public Policies, and Scenarios in a Developing Economy City, Natal, Brazil. **Sustainability**, v. 10, n. 11, 2018.

MAHREZ, Z.; SABIR, E.; BADIDI, E.; SAAD, W.; SADIK, M. Smart Urban Mobility: When Mobility Systems Meet Smart Data, *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, v. 23, n. 7, 2022.
ONU – Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-HABITAT). **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities**. Nairobi, 2022. Disponível: World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities | UN-Habitat. Acesso: 01 ago. 2025.

PAPANTONIOU, P.; PAVLOU, D.; AMPRASI, V.; SINOUE, M. Public Acceptance of Smart and Green Mobility Hubs in Attica, Greece, *Urban Science*, v. 9, n. 29, 2025.

POSLAD, S.; MA, A.; WANG, Z.; MEI, H. Using a Smart City IoT to Incentivise and Target Shifts in Mobility Behaviour - Is It a Piece of Pie? **Sensors**, v. 15, p. 13069-13096, 2015.

PROKOPENKO, O.; JARVIS, M.; PRAUSE, G.; OMELYANENKO, V.; KARA, I. Optimizing suburban public transport through smart city logistics: a study on information flow and passenger management. **Acta Logistica - International Scientific Journal about logistics**, v. 12, n. 2, p. 291-299, 2025.

QBOUCHE, K.; RHOULAMI, K. Simulation Daily Mobility in Rabat Region Using Multi-Agent Systems Models. **Journal of ICT Standardization**, v. 10, n. 2, p. 293-304, 2022.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais:** a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.