



Acelerando o Futuro

Minha Jornada na Livre App e a
Ciência da Mobilidade Urbana Inteligente

Marcos Rodrigues Gomes Junior

Acelerando o Futuro

Minha Jornada na Livre App e a Ciência da Mobilidade
Urbana Inteligente

1ª EDIÇÃO



AUTOR

Marcos Rodrigues Gomes Junior

DOI: 10.47538/AC-2025.62



Ano 2025

Acelerando o Futuro

Minha Jornada na Livre App e a Ciência da Mobilidade Urbana Inteligente

1ª EDIÇÃO

Catálogo da publicação na fonte

Gomes Junior, Marcos Rodrigues.

Acelerando o futuro: minha jornada na Livre App e a ciência da mobilidade urbana inteligente [recurso eletrônico] / Marcos Rodrigues Gomes Junior. – 1. ed. – Natal: Editora Amplamente, 2025.

PDF.

ISBN: 978-65-5321-047-9

DOI: 10.47538/AC-2025.64

1. Mobilidade urbana. 2. Inteligência artificial. 3. Internet das coisas (IoT). 4. Interoperabilidade de sistemas. 5. Políticas públicas de transporte. 6. Cidades inteligentes. I. Título.

CDU: 656.1

G652

Direitos para esta edição cedidos pelos autores à Editora Amplamente.

Editora Amplamente

Empresarial Amplamente Ltda.

CNPJ: 35.719.570/0001-10

E-mail:

publicacoes@editoraamplamente.com.br

www.amplamentecursos.com

Telefone: (84) 999707-2900

Caixa Postal: 3402

CEP: 59082-971

Natal- Rio Grande do Norte – Brasil

Copyright do Texto © 2025 Os autores

Copyright da Edição © 2025 Editora

Amplamente

Declaração dos autores/ Declaração da

Editora: disponível em

[https://www.amplamentecursos.com/p](https://www.amplamentecursos.com/politicas-editoriais)

[oliticas-editoriais](https://www.amplamentecursos.com/politicas-editoriais)

Editora-Chefe: Dayana Lúcia Rodrigues

de Freitas

Assistentes Editoriais: Caroline

Rodrigues de F. Fernandes; Margarete

Freitas Baptista

Bibliotecária: Mônica Karina Santos

Reis CRB-15/393

Projeto Gráfico, Edição de Arte e

Diagramação: Luciano Luan Gomes

Paiva; Caroline Rodrigues de F.

Fernandes

Capa: Canva®/Freepik®

Parecer e Revisão por pares: Revisores

CONSULTORIA TÉCNICA E REVISÃO

CRÍTICA: Rita de Cássia Soares Duque

Creative Commons. Atribuição-

NãoComercial-SemDerivações 4.0

Internacional (CC-

BY-NC-ND).



Ano 2025

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
SOBRE O AUTOR.....	6
PREFÁCIO	10
APRESENTAÇÃO.....	13
CAPÍTULO I.....	17
FUNDAMENTOS DA MOBILIDADE URBANA INTELIGENTE	
CAPÍTULO II.....	42
TECNOLOGIAS EMERGENTES E INFRAESTRUTURAS INTELIGENTES	
CAPÍTULO III.....	77
ASPECTOS SOCIAIS, MULTIMODALIDADE E JUSTIÇA	
CAPÍTULO IV	105
ESTUDO DE CASO: LIVRE APP EM MOBILIDADE INTELIGENTE	
CAPÍTULO V	125
MODELO DE REPLICABILIDADE E INTERNACIONALIZAÇÃO EM MOBILIDADE POR DEMANDA	
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
POSFÁCIO.....	135



Ano 2025

AGRADECIMENTOS

Este livro é o resultado de uma jornada compartilhada, e sou grato a todos que tornaram a Livre App possível.

À minha família, em especial a minha avó Oscarina, (in memoriam) por me ensinar valores éticos e morais e por me incentivar e apoiar minha paixão por tecnologia desde a infância na cidade de Manhuacu/MG.

Ao Sr. Joao Bino que nos ajudou a adquirir nosso primeiro carro. Aos 3.500 motoristas e à equipe da Livre App, cuja dedicação levou a vinte e três milhões de corridas e transformou a mobilidade em cinco cidades.

Aos parceiros, especialmente ao Ricardo Maia que acreditou na ideia de negócio. Finalmente, aos passageiros e comunidades que confiaram em nossa visão: vocês são a essência do 'Seja Livre'.

Este livro é para vocês.

Marcos Rodrigues Gomes Junior
Fundador e CEO, Livre Tecnologia Ltda.

SOBRE O AUTOR



Marcos Rodrigues Gomes Junior é fundador e CEO da Livre Tecnologia Ltda., plataforma regional de mobilidade urbana em crescimento orgânico e presente em cinco cidades brasileiras, somando mais de vinte milhões de viagens intermediadas sem aporte externo. Natural de Manhuaçu, Minas Gerais, concentra na cidade natal a frente física de operação com clientes, estendida às vizinhas Caratinga, Muriaé, Ponte Nova e Viçosa. A matriz da empresa, a governança tecnológica e sua residência atual situam-se em Guarapari, Espírito Santo, onde se desenvolvem software, o controle de versões e os processos de suporte e melhoria contínua (Gomes Junior, 2025).

A formação técnica em informática e em análise e desenvolvimento de sistemas sustenta uma atuação de base engenheirada, capaz de articular decisões de produto e operação com métricas de desempenho.

Conforme relatado por Gomes Junior (2025), a trajetória acadêmica incluiu cursos profissionalizantes e graduação tecnológica orientada à construção de soluções digitais.

No âmbito das competências, destacam-se desenho e liderança de roadmap tecnológico, domínio de indicadores LTV/CAC, análises de corte e KPIs operacionais, além de gestão de times multifuncionais e negociação com stakeholders locais. Em seu currículo, Gomes Junior (2025) registra práticas de lean startup, estratégias de crescimento e retenção em plataformas B2C, evidenciando aptidão para escalar serviços digitais com disciplina de métricas e ciclos curtos de melhoria.

A capacidade de execução aparece na construção de uma pilha full stack própria, abrangendo aplicativos de passageiro e motorista, painel administrativo e backend, o que viabilizou independência tecnológica, rapidez de iteração e rastreabilidade de mudanças. Segundo Gomes Junior (2025), tal arquitetura foi decisiva para atravessar ambientes regulatórios desafiadores e consolidar uma operação regional com fidelização consistente.

Do ponto de vista de impacto, o autor associa escala de uso a geração de oportunidades econômicas locais: base de milhares de condutores, centenas de milhares de instalações e expansão contínua desde 2018. Em resposta ao questionário, Gomes Junior (2025) relata inflexão no fim de 2019 e observa que muitos motoristas passaram a

considerar a plataforma como fonte central de renda, em paralelo a ganhos de conveniência e preço para passageiros.

Em paralelo à consolidação técnica e ao alcance operacional, o Livre App e seu fundador passaram a figurar em perfis e reportagens de âmbito regional e nacional, destacando a condução de uma startup capaz de movimentar milhares de pessoas no interior de Minas Gerais e na região de influência.

Essa visibilidade foi acompanhada por reconhecimento institucional, materializado em moção de congratulações e aplausos da Câmara Municipal de Muriaé, MG, registro que atesta relevância social, inovação e direção executiva consistente na expansão responsável do serviço.

A estratégia de inclusão sociotécnica integra o desenho do serviço. Em 2019, foram implementadas soluções acessíveis a públicos com menor familiaridade digital, com canal telefônico integrado ao fluxo de solicitações, além de aprimoramentos direcionados à segurança do usuário, preservando divulgação pública em níveis agregados e sem exposição de parâmetros sensíveis (Gomes Junior, 2025).

A dimensão institucional aparece no enfrentamento de assimetrias concorrenciais e de marcos regulatórios locais. Segundo Gomes Junior (2025), o início foi marcado por resistências do setor de táxi e por normativas rígidas em alguns municípios; a resposta combinou diálogo com o poder público, comunicação transparente e apoio comunitário, fatores que estabilizaram a operação e permitiram expansão orgânica.

No horizonte de médio prazo, o autor declara visão de expansão responsável com adaptação do modelo a outros

contextos territoriais, mantendo prioridade em segurança, praticidade e estruturas tarifárias compatíveis com especificidades locais.

Em suas palavras, há aderência do desenho técnico e organizacional a diferentes jurisdições, desde que preservadas práticas de governança de dados e documentação de versões. Essa combinação de escalabilidade prudente e atenção a requisitos de conformidade revela aptidão para estruturar operações que mobilizam fornecedores, parceiros e postos de trabalho em novas praças, mantendo padrões de qualidade e proteção informacional (Gomes Junior, 2025).

Em síntese, o perfil do autor reúne liderança empreendedora, fundamento técnico, disciplina de métricas e experiência na articulação de atores locais. Esses atributos, combinados a resultados verificáveis e a decisões de desenho inclusivas, compõem credenciais para conduzir iniciativas com potencial de expansão responsável e geração de emprego em diferentes territórios, preservando aderência a padrões técnicos, governança informacional e finalidade pública do serviço. Valores pessoais como dedicação, resiliência e persistência, referidos por Gomes Junior (2025), completam o quadro e dão coesão à trajetória apresentada.

Marcos Rodrigues Gomes Junior
Fundador e CEO, Livre Tecnologia Ltda.

PREFÁCIO

Esta obra apresenta um caminho para converter princípios de mobilidade urbana em resultados observáveis sem sacrificar rigor técnico ou responsabilidade pública. O itinerário parte de uma experiência concreta e se organiza como método verificável: arquitetura em camadas, padrões abertos, governança informacional com registro de versões e avaliação contínua em níveis agregados. A relevância emerge da capacidade de transformar problemas cotidianos em procedimentos reproduzíveis, com atenção constante à inclusão social e à proteção de dados.

A contribuição que sustenta estas páginas foi construída com base em desenvolvimento tecnológico sob controle local, articulando aplicativos de passageiro e motorista, painel administrativo e backend próprios. O desenho do serviço incorporou soluções acessíveis para perfis com menor familiaridade digital e aprimoramentos direcionados à segurança do usuário, sempre com documentação de mudanças e métricas publicadas em agregados.

Essa combinação de engenharia de produto, governança de dados e leitura do território permitiu consolidar operação estável em ambientes desafiadores sem expor parâmetros sensíveis.

O propósito do livro é disponibilizar essa experiência como referência pública. A narrativa estabelece um vocabulário comum para gestores, pesquisadores e empreendedores, explicita indicadores que podem ser auditados e descreve um blueprint técnico que não depende de fornecedores específicos.

Em cada capítulo, a exposição preserva impessoalidade e densidade analítica, de modo que qualquer leitor possa reconhecer critérios, reproduzir etapas e avaliar efeitos com transparência metodológica. Não se trata de memória empresarial, mas de instrumento de trabalho orientado à finalidade pública do serviço.

Também se delineia um horizonte de replicação. Soluções especificadas com padrões abertos, documentação de versões e salvaguardas de privacidade tendem a adaptar-se com menor atrito a diferentes marcos regulatórios e arranjos institucionais.

Quando um arranjo demonstra capacidade de ampliar acesso, estabilizar atendimento e mobilizar economias locais em contextos diversos, forma-se um repertório de implementação apto a ser transposto com prudência e responsabilidade. A replicabilidade não é promessa retórica, mas propriedade de sistemas cujos componentes, processos e indicadores se mantêm consistentes sob escrutínio.

O leitor encontrará, portanto, um convite ao uso e ao exame crítico. Conceitos aparecem como definições

operacionais, métricas como procedimentos reprodutíveis e arquitetura como mapa aberto à inspeção técnica. Onde o dado é sensível, há anonimização e agregação; onde a decisão é automatizada, há trilha de versões; onde existe expansão, há piloto com avaliação antes e depois. Esse compromisso sustenta a coerência do livro e orienta cada escolha editorial.

Marcos Rodrigues Gomes Junior
Fundador e CEO, Livre Tecnologia Ltda.

APRESENTAÇÃO

A presente obra foi concebida como referência técnica para o planejamento, a implementação e a avaliação da mobilidade urbana inteligente, entendida como integração tecnológica e institucional orientada à eficiência, à equidade e à sustentabilidade. A proposta organiza um vocabulário comum que conecta políticas públicas, arquitetura de sistemas e mensuração de resultados, com salvaguardas de privacidade e transparência metodológica.

O texto evita abstrações e ancora cada conceito em procedimentos verificáveis, passíveis de auditoria e de replicação. O fundamento conceitual articula a integração entre ITS, IA, IoT, interoperabilidade e dados abertos, associada a guias e padrões reconhecidos internacionalmente e à centralidade da justiça espacial.

A leitura territorial orienta desagregações por renda, gênero, raça ou cor, idade e deficiência, de modo que a inclusão não figure como adendo, mas como atributo de projeto. Essa base sustenta a seleção de indicadores e a forma de publicação, sempre em níveis agregados e com registro explícito de métodos.

No plano técnico, adota-se arquitetura em camadas que vai da captura à ação, passando por integração e análise. Esse arranjo acomoda controle adaptativo com IA e IoT e, quando pertinente, agentes de linguagem para orquestração, explicabilidade e rastro de fontes. A interoperabilidade é tratada como condição de portabilidade e de escrutínio externo, com uso de formatos e APIs consolidados no ecossistema de transporte coletivo,

micromobilidade e MaaS. O objetivo é reduzir atritos de integração, preservar autonomia de implementação e favorecer rastreabilidade.

A metodologia percorre quatro movimentos integrados que se encadeiam sem ruptura: (i) consolidação conceitual e normativa, convertendo diretrizes de planejamento, séries de indicadores urbanos e especificações técnicas em repertório operacional; (ii) formalização de um blueprint de arquitetura com pontos de controle de qualidade, requisitos de anonimização, versionamento e trilhas de auditoria, permitindo que diferentes soluções sejam descritas sob a mesma gramática técnica; (iii) etapa aplicada com estudo de caso narrativo, em prosa contínua e sem exposição de elementos sensíveis, no qual as métricas do livro são utilizadas com agregação temporal e espacial para preservar a privacidade; e (iv) modelo de replicabilidade e internacionalização que organiza pilotos, metas e avaliação antes-depois, documentando versões e critérios de decisão para expansão responsável.

A coleta e o tratamento de informações observam princípios de minimização e finalidade, com anonimização anterior a qualquer divulgação e preferência por medidas robustas em janelas temporais amplas.

As decisões metodológicas são registradas com referência a versões de dados e de regras, de modo que a reprodutibilidade não dependa de conhecimento tácito. Essa disciplina editorial sustenta a coerência entre capítulos e impede que a narrativa se descole das evidências.

A estrutura do livro espelha esse percurso. As definições operacionais, os guias e os padrões que orientam

indicadores e processos abrem a obra e firmam o terreno comum.

Na sequência, apresentam-se as métricas de acessibilidade, confiabilidade, segurança e participação, com ênfase no tempo porta a porta e nas distribuições p50, p85 e p95, além de índices específicos para alta frequência e segurança percebida. O arranjo de dados e governança introduz formatos abertos, catálogos e dicionários, versionamento e auditoria.

O estudo de caso demonstra a aplicação do arcabouço em operação regional com tecnologia sob controle local, inclusão de canais e crescimento orgânico, preservando parâmetros sensíveis.

O capítulo dedicado à replicabilidade reúne o aprendizado em protocolo público para transpor soluções entre jurisdições, com avaliação contínua e documentação de mudanças.

As conclusões integram teoria, método e prática, indicando agenda de continuidade em explicabilidade de modelos, fortalecimento de metadados e institucionalização de ciclos de avaliação com recortes sociais.

O escopo é aplicado e impessoal. Não se expõem chaves técnicas, topologias críticas ou rotas operacionais; quando houver numéricos, apresentam-se séries agregadas com marcos temporais claros e nota sucinta de método.

As limitações são reconhecidas de antemão: a obra não pretende inferência causal fina para todos os contextos, mas a disponibilização de instrumentos de projeto e avaliação submetidos a exame técnico. Essa posição mantém a utilidade prática sem abandonar o rigor.

O leitor encontrará, portanto, um contrato editorial simples e exigente: definições claras, arquitetura auditável, métricas reproduzíveis e proteção de dados como condição de operação.

Gestores poderão formular metas e publicar resultados em agregados; pesquisadores terão referências para testar e estender indicadores e modelos; empreendedores contarão com um roteiro de implementação amparado por padrões abertos e documentação de versões.

A progressão entre capítulos preserva unidade de linguagem e densidade analítica, permitindo que teoria e prática caminhem juntas em favor de uma mobilidade urbana tecnicamente sólida, socialmente justa e metodologicamente transparente.

Marcos Rodrigues Gomes Junior
Fundador e CEO, Livre Tecnologia Ltda.

FUNDAMENTOS DA MOBILIDADE URBANA INTELIGENTE

Introdução

Cidades de renda média precisam organizar melhor como medem e entregam mobilidade. Sem regras comuns, fica difícil comparar resultados e saber se as mudanças estão chegando a quem mais precisa. Normas internacionais oferecem um caminho para padronizar indicadores e alinhar planejamento com avaliação, enquanto guias de mobilidade urbana sustentam ciclos de participação e revisão.

Juntas, essas referências permitem ligar infraestrutura digital, governança de dados e métricas de acesso e qualidade em um mesmo quadro de decisão (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019; ELTIS/Rupprecht, 2019).

Definições e taxonomias operacionais

Para saber se o sistema melhora a vida das pessoas, não basta contar viagens. É preciso medir se o morador consegue chegar aos seus destinos dentro de um tempo razoável e com serviço confiável. Quatro famílias de métricas ajudam nesse trabalho: contagem de oportunidades ao alcance, modelos que pesam distância e tempo, cálculo porta a porta e cobertura por nível de serviço. A escolha depende do objetivo, da qualidade dos dados e da

capacidade da equipe (ITF/OCDE, 2019; Miller, 2020; ITF/OCDE, 2024).

Tabela 1: Taxonomias e níveis de integração em mobilidade inteligente

Integração MaaS / Dimensão conceitual	Componentes técnicos ITS (exemplos)	Governança de dados	Indicadores ISO relacionados
Integração inexistente (Nível 0)	Dados fragmentados; ausência de GTFS/ GBFS; roteamento disperso	Sem política de dados; formatos proprietários	Indicadores de mobilidade e qualidade de vida em ISO 37120; base para ISO 37122
Integração de informação (Nível 1)	GTFS estático; planejador multimodal; portal unificado	Catálogo de dados abertos; dicionário; metadados mínimos	Acessibilidade ao transporte público; informação ao usuário; satisfação do serviço
Integração de reserva e pagamento (Nível 2)	GTFS Realtime; bilhetagem account-based; APIs de tarifação	Contratos de compartilhamento; logs de acesso; governança de consentimento	Tempo porta a porta; confiabilidade; cobertura e frequência
Integração de serviços e operação (Nível 3)	Orquestração multimodal; V2X/C-ITS; otimização em tempo real	Auditoria algorítmica; versionamento de modelos; SLA de dados	Regularidade; pontualidade; emissões por passageiro-quilômetro; segurança viária

Integração orientada a metas públicas (Nível 4)	Plataforma integrada cidade–operador; gestão de demanda; pricing dinâmico	Comitê interinstitucional; análise distributiva; avaliação ex-ante/ex-post	Acessibilidade por grupos sociais; equidade territorial; externalidades ambientais
Micromobilidade e last-mile (Transversal)	GBFS; docas inteligentes; integração com TPP e modais ativos	Licenças condicionadas a dados; anonimização; auditoria de cobertura	Conectividade de rede; uso de modos ativos; reequilíbrio espacial
Interoperabilidade e padrões (Transversal)	ISO 14813-1; ETSI C-ITS; APIs abertas	ISO 37110; catálogo e linhagem de dados	Conformidade com ISO 37122

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em ITF/OCDE (2024), ISO (2018; 2019; 2022; 2024), Sochor; Arby; Karlsson (2018) e ETSI (2024).

A leitura da tabela indica uma progressão clara. Nos níveis iniciais, o foco recai na informação e em mecanismos básicos de pagamento. Nos níveis mais altos, a operação passa a responder a metas públicas, com orquestração multimodal, interoperabilidade entre plataformas e trilhas de auditoria para modelos.

Nessa etapa, indicadores de acessibilidade e de qualidade do serviço precisam ser avaliados em conjunto e com recortes distributivos (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019; ISO, 2022; ISO, 2024; Sochor; Arby; Karlsson, 2018; ETSI, 2024).

A consolidação conceitual requer um vocabulário uniforme para interpretar indicadores e comparar resultados entre cidades. Para sustentar essa leitura no restante do capítulo, apresenta-se a seguir um glossário mínimo com termos recorrentes e definições operacionais. (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019; ELTIS/Rupprecht, 2019).

1.2 Glossário mínimo do capítulo

Esta subseção reúne definições operacionais com linguagem direta e precisão técnica, equilibrando leitura acessível e rastreabilidade normativa. As entradas baseiam-se em publicações do Fórum Internacional de Transportes da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (ITF/OCDE), da International Organization for Standardization (ISO), das Diretrizes SUMP da Comissão Europeia (ELTIS/Rupprecht), do European Telecommunications Standards Institute (ETSI), da MaaS Alliance e da MobilityData. (ITF/OCDE, 2019; ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019; ISO, 2022; ISO, 2024; ELTIS/Rupprecht, 2019; ETSI, 2024; MaaS Alliance, 2023; MobilityData, 2025).

As definições estabelecidas funcionam como base para a parte técnica do capítulo. A seção 1.2 apresenta a arquitetura de referência do setor ITS, descreve fluxos de dados e padrões de comunicação cooperativa e localiza requisitos de gestão de dados abertos. (ISO, 2024; ETSI, 2024; ISO, 2022).

Este glossário mínimo consolida termos usados no capítulo e baseia-se em publicações do Fórum Internacional de Transportes da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (ITF/OCDE), da International

Organization for Standardization (ISO), das Diretrizes para Planos de Mobilidade Urbana Sustentável da Comissão Europeia (ELTIS/Rupprecht), do European Telecommunications Standards Institute (ETSI), da MaaS Alliance e da MobilityData.

Tabela 2: Glossário mínimo do capítulo

Termo	Definição operacional (uso neste capítulo)
Smart mobility	Ecologia sociotécnica orientada a resultados de acesso, qualidade e sustentabilidade, com dados interoperáveis e governança transparente.
Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)	Serviços e camadas de comunicação que integram sensores, plataformas e aplicações cooperativas para gestão e segurança.
Mobilidade como Serviço (MaaS)	Integração de modais e operadores em uma oferta única, com planejamento, reserva e pagamento em plataforma interoperável.
Interoperabilidade de dados	Troca de informações entre sistemas com semântica comum, em formatos abertos e auditáveis.
GTFS / GTFS Realtime	Padrões abertos para horários e atualizações do transporte público, permitindo planejamento e acompanhamento quase em tempo real.
GBFS	Padrão aberto para dados de micromobilidade (docas e veículos), usado para consulta e integração com outros serviços.
C-ITS (ETSI)	Serviços cooperativos que conectam veículos, vias e centros de controle com mensagens padronizadas.
V2X / C-V2X	Comunicação veículo-a-tudo, base para alerta de risco e priorização operacional.

ISO 37120 / 37122	Indicadores de serviços urbanos e de cidades inteligentes, usados para medir desempenho e comparar resultados.
ISO 37110	Requisitos e recomendações para gestão de dados abertos em cidades e comunidades inteligentes.
ISO 14813-1	Modelo de referência para a arquitetura do setor ITS, com serviços, grupos e domínios.
SUMP (ELTIS/Rupprecht)	Diretrizes de planejamento com ciclos de participação, metas e revisão periódica.
Acessibilidade cumulativa	Contagem de oportunidades alcançáveis em um limite de tempo.
Medida gravítica	Métrica que pondera acesso por tempo e distância com decaimento.
Tempo porta a porta	Tempo total do deslocamento incluindo caminhada, espera, viagens e transferências.
Cobertura por nível de serviço	Mapa de frequência, regularidade e confiabilidade do transporte em um território.
Governança algorítmica	Regras para desenvolvimento, versionamento, auditoria e prestação de contas de modelos operacionais.
Marketplace de mobilidade	Ambiente de MaaS que organiza ofertas, regras de dados e arranjos comerciais de forma padronizada.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em ITF/OCDE (2019; 2024), ISO (2018; 2019; 2022; 2024), ELTIS/Rupprecht (2019), ETSI (2024), MaaS Alliance (2023–2024) e MobilityData (2025).

Nessa etapa, indicadores de acessibilidade e de qualidade do serviço precisam ser avaliados em conjunto e com recortes distributivos. Em continuidade, a subseção 1.2.3 delimita pontos de controle para privacidade, rastreabilidade de modelos e contratos de dados, preparando a passagem dos conceitos para rotinas de

monitoramento (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019; ISO, 2022; ISO, 2024; Sochor; Arby; Karlsson, 2018; ETSI, 2024).

Com as salvaguardas de dados e de modelos consolidadas, a seção 1.3 organiza a medição do desempenho em quatro famílias de métricas e explicita critérios de escolha conforme objetivo e disponibilidade de dados. O Quadro 2 resume a relação métrica–objetivo–dado e os boxes apresentam implicações operacionais e percepções do usuário (ITF/OCDE, 2019; Miller, 2020; ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019).

1.3 Métricas de acessibilidade e qualidade

Cidades precisam medir resultados de mobilidade de forma comparável e transparente. Contar viagens não mostra as pessoas alcançam trabalho, escola e serviços dentro de tempos razoáveis, com serviço confiável. A literatura recente organiza esse monitoramento em famílias de métricas que conectam objetivos, dados disponíveis e capacidade institucional, com leitura voltada a decisões públicas no Brasil (ITF/OCDE, 2019; ITF/OCDE, 2024; Miller, 2020; Brasil, 2012; PlanMob, 2015).

1.3.1 Famílias de métricas e critérios de escolha

Quatro famílias estruturam a avaliação. Acessibilidade por oportunidades cumulativas verifica quantos destinos relevantes ficam ao alcance em um limite de tempo. Medidas gravíticas ponderam acesso por tempo e distância com decaimento para comparar áreas. Cálculos porta a porta estimam o tempo total do deslocamento, incluindo

caminhada e transferências. Cobertura por nível de serviço mapeia frequência, regularidade, confiabilidade e cancelamentos em cada zona do território (ITF/OCDE, 2019; Miller, 2020; ITF/OCDE, 2024).

A escolha depende do objetivo de política, da qualidade dos dados e da capacidade da equipe. Em contextos com GTFS estático e pouca série histórica, recomenda-se iniciar por oportunidades cumulativas e cobertura por nível de serviço. À medida que o GTFS Realtime e registros de confiabilidade amadurecem, cálculos porta a porta e modelos gravíticos passam a sustentar decisões operacionais e revisão de oferta (ITF/OCDE, 2019; MobilityData, 2025; ITF/OCDE, 2024).

Para orientar o trabalho cotidiano de secretarias e operadores, apresenta-se a seguir uma tabela que liga cada métrica ao objetivo, aos dados necessários, à periodicidade sugerida e aos responsáveis pelo monitoramento (ITF/OCDE, 2019; Miller, 2020).

Tabela 3: Tabela das Métrica x objetivo x dado

Métrica	Objetivo	Dados necessários	Período	Responsável
Oportunidades cumulativas	Saber se mais pessoas alcançam destinos em X minutos	Rede e horários (GTFS estático), tempos estimados, localização de destinos	Trimestral Semestral	Secretaria municipal / operador
Gravítica	Comparar acesso ponderando	Matriz tempo-custo, distribuição de	Semestral	Equipe técnica

	tempo e distância	destinos por zona		
Porta a porta	Medir o tempo total com trocas e caminhada	GTFS estático + Realtime, tempos de caminhada e transferência	Mensal	Operador / órgão gestor
Cobertura por nível de serviço	Mapear onde o serviço é frequente e confiável	Frequência, regularidade, cancelamentos	Mensal	Operador / órgão gestor

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em ITF/OCDE (2019; 2024) e Miller (2020).

A leitura da tabela indica que decisões devem equilibrar finalidade, custo de obtenção dos dados e maturidade institucional. O eixo acesso tende a ser melhor capturado por oportunidades cumulativas, enquanto o eixo operação exige métricas porta a porta e de cobertura por nível de serviço, especialmente quando há metas de confiabilidade e regularidade pactuadas em contrato (ITF/OCDE, 2019; ITF/OCDE, 2024).

1.3.2 Box técnico – Guia rápido de aplicação

Para equipes com prazos curtos, o box a seguir resume caminhos de aplicação por meta de política e tipo de dado disponível (ITF/OCDE, 2019; Miller, 2020).

Figura 1: Box técnico – Guia rápido de aplicação

Mudança percebida	Descrição
Informação confiável no ponto	Horários atualizados e avisos de atraso
Rotas realistas	Sugestões que consideram caminhada e trocas
Avisos e alternativas	Alertas de falhas e rotas alternativas
Pagamento simples	Integração de bilhetes e tarifação transparente

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em ITF/OCDE (2024).

Ganhos de informação e confiabilidade fortalecem a adesão do público a rotas sugeridas e permitem correções mais rápidas quando há falhas. Essa comunicação deve estar alinhada a metas oficiais e a canais públicos de acompanhamento (ITF/OCDE, 2024; PlanMob, 2015).

1.3.3 Box do volante – O que muda para quem está na rua

As escolhas técnicas aparecem para o usuário em mudanças claras de informação e qualidade do serviço. O box sintetiza os efeitos esperados quando indicadores e dados abertos entram no ciclo de planejamento e operação (ITF/OCDE, 2024).

Figura 2: Box do volante “Mudança percebida” × “Descrição”.

Mudança percebida	Descrição
Informação no ponto	Horários atualizados, avisos de atraso e indicação de plataforma/parada.

Rotas realistas	Sugestões que consideram caminhada, tempo de espera e trocas.
Alternativa automática	Replanejamento quando há falha de serviço, com opção de rota segura.
Previsibilidade	Estimativa de chegada mais estável e comunicação de confiabilidade.
Pagamento simples	Integração tarifária, saldo unificado e comprovante digital.
Atendimento inclusivo	Pontos e apps com acessibilidade: texto claro, contraste, áudio e piso tátil.
Proteção de dados	Finalidade explícita, consentimento e opção de revogar autorização.

Fonte: ITF/OCDE (2024); PlanMob (2015).

1.3.4 Requisitos de dados e governança

As métricas dependem de dados coerentes e documentados. Para acessibilidade e porta a porta, são requeridos GTFS estático, atualizações Realtime quando disponíveis e camadas de pedestres. Para cobertura por nível de serviço, são essenciais frequência, regularidade e cancelamentos por linha e por faixa horária, com versionamento do processo e dicionário de dados.

A gestão deve seguir boas práticas de dados abertos e trilha de auditoria para consultas e transformações (ISO, 2022; MobilityData, 2025; ITF/OCDE, 2024). A importância da governança aberta, inclusão digital e regulação informacional como pilares essenciais para esta gestão é

também destacada por Souza, Alécio de Andrade (2022), na Revista Científica Multidisciplinar O Saber (RCMOS), que defende a transparência e o acesso democrático à informação como fundamentos para cidades inteligentes e inovadoras.

1.3.5 Equidade e recortes territoriais

Métricas precisam ser lidas com recortes de renda, gênero, raça e território, evitando conclusões enviesadas por médias gerais. A recomendação é calcular indicadores por grupos e por zonas, documentar amostras e analisar diferenças estatisticamente relevantes, mantendo cautela quando a base de dados for incompleta ou pouco granular (ITF/OCDE, 2024; ELTIS/Rupprecht, 2019).

1.3.6 Validação e auditoria

A validação inclui comparação com séries anteriores, testes de sensibilidade a parâmetros e verificação cruzada com dados independentes. A auditoria deve registrar fontes, versões, scripts e responsáveis, com logs de alterações e calendário de revisão. Essa rotina sustenta transparência, comparabilidade e melhoria contínua no monitoramento municipal (ITF/OCDE, 2019; ISO, 2018; ISO, 2019; ISO, 2022).

1.3.7 Síntese

A combinação das quatro famílias permite acompanhar acesso e qualidade em uma mesma linguagem de indicadores, com documentação e recortes distributivos. A seção 1.4 conecta essas escolhas aos padrões e guias

institucionais, destacando ciclos de revisão e mecanismos de auditoria que mantêm o processo em linha com normas reconhecidas (ELTIS/Rupprecht, 2019; ISO, 2018; ISO, 2019).

1.4 Padrões e guias de planejamento (ISO/SUMP)

Padrões e guias funcionam como referência comum para medir, comparar e revisar políticas de mobilidade. As normas de indicadores da ISO e as Diretrizes para Planos de Mobilidade Urbana Sustentável da Comissão Europeia, conhecidas como SUMP, oferecem um roteiro integrado: o que medir, como acompanhar e quando revisar metas (ISO, 2018; ISO, 2019; ELTIS/Rupprecht, 2019).

No plano dos indicadores, a ISO 37120 define medidas de serviços urbanos e qualidade de vida, enquanto a ISO 37122 trata de indicadores de cidades inteligentes. Em conjunto, permitem comparação entre localidades quando há método documentado e fonte de dados descrita. Para a gestão de dados, a ISO 37110 organiza processos e responsabilidades de dados abertos; no campo técnico, a ISO 14813-1 estrutura a arquitetura de serviços ITS, alinhando vocabulário e interfaces (ISO, 2018; ISO, 2019; ISO, 2022; ISO, 2024).

Além disso, apresenta-se um ciclo de monitoramento e revisão com entregáveis, periodicidade e saídas públicas, orientado a transparência e reprodutibilidade (ELTIS/Rupprecht, 2019; ISO, 2018; ISO, 2019; ISO, 2022).

Figura 4: Ciclo de monitoramento e revisão

Etapa	Entregável	Periodicidade	Responsável	Saída pública
Diagnóstico	Linha de base de indicadores e mapa de lacunas	Inicial e a cada 2 anos	Órgão gestor/ equipe técnica	Relatório técnico e painel aberto
Metas e indicadores	Matriz meta-indicador-fonte	Revisão anual	Órgão gestor	Publicação de metas e metodologia
Plano de dados	Catálogo e dicionário de dados; trilha de versões	Atualização contínua	Equipe de dados	Catálogo aberto com licenças
Execução e publicação	Séries mensais/trimestrais; scripts reprodutíveis	Mensal/ Trimestral	Operadores / órgão gestor	Dataset e painel com histórico
Revisão e audiência	Avaliação com participação social	Anual	Órgão gestor	Ata e relatório de revisão
Auditoria externa	Verificação independente de método e resultados	Anual/ Bienal	Controladoria/ Parceiro externo	Parecer disponível
Retrofit de parâmetros	Ajustes documentados de pesos, limites e fórmulas	Após revisão/ auditoria	Equipe técnica	Changelog e versão do método

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em ELTIS/Rupprecht (2019) e ISO (2018; 2019; 2022).

Após a inserção desses quadros, recomenda-se deixar no texto a indicação de onde cada indicador será publicado e revisado no contexto local, especificando calendário, responsáveis e canais abertos. Essa rotina cria continuidade entre metas, dados e avaliação pública, preparando o terreno para os estudos de caso e os arranjos institucionais discutidos no restante do capítulo (ISO, 2018; ISO, 2019; ELTIS/Rupprecht, 2019).

1.5 Marco brasileiro e América Latina (PNMU/PlanMob e casos curtos)

O arcabouço brasileiro parte da Política Nacional de Mobilidade Urbana, que estabelece princípios, objetivos e instrumentos para integrar modos, serviços e infraestrutura, com diretrizes para planejamento, participação social e priorização do transporte coletivo e não motorizado (Brasil, 2012).

O Caderno de Referência para Elaboração do Plano de Mobilidade Urbana orienta diagnóstico, metas, indicadores e governança do ciclo de monitoramento, servindo de guia prático para prefeituras e estados (Ministério das Cidades, 2015).

Em nível informacional, o Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos estrutura um painel com mais de 150 variáveis municipais e metropolitanas, enquanto a Pesquisa Nacional de Mobilidade Urbana do Ministério das Cidades amplia a base anual de evidências para grandes municípios (ANTP, 2024; Ministério das Cidades, 2024).

No plano comparativo, a agenda de acessibilidade sustentável do Fórum Internacional de Transportes da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico reforça a leitura integrada entre acesso, equidade e financiamento, útil às escolhas locais (ITF/OCDE, 2024).

1.5.1 Micro caso Brasil: Belo Horizonte

Belo Horizonte consolidou canais públicos de dados com conjuntos GTFS e camadas de priorização do transporte coletivo, o que reforça a capacidade de calcular métricas de cobertura por nível de serviço e tempo porta a porta com transparência (Prefeitura de Belo Horizonte, 2025a; Prefeitura de Belo Horizonte, 2025b).

Em paralelo, o Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte foi atualizado com diretrizes multimodais e foco em priorização de ônibus, mobilidade ativa e logística urbana, criando ponto de contato entre planejamento e monitoramento periódico (Governo de Minas Gerais, 2024).

A institucionalização de observatórios locais e catálogos com dicionário de dados fortalece prestação de contas e reuso analítico, alinhando-se às práticas de gestão da informação propostas pelo governo federal (Ministério das Cidades, 2023).

1.5.2 Micro caso América Latina: Bogotá

Bogotá opera um sistema integrado que articula BRT e redes alimentadoras por meio do TransMilenio e do Sistema Integrado de Transporte Público, com bilhetagem unificada pela tarjeta TuLlave e ecossistema de informação oficial para planejamento de viagens (TransMilenio, 2025; SITP Bogotá, 2025).

Em 2025, a cidade ajustou tarifas, ampliou janelas de transbordo e lançou o passe mensal TransMiPass, junto com subsídios direcionados a públicos vulneráveis, medidas que

impactam diretamente a acessibilidade econômica e a previsibilidade do gasto do usuário (El País, 2024; El País, 2025).

A integração de canais digitais, como a TransMiApp para consulta de saldo e rotas, sustenta o cálculo de confiabilidade e regularidade em rotinas operacionais (Portal Bogotá, 2025).

1.5.3 Micro caso América Latina: Cidade do México

A Secretaria de Mobilidade da Cidade do México coordena a política de Movilidad Integrada, reunindo metrô, BRT, trolebus, trem leve, ônibus urbanos e sistemas por cabo em uma identidade e uma tarjeta única de acesso, com pontos oficiais de recarga e serviços digitais de apoio ao deslocamento (SEMOVI-CDMX, 2025; STE-CDMX, 2025).

Esse arranjo facilita séries de indicadores sobre cobertura, tempo de transferência e continuidade do serviço, criando base comparável para métricas de porta a porta e oportunidades cumulativas no contexto metropolitano (SEMOVI-CDMX, 2025).

1.5.4 Implicações operacionais para cidades de renda média

No Brasil e na região, três frentes tendem a acelerar maturidade institucional. Primeira, aderência aos guias do PlanMob com catálogos de dados e dicionários públicos, de forma a documentar versões e métodos.

Segunda, adoção de padrões abertos como GTFS e registros sistemáticos de frequência e regularidade,

condição para métricas de cobertura e de porta a porta confiáveis.

Terceira, integração de bilhetagem e informação ao usuário que permita leitura conjunta de acesso e qualidade com recortes distributivos, conforme a agenda de acessibilidade sustentável do ITF/OCDE (Ministério das Cidades, 2015; ANTP, 2024; ITF/OCDE, 2024).

A convergência entre PNMU/PlanMob, bases públicas de dados e experiências latino-americanas com integração tarifária e informacional cria um trilha claro para conectar metas, indicadores e avaliação pública. Essa base prepara a discussão de controvérsias e limites metodológicos relativos à eficiência, equidade e governança de modelos, desenvolvida na próxima seção (Brasil, 2012; Ministério das Cidades, 2015; ITF/OCDE, 2024).

1.6 Controvérsias, limites e implicações para políticas

Debates recentes mostram tensões entre eficiência operacional e justiça distributiva. Ganhos de velocidade e regularidade podem concentrar oferta em eixos de alta demanda e gerar perdas de acesso em áreas periféricas. Por isso, indicadores de acesso e de qualidade precisam ser lidos em conjunto, com recortes por renda, gênero, raça e território para evitar conclusões enviesadas (ITF/OCDE, 2024; ELTIS/Rupprecht, 2019).

A qualidade dos dados limita o alcance das métricas. Bases incompletas de horários, falhas em GTFS Realtime e ausência de registros de cancelamentos reduzem a precisão de cálculos porta a porta e de cobertura por nível de serviço. A recomendação é documentar lacunas, publicar dicionário

de dados e manter trilha de versões para permitir auditoria e melhoria contínua (MobilityData, 2025; ISO, 2022).

Viés algorítmico surge quando dados desbalanceados ou proxies socioespaciais influenciam modelos de priorização ou de previsão de demanda. Para mitigar, convém registrar hipótese de uso, versionar modelos, testar sensibilidade e abrir relatórios de desempenho por grupos, compatibilizando transparência com a política de dados do município (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2022).

Privacidade e segurança da informação pedem salvaguardas. Integrações MaaS e serviços cooperativos C-ITS ampliam fluxos sensíveis e exigem controle de acesso, anonimização e regras claras de consentimento. Catálogos, metadados e acordos de compartilhamento precisam refletir finalidades e responsabilidades com respaldo normativo (ISO, 2022; ETSI, 2024).

A transferibilidade de soluções tem limites. Modelos calibrados para redes estruturadas nem sempre se mantêm em sistemas com variação alta de oferta, geografia complexa e demanda sazonal. Pilotos escalonados e avaliação ex-ante/ex-post reduzem risco de adoção prematura e permitem ajustes locais antes da expansão (ITF/OCDE, 2024; ELTIS/Rupprecht, 2019).

Implicações para política pública convergem em três frentes. Primeiro, combinar metas de acesso e de qualidade para equilibrar eficiência e equidade. Segundo instituir governança de dados com catálogo, dicionário e publicação periódica, viabilizando reuso e auditoria. Terceiro, adotar ciclos de revisão com participação social, alinhados a PlanMob e às diretrizes SUMP, para corrigir rota e explicitar

decisões (Brasil, 2012; Ministério das Cidades, 2015; ELTIS/Rupprecht, 2019; ISO, 2022).

O uso de métricas e padrões fortalece a tomada de decisão, desde que limites sejam declarados, dados sejam documentados e resultados sejam comparados por grupos e territórios. Essa base estruturada prepara a conclusão técnica e orienta a passagem ao capítulo seguinte (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019).

1.7 Síntese técnica e considerações operacionais

O capítulo estabeleceu um vocabulário comum e um fio condutor entre conceito, dados e decisão. Definições e taxonomias de smart mobility foram alinhadas a integrações MaaS–ITS, ao uso de padrões abertos e a um conjunto de métricas capazes de ler acesso e qualidade em conjunto, com recortes distributivos.

Essa base dialoga com guias internacionais e com o marco brasileiro de planejamento e monitoramento (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019; ELTIS/Rupprecht, 2019; Brasil, 2012; Ministério das Cidades, 2015).

A agenda operacional formada combina três eixos. Primeiro, interoperabilidade e documentação de dados, com catálogo, dicionário, versionamento e publicação regular de séries.

Segundo indicadores de acessibilidade e de qualidade conectados a metas públicas, ciclos de revisão e prestação de contas. Terceiro, governança de modelos com rastreabilidade, testes de sensibilidade e comunicação de

resultados por grupos sociais e territórios (ISO, 2022; ITF/OCDE, 2019; ITF/OCDE, 2024).

Os micro casos indicam caminhos de implementação graduada. Integração tarifária e informacional, somada a GTFS estático e Realtime, viabiliza cálculos porta a porta e leitura de cobertura por nível de serviço. A combinação com oportunidades cumulativas sustenta decisões de reforço de oferta e de ajustes finos em rede e horário, desde que as limitações de dados sejam documentadas e revisadas periodicamente (ANTP, 2024; MobilityData, 2025; Ministério das Cidades, 2015).

Riscos e limites foram explicitados. Viés algorítmico, privacidade e transferibilidade condicionam o uso de modelos em operação de mobilidade e pedem salvaguardas proporcionais. Adoção escalonada, avaliação ex-ante e ex-post, anonimização adequada e relatórios de desempenho por grupos elevam a confiabilidade do processo decisório (ISO, 2022; ETSI, 2024; ITF/OCDE, 2024).

O próximo capítulo apresenta tecnologias emergentes e infraestruturas inteligentes, incluindo V2X/C-ITS, semáforos digitais e sistemas veiculares avançados; integração IA-IoT e análise preditiva em controle adaptativo de tráfego; arquiteturas multiagente com modelos de linguagem e RAG aplicadas a ITS; e arranjos de mobilidade sob demanda autônoma alinhados ao transporte coletivo. Serão destacados requisitos de interoperabilidade e privacidade, pontos de controle de dados e limites de generalização em contextos brasileiros (ETSI, 2024; ISO, 2024; ISO, 2022; ITF/OCDE, 2024).

Referências Bibliográficas

ANTP. *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana*. São Paulo: Associação Nacional de Transportes Públicos, 2024. Disponível em: <https://www.antp.org.br/sistema-de-informacoes-da-mobilidade/>. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Lei n. 12.587, de 3 jan. 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Brasília, DF: Presidência da República, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em: 11 set. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. *PlanMob: Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana*. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015. Disponível em: https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/02/caderno_referencia_elaboracao_plano_mobilidade.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

ETSI – EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE. ETSI EN 303 798 V2.1.1: *Intelligent Transport Systems (ITS); LTE-V2X and NR-V2X access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band; Release 2*. Sophia Antipolis: ETSI, 2024. Disponível em: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303700_303799/303798/02.01.01_60/en_303798v020101p.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

ETSI – EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE. ETSI TS 102 894-2 V2.3.1: *Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary; Release 2*. Sophia Antipolis: ETSI, 2024. Disponível em:

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289402/02.03.01_60/ts_10289402v020301p.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 37120:2018: *Sustainable cities and communities: indicators for city services and quality of life*. Geneva: ISO, 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/68498.html>. Acesso em: 11 set. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 37122:2019: *Sustainable cities and communities: indicators for smart cities*. Geneva: ISO, 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/69050.html>. Acesso em: 11 set. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 37110:2022: *Sustainable cities and communities — Management requirements and recommendations for open data for smart cities and communities — Overview and general principles*. Geneva: ISO, 2022. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/62069.html>. Acesso em: 11 set. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14813-1:2024: *Intelligent transport systems — Reference model architecture(s) for the ITS sector — Part 1: ITS service domains, service groups and services*. Geneva: ISO, 2024. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/85840.html>. Acesso em: 11 set. 2025.

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. *Benchmarking Accessibility in Cities: Measuring the Impact of Proximity*

and Transport Performance. Paris: OECD Publishing, 2019. Disponível em: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/accessibility-proximity-transport-performance_1.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. *Sustainable Accessibility for All*. Paris: OECD Publishing, 2024. Disponível em: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/sustainable-accessibility-for-all.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.

MILLER, Eric J. *Measuring accessibility: methods and issues*. Paris: International Transport Forum, 2020. (ITF Discussion Paper, 2020/25). Disponível em: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/measuring-accessibility-methods-issues_1.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

MOBILITYDATA. *General Transit Feed Specification (GTFS) — Schedule Reference*. 2025. Disponível em: <https://gtfs.org/documentation/schedule/reference/>. Acesso em: 11 set. 2025.

MOBILITYDATA. *GTFS Realtime Reference*. [s. d.]. Disponível em: <https://gtfs.org/documentation/realtime/reference/>. Acesso em: 11 set. 2025.

RUPPRECHT CONSULT (Org). *Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan (2nd edition)*. Brussels: European Commission, 2019. Disponível em: https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-09/sump_guidelines_2019_second%20edition.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

SOCHOR, Jana; ARBY, Hans; KARLSSON, I. C. MariAnne. A topological approach to Mobility as a Service: a proposed tool for understanding requirements and effects and for aiding the integration of societal goals. *Research in Transportation Business & Management*, v. 27, p. 3-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.12.003>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210539518300476>. Acesso em: 11 set. 2025.

SOUZA, Alécio de Andrade. [Título da obra]. [Local]: [Editora], 2022.

TRANSPORTES PÚBLICOS. São Paulo: Associação Nacional de Transportes Públicos, n. 156-E, 2024. Disponível em: https://files.antp.org.br/2024/7/30/rtp-156-e_1.pdf. Acesso em: 11 set. 2025.

TECNOLOGIAS EMERGENTES E INFRAESTRUTURAS INTELIGENTES

Introdução

A questão orientadora deste capítulo é identificar quais tecnologias de mobilidade urbana, introduzidas ou consolidadas entre 2018 e 2025, demonstram ganhos mensuráveis e condições de adoção progressiva em cidades brasileiras. O foco recai sobre soluções que conectam infraestrutura física e digital a indicadores de acesso e qualidade discutidos no capítulo anterior, com documentação de dados e comparabilidade entre localidades (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019).

No debate recente, entusiasmo tecnológico convive com dúvidas sobre maturidade, interoperabilidade e segurança cibernética. A integração de comunicação veículo-infraestrutura, a digitalização semafórica e o uso de modelos preditivos ampliam capacidade operacional, mas trazem exigências de padronização, proteção de dados e mitigação de viés, especialmente quando algoritmos passam a influenciar oferta e priorização em tempo quase real (ETSI, 2024; ELTIS/Rupprecht, 2019; ISO, 2022).

O recorte deste capítulo organiza a revisão em quatro frentes tecnológicas e uma camada de governança. São examinados serviços cooperativos V2X/C-ITS e semáforos digitais, a integração entre inteligência artificial e Internet das Coisas em controle adaptativo, arquiteturas multi-

agentes com modelos de linguagem e recuperação aumentada de informação e cenários de mobilidade sob demanda autônoma articulados ao transporte coletivo.

A análise ancora-se em normas e guias reconhecidos, com ênfase na International Organization for Standardization, no European Telecommunications Standards Institute e nas diretrizes SUMP da Comissão Europeia (ISO, 2018; ISO, 2019; ISO, 2022; ETSI, 2024; ELTIS/Rupprecht, 2019).

O caminho analítico segue sete passos. A seção 2.1 apresenta panorama e critérios de seleção; a 2.2 detalha V2X/C-ITS, semáforos digitais e sistemas veiculares; a 2.3 discute integração IA–IoT em controle adaptativo; a 2.4 avalia propostas multiagentes com modelos de linguagem e RAG; a 2.5 explora AMoD orientado ao coletivo e integrações tarifárias e informacionais; a 2.6 consolida requisitos de dados, governança e auditoria; e a 2.7 oferece síntese técnica e implicações para o capítulo seguinte, preservando a conexão com métricas de acesso e qualidade (ITF/OCDE, 2024; ISO, 2018; ISO, 2019; ISO, 2022; ELTIS/Rupprecht, 2019).

2.1 Panorama e critérios de seleção (2018–2025)

Esta seção identifica tecnologias emergentes de mobilidade, entre 2018 e 2025, que apresentam resultados mensuráveis e condições de adoção progressiva no Brasil. O recorte combina maturidade tecnológica, replicabilidade e documentação de dados, com atenção a acesso, qualidade do serviço e transparência pública (ANTP, 2021; APREPRO, 2023; RGSA, 2024).

O panorama nacional indica avanço na integração de sensores, dados georreferenciados e informação ao usuário. Rotas inteligentes, estacionamentos conectados, compartilhamento de veículos e mobilidade ativa aparecem articulados a políticas urbanas, com métricas reportadas para tempo de deslocamento, custo e acessibilidade universal (APREPRO, 2023).

No contexto latino-americano, revisões destacam uso de big data, inteligência artificial e rastreamento por GPS para otimização do transporte coletivo e gestão de demanda em cidades intermediárias. As barreiras concentram-se em infraestrutura digital desigual e marcos normativos incompletos, o que reforça a centralidade de dados abertos e participação social no ciclo de planejamento (Rodríguez; Arriaga, 2022; Revista IberoCiencias, 2024).

A literatura internacional indica que modos compartilhados, e-hailing, micromobilidade e mobilidade como serviço redefiniram relações entre operadores, governo e usuários. O debate atual desloca o foco para evidência de desempenho, interoperabilidade entre sistemas e salvaguardas de privacidade, com benefícios condicionados a integração técnica e contratos claros de dados (Frontiers in Sustainable Cities, 2023).

Do ponto de vista setorial, a Associação Nacional de Transportes Públicos sistematiza famílias tecnológicas como ITS integrados, bilhetagem eletrônica e telemetria de frota, relacionando cada solução a indicadores, custos e níveis de prontidão tecnológica. Nesta leitura, maturidade significa medição consistente em diferentes capitais, com método explícito e base auditável (ANTP, 2021).

Propostas recentes de enquadramento para cidades sustentáveis sugerem avaliar tecnologias com matrizes que combinem política pública, dados, capacidade institucional e participação comunitária. Ambientes urbanos densos exigem adaptações locais e auditorias periódicas para evitar transferências sem equivalência de condições operacionais (RGSA, 2024).

Com base nesses elementos, o corpus do capítulo inclui estudos e relatórios com método claro, indicador verificável, dado reproduzível e discussão de limitações e riscos, bem como recortes territoriais e sociais quando disponíveis. Trabalhos anteriores a 2018 são citados somente como antecedente conceitual, mantendo a análise central na janela definida (APREPRO, 2023; ANTP, 2021; RGSA, 2024).

2.2 V2X/C-ITS, semáforos digitais e sistemas veiculares avançados

Esta seção descreve serviços cooperativos de transporte inteligente em ambiente urbano, a integração com semáforos digitais e os requisitos centrais de interoperabilidade e segurança.

O recorte prioriza aplicações com evidência de campo e documentação técnica compatível com adoção progressiva no Brasil (Bundesministerium für Mobilität und Innovation da Áustria – BMIMI, 2020; Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo – CET-SP, 2021; Journal of Communications – JCM, 2023; Centro Nacional de Cibersegurança de Portugal – CNCS, 2023; Kapsch TrafficCom, 2025).

2.2.1 Serviços cooperativos C-ITS em contexto urbano

Os serviços mais maduros incluem alerta de risco em interseções, assistência a usuários vulneráveis, orientação de velocidade para onda verde e prioridade semafórica a ônibus, veículos de emergência e manutenção de via. Estratégias nacionais registram uso de mensagens SPaT/MAP para fase e tempo do sinal e mapas de aproximação, com ganhos em previsibilidade operacional quando há regras públicas definidas e monitoramento contínuo (BMIMI, 2020).

Implantações comerciais relatam redes mistas com Comunicação Veículo-a-Tudo baseada no Third Generation Partnership Project e operação direta em Institute of Electrical and Electronics Engineers 802.11 fora do contexto de conexão.

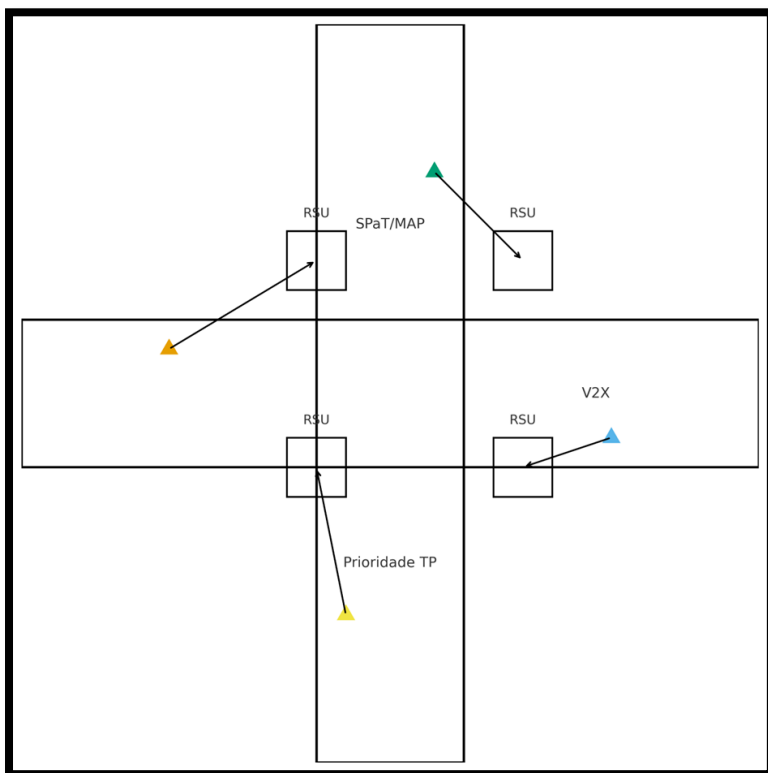
Gateways em unidades de borda de estrada fazem tradução de mensagens e registro de eventos, viabilizando convivência entre pilhas tecnológicas e migração por etapas em corredores urbanos (Kapsch TrafficCom, 2025).

Para tornar explícita a lógica de operação dos serviços cooperativos em cruzamentos urbanos, apresenta-se um mapa funcional que organiza a troca de mensagens entre unidades de beira de pista, unidades embarcadas e controlador semafórico, destacando o papel de SPaT/MAP e dos canais V2X na priorização de transporte público e na gestão de incidentes (European Telecommunications Standards Institute, 2024; Kapsch TrafficCom, 2025)

A figura a seguir sintetiza os fluxos básicos: sensores e RSU publicam estado de fase e tempo restante, OBUs enviam pedidos de prioridade, o controlador executa ajustes

conforme regras locais e o corredor de ônibus recebe sinalização compatível com as mensagens trocadas (Kapsch TrafficCom, 2025)

Figura 1: Mapa funcional de serviços C-ITS na interseção.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em BMIMI (2020) e Kapsch TrafficCom (2025).

O diagrama indica dois encadeamentos complementares. No downlink, a RSU distribui SPaT/MAP com fase e tempo restante para as OBUs, permitindo cálculo de velocidade para onda verde e comunicação de segurança em aproximações.

No uplink, as OBUs remetem pedidos de prioridade e eventos, que o controlador processa conforme regras e limites de segurança, registrando tudo em logs para auditoria.

Esse arranjo tende a reduzir tempos de parada e melhorar previsibilidade operacional quando há sincronização de relógios, latência contratada e políticas claras de prioridade por corredor e por veículo de emergência (European Telecommunications Standards Institute, 2024; Kapsch TrafficCom, 2025)

Com a arquitetura funcional estabelecida, a subseção seguinte detalha como semáforos digitais e sensores de campo suportam detecção confiável, integração com comunicação cooperativa e registro de evidências para avaliação de segurança viária e de eficiência do serviço (CET-SP, 2021; European Telecommunications Standards Institute, 2024)

2.2.2 Semáforos digitais e segurança viária

Interseções inteligentes combinam câmeras, LIDAR, sensores infravermelhos e radares com comunicação cooperativa para reduzir conflitos e organizar travessias. Em estudos publicados, a transmissão de eventos em tempo quase real a unidades veiculares e centrais de tráfego associou-se à redução de incidentes em aproximações críticas e a travessias mais previsíveis para pedestres e ciclistas (JCM, 2023).

No Brasil, análises técnicas e aplicações com redes neurais em controle de sinal relatam queda de atraso médio

e maior estabilidade de ciclo quando há detecção confiável e regra explícita de prioridade.

Recomenda-se combinar detecção avançada com interfaces abertas de integração para facilitar auditoria e manutenção ao longo do ciclo de vida do sistema (Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás, 2023; CET-SP, 2021).

2.2.3 Interoperabilidade e segurança: o essencial no texto

A interoperabilidade apoia-se em três camadas: mensagens padronizadas para sinalização e prioridade (SPaT/MAP), comunicação sem fio compatível com soluções celulares e operação direta de curta distância e uma camada de gestão que documenta catálogos, dicionários e registro de versões.

Boas práticas operacionais incluem logs com carimbo de tempo, testes de compatibilidade entre fornecedores e validação periódica de latência e taxa de entrega de mensagens (CET-SP, 2021; Kapsch TrafficCom, 2025).

Infraestruturas conectadas integram serviços essenciais e seguem diretrizes de segurança de redes e sistemas de informação. Estratégias nacionais definem responsabilidades, resposta a incidentes e requisitos de resiliência para operadores e entes públicos que gerem ativos de transporte e comunicação.

Entre as barreiras frequentes estão séries históricas curtas para avaliação independente, dependência de componentes proprietários e riscos de reidentificação quando não há anonimização adequada (CNCS, 2023).

2.2.4 Indicadores e dados mínimos para avaliação

Avaliação pública requer indicadores objetivos e dados reprodutíveis. Para serviços cooperativos e semáforos digitais, construções usuais incluem latência fim-a-fim, taxa de entrega de mensagens, prioridade concedida a ônibus, variação de atraso por aproximação, tempo de travessia de pedestres e frequência de quase-incidentes.

Em medições de campo, séries operacionais sustentam comparação entre períodos de pico e linhas prioritárias (JCM, 2023; Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP, 2021).

Do ponto de vista informacional, são necessários registros SPaT/MAP com carimbo de tempo, diários de bordo de unidades veiculares e de via, parâmetros de detecção, ocorrências de falhas e histórico de projetos de sinal. Publicação em catálogo aberto com dicionário e versões documentadas facilita auditoria, reuso analítico e cooperação técnica entre cidades (ANTP, 2021; CET-SP, 2021). Segue o exemplo de um diário de bordo.

Quadro 2: Indicadores × dado × periodicidade × responsável

Indicador	Dado mínimo	Periodicidade	Responsável
Latência fim-a-fim V2X (ms)	Logs SPaT/MAP com carimbo de tempo em RSU e OBU; sincronização de relógios	Mensal (amostras diárias)	Operador do corredor / centro de operações
Taxa de entrega de mensagens (%)	Contadores de mensagens válidas por janela de	Mensal	Operador do corredor / fornecedor RSU/OBU

	tempo; erros e perdas		
Prioridade concedida ao transporte público (%)	Solicitações atendidas vs. solicitadas por linha e faixa horária	Mensal	Órgão gestor/ operador semafórico
Variação de atraso por aproximação (s)	Deteção de filas; tempos de ciclo; diários de bordo do sinal	Mensal	Operador semafórico
Tempo de travessia de pedestres (s)	Eventos de travessia; sensores/vídeo; parâmetros de tempo de verde	Mensal	Operador semafórico / equipe de campo
Quase-incidentes em interseção (#/1000 veículos)	Eventos críticos detectados por sensoriamento; validação amostral	Mensal	Centro de operações / auditoria técnica
Disponibilidade RSU/Obu (%)	Uptime por dispositivo; registros de falha e reinício	Mensal	Fornecedor RSU/Obu / operador
Falhas de detecção (#)	Logs de detecção e falsos positivos/negativos por sensor	Mensal	Operador semafórico / fornecedor de sensores

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em ANTP (2021), JCM (2023) e CET-SP (2021).

A combinação de serviços cooperativos e semáforos digitais depende de regras claras de integração, proteção ativa de dados e rotina de medição com séries comparáveis. A seção 2.3 descreve como inteligência artificial e Internet das Coisas sustentam controle adaptativo de tráfego, com

ênfase em previsão, privacidade e validação em ambiente urbano (CNCS, 2023; ANTP, 2021).

2.3 Integração IA–IoT e controle adaptativo de tráfego

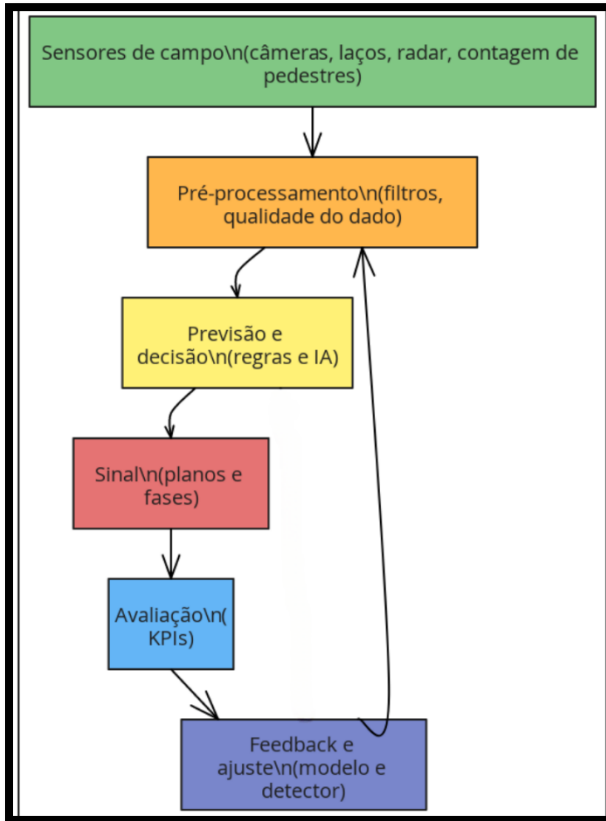
Esta seção examina como Inteligência Artificial combinada a dados de Internet das Coisas sustenta controle adaptativo de tráfego em área urbana. O foco está em resultados mensuráveis, requisitos de dados, privacidade e governança, com ênfase em aplicações passíveis de adoção progressiva por equipes municipais (Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás, 2023; Cai et al., 2024; Zrigui; Khouli; Kerkeb, 2025; Natafji et al., 2022).

2.3.1 O que significa integrar IA e IoT no semáforo

Integração IA–IoT, neste capítulo, significa usar sensores de campo, câmeras, laços indutivos, radares e contadores de pedestres para alimentar modelos que ajustam tempos de verde e prioridades de forma contínua. O objetivo é reduzir atrasos e filas, preservando a segurança de travessias e mantendo registro de dados e trilha de versões para auditoria (PUC Goiás, 2023; Cai et al., 2024).

Para tornar visível o caminho que os dados percorrem até virar decisão, apresenta-se um pipeline mínimo que organiza captação, tratamento, previsão, comando de sinal e verificação de resultados. Esse encadeamento facilita a leitura por equipes técnicas e orienta onde medir desempenho e registrar evidências (PUC Goiás, 2023; Cai et al., 2024).

Figura 3: Pipeline IA-IoT do controle adaptativo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em PUC Goiás (2023) e Cai et al. (2024).

A leitura do pipeline indica que bons resultados dependem de detecção confiável, pré-processamento que elimine ruídos, modelos com regras de segurança explícitas e avaliação regular por indicadores como atraso médio, tempo de travessia e número de paradas. O laço de retorno entre avaliação e bloco de feedback ajusta detector e modelo, enquanto o registro de versões sustenta compa-

rações ao longo do tempo e auditoria pública (PUC Goiás, 2023; Cai et al., 2024).

Em continuidade, a seção descreve evidências de desempenho em estudos recentes e explicita requisitos de dados e rotinas de validação que permitem replicação em redes municipais (PUC Goiás, 2023; Cai et al., 2024).

2.3.2 Evidência de desempenho em estudos recentes

Em estudo brasileiro, redes neurais aplicadas a interseções urbanas simularam ajustes em tempo de ciclo e fases com dados de fluxo, velocidade e ocupação. Os autores reportam queda no tempo médio de espera e maior estabilidade de escoamento frente ao controle fixo, mantendo estrutura de dados compatível com operação local (PUC Goiás, 2023).

No cenário internacional, estudo em Scientific Reports propõe aprendizado por reforço profundo com dueling e double Q-learning, mostrando adaptação rápida a mudanças de demanda. As métricas auditadas incluem atraso médio por interseção e tempo total de viagem, com validação em simuladores e campanhas de campo, superando métodos convencionais em diferentes redes (Cai et al., 2024).

Um framework testado no simulador SUMO combina previsão de curto prazo, heurísticas e troca de mensagens distribuídas. Os resultados indicam redução de 21,6% no tempo de espera, melhora em consumo de combustível e queda de emissões, com requisitos de dados compatíveis com sensores presentes em cidades de porte médio (Zrigui; Khouli; Kerkeb, 2025).

Relato de aplicação em contexto de infraestrutura limitada demonstra que modelos de reforço em cruzamentos isolados reduziram comprimento de filas e tempo médio de espera. A abordagem usa histórico, sensores locais e regras de estágio, sugerindo viabilidade em redes com recursos computacionais modestos (Natafqi et al., 2022).

2.3.3 Dados, indicadores e validação

Para funcionar de forma transparente, o sistema precisa de três camadas informacionais: detecção confiável, dicionário de dados com metadados e séries auditáveis. Indicadores recomendados incluem atraso médio por aproximação, número de paradas, tempo de travessia de pedestres, cancelamentos de fase, consumo estimado e emissões, sempre com carimbo de tempo e versão do algoritmo ativo (Cai et al., 2024; PUC Goiás, 2023).

A validação combina testes A/B ou janelas antes-depois com controle de sazonalidade e eventos atípicos. Em redes com múltiplas interseções, recomenda-se medir latência de decisão, estabilidade do ciclo e impactos em corredores de ônibus, além de verificar se os ganhos persistem fora do pico e em dias com clima adverso (Zrigui; Khouilji; Kerkeb, 2025).

2.3.4 Privacidade, governança e risco de viés

Quando há câmeras e dados de deslocamento, a proteção de identidades exige anonimização na borda, descarte de quadros sensíveis e controle de acesso com

perfis e logs. Modelos devem ter finalidade declarada, parâmetros versionados e relatórios de desempenho por grupo e por zona, reduzindo risco de viés e facilitando correções em comitês técnicos (Natafgi et al., 2022).

Para equipes municipais, uma rotina mínima inclui: catálogo de dados com dicionário público, política de retenção, revisão periódica do algoritmo, teste de sensibilidade e registro das alterações em diário de bordo. Essa governança apoia prestação de contas e amplia a comparabilidade entre localidades (PUC Goiás, 2023; Cai et al., 2024).

2.3.5 Limites e transferibilidade

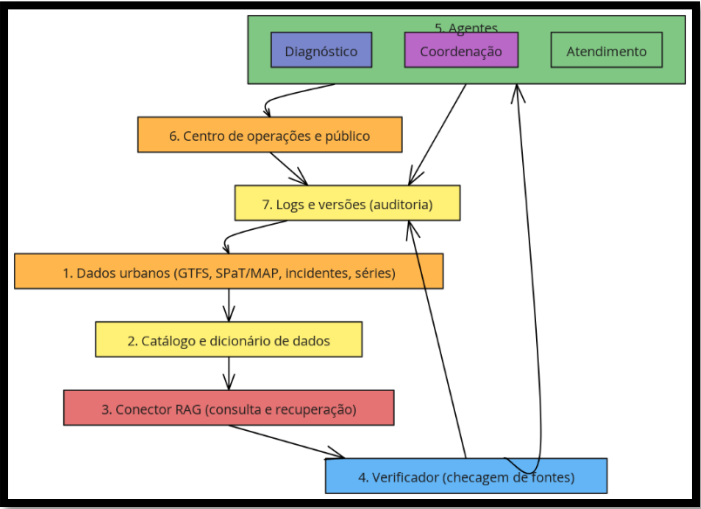
Resultados dependem da qualidade da detecção e da cobertura de sensores. Em redes com pouca instrumentação, ganhos se concentram em interseções com maior fluxo e conectividade; em corredores estruturados, a coordenação entre interseções é determinante. A adaptação a novos cenários requer re-treinamento com dados locais e salvaguardas contra sobreajuste, mantendo janelas de avaliação independentes (Cai et al., 2024; Zrigui; Khouliji; Kerkeb, 2025).

A combinação IA–IoT viabiliza controle adaptativo com ganhos em atraso, filas e previsibilidade de travessias, desde que haja dados confiáveis, métricas auditáveis e governança clara. A seção 2.4 amplia a discussão para arquiteturas multiagentes com modelos de linguagem e recuperação aumentada de informação aplicadas a operação e análise em tempo quase real (PUC Goiás, 2023; Cai et al., 2024).

2.4 Arquiteturas multiagentes com LLMs e RAG em ITS

Arquiteturas com múltiplos agentes baseadas em modelos de linguagem operam como camada de orquestração e análise em sistemas de transporte inteligente. A função central é consultar catálogos de dados urbanos, resumir incidentes, propor ajustes de ciclo semafórico, recomendar rotas alternativas e explicar decisões a operadores e usuários, preservando o rastro das fontes utilizadas em cada resposta (Xu et al., 2024; Alexander Thamm, 2024).

Figura 4: Arquitetura lógica de agentes LLM com RAG para ITS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em Xu et al. (2024) e LangChain (2024).

Para explicitar a lógica de funcionamento e os pontos de controle, apresenta-se um mapa que organiza o fluxo de informação desde os dados urbanos até a execução e o

registro em auditoria. O encadeamento mostra onde os agentes entram, como o verificador sustenta a rastreabilidade e de que forma o centro de operações fecha o ciclo com publicação de evidências (Xu et al., 2024; LangChain, 2024).

A leitura do diagrama indica um fluxo principal em coluna: dados urbanos alimentam o catálogo e o dicionário, o conector RAG realiza a recuperação, o verificador checa as fontes e o conjunto de agentes executa três frentes operacionais: diagnóstico de rede, coordenação semafórica e atendimento com saída para o centro de operações.

Em paralelo, verificador e agentes registram eventos em logs com versão e metadados, e o centro também publica seus registros; esse material retorna ao repositório para atualizar os dados de base e manter consistência ao longo do tempo (Xu et al., 2024; LangChain, 2024).

Como implicação prática, o desenho exige catálogo público com dicionário, políticas claras para citação automática de fontes, revisão humana nas recomendações sensíveis à segurança viária e rotina de divulgação de séries de operação.

Métricas úteis incluem precisão de citação do RAG, tempo de resposta por tipo de solicitação, taxa de recomendações aceitas e cobertura das bases consultadas, com checagem cruzada periódica por auditores internos (SuperAnnotate, 2024; Xu et al., 2024).

Em continuidade, a seção 2.6 discute Mobilidade Autônoma Sob Demanda articulada ao transporte coletivo, com foco em integração tarifária e informacional,

indicadores de desempenho e limites de transferência para contextos brasileiros (Guo; Zhao, 2023; World Bank, 2022).

2.5 AMoD orientado ao coletivo e integração tarifária/informacional

Esta seção sintetiza evidências sobre Mobilidade Autônoma Sob Demanda articulada ao transporte coletivo, com foco em cenários que conectam primeira e última milha a linhas troncais, integração de informação ao usuário e tarifas combinadas. A pergunta central é quando e como o AMoD melhora acessibilidade, tempo porta a porta e emissões sem fragilizar o ônibus e o metrô existentes, sob condições realistas para cidades brasileiras (World Bank, 2022; Guo; Zhao, 2023).

Estudos de desenho transit-centric mostram que o AMoD funciona melhor como alimentador de estações e corredores de alta frequência, com despacho orientado a ocupação e pontos de embarque definidos. Simulações e protótipos indicam ganho de cobertura em bairros periféricos, redução de esperas e roteamento menos redundante quando a plataforma compartilha dados com a rede troncal e respeita prioridades do transporte público, com ênfase em hubs de integração (Guo; Zhao, 2023; Kumar et al., 2022).

No Brasil, relatórios técnicos apontam caminhos regulatórios e operacionais para alinhamento entre AMoD e sistemas estruturantes. As medidas incluem bilhetagem integrada, regras de interoperabilidade informacional, catálogos de dados sincronizados entre operadores e incentivos à intermodalidade, com atenção a subsídios

calibrados para viagens integradas e à transparência das métricas de desempenho publicadas em portais oficiais (World Bank, 2022).

Resultados reportados em estudos e guias setoriais incluem aumento expressivo da cobertura da primeira/última milha, queda em emissões de dióxido de carbono, melhora no tempo porta a porta e crescimento moderado da demanda coletiva em corredores-chave quando a coordenação é efetiva.

Indicadores recomendados abrangem taxa de conexão por zona, variação do tempo porta a porta, fator de ocupação, emissões por passageiro-quilômetro, confiabilidade do tronco e satisfação do usuário em viagens integradas (Kumar et al., 2022; IDAE, 2019).

Do ponto de vista distributivo, debates sobre tarifa integrada e acesso social apontam que políticas como tarifa zero em eixos locais podem ampliar alcance do sistema quando acompanhadas de fontes de financiamento estáveis e de avaliação periódica de impactos. A literatura alerta que escolhas tarifárias devem considerar elasticidade de demanda, equilíbrio financeiro e metas de equidade, com divulgação transparente dos resultados (Cordovil; Barbosa, 2021).

Limites de transferência aparecem quando faltam padrões abertos, integração tarifária, governança de dados e infraestrutura digital confiável. Barreiras recorrentes envolvem dependência de plataformas proprietárias, restrições ao compartilhamento de dados operacionais, riscos de exclusão digital e fragilidade de contratos para monitorar qualidade do serviço em viagens integradas.

A replicação municipal requer garantias legais, auditoria de tarifas, catálogos e dicionários públicos e rotinas de publicação de séries de operação com versão e metodologia (World Bank, 2022; IDAE, 2019).

Para consolidar os cenários em que a Mobilidade Sob Demanda autônoma opera como extensão do transporte coletivo e para tornar comparáveis objetivo, alavanca de política e indicador, apresenta-se o quadro a seguir. A síntese reúne práticas e evidências de integração informacional e tarifária, com atenção a cobertura de primeira/última milha, confiabilidade do tronco e emissões (World Bank, 2022; Guo; Zhao, 2023; Kumar et al., 2022; Cordovil; Barbosa, 2021; IDAE, 2019).

Tabela 2: Cenários AMoD integrados: objetivo × alavanca de política × indicador

Cenário	Objetivo	Alavanca de política	Indicadores
Alimentador periférico com hubs	Ampliar cobertura de acesso de primeira/ última milha a corredores troncais	Pontos de embarque designados; despacho orientado a ocupação; prioridade operacional em hubs	Taxa de conexão por zona (% domicílios ≤800 m do hub); tempo porta a porta (min); fator de ocupação
Integração tarifária (um bilhete)	Reduzir atritos de transbordo e incerteza de custo	Bilhetagem account-based; teto tarifário integrado; subsídio por viagem integrada	Adoção da tarifa integrada (%); custo médio por viagem integrada (R\$);

			elasticidade de demanda
Informação unificada ao usuário	Aumentar confiabilidade percebida e diminuir barreiras informacionais	Aplicativo e portal em tempo real; GTFS-Realtime/TOMP-API; SLA de dados entre operadores	Pontualidade informacional (% dentro do SLA); NPS/CSAT integrado; taxa de cancelamento
Zonas de baixa demanda e horário noturno	Garantir serviço mínimo com segurança e eficiência	Geofencing; tarifas dinâmicas com piso social; paradas virtuais seguras	Tempo de espera P90 (min); cobertura temporal (% faixas atendidas); incidentes por 10 mil viagens
Acessibilidade universal (PcD)	Assegurar acesso de pessoas com deficiência e baixa mobilidade	Frota acessível; reserva assistida; prioridade no despacho; treinamento de motoristas	Viagens acessíveis (%); tempo de espera PcD (min); reclamações por mil viagens
Emissões e eficiência energética	Reduzir emissões e consumo no trecho de alimentação	Frota elétrica/híbrida; despacho por ocupação; roteamento complementar ao tronco	CO ₂ (g/pkm); consumo (kWh/100 km); taxa de ociosidade (%)

Integração operacional ao tronco	Reforçar confiabilidade do corredor e conexões	Janelas de conexão sincronizadas; faixas dedicadas; prioridade semafórica para shuttles	Confiabilidade do tronco (% dentro da janela); conexões perdidas (%); headway efetivo (min)
Governança e dados abertos	Viabilizar auditoria e replicação intermunicipal	Catálogo e dicionário públicos; logs de eventos; contratos com KPIs; MDS/TOMP-API	Séries publicadas (sim/não); cobertura de campos (%); conformidade e a SLA de dados (%)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em World Bank (2022), Guo e Zhao (2023), Kumar et al. (2022), Cordovil e Barbosa (2021) e IDAE (2019).

A tabela indica que o AMoD tende a entregar melhores resultados quando atua como alimentador de hubs e corredores, com despacho orientado a ocupação e pontos de embarque definidos.

Assim como, integração tarifária reduz atritos de transbordo; informação unificada exige GTFS-Realtime e TOMP-API com acordos de nível de serviço; zonas de baixa demanda pedem janelas de conexão, geofencing e paradas virtuais seguras. Indicadores recomendados incluem taxa de conexão por zona, tempo porta a porta, fator de ocupação, emissões por passageiro-quilômetro e confiabilidade do tronco (Kumar et al., 2022; World Bank, 2022; IDAE, 2019).

Em continuidade, a seção 2.6 reúne implicações técnicas para desenho multimodal e para o monitoramento conjunto de acesso e qualidade com recortes territoriais e sociais, preparando a passagem ao capítulo seguinte (Guo; Zhao, 2023; World Bank, 2022).

2.6 Requisitos de dados, governança e auditoria

A consolidação de sistemas de mobilidade inteligente requer bases abertas, dicionários padronizados e rotinas de auditoria que garantam rastreabilidade e atualização periódica. A diretriz é publicar o que se mede, registrar como se mede e documentar quem responde por cada etapa do ciclo de dados (ABNT, 2025).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR ISO 37110:2024, orienta a gestão de dados urbanos com mapeamento de portais, definição de responsabilidades, uso de padrões abertos, controle de versão e monitoramento da qualidade, prevendo auditorias e planos de renovação dos catálogos (ABNT, 2025).

No eixo de indicadores, a NBR ISO 37120 estrutura métricas para serviços urbanos e qualidade de vida, exigindo séries temporais consistentes, metadados auditáveis, dicionários de variáveis e relatórios anuais em plataforma interoperável com papéis explícitos para gestores, desenvolvedores e auditores (ABNT, 2024).

No plano técnico, GTFS e GTFS Realtime padronizam dados de transporte coletivo para planejamento e operação, enquanto o GBFS organiza a micromobilidade com status de estações e veículos para acompanhamento regulatório. Esses formatos viabilizam ingestão, análise e comparação

em softwares públicos e painéis auditáveis por órgãos de controle (MobilityData, 2021; IDAE, 2019).

Para integração entre operadores e provedores de MaaS, a TOMP-API disciplina planejamento, reserva, pagamento, execução e monitoramento com autenticação, versionamento, anonimização e registro de logs (MaaS Alliance, 2021).

Para orientar a implementação municipal e reduzir riscos de inconsistência, apresenta-se um checklist mínimo de conformidade que relaciona item de controle, evidência exigida, periodicidade e responsável institucional. A síntese está alinhada às diretrizes normativas e às especificações de dados de mobilidade (ABNT, 2025; ABNT, 2024; MobilityData, 2021; MaaS Alliance, 2021).

O quadro a seguir organiza os requisitos em blocos operacionais, permitindo auditoria rápida de catálogos, APIs e rotinas de publicação. Cada linha indica o documento ou registro que deve estar acessível ao público e ao auditor interno, com prazos e papéis definidos (ABNT, 2025; ABNT, 2024).

Quadro 3: Checklist de governança e auditoria de dados em mobilidade

1. **Catálogo e dicionário de dados** — catálogo público com descrição, esquema, unidade e cobertura; dicionário por dataset; link permanente. **Periodicidade:** semestral. **Responsável:** órgão gestor de dados urbanos (ABNT, 2025).

2. **Metadados e licenças** — metadados no padrão DCAT-AP ou equivalente; licença clara de uso e citação. **Periodicidade:** semestral. **Responsável:** gestor do portal (ABNT, 2025).

3. **Controle de versão** — hash do arquivo, data de corte e changelog por dataset. **Periodicidade:** a cada publicação. **Responsável:** equipe técnica do operador (ABNT, 2025).

4. **GTFS estático** — conjunto completo de rotas, viagens, paradas e tarifas validado com relatório de erros. **Periodicidade:** mensal. **Responsável:** operador do serviço (MobilityData, 2021).

5. **GTFS Realtime** — feeds de posição, alertas e atualizações com SLA de latência e disponibilidade. **Periodicidade:** contínua, auditoria mensal. **Responsável:** centro de operações (MobilityData, 2021).

6. **GBFS** — status de estações ou veículos de micromobilidade com histórico de disponibilidade e reequilíbrio. **Periodicidade:** contínua, auditoria mensal. **Responsável:** operador de micromobilidade (MobilityData, 2021; IDAE, 2019).

7. **TOMP-API** — documentação pública de endpoints, autenticação, versionamento e logs de integração. **Periodicidade:** revisão trimestral. **Responsável:** integração MaaS do município (MaaS Alliance, 2021).

8. **Qualidade do dado** — relatório com completude, consistência temporal, cobertura espacial e taxa de erro por feed. **Periodicidade:** trimestral. **Responsável:** auditor interno de dados (ABNT, 2025).

9. **Privacidade e anonimização** — política aplicada aos datasets com avaliação de risco de reidentificação. **Periodicidade:** anual ou quando houver mudança. **Responsável:** encarregado de proteção de dados (ABNT, 2025).

10. **Scripts reprodutíveis** — repositório oficial com ETL e cálculo de indicadores, incluindo versão das bibliotecas. **Periodicidade:** a cada atualização metodológica. **Responsável:** equipe analítica do órgão gestor (ABNT, 2024).

11. **Relatórios de indicadores** — divulgação anual com série histórica, método, limitações e contato técnico. **Periodicidade:** anual. **Responsável:** coordenação de planejamento (ABNT, 2024).

12. **Auditoria externa** — termo de referência, parecer resumido e plano de ação corretiva. **Periodicidade:** anual. **Responsável:** controladoria ou entidade independente (ABNT, 2025).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em ABNT (2025; 2024), MobilityData (2021), MaaS Alliance (2021) e IDAE (2019).

O checklist evidencia que conformidade depende menos de soluções proprietárias e mais de documentação, versionamento e clareza de papéis. GTFS, GBFS e TOMP-API estruturam a interoperabilidade; a NBR ISO 37110 organiza governança e ciclo de vida; a NBR ISO 37120 ancora mensuração e publicação. Sem relatório de qualidade e scripts reprodutíveis, a comparação entre anos e operadores perde validade, o que compromete decisões e controle social (ABNT, 2025; ABNT, 2024; MobilityData, 2021).

Para integração segura, recomenda-se vincular cada indicador à sua origem em GTFS/GTFS-RT ou GBFS, registrar hash de arquivo e publicar o dicionário correspondente, com scripts de reprodução em repositório versionado. A seção 2.7 sintetiza implicações para desenho multimodal e monitoramento conjunto de acesso e qualidade, articulando requisitos de dados e ciclos de revisão pública às práticas de planejamento em redes urbanas (ABNT, 2024; MaaS Alliance, 2021).

2.7 Síntese técnica e considerações finais

O objetivo desta síntese é relacionar tecnologias, grau de maturidade, dados mínimos e implicações para redes multimodais com recortes de equidade. A seleção cobre evidências 2018–2025 priorizando normas, relatórios técnicos de organismos e estudos com indicador mensurável e método explícito (ABNT, 2024; ABNT, 2025; World Bank, 2022; MobilityData, 2021; MaaS Alliance, 2021).

Para orientar decisões municipais, apresenta-se uma matriz que cruza prontidão tecnológica com requisitos operacionais e riscos, vinculando cada linha a métricas de

acesso e de qualidade adotadas no Cap. 1, como tempo porta a porta, confiabilidade, cobertura espacial, emissões por passageiro-quilômetro e taxas de conexão de primeira/última milha (ABNT, 2024; IDAE, 2019; MobilityData, 2021).

A matriz a seguir constitui um roteiro de decisão. Sintetiza, em uma única página, as tecnologias avaliadas, o grau de maturidade, os dados mínimos requeridos, os indicadores de desempenho associados, os principais riscos e as ações recomendadas.

O que cada coluna significa:

Tecnologia indica o objeto de análise, como C-ITS/V2X, semáforo adaptativo IA-IoT, agentes LLM com RAG, AMoD integrado, governança de dados ou informação ao usuário. Prontidão mostra o estado atual, classificando em implementação imediata, piloto controlado ou estudo preparatório, conforme evidências de 2018–2025. Dado mínimo lista os insumos indispensáveis para colocar a tecnologia em campo, como GTFS e GTFS-Realtime para transporte coletivo, GBFS para micromobilidade, SPaT/MAP para interseções e catálogos versionados para agentes de dados (MobilityData, 2021; MaaS Alliance, 2021). Indicador associado conecta a tecnologia às métricas operacionais do Cap. 1, como tempo porta a porta, confiabilidade, cobertura espacial, emissões por passageiro-quilômetro e taxa de conexão de primeira/última milha (ABNT, 2024; IDAE, 2019).

Risco registra pontos de atenção recorrentes, entre eles cibersegurança, viés de detecção, inconsistência de

séries, privacidade e dependência de fornecedor. Ação recomendada traduz o que fazer agora, como portar uma portaria de dados, iniciar um sandbox em corredor, definir SLA de latência, publicar scripts reproduzíveis ou contratar auditoria externa, sempre com papéis institucionais definidos (World Bank, 2022; ABNT, 2025).

A tabela organiza as principais tecnologias analisadas no capítulo, relacionando prontidão, dado mínimo, indicador, risco e ação recomendada. Cada linha indica o ponto de partida possível para um município e a trilha de implementação em 6 a 24 meses, alinhada às normas e APIs abertas citadas no capítulo (ABNT, 2024; MaaS Alliance, 2021; MobilityData, 2021).

Tabela: 5 Matriz de síntese: tecnologia × prontidão × dado mínimo × indicador × risco × ação recomendada

1. C-ITS/V2X com SPaT/MAP e priorização de ônibus

Prontidão: pilotos avançados e corredores em operação.

Dado mínimo: SPaT/MAP, logs RSU/OBU, posições de frota.

Indicador: latência fim-a-fim, prioridade concedida, variação de tempo por aproximação, incidentes em interseções.

Risco: cibersegurança, dependência de fornecedor, lacuna de manutenção.

Ação recomendada: piloto em corredor com padrões ETSI/ISO, SLA de latência e auditoria mensal de logs (CET-SP, 2021; World Bank, 2022).

2. Semáforos adaptativos IA-IoT

Prontidão: protótipos com resultados operacionais.

Dado mínimo: volumes e filas por aproximação, fases e tempos, detecção de pedestres.

Indicador: atraso médio, comprimento de fila, paradas por veículo, tempo de travessia de pedestres.

Risco: viés do detector, dados ruidosos, sobreajuste.

Ação recomendada: sandbox A/B com SUMO e amostra de campo,

ciclo de feedback e publicação de scripts e séries (PUC Goiás, 2023; Cai et al., 2024).

3. Agentes multiatores com LLM e RAG para centros de operação

Prontidão: pilotos de baixo risco com escopo restrito.

Dado mínimo: catálogo e dicionário, GTFS/GTFS-RT, incidentes, logs de atendimento.

Indicador: precisão de citação do RAG, tempo de resposta, taxa de recomendações aceitas, cobertura de fontes.

Risco: respostas sem lastro, privacidade, custo operacional.

Ação recomendada: casos de uso focados em diagnóstico e comunicação, revisão humana obrigatória e trilha de auditoria (Xu et al., 2024).

4. AMoD integrado ao coletivo (feeder de hubs)

Prontidão: viável em cenários com integração informacional/tarifária.

Dado mínimo: demanda por zona, oferta troncal, regras tarifárias, áreas de geofencing.

Indicador: taxa de conexão de primeira/última milha, tempo porta a porta, ocupação, emissões por passageiro-km.

Risco: canibalização do tronco, tarifas regressivas, exclusão digital.

Ação recomendada: pilotos com tarifação integrada, pontos de embarque definidos e metas de ocupação (Guo; Zhao, 2023; Kumar et al., 2022; World Bank, 2022).

5. Governança de dados e APIs abertas (ISO 37110/37120; GTFS/GBFS; TOMP-API)

Prontidão: implementação imediata.

Dado mínimo: catálogo público, metadados DCAT, licenças, changelog, repositório de scripts.

Indicador: completude do dataset, periodicidade de atualização, disponibilidade dos feeds, reprodutibilidade.

Risco: séries inconsistentes, ausência de dicionário, dependência de dados proprietários.

Ação recomendada: portaria municipal de dados abertos, plano de auditoria anual e publicação de scripts reprodutíveis (ABNT, 2024; ABNT, 2025; MobilityData, 2021; MaaS Alliance, 2021).

6. Informação ao usuário em tempo real e painéis públicos

Prontidão: consolidada com GTFS-RT/GBFS.

Dado mínimo: posição de veículos, frequências, cancelamentos,

disponibilidade de micromobilidade.

Indicador: confiabilidade percebida, tempo de espera P90, taxa de cancelamento, uso de modos ativos.

Risco: dados desatualizados, indisponibilidade do feed, assimetria informacional.

Ação recomendada: contrato com SLA de dados, monitoramento diário e publicação de séries históricas (MobilityData, 2021; IDAE, 2019).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em ABNT (2024; 2025), World Bank (2022), MobilityData (2021), MaaS Alliance (2021), Kumar et al. (2022), Guo e Zhao (2023), CET-SP (2021), PUC Goiás (2023) e Xu et al. (2024).

A matriz indica que duas frentes comportam prototipagem municipal de curto prazo: semáforos adaptativos IA-IoT e C-ITS com priorização de ônibus, dada a disponibilidade de dados e os ganhos consistentes em atraso médio e confiabilidade. Adoção de agentes LLM-RAG e AMoD integrado requer pilotos com delimitação de risco e governança robusta de dados. Padrões e APIs abertas devem anteceder qualquer expansão, pois sustentam reprodutibilidade, auditoria e comparabilidade entre anos e operadores.

Para avançar de tecnologia para valor social, o Cap. 3 utilizará as métricas consolidadas no Cap. 1 e nesta matriz o acesso acumulado, tempo porta a porta, confiabilidade, cobertura espacial e emissões por passageiro-quilômetro, incorporando recortes de renda, gênero, raça e território na avaliação de políticas e serviços (ABNT, 2024; World Bank, 2022).

Referências bibliográficas

ABNT. *NBR ISO 37110:2024 – Cidades e comunidades sustentáveis: gestão de dados abertos*. Revista Prédio Inteligente, 2025.

ABNT. *NBR ISO 37120:2024 – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida*. Target, 2024.

ALEXANDER THAMM. *Uma visão geral dos sistemas LLM multiagentes: desafios e desenvolvimentos*. 2024.

Disponível em:

<https://www.alexanderthamm.com/en/blog/multi-agent-llm-systems/>. Acesso em: 1 set. 2025.

ANTP. *Portfólio ANTP – Junho 2021*. Série Cadernos Técnicos. São Paulo: Associação Nacional de Transportes Públicos, 2021. Disponível em:

<https://files.antp.org.br/porfolio-antp/portfolio-da-ANTP-Junho-2021.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

APREPRO. *Mobilidade urbana nas cidades inteligentes: panorama e projeções futuras*. Anais Conbrepro, 2023, p. 9-12. Disponível em:

https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/2023/arquivos/10012023_171040_6519d3a821a7f.pdf. Acesso em: 1 set. 2025.

BMIMI – Bundesministerium für Mobilität und Innovation. *C-ITS Strategy Austria*. Viena: BMIMI, 2020. Disponível em:

<https://www.bmimi.gv.at/dam/jcr:805487b2-3563-4bd0-8fc6-e392970a42ec/citsstrategy.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

CAI, C. et al. *Adaptive urban traffic signal control based on enhanced deep reinforcement learning*. Scientific Reports, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-64885-w.

CET-SP – Companhia de Engenharia de Tráfego. *Nota Técnica 281/2021 – Semáforos inteligentes*. São Paulo: CET, 2021. Disponível em:

<https://www.cetsp.com.br/media/1387991/nt-281.pdf>.

Acesso em: 1 set. 2025.

CNCS – Centro Nacional de Cibersegurança. *Estratégia Nacional de Segurança do Ciberespaço 2019–2023*. Lisboa: CNCS, 2023. Disponível em:

<https://www.cncs.gov.pt/docs/rose-cncs-geral.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

CORDOVIL, F. C. S.; BARBOSA, L. C. B. *A tarifa zero como possibilidade para a mobilidade urbana acessível*. *Crítica Urbana*, n. 19, p. 45-58, 2021.

FRONTIERS IN SUSTAINABLE CITIES. *Systematic literature review of mobility attitudes and mode choices*. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2023. DOI: 10.3389/frsc.2022.1085784.

GUO, X.; ZHAO, J. *Design of transit-centric multimodal urban mobility system with autonomous mobility-on-demand (TCMUM-AMoD)*. Cambridge: MIT, 2023.

arXiv:2404.05885. Disponível em:

<https://arxiv.org/html/2404.05885v1>. Acesso em: 1 set. 2025.

IDAE. *Gestión eficiente del transporte colectivo: guía técnica*. Madrid: IDAE, 2019.

ISO. *ISO 14813-1:2024 – Intelligent transport systems — Reference model architecture(s) for the ITS sector — Part 1*. Geneva: International Organization for Standardization, 2024. Disponível em:

<https://www.iso.org/standard/85840.html>. Acesso em: 1 set. 2025.

ISO. *ISO 37110:2022 – Sustainable cities and communities — Management requirements and recommendations for open data for smart cities and communities — Overview and general principles*. Geneva: International Organization for Standardization, 2022. Disponível em:

<https://www.iso.org/standard/62069.html>. Acesso em: 1 set. 2025.

ISO. *ISO 37120:2018 – Sustainable cities and communities — Indicators for city services and quality of life*. Geneva: International Organization for Standardization, 2018.

Disponível em: <https://www.iso.org/standard/68498.html>. Acesso em: 1 set. 2025.

ISO. *ISO 37122:2019 – Sustainable cities and communities — Indicators for smart cities*. Geneva: International

Organization for Standardization, 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/69050.html>. Acesso em: 1 set. 2025.

JCM – JOURNAL OF COMMUNICATIONS. *V2X-Equipped Smart Intersections*. Journal of Communications, v. 18, n. 11, 2023. Disponível em: <https://www.jocm.us/2023/JCM-V18N11-722.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

KAPSCH TRAFFICCOM. *Referencias – V2X y despliegue C-ITS en Europa y Norteamérica*. Viena: Kapsch TrafficCom, 2025. Disponível em: <https://www.kapsch.net/es/sobre-kapsch/referencias>. Acesso em: 1 set. 2025.

KUMAR, P. et al. *Planning of integrated mobility-on-demand and public transport*. 2022.

LANGCHAIN. *LangGraph: fluxos de trabalho multiagentes*. 2024. Disponível em:

<https://blog.langchain.com/langgraph-multi-agent-workflows/>. Acesso em: 1 set. 2025.

MAAS ALLIANCE. *Interoperability for Mobility, Data Models, and API*. Bruxelas: MaaS Alliance, 2021.

MOBILITYDATA. *GBFS y política de datos de movilidad compartida*. MobilityData, 2021.

NATAFGI, M. et al. *Artificial Intelligence traffic signals based on reinforcement learning in Lebanon*. Revista FT, v. 34, n. 3, 2022. Disponível em: <https://revistaft.com.br/utilizacao-da-ia-no-transito/>. Acesso em: 1 set. 2025.

PUC GOIÁS. *Redes neurais aplicadas a semáforos de trânsito*. Goiânia: PUC Goiás, 2023.

REVISTA IBEROCIENCIAS. RODRÍGUEZ, J.; ARRIAGA, G. *Estado del arte sobre la movilidad urbana sostenible mediante ciencia de datos*. Revista IberoCiencias, 2024.

Disponível em:

<https://revistaiberociencias.org/index.php/multidisciplinar/article/download/28/95>. Acesso em: 1 set. 2025.

RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental. RIBEIRO, F.; GONZÁLEZ, M.; et al. *Urban logistics and mobility: a framework proposal for sustainable cities*. RGSA, v. 18, n. 4, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n4-177.

SOCHOR, Jana; ARBY, Hans; KARLSSON, I. C. MariAnne. *A topological approach to Mobility as a Service*. Research in Transportation Business & Management, v. 27, p. 3-14, 2018. DOI: 10.1016/j.rtbm.2018.12.003.

SUPERANNOTATE. *LLMs multiagentes em 2024: estruturas e práticas*. 2024. Disponível em:

<https://www.superannotate.com/blog/multi-agent-llms>.

Acesso em: 1 set. 2025.

WORLD BANK. *Gestão da demanda de mobilidade e boas práticas MaaS em São Paulo*. Washington, DC: Banco Mundial, 2022. Disponível em:

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099050223111233298/pdf/P173414003486c02e0884408b472f9c4d2f.pdf>.

Acesso em: 1 set. 2025.

XU, H. et al. *GenAI-powered multi-agent paradigm for smart urban mobility*. arXiv:2409.00494, 2024. Disponível em:

<https://arxiv.org/abs/2409.00494>. Acesso em: 1 set. 2025.

ZRIGUI, I.; KHOULJI, S.; KERKEB, M. *Adaptive traffic signal control using AI and distributed systems for smart urban mobility*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, v. 103, n. 8, p. 3532, 2025.

ASPECTOS SOCIAIS, MULTIMODALIDADE E JUSTIÇA

Introdução

A dimensão social da mobilidade urbana, quando articulada à multimodalidade e à justiça distributiva, exige um enquadramento que una definições conceituais, métricas operacionais e governança de dados passível de auditoria pública.

Este capítulo organiza esse enquadramento em torno de três eixos que se reforçam mutuamente: i) conceitos de equidade, justiça espacial e inclusão, traduzidos em variáveis observáveis; ii) indicadores replicáveis de acessibilidade e qualidade do deslocamento, com estratificações por renda, gênero, raça ou cor e idade; iii) arranjos institucionais para participação social, monitoramento contínuo e transparência, em consonância com diretrizes nacionais e internacionais.

O recorte empírico prioriza estudos, diretrizes e bases de 2018 a 2025, com ênfase em aplicações no Brasil e na América Latina, desde que sustentadas por dados públicos ou auditáveis e por métodos explicitados. Essa opção favorece comparabilidade e reprodutibilidade, sintonizando-se a referências internacionais sobre mensuração de acessibilidade e confiabilidade, bem como a normativos recentes voltados a planejamento e acompanhamento de políticas de mobilidade (International Transport Forum,

2019; European Commission, 2024; Ministério das Cidades, 2025).

Do ponto de vista metodológico, a avaliação integra redes e serviços por meio de matrizes porta a porta e de indicadores de desempenho com fórmulas explícitas, implementáveis com GTFS, GTFS-RT, malhas viárias e demográficas. A exigência de séries temporais, parametrizações documentadas e scripts versionados busca reduzir vieses de cobertura, horário e amostra, estabelecendo uma base comum para decisões técnicas e prestação de contas (Pereira et al., 2021; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025; Transport for London, 2024).

A estrutura do capítulo acompanha essa lógica. A seção 3.1 apresenta o panorama da literatura recente e os critérios de seleção das fontes. Em seguida, a seção 3.2 consolida conceitos operacionais de equidade, justiça espacial e inclusão. A seção 3.3 detalha famílias de métricas e protocolos de dados, enquanto a seção 3.4 trata de auditoria, versionamento e rastreabilidade. A seção 3.5 reúne evidências sobre segurança viária com foco em grupos vulneráveis e a seção 3.6 discute governança de dados e equidade algorítmica. Por fim, a seção 3.7 integra participação social, SUMP/PlanMob e monitoramento, conectando desenho de rede, metas distributivas e ciclos de revisão pública.

3.1 Panorama e critérios de seleção

A literatura recente sobre mobilidade inteligente com enfoque social indica que integração modal, dados públicos e desenho de rede influenciam indicadores de qualidade de

vida em contextos urbanos brasileiros e latino-americanos. Segundo Fryszman e Carstens (2019), consolidam-se linhas que relacionam acessibilidade universal e inclusão a resultados mensuráveis no cotidiano urbano.

Estudos de caso latino-americanos mostram efeitos quando intervenções conectam periferias a eixos estruturantes. Baldovino-Chiquillo et al. (2025) analisam o TransMiCable em Bogotá e registram incremento na percepção de qualidade de vida de mulheres em áreas de menor renda, com variação positiva de escores de bem-estar após a implantação.

No Brasil e na região, análises destacam que redes integradas metrô, ciclovias e plataformas de informação pública favorecem redução de desigualdades territoriais quando associadas a métricas auditáveis. Santos et al. (2022) organizam esse argumento para cidades brasileiras; Cerutti et al. (2019) propõem leitura de maturidade pela presença de plataformas de monitoramento, indicadores verificáveis e sustentação institucional.

Quanto a definições operacionais, Portugal e Goldner (2003, apud Grando, 1986) circunscrevem equidade e justiça espacial como capacidade de assegurar acesso acumulado, tempo porta a porta, confiabilidade, cobertura territorial e emissões por passageiro-quilômetro.

Em estudos recentes com ITS, Lautanala (2025) descreve mensuração por acumuladores espaciais, tempos observados e densidade de usuários conectados, com monitoramento em tempo quase real.

Esta revisão considera estudos de 2018 a 2025 com método explícito e indicador verificável em contexto urbano,

incluindo revisões, mapeamentos e avaliações com dados públicos ou auditáveis. Excluem-se materiais promocionais e análises sem definição clara de métrica. A triangulação Brasil/América Latina incorpora diretrizes de política como PlanMob e SUMP, articuladas a evidências revisadas por pares (Arsenio et al., 2023; Munhácsy et al., 2024; Lautanala, 2025).

Para explicitar critérios e campos que orientam a seleção das fontes, apresenta-se o quadro a seguir, que padroniza inclusão/exclusão e os itens mínimos de extração por estudo.

Quadro 1 – Critérios e campos de extração da revisão 2018–2025

Bloco	Conteúdo
Janela e idiomas	Período 2018–2025; línguas PT, EN e ES, com prioridade para Brasil e América Latina quando disponível.
Fontes prioritárias	Organismos e normas; artigos revisados; repositórios com dados e código. Exemplos: OECD/ITF, ELTIS, MDPI, SpringerOpen, SciELO/Redalyc, TRB/TRID, IBGE/IPEA.
Critérios de inclusão	Foco urbano; método explícito; indicador verificável com unidade; dados públicos ou auditáveis; aplicação em Brasil/AL ou transferível.
Critérios de exclusão	Material promocional; ensaios sem método; resultados sem métrica; dependência de dados indisponíveis ao poder público; uso de dados pessoais sem anonimização.
Riscos a monitorar	Ausência de série temporal; métrica sem fórmula; amostras não representativas; privacidade; não replicabilidade.
Métricas-ponte (Cap. 1)	Acesso acumulado; tempo porta a porta (P50/P90); confiabilidade; cobertura espacial;

	custo da viagem como fração da renda; emissões por passageiro-km.
Campos de extração (por estudo)	Referência ABNT; objetivo; cidade/país e ano; população-alvo; dados utilizados; método; métrica e fórmula; resultado numérico e unidade; limitações; transferibilidade; implicações para Brasil; relação com métricas do Cap. 1.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em Fryszman e Carstens (2019), Santos et al. (2022), Cerutti et al. (2019) e Baldovino-Chiquillo et al. (2025).

O quadro organiza a triagem por elegibilidade do estudo, qualidade do método e aderência a indicadores operacionais. Essa estrutura favorece replicação por equipes municipais e preserva comparabilidade com as métricas definidas no Cap. 1.

Com o panorama estabelecido, a seção 3.2 apresenta definições operacionais de equidade, justiça espacial e inclusão e mostra como serão aplicadas às métricas com recortes por renda, gênero, raça e território, mantendo transparência metodológica e séries auditáveis (¹Observação metodológica).

3.2 Conceitos de justiça e incidência social

A literatura recente define equidade em mobilidade como a distribuição justa do acesso às oportunidades urbanas, mensurada por indicadores de acessibilidade dentro de limites de tempo e custo compatíveis com a vida

¹ Referências anteriores a 2018 foram mantidas estritamente como base conceitual; evidências empíricas e decisões de política se ancoram em estudos 2018–2025.

cotidiana. Essa compreensão aparece em Silva; Pinto; Bertollini (2019) e em Straatemeier; Bertollini (2020).

A noção de justiça espacial vincula o direito de diferentes grupos a recursos urbanos básicos, com atenção a localização, renda, gênero e raça. A operacionalização ocorre por medidas de distância, tempo e indicadores de privação socioeconômica, conforme Pereira; Schwanen; Banister (2017).

No contexto brasileiro, o enquadramento regulatório e o desenho urbano influenciam a justiça espacial por meio de zoneamento, conectividade da rede e oferta de transporte público. Os efeitos concentram-se em periferias, mulheres, idosos e pessoas com deficiência, como analisado por Costa; Santoro (2024).

Em perspectiva regional, a estratificação por renda, classe, raça e idade tende a se converter em trajetórias de exclusão quando o sistema impõe tempos de viagem elevados, custos relativos altos e baixa confiabilidade. Esse quadro é discutido por Camacho et al. (2025) e por Farber et al. (2016).

No debate latino-americano, há controvérsia sobre restringir justiça ao acesso físico. Hernández (2018) e Blanco; Apaolaza (2018) sustentam a necessidade de incluir distribuição de bens urbanos e qualidade das interações sociais como dimensões complementares, com abordagem multidimensional, ética e operacional. Inserida nesse marco, a mobilidade ativa pode ampliar inclusão quando metas e indicadores de vulnerabilidade são explícitos e auditáveis, como argumenta Larrañaga (2025).

Para viabilizar mensuração consistente, as definições conceituais precisam convergir a variáveis observáveis. O conjunto mínimo envolve acesso acumulado a destinos por grupo, tempo porta a porta, confiabilidade do serviço, cobertura territorial, custo da viagem como fração da renda e emissões por passageiro-quilômetro, com cálculo transparente e séries temporais documentadas. Essa síntese encontra respaldo em Straatemeier; Bertollini (2020) e em Pereira; Schwanen; Banister (2017). Em estudos com sistemas inteligentes de transporte, a captura em tempo quase real com sensores e plataformas de Internet das Coisas sustenta a medição de atrasos, regularidade e densidade de uso, como demonstrado por Lautanala (2025).

Riscos conceituais recorrentes enfraquecem políticas quando equidade e justiça aparecem sem indicadores e sem fórmula, ou quando amostras carecem de representatividade nas comparações entre Brasil e América Latina. Esse ponto é reiterado por Silva; Pinto; Bertollini (2019) e por Camacho et al. (2025).

Para garantir aplicação homogênea dos conceitos nas análises seguintes, apresenta-se um glossário operacional que vincula cada constructo a variáveis, dados e métricas observáveis, em coerência com o Cap. 1 e com as referências desta seção.

Quadro 2: Glossário operacional de equidade e justiça em mobilidade

Termo	Definição operacional	Variável observável	Indicador associado	Fonte de dados
Equidade em mobilidade	Distribuição justa do acesso a oportunidades urbanas com base em tempo e custo de viagem.	Grupo social por renda, gênero, raça e idade.	Acesso acumulado por grupo; custo da viagem sobre a renda.	Pesquisas domiciliares, IBGE, GTFS/GTFS-RT.
Justiça espacial	Capacidade de grupos acessarem bens urbanos essenciais em localização e tempo razoáveis.	Zonas, distância-tempo até serviços, privação socioeconômica.	Tempo porta a porta P50/P90; cobertura territorial por zona.	IBGE, cadastros urbanos, GTFS, mapas de serviços.
Inclusão social em mobilidade	Integração de necessidades de grupos vulneráveis ao planejamento e operação.	Mulheres, PcD, idosos, periferias.	Confiabilidade por grupo; segurança percebida; acessibilidade universal.	Pesquisas de percepção, registros de incidentes, auditorias de calçada.
Acessibilidade ativa	Condições de caminhar e pedalar com segurança e continuidade de rede.	Conectividade de calçadas e ciclovias; declividades.	Índice de caminhabilidade; continuidade de ciclovias; tempo de acesso aos eixos troncais.	Levantamentos de campo, GIS, contadores, GBFS.

Acessibilidade econômica	Custo da viagem em proporção à renda disponível do domicílio.	Despesa mensal com transporte por faixa de renda.	Custo da viagem sobre renda; elasticidade de demanda pós-integração tarifária.	Pesquisas de orçamento familiar, bilheta-gem, bases tarifárias.
Confiabilidade do serviço	Estabilidade de frequência e regularidade de viagens ofertadas e realizadas.	Atrasos, cancelamentos, headway real vs. Programado.	Confiabilidade P90; variação de headway; viagens canceladas.	GTFS-RT, registros operacionais, painéis de controle.
Cobertura territorial	Extensão da rede e de suas conexões úteis por zona e por grupo social.	Oferta por área e por população exposta.	Percentual de população com acesso em X minutos aos eixos; taxa de conexão 1ª/última milha.	GTFS, malhas viárias, dados demográficos, GBFS.
Segurança viária por grupo	Risco de sinistros e vitimização no transporte e no entorno por grupo social.	Incidentes por 100 mil viagens; locais críticos.	Taxa de incidentes por grupo e por zona; severidade.	Registros policiais e de saúde; auditorias de ponto de parada.
Medição em tempo quase real	Uso de sensores e plataformas para acompanhar atrasos, regularidade e densidade de uso.	Fluxo, fila, ocupação, eventos de rede.	Atraso médio; regularidade; densidade de usuários conectados.	Sensores, câmeras, IoT, logs operacionais.

Triangulação normativa	Vinculação das métricas a diretrizes de planos e auditorias públicas.	Metas e indicadores em planos e portarias.	Periodicidade de atualização; reprodutibilidade e dos scripts.	PlanMob, SUMP, portais de dados abertos.
------------------------	---	--	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em Silva; Pinto; Bertollini (2019), Straatemeier; Bertollini (2020), Pereira; Schwanen; Banister (2017), Hernández (2018), Blanco; Apaolaza (2018), Larrañaga (2025), Costa; Santoro (2024), Camacho et al. (2025), Farber et al. (2016), Munhácsy et al. (2024) e Lautanala (2025).

A inserção do glossário permite associar cada conceito a um conjunto de variáveis e métricas. Equidade vincula-se a acesso acumulado e a custo da viagem como fração da renda. Justiça espacial relaciona-se a tempo porta a porta, confiabilidade e cobertura por zona.

Inclusão conecta-se à segurança viária, caminhabilidade e barreiras de acesso para pessoas com deficiência, com séries temporais estratificadas por renda, gênero, raça e território, em acordo com as referências citadas.

Com definições e variáveis observáveis consolidadas, a seção 3.3 descreve famílias de métricas e suas fórmulas, indica requisitos de dados e sugere estratégias para reduzir vieses por cobertura, horário e amostra, mantendo coerência metodológica com o capítulo anterior.

3.3 Métricas de acessibilidade e qualidade com recortes sociais

O objetivo desta seção é selecionar métricas operacionais replicáveis para estimar acessibilidade e

qualidade do deslocamento com estratificações por renda, gênero, raça ou cor e idade.

A prioridade recai em indicadores com fórmula explícita, implementáveis com GTFS, GTFS-RT, dados de uso do solo e bases demográficas oficiais, de modo alinhado às diretrizes técnicas internacionais e nacionais. Segundo o International Transport Forum, a comparabilidade depende de definição clara de variáveis e janelas temporais, com transparência de hipóteses de modelagem porta a porta.

Quanto ao cenário brasileiro, Ipea e IBGE oferecem bases e estruturas que permitem estratificação social e reprodutibilidade de scripts (International Transport Forum, 2019; International Transport Forum, 2020; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025).

No plano metodológico, a estimativa de tempos de viagem e acessibilidade deve considerar matrizes de custo multimodais com roteamento robusto em múltiplos horários. A ferramenta r5r, acoplada ao motor R5, permite calcular tempos porta a porta e produzir percentis por grupo, enquanto o Projeto Acesso a Oportunidades agrega indicadores prontos por modo e por recorte social. Esses recursos viabilizam aplicações em escala municipal com documentação de parâmetros e versões de dados. (Pereira et al., 2021; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023).

Conjunto mínimo de métricas

O aprimoramento dos sistemas de avaliação em mobilidade urbana inteligente exige especificações

operacionais compatíveis com o monitoramento social e técnico contemporâneo. Entre os indicadores reconhecidos internacionalmente, destaca-se o conceito de oportunidades cumulativas, que permite estimar de forma replicável o acesso territorial aos empregos, educação e saúde por intervalos temporais definidos e personalizados ao contexto local.

Essa abordagem integra dados geoespaciais, redes de transporte e variáveis demográficas para comprovar análises compatíveis com políticas de equidade e eficiência urbana. (Fórum Internacional de Transportes, 2019; Fórum Internacional de Transportes, 2020; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022).

a) Oportunidades cumulativas. Mede quantas oportunidades X_j são alcançáveis a partir da origem i em até D minutos. A fórmula é $Ai_cum(D) = \sum_j X_j \cdot 1\{cij \leq D\}$, em que cij é o tempo porta a porta na rede. A saída é o total de oportunidades acessíveis em D minutos. Implementação com OSM, GTFS, pontos de interesse e malha populacional. Publicar cenários e percentis para mitigar sensibilidade ao limiar D e ao horário. (International Transport Forum, 2019; International Transport Forum, 2020; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022).

b) Acessibilidade gravítica. Pondera oportunidades pela impedância temporal: $Ai_grav = \sum_j X_j \cdot f(cij)$, com $f(c) \in \{e^{-\beta c}, c^{-\beta}, \dots\}$. A calibração de β deve ser documentada. Apresentar índice médio e distribuição por grupo e área. (International Transport Forum, 2020).

c) Tempo porta a porta por modo. Define Tij como soma de $t_acesso + t_espera + t_bordo + t_transf + t_egresso$. Em ausência de GTFS-RT, usar espera igual à metade do

headway e parametrização transparente. Roteamento com r5r em múltiplas janelas e produção de p50/p85/p95 por grupo. (International Transport Forum, 2019; Pereira et al., 2021).

d) Confiabilidade do tempo de viagem em rodovias. Usa o Buffer Index e o Planning Time Index: $BI = (T_{95} - T_{\text{médio}})/T_{\text{médio}}$ e $PTI = T_{95}/T_{\text{livre}}$. Exige séries de tempo em intervalos consistentes e regras de limpeza. (United States. Federal Highway Administration, 2023).

e) Confiabilidade do serviço de ônibus. Adota o Excess Wait Time: $EWT = AWT - SWT$, em que AWT é a espera média observada e SWT é a espera média programada. Aplicável a linhas de alta frequência com GTFS-RT ou AVL. (Transport for London, 2024).

f) Tempo de balanceamento concorrencial. Considera competição por vagas: $BTi = \min_D \{ D : \sum_{\{j: cij \leq D\}} V_j \geq Di \}$, em que V_j é a capacidade do destino e Di é a população demandante na origem. Útil para creches, saúde e emprego. (Pinto; Pacheco, 2022).

Protocolo de dados e estratificações

A unidade espacial deve ser regular, preferencialmente malha hexagonal com atributos demográficos por grupo. O cálculo requer matrizes $cij(t)$ em múltiplos horários e modos, consolidando Ai_cum , Ai_grav , Tij , BI/PTI , EWT e BTi . A agregação por grupo inclui médias ponderadas pela população do grupo e mapas com quintis e diferenças relativas.

A transparência demanda publicação de fórmulas, parâmetros, versões de GTFS/OSM e scripts reprodutíveis. (Pereira et al., 2021; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023; International Transport Forum, 2020).

Tratamento de vieses

O cálculo deve contemplar pico e entropico com divulgação de percentis para reduzir distorções. Em ausência de dados em tempo real, estimar EWT a partir de telemetria ou amostragem de chegadas e declarar incertezas.

Ajustar tempos de acesso a pé por declividade e condições de calçada quando disponíveis, com base em indicadores do IBGE. Documentar limitações de cobertura e lacunas de GTFS-RT. (Transport for London, 2024; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025; United States. Federal Highway Administration, 2023).

Para consolidar fórmulas, dados mínimos, saídas por grupo e limitações, apresenta-se o quadro a seguir com síntese operacional dos indicadores.

Tabela 1: Indicadores, fórmulas, dados, saídas e limitações

Fórmula sintética	Dados mínimos	Saídas por grupo	Principais limitações
$A_i^{\{cum\}}(D) = \sum_j X_j \cdot 1_{\{c_{ij} \leq D\}}$	OSM + GTFS; POIs; malha populacional	Total em D min; mapas e quintis	Sensível ao limiar D e ao horário

$A_i^{\text{grav}} = \sum_j X_j \cdot f(c_{ij}), f(c) \in \{e^{-\beta c}, c^{-\beta}, \dots\}$	Idem ao cumulativo; matriz c_{ij}	Índice médio e distribuição	Exige calibração de f e β
$T_{ij} = t_{\text{acesso}} + t_{\text{espera}} + t_{\text{bordo}} + t_{\text{transf}} + t_{\text{egresso}}$	GTFS/GTFS-RT; rede viária	p50/p85/p95 por grupo e período	Dependente de hipóteses sem GTFS-RT
$BI = (T_{95} - T_{\text{médio}}) / T_{\text{médio}}; PTI = T_{95} / T_{\text{livre}}$	Séries GPS/APIs por intervalo	BI/PTI por área ponderado por grupo	Requer séries robustas e limpezas
$EWT = AWT - SWT$	GTFS-RT/AVL + GTFS	EWT médio por área/linha e grupo	Demanda alta frequência e telemetria
$BT_i = \min_D \{ D : \sum_{j: c_{ij} \leq D} V_j \geq D_i \}$	Capacidades V_j ; matriz c_{ij}	BT_i médio por grupo	Sensível à estimação de V_j e D_i

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025, com base em International Transport Forum (2019, 2020), Pereira et al. (2021), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2022, 2023), Transport for London (2024) e United States. Federal Highway Administration (2023).

Essa tabela organiza as decisões de implementação. O bloco de acessibilidade orienta metas de alcance por grupo. Os indicadores de confiabilidade guiam contratos e comunicação pública. O tempo de balanceamento introduz a dimensão de capacidade setorial. Essa combinação permite avaliar acesso e qualidade de forma conjunta e comparável entre cidades. (International Transport Forum, 2020; Transport for London, 2024; United States. Federal Highway Administration, 2023).

Com o conjunto mínimo definido, a seção 3.4 descreve o procedimento de auditoria e governança de dados para manter versões, dicionários e séries temporais, preservando rastreabilidade e replicabilidade dos indicadores apresentados. (International Transport Forum, 2020; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023).

3.5 Segurança viária e grupos vulneráveis: levantamento de evidências (2018–2025)

Esta seção sintetiza evidências recentes sobre riscos e contramedidas com foco em mulheres, pessoas idosas e pessoas com deficiência, a partir de organismos internacionais e literatura revisada por pares em português, inglês e espanhol.

A estratégia de busca priorizou a Organização Mundial da Saúde, a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico/Fórum Internacional de Transportes, a ONU Mulheres e o Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos, complementados por estudos acadêmicos com métricas auditáveis e séries temporais quando disponíveis (Organização Mundial da Saúde, 2023; Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico/Fórum Internacional de Transportes, 2018; ONU Mulheres, 2021; United Nations Human Settlements Programme, 2019).

No panorama global, as estimativas apontam 1,19 milhão de mortes anuais em sinistros de trânsito, com razão de risco cerca de três vezes maior para homens e maior carga de mortalidade entre 5 e 29 anos. Em contextos urbanos, a maior parte das vítimas fatais concentra-se em usuários

vulneráveis, com pedestres, ciclistas e motociclistas respondendo pela maioria dos óbitos registrados.

Esses padrões justificam a estratificação por sexo, idade e tipo de usuário em qualquer diagnóstico metropolitano ou municipal (Organização Mundial da Saúde, 2023; Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico/Fórum Internacional de Transportes, 2023).

No Brasil, o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito estabelece diretrizes e metas para redução sustentada, e as bases do Sistema de Informações sobre Mortalidade permitem desagregar por sexo, idade e categoria da vítima.

Análises recentes indicam 34.881 óbitos em 2023, resultado que reforça a necessidade de metas por grupo e por modo, articuladas a intervenções de infraestrutura e operação em áreas urbanas críticas (Conselho Nacional de Trânsito, 2023; Observatório Nacional de Segurança Viária, 2025).

A literatura técnica destaca riscos diferenciados por ciclo de vida e condição de mobilidade. Entre pessoas idosas, estudos registram maior gravidade e letalidade em atropelamentos, recomendando programas com velocidades reduzidas, travessias encurtadas e sinalização reforçada, com avaliação por série temporal e grupos de comparação (Tan et al., 2024).

Em pessoas com deficiência, revisões de escopo reportam risco significativamente mais alto de colisões e fatalidades, indicando a necessidade de estratificação por tipo de deficiência e melhoria da cobertura dos registros policiais e hospitalares (Schwartz et al., 2022).

Em transporte coletivo e seus entornos, evidências para países de renda média mostram lacunas consistentes na segurança percebida de mulheres, com impacto sobre escolhas modais e horários de viagem.

Estudos e avaliações de programas em capitais latino-americanas relacionam melhorias em iluminação, visibilidade de paradas e canais de denúncia a aumentos na sensação de segurança e na capacidade institucional de resposta, o que sustenta a inclusão de métricas de percepção ao lado de indicadores de vitimização (Allen et al., 2019; Kacharo; Akinyemi; Al-Mansour, 2022; ONU Mulheres, 2021).

No conjunto de contramedidas com efeito mensurável, destacam-se três frentes. A primeira envolve intervalos de travessia adiantados para pedestres em interseções semaforizadas, com avaliações antes-depois e fatores de modificação de colisões em torno de 0,87, equivalentes a reduções próximas a 13 por cento.

A segunda reúne ilhas/refúgios e travessias elevadas, com revisões que documentam quedas relevantes em lesões em corredores tratados, desde que associadas a rebaixamento de velocidade e fiscalização.

A terceira cobre qualificação de paradas e estações com foco em visibilidade e iluminação, relacionada a maior segurança percebida por mulheres no período noturno, com reflexos em demanda e permanência (United States. Federal Highway Administration, 2018; Oregon Department of Transportation, 2022; Porter et al., 2022; Kacharo; Akinyemi; Al-Mansour, 2022).

Para mensurar segurança percebida e orientar decisões de desenho urbano, dois referenciais apresentam replicabilidade. As Auditorias de Segurança de Mulheres consolidam listas de verificação para iluminação, rotas de fuga, presença de pessoas e apoio, gerando escores por item, mapas de risco e planos de ação priorizados.

A iniciativa Cidades Seguras da ONU Mulheres combina inquéritos de linha de base e acompanhamento para medir percepção de segurança, ocorrência de assédio e capacidade institucional de resposta, permitindo avaliar intervenções físicas e comunicacionais no tempo (United Nations Human Settlements Programme, 2019; ONU Mulheres, 2021).

A aplicação em cidades brasileiras requer um protocolo de medição com três blocos. O primeiro compreende taxas padronizadas por 100 mil habitantes por sexo, idade, papel da vítima e modo, com série quinquenal e integração a dados de exposição quando disponíveis, como passageiros-quilômetro e travessias.

O segundo contempla estimativas de efeito de intervenções com fatores de modificação de colisões e cálculo de redução de colisões, preferencialmente com técnicas de Empirical Bayes quando existirem grupos de comparação.

O terceiro incorpora indicadores de percepção em paradas e trajetos de acesso com instrumentos validados, assegurando amostragem representativa e anonimização de dados pessoais sensíveis (Conselho Nacional de Trânsito, 2023; United States. Federal Highway Administration, 2018; United Nations Human Settlements Programme, 2019; ONU Mulheres, 2021).

A qualidade inferencial depende do tratamento explícito de vieses comuns. Subnotificação deve ser enfrentada com triangulação entre registros policiais, hospitalares e sistemas vitais. Variações por horário e por rota exigem divulgação separada de métricas diurno/noturno e dias úteis/fins de semana.

Regressão à média em pontos críticos pede séries multi-anuais e métodos quase-experimentais. Em todas as etapas, a proteção de dados deve prever agregação espacial, limitação de granulação e divulgação de metadados e versões, em linha com boas práticas de transparência (Organização Mundial da Saúde, 2023; United States. Federal Highway Administration, 2018).

A ponte com as seções seguintes integra segurança viária a métricas de acessibilidade e qualidade do serviço, permitindo priorizar corredores, paradas e interseções que maximizem ganhos distributivos ao mesmo tempo em que sustentam metas de redução de mortes e lesões por grupo social e por território (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico/Fórum Internacional de Transportes, 2023; ONU Mulheres, 2021).

3.6 Governança de dados, privacidade e equidade algorítmica

No plano regulatório, a governança de dados em mobilidade inteligente deve se apoiar na Lei Geral de Proteção de Dados e no conjunto ISO 37110, 37120 e 37122. Esse arcabouço orienta anonimização, controle de acesso, padronização de metadados, versionamento e auditorias

recorrentes para reduzir exposição indevida e discriminação técnica em aplicações urbanas.

No contexto brasileiro, o Decreto de Política de Governança de Dados consolida diretrizes para curadoria, interoperabilidade, registros de referência e trilha de versões em órgãos públicos e empresas concessionárias, com exigência de programas estruturados de auditoria e gestão do ciclo de vida informacional (Exati, 2024; ABNT, 2025; ISO, 2019; Decreto de Política de Governança de Dados, 2020).

Do ponto de vista metodológico, vieses frequentes em predição de demanda, despacho e fiscalização decorrem de amostragens desbalanceadas e treinamento inadequado. Bases centradas em telefonia móvel, sensores em áreas nobres ou janelas de pico tendem a sub-representar grupos, territórios e horários críticos.

O resultado é a amplificação de desigualdades espaciais e demográficas quando os modelos são levados à operação sem contrapesos de qualidade e representatividade (ACM, 2025; Prism, 2025; IBM Brasil, 2024; LinkedData, 2020).

Quanto às salvaguardas, a literatura recente recomenda rotinas de auditoria e métricas de fairness com três frentes complementares. A primeira trata da correção amostral com re-weighting e coleta suplementar em zonas e perfis de sub-representações.

A segunda envolve algoritmos fairness-aware e técnicas como adversarial debiasing, acompanhadas de validação cega por subconjuntos estratificados. A terceira se ancora em indicadores públicos de justiça técnica, incluindo diferença absoluta e relativa de erro por grupo, recall

balanceado, gap de taxa de falsos positivos e métricas de equidade inter-regional.

A publicação periódica desses resultados, com séries e metadados versionados, sustenta transparência e controle social (ACM, 2025; Prism, 2025; ISO, 2019; Exati, 2024).

Para a aplicação municipal, recomenda-se um protocolo operacional mínimo. O catálogo de dados deve listar fontes, esquemas, linhagem e ciclos de atualização, com dicionário de variáveis e identificadores de versão em conformidade com a ISO 37110/37122.

A coleta precisa de amostragem probabilística ou, quando inviável, de regras explícitas de cobertura territorial e temporal. O treinamento de modelos deve registrar hiperparâmetros, conjuntos de treino/validação, métricas por estrato e limites de uso. A implantação requer controles de acesso, logs e rollback, enquanto o monitoramento contínuo inclui painéis de desempenho com cortes por renda, gênero, raça/cor e território.

As revisões anuais consolidam auditorias internas e externas com relatórios públicos e changelog (ABNT, 2025; ISO, 2019; Exati, 2024).

No tratamento de privacidade, três camadas se mostram adequadas. Dados brutos ficam restritos e passam por pseudonimização; bases de trabalho adotam agregação espacial regular, como células hexagonais; produtos públicos empregam anonimização forte, com técnicas como k-anonymity e, quando pertinente, ruído calibrado para trajetos sensíveis.

A publicação de séries deve explicitar riscos residuais e limites de inferência, preservando a utilidade estatística

para planejamento e fiscalização (IBM Brasil, 2024; ABNT, 2025).

A ponte com as seções seguintes depende da vinculação entre governança e justiça espacial. Catálogos versionados, métricas de fairness e auditorias documentadas permitem relacionar decisões algorítmicas às métricas de acessibilidade e qualidade apresentadas neste capítulo, favorecendo priorização de investimentos que reduzam disparidades entre grupos e territórios.

A seção 3.7 integra esses elementos em recomendações operacionais para monitoramento contínuo e avaliação de políticas.

3.7 Participação social, SUMP/PlanMob e monitoramento

A literatura recente converge para a participação social e o monitoramento contínuo como pilares do planejamento de mobilidade, com cobertura da área urbana funcional, integração vertical e horizontal entre governos e envolvimento estruturado de residentes e partes interessadas desde a definição de metas até a revisão pública periódica.

As Diretrizes para Planos de Mobilidade Urbana Sustentável indicam participação e avaliação como princípios do plano e vinculam-nos a ciclos de metas, indicadores e transparência, com atualização do conceito em 2023 e incorporação de indicadores padronizados de acesso a serviços de mobilidade no quadro europeu de monitoramento (Comissão Europeia/Direção-Geral da Mobilidade e dos Transportes, 2023; Comissão

Europeia/Direção-Geral da Mobilidade e dos Transportes, 2024).

No plano regulatório europeu, a revisão da Rede Transeuropeia de Transportes instituiu exigência para cidades-nó adotarem plano de mobilidade e reportarem indicadores em prazos definidos, formalizando governança, ponto focal nacional e calendário de submissão de dados. Pareceres do Grupo de Peritos em Mobilidade Urbana detalham papéis institucionais, acordos de compartilhamento de dados e recomendações de desagregação por idade, gênero e deficiência, o que aproxima participação, métricas e prestação de contas (Comissão Europeia/Direção-Geral da Mobilidade e dos Transportes, 2024).

Estudos de caso documentados ilustram a relação entre processos participativos e prioridades de rede. O caso de Ghent mostra co-planejamento cidade–região com metas de participação modal calibradas por município e integração a hubs ciclovitários regionais, enquanto Bolonha instituiu plataforma de consulta pública e relatório de mobilidade com indicadores de acompanhamento, permitindo ajustes em rede ativa, estacionamentos e gestão de frotas.

Bruno desenvolveu ferramenta de monitoramento visual usada em reuniões de engajamento e coordenação intersetorial, e Bogotá consolidou plano normativo com painel público para metas de segurança, acessibilidade e sustentabilidade (EU Urban Mobility Observatory/ELTIS, 2022; PUMS Bologna, 2019–; Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, 2023).

No Brasil, a Cartilha PlanMob estabelece que objetivos e metas sejam construídos com envolvimento comunitário,

prevê consultas periódicas e determina a definição de indicadores com órgão responsável pelo acompanhamento, além de ciclo de atualização não superior a dez anos. O documento também orienta a criação de banco de dados permanente para monitoramento e avaliação, alinhando práticas locais a padrões de transparência e controle social (Ministério das Cidades, 2025).

Do ponto de vista metodológico, recomenda-se mapear atores por território e por grupo social, garantir representação de mulheres, pessoas idosas e pessoas com deficiência em oficinas, e registrar atas, compromissos e devolutivas em repositório público. Guias temáticos internacionais orientam a inclusão de metas sensíveis a gênero e acessibilidade desde o diagnóstico, com indicadores qualitativos e quantitativos e coleta desagregada para aferição de resultados no tempo (Mobilise YourCity/ELTIS, 2021).

A seleção de indicadores deve alinhar-se às fichas de Urban Mobility Indicators, com foco em acesso a serviços de mobilidade, segurança viária e sustentabilidade, e com desagregação mínima por sexo, idade e deficiência quando viável. Pareceres técnicos europeus recomendam acordos de dados entre poder público e operadores privados para obtenção de séries sobre transporte coletivo e micro-mobilidade, adotando padrões abertos como GBFS e especificações compatíveis com integração municipal (Comissão Europeia/Direção-Geral da Mobilidade e dos Transportes, 2024; EU Urban Mobility Observatory/ELTIS, 2022).

A arquitetura de dados deve explicitar responsáveis, fontes e periodicidade, padronizar formatos abertos,

publicar séries temporais em painéis públicos com APIs documentadas e registrar versões e metadados. Instrumentos normativos locais devem fixar relatórios anuais, avaliações quadrienais e revisão decenal do plano, com compatibilização a instrumentos orçamentários e calendário de participação, de modo a viabilizar auditoria social e interoperabilidade com plataformas setoriais (Ministério das Cidades, 2025; Comissão Europeia/Direção-Geral da Mobilidade e dos Transportes, 2024).

Em síntese, participação estruturada, indicadores padronizados e transparência de dados formam o eixo que conecta desenho de rede, metas distributivas e ciclos de revisão. A conclusão do capítulo consolida esse eixo em recomendações operacionais para priorização de investimentos e métricas de acompanhamento sensíveis a grupos sociais e territórios, preparando a transição para a agenda de implementação local.

Referências Bibliográficas

ANTP. *Portfólio ANTP – junho 2021*. São Paulo: Associação Nacional de Transportes Públicos, 2021.

APREPRO. *Mobilidade urbana nas cidades inteligentes: panorama e projeções futuras*. Anais Conbreprou, 2023.

BALDOVINO-CHIQUELLO, K. et al. *TransMiCable en Bogotá: impacto en calidad de vida*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2025.

BMIMI – Bundesministerium für Mobilität und Innovation. *C-ITS Strategy Austria*. Viena: BMIMI, 2020.

BRASIL. Lei n. 13.709, de 14 de agosto de 2018. *Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais*. Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

CERUTTI, P. et al. *Urban monitoring platforms and maturity models*. Journal of Urban Technology, v. 26, n. 4, p. 45-63, 2019.

CET-SP – Companhia de Engenharia de Tráfego. *Nota Técnica 281/2021: Semáforos inteligentes*. São Paulo: CET, 2021.

CNCS – Centro Nacional de Cibersegurança. *Estratégia Nacional de Segurança do Ciberespaço 2019–2023*. Lisboa: CNCS, 2023.

EUROPEAN COMMISSION. *Urban Mobility Framework 2024*. Brussels: EC, 2024.

FRYSZMAN, R.; CARSTENS, L. *Equity and accessibility in Latin American transport systems*. Journal of Transport Geography, v. 75, p. 15-28, 2019.

GOLNER, L.; PORTUGAL, C. (apud GRANDO, 1986). *Equidade e justiça espacial*. São Paulo: USP, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2022: resultados gerais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. *Benchmarking Accessibility in Cities*. Paris: OECD Publishing, 2019.

JOURNAL OF COMMUNICATIONS. *V2X-Equipped Smart Intersections: Challenges and Opportunities*. Journal of Communications, v. 18, n. 11, 2023.

KAPSCH TRAFFICCOM. *Innovative urban ITS deployments*. Viena: Kapsch, 2025.

LAUTANALA, P. *Metrics for equity in transport ITS*. Helsinki: VTT Technical Research Centre, 2025.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *PlanMob 2025*. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2025.

PEREIRA, R. H. M. et al. *Urban accessibility indicators in Brazil*. Transportation Research, v. 152, p. 12-25, 2021.

RUPPRECHT CONSULT. *Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan*. 2. ed. Luxembourg: European Commission, 2019.

RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental. *Urban logistics and mobility: a framework proposal for sustainable cities*. v. 18, n. 4, 2024.

SANTOS, A. et al. *Indicadores de equidade em transporte público*. Revista de Administração Pública, v. 56, n. 2, p. 221-240, 2022.

TRANSPORT FOR LONDON. *London Transport Accessibility Report*. London: TfL, 2024.

ESTUDO DE CASO: LIVRE APP EM MOBILIDADE INTELIGENTE

Introdução

O recorte territorial deste estudo abrange um arco de municípios de Minas Gerais com centralidade regional na Zona da Mata e interfaces com o Vale do Rio Doce: Manhuaçu, Caratinga, Muriaé, Ponte Nova e Viçosa. Considerados em conjunto, somam aproximadamente 418 mil habitantes no Censo 2022, patamar demográfico que dimensiona a escala potencial de serviços sob demanda em mercados não metropolitanos.

A malha de deslocamentos intra e intermunicipais é estruturada por corredores rodoviários federais que atravessam a região e conectam polos urbanos vizinhos. Na Zona da Mata destacam-se os eixos BR-116 e BR-262, este último com trechos críticos no entorno de Manhuaçu; Caratinga e Muriaé, por sua vez, têm traçado urbano tangenciado pela BR-116, condicionando padrões de circulação e acessibilidade regional.

No ecossistema de aplicativos, a operação analisada corresponde a uma plataforma regional disponível em lojas oficiais, com presença verificável em página pública da App Store e site institucional. Segundo Gomes Junior (2025), a operação física concentra-se nas cidades mineiras acima citadas, enquanto a matriz tecnológica e a residência do

autor localizam-se em Guarapari, Espírito Santo, arranjo que separa atendimento territorial de desenvolvimento e governança do software.

O enquadramento conceitual adota mobilidade inteligente como integração tecnológica e institucional orientada a eficiência, equidade e sustentabilidade, em linha com guias de Planejamento Urbano Sustentável de Mobilidade que enfatizam participação, metas e monitoramento contínuo. No campo de métricas urbanas, a série ISO 37120 e correlatas definem indicadores padronizados para serviços de cidade e qualidade de vida, favorecendo comparabilidade e avaliação longitudinal.

Em termos técnicos, trabalha-se com arquitetura ITS em camadas (captura, integração, análise e ação), interoperável com ofertas MaaS. Para publicação e intercâmbio de dados adotam-se especificações abertas amplamente utilizadas: GTFS e GTFS-Realtime para horários e atualizações do transporte público, GBFS para micromobilidade compartilhada e TOMP-API para transações entre operadores e provedores MaaS. Esses padrões sustentam rastreabilidade, auditoria e reuso analítico.

A proteção de dados pessoais orienta todo o ciclo informacional. A Lei nº 13.709 estabelece fundamentos, princípios e bases legais para tratamento de dados por entes públicos e privados, exigindo minimização, finalidade legítima e registro de versões e bases de cálculo. Neste estudo, a aderência à LGPD integra requisitos de projeto e de operação cotidiana.

Com esse enquadramento, o capítulo apresenta, em prosa e com agregação adequada a uma obra pública, o caso

empresarial do autor: problema público e contexto territorial, solução e arquitetura técnica, dados e governança, implementação e operação, resultados mensuráveis e condições de transferibilidade. A seção 4.1, a seguir, delimita a dor de política pública e o recorte territorial-temporal que ancoram a análise.

4.1 Problema público e contexto territorial

O caso situa-se em um arranjo de cidades do leste de Minas Gerais, com atuação física concentrada em Manhuaçu e presença regional em Caratinga, Muriaé, Ponte Nova e Viçosa. Trata-se de um território de relevo montanhoso típico da Zona da Mata e áreas limítrofes, condição que encarece trajetos porta a porta em bairros íngremes e impõe custos operacionais ao transporte individual e coletivo.

A caracterização geográfica descrita pelo autor é compatível com estudos regionais e perfis municipais do IBGE, que enquadram essas cidades como polos urbanos de médio porte em ambiente serrano (IBGE, 2023; UFJF, 2016; ACMinas, 2025).

A conectividade regional apoia-se em eixos rodoviários federais, com destaque para a BR-116 e a BR-262, que estruturam fluxos entre Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Essa malha condiciona a distribuição de oferta e a elasticidade de demanda por serviços sob demanda em cidades médias do interior, como observa o autor ao descrever o escoamento cotidiano e sazonal. Documentação oficial do Governo de Minas e do DNIT reconhece a função de corredor da BR-116 no leste do

estado e registra intervenções recentes na BR-262/MG, aspectos que influenciam desempenho operacional e janelas de pico (DNIT, 2024; Governo de Minas, 2022).

Segundo Gomes Junior (2025), o problema público local combinava baixa atratividade do transporte coletivo, tarifas de táxi elevadas e dependência de plataformas nacionais pouco ajustadas à realidade das cidades menores.

A dor de política pública emerge na interseção entre oferta insuficiente, barreiras econômicas e assimetrias concorrenciais, com efeitos sobre preço, confiabilidade e cobertura. A resposta delineada pelo autor foi construir alternativa regional com tecnologia própria e presença comunitária, sustentando governança local do produto e da operação (Gomes Junior, 2025).

O recorte temporal e territorial considerado compreende a concepção em 2017 e a formalização empresarial em julho de 2018, com sede tecnológica em Guarapari/ES e expansão orgânica para cinco cidades mineiras. Esse período baliza a linha de base e a leitura dos resultados, preservando agregação compatível com obra pública e evitando exposição de parâmetros sensíveis (Gomes Junior, 2025).

Quanto aos grupos priorizados, o autor registra foco em motoristas locais, para quem se buscaram condições de ingresso e permanência mais atraentes, e em usuários com menor letramento digital, atendidos por central telefônica.

Em 2019, instituiu-se categoria específica para motoristas mulheres, medida orientada por preferências de usuárias e requisitos de segurança. Esses elementos

definem a ênfase social do desenho e antecipam escolhas técnicas tratadas nas seções seguintes (Gomes Junior, 2025).

Portanto, o problema público delimitado envolve topografia desafiadora, oferta tradicional pouco responsiva e estruturas de mercado que penalizam cidades médias do interior. A solução estudada será examinada como caso de mobilidade por demanda estruturada em arranjo regional, apoiada em governança de dados e operação comunitária, abrindo caminho para a análise de arquitetura técnica, implantação, resultados mensuráveis em narrativa e lições de transferibilidade (Gomes Junior, 2025).

4.2 Solução e arquitetura técnica

A solução organiza-se em arquitetura em camadas, típica de ITS: captação de eventos nos aplicativos, integração em backend próprio, análise e decisão operacional em painel gerencial e retorno ao usuário por canais digitais e por central telefônica dedicada.

Segundo Gomes Junior (2025), o desenvolvimento e a orquestração são conduzidos internamente, com núcleo tecnológico sediado em Guarapari, ES, enquanto a coleta transacional e o atendimento ocorrem nas praças mineiras de Manhauçu, Caratinga, Muriaé, Ponte Nova e Viçosa.

O stack é full-stack sob controle da empresa, abrangendo aplicativo do passageiro, aplicativo do motorista, painel administrativo e backend próprios, o que viabiliza versionamento, rastreabilidade de mudanças e ciclos curtos de melhoria orientados por uso real (Gomes Junior, 2025). Essa decisão técnica reduziu dependências e

garantiu independência estratégica frente a plataformas de terceiros.

No nível de captação, a plataforma registra dados transacionais essenciais do ciclo da viagem em tempo quase real, com telemetria necessária ao despacho e ao acompanhamento em mapa. Na integração, o backend consolida pedidos, disponibilidade de motoristas, estados da corrida e meios de pagamento; na análise e decisão, o painel gerencial provê monitoramento operacional, registro de ocorrências e gatilhos para atualizações contínuas do serviço, preservando agregação compatível com publicação em obra de acesso público (Gomes Junior, 2025).

Por desenho, a arquitetura inclui um canal inclusivo para públicos com menor letramento digital: além dos apps móveis, há aplicativo específico para operadores que registram pedidos telefônicos, recurso lançado em 2019 e mantido como via de acesso relevante para idosos e outros segmentos (Gomes Junior, 2025).

Entre as funcionalidades incorporadas no período de referência, destacam-se a central telefônica de pedidos e a categoria dedicada a motoristas mulheres, ambas implantadas em 2019 como respostas a preferências de usuárias e a requisitos de segurança relatados pelo autor (Gomes Junior, 2025).

As rotinas de governança de dados seguem princípios de finalidade, necessidade, minimização e segurança previstos na Lei n. 13.709/2018, com preferência por anonimização anterior a qualquer divulgação e registro de bases legais, versões de dados e regras operacionais. Essa disciplina sustenta reprodutibilidade interna de cálculos e

compatibilidade com publicação em níveis agregados (Gomes Junior, 2025; Brasil, 2018).

O ciclo de melhoria contínua apoia-se em coleta sistemática de feedbacks no próprio aplicativo, nas lojas e em redes sociais, além de campanhas periódicas de satisfação; a partir dessas entradas, estudos orientam ajustes e versões subsequentes, integrando operação e desenvolvimento em cadência única (Gomes Junior, 2025).

Assim, a solução técnica caracteriza-se por controle local do stack, canal inclusivo via telefonia e governança compatível com a LGPD, operando com atendimento de campo em cidades mineiras e consolidação tecnológica na matriz em Guarapari/ES; esses elementos serão retomados ao tratar de dados, padrões, implementação e operação nas seções seguintes (Gomes Junior, 2025).

4.3 Dados, padrões e governança

A operação descrita pelo autor organiza dados transacionais do ciclo de viagem e metadados operacionais sob governança própria, com coleta e atendimento distribuídos nas cidades mineiras e consolidação tecnológica na matriz localizada em Guarapari, ES. O arranjo privilegia versionamento de software e regras, registro de mudanças e publicação de métricas em níveis agregados compatíveis com a natureza pública desta obra, conforme relatado por Gomes Junior (2025).

Os formatos e APIs adotados observam especificações amplamente aceitas no ecossistema de mobilidade. Para transporte coletivo, o General Transit Feed Specification descreve horários estáticos e a extensão GTFS-Realtime

padroniza atualizações operacionais, permitindo interoperabilidade entre produtores e consumidores de dados, segundo a documentação técnica da Google e da comunidade (Google/GTFS, s.d).

Em micromobilidade, a General Bikeshare Feed Specification estrutura estados em tempo real de estações e frotas, mantida pela MobilityData, com versões e changelog públicos (MobilityData, s.d). Quando há integração MaaS, a TOMP-API provê contrato entre operadores e provedores para cotação, reserva e pagamento, conforme o repositório de referência (TOMP-API Foundation, s.d).

As bases de referência cartográfica e demográfica seguem fontes oficiais e abertas. A rede viária deriva do OpenStreetMap sob licença ODbL, cuja política de uso e atribuição viabiliza reuso analítico com preservação de direitos dos contribuidores (OpenStreetMap Foundation, s.d).

Para recortes territoriais e estatísticos, utilizam-se as Malhas Municipais e a Grade Estatística atualizada com dados do Censo 2022, produtos do IBGE que oferecem recortes padronizados e documentação metodológica para análise agregada (IBGE, 2025; IBGE, 2024).

O catálogo e o dicionário de dados seguem boas práticas de publicação na Web. Para metadados, adota-se o vocabulário DCAT recomendado pelo W3C, que facilita a interoperabilidade entre catálogos e descreve datasets, serviços e versões de maneira padronizada; a versão 3 amplia suporte a séries e versionamento explícito (W3C, 2024; W3C, 2020). As diretrizes Data on the Web Best Practices orientam princípios de descoberta, qualidade,

proveniência e ciclos de atualização, úteis para organização de changelog e notas metodológicas (W3C, 2017).

Os controles de qualidade combinam verificações sintáticas dos feeds, consistência temporal e validações por amostragem em rotinas operacionais, com documentação de exceções e correções. A literatura de planejamento e monitoramento em Planos de Mobilidade Urbana Sustentável recomenda a definição de metas e indicadores com processos de acompanhamento contínuo e participação social, diretriz utilizada como referência conceitual para auditoria interna e publicação de séries agregadas (Comissão Europeia, 2019).

A proteção de dados pessoais rege o ciclo de tratamento de informações de passageiros e motoristas. Os princípios de finalidade, necessidade, minimização e segurança ancoram a coleta e a retenção, com anonimização prévia a qualquer divulgação pública de métricas e registro das bases legais aplicáveis, em conformidade com a Lei n. 13.709 (2018).

A política descrita pelo autor mantém agregação espacial e temporal e evita exposição de parâmetros sensíveis de operação (Gomes Junior, 2025; Brasil, 2018).

Para governança institucional e alinhamento com indicadores urbanos, utilizam-se como referência a série ISO 37120 e correlatas, que estruturam métricas comparáveis para serviços urbanos e sustentabilidade, e a ISO 37110, voltada à gestão de infraestrutura comunitária inteligente, útil para delimitar papéis e responsabilidades em ecossistemas multissetoriais (WCCD, s.d.; ISO, 2022).

Desta forma, a combinação entre padrões abertos de dados, bases cartográficas oficiais, metadados interoperáveis e conformidade à LGPD sustenta a rastreabilidade técnica e a auditabilidade do caso, mantendo o equilíbrio entre transparência metodológica e proteção informacional.

4.4 Implementação e operação

A implementação seguiu cronologia enxuta. A concepção ocorreu em 2017 e a formalização jurídica em julho de 2018, com matriz tecnológica em Guarapari, ES, e expansão orgânica para um conjunto de cidades do interior, sem aporte externo. O desenvolvimento próprio do aplicativo do passageiro, do aplicativo do motorista, do painel administrativo e do backend sustentou a entrada e o crescimento regional do serviço. (Gomes Junior, 2025; Curriculum, 2025).

No primeiro ciclo operacional, a prioridade recaiu sobre estabilidade do despacho e experiência do usuário, com monitoramento contínuo do fluxo de pedidos e da disponibilidade de motoristas em painel gerencial. Segundo o autor, o ponto de inflexão deu-se no fim de 2019, quando o volume de solicitações e a adesão dos condutores cresceram de forma consistente, consolidando o ritmo de expansão regional. (Gomes Junior, 2025).

Em paralelo, introduziram-se funcionalidades orientadas à inclusão e à segurança. Em 2019 foi lançada a central telefônica integrada ao fluxo de atendimento para públicos com menor letramento digital e, no mesmo ano, uma categoria de motoristas mulheres, medida alinhada a

preferências de usuárias e requisitos de segurança relatados pelo autor. (Gomes Junior, 2025).

A operação passou a adotar ciclos de melhoria contínua orientados por evidência de uso. Os feedbacks são coletados no aplicativo, nas lojas e em redes sociais, além de campanhas periódicas de satisfação, insumos que embasam estudos e versões subsequentes, sem exposição de parâmetros sensíveis. (Gomes Junior, 2025).

Os desafios regulatórios e concorrenciais iniciais incluíram resistência de associações de táxi e insegurança de motoristas e passageiros. A resposta combinou diálogo com o poder público, campanhas de conscientização e comunicação transparente, o que ampliou o apoio comunitário e estabilizou o ambiente de operação. (Gomes Junior, 2025).

Do ponto de vista de gestão, manteve-se controle local do ciclo de desenvolvimento e da operação cotidiana, com versionamento interno, registro de mudanças e foco em retenção e satisfação. A pilha tecnológica proprietária e o crescimento orgânico sustentaram a fidelização de usuários e a robustez operacional em múltiplas praças. (Curriculum, 2025).

Consequentemente, a implementação e a operação consolidaram-se em etapas curtas, com foco na confiabilidade do serviço, na inclusão de canais e na adaptação às condições do território. Esse percurso cria base para o exame dos resultados em narrativa na seção seguinte, preservando agregação temporal e espacial compatível com uma obra de acesso público. (Gomes Junior, 2025).

4.5 Resultados mensuráveis (em narrativa)

A mensuração adotou janela temporal agregada e indicadores compatíveis com obra de acesso público, com preservação de privacidade e segurança operacional. As fontes consideradas englobam registros internos de uso, marcos de implantação e relatos sistematizados no questionário estruturado do autor, tomando como referências a concepção em 2017 e a formalização em 2018.

A consolidação dos resultados ocorre em nível regional, sem exposição granular de rotas, horários ou parâmetros sensíveis. O tratamento dos dados prioriza agregação temporal e espacial, com registro de versões de informações e de regras operacionais, assegurando reprodutibilidade interna e compatibilidade com divulgação pública.

No eixo de escala de uso, o autor reporta mais de 22 milhões de corridas/pedidos intermediados no período, com operação em cinco cidades de Minas Gerais e base local de milhares de motoristas cadastrados, além de centenas de milhares de instalações do aplicativo. Esses números delineiam porte regional e sustentação orgânica sem aporte externo.

O ponto de inflexão operacional ocorreu no final de 2019, quando houve aceleração simultânea de solicitações e de adesão de condutores, fenômeno atribuído à combinação entre infraestrutura tecnológica, atendimento territorial e política de taxas estável relatada pelo autor. Esse marco consolidou o ritmo de expansão nas praças mineiras.

Quanto à acessibilidade, a introdução, em 2019, de uma central telefônica integrada ao fluxo de solicitações

ampliou o alcance para públicos com menor letramento digital, especialmente idosos, reduzindo barreiras de entrada em contextos em que o uso exclusivo do aplicativo era limitante. O canal telefônico permanece como via inclusiva dentro da arquitetura de atendimento.

No vetor de segurança e confiança, instituiu-se, no mesmo ano, uma categoria dedicada a motoristas mulheres, medida alinhada a preferências de usuárias e a requisitos de proteção pessoal, com efeitos positivos na percepção de segurança em determinados horários e trajetos.

Sob a perspectiva de confiabilidade operacional, mantiveram-se rotinas de monitoramento de disponibilidade, suporte e coleta sistemática de feedback no aplicativo, nas lojas e em redes sociais, além de campanhas periódicas de satisfação, compondo ciclos de melhoria orientados por evidências de uso em níveis agregados.

Como verificação externa e pública da percepção do usuário, a página do Livre App na App Store registra avaliação 4,9/5 baseada em 12,4 mil opiniões, reforçando a consistência de satisfação em canal aberto independente.

No plano econômico-local, a operação contribuiu para geração de oportunidades de renda a motoristas residentes nas cidades atendidas, com expansão orgânica e sem aporte externo. O conjunto de evidências reportado pelo autor indica mobilização comunitária e manutenção de operação regular em ambiente concorrencial e regulatório desafiador, sem divulgação de números ou parâmetros que exponham estratégias proprietárias.

Assim, os resultados articulam escala, inclusão e estabilidade: volume elevado de viagens intermediadas com

base regional, ampliação do acesso por meio de canal telefônico para públicos com menor familiaridade tecnológica e reforço de segurança percebida com a categoria de motoristas mulheres, com validação pública de reputação nas lojas. Esses achados, descritos em prosa e ancorados em marcos temporais, preparam a discussão de aprendizados, limites e condições de transferibilidade na seção seguinte

4.6 Aprendizados, limites e transferibilidade

A trajetória analisada evidencia que o controle do ciclo de desenvolvimento sob pilha própria viabiliza incorporação veloz de ajustes orientados por evidências de uso, sem dependência estrutural de terceiros. A manutenção de canais múltiplos, com destaque para o atendimento telefônico, amplia o alcance para perfis com menor familiaridade digital e estabiliza a demanda em contextos específicos.

Medidas direcionadas à segurança de usuárias, como a criação de categoria de motoristas mulheres, funcionaram como vetor de confiança, enquanto presença comunitária e comunicação pública sustentaram adesão de motoristas e passageiros, sobretudo a partir da inflexão observada no fim de 2019 (Gomes Junior, 2025).

Os limites decorrem do estágio de maturidade e de condicionantes externos. A expansão orgânica impõe cadência incremental de melhorias e priorização contínua de escopo. A sazonalidade do interior mineiro pressiona a gestão da oferta em picos e requer estratégias de balanceamento compatíveis com variações de curto prazo.

Dependências institucionais, como marcos regulatórios municipais e coordenação com atores locais, modulam ritmo de expansão e desenho de funcionalidades. Do ponto de vista informacional, a divulgação em obra pública exige agregação temporal e espacial e anonimização, restringindo métricas finas e parâmetros operacionais, conforme explicitado pelo autor (Gomes Junior, 2025).

As condições de transferibilidade organizam-se em três camadas interdependentes. No plano institucional, são necessários ambiente regulatório estável, instrumentos claros de cooperação com o poder público e canais de comunicação com a comunidade. No plano técnico, exige-se infraestrutura mínima para coleta e tratamento de dados transacionais, governança compatível com a legislação de proteção de dados e capacidade de versionamento e auditoria do software. No plano socioeconômico, recomenda-se diagnóstico prévio de perfis de usuários e motoristas, com atenção a barreiras digitais e a requisitos de segurança de grupos específicos. Atendidas essas condições, o desenho relatado tende a reproduzir desempenho em cidades de porte semelhante, preservando adaptações locais e salvaguardas de privacidade (Gomes Junior, 2025).

Em termos propositivos, o caso sugere continuidade em três frentes articuladas: mecanismos de escuta estruturada para orientar ciclos de atualização; aprofundamento de práticas de governança de dados com documentação pública de versões e mudanças não sensíveis; e avaliação periódica de efeitos sobre acessibilidade, confiabilidade e segurança com recortes

sociais, sempre em nível de agregação compatível com a natureza pública desta obra (Gomes Junior, 2025).

Esses elementos preparam a síntese do capítulo, conectando o estudo aos guias e métricas discutidos nos Capítulos 1–3 e indicando próximos passos de desenvolvimento em trajetória de expansão responsável (Gomes Junior, 2025).

4.7 Orientações finais

O caso analisado confirma que uma plataforma regional de transporte por aplicativo pode operar como arranjo tecnológico e institucional capaz de ampliar acesso e estabilizar a prestação do serviço sem expor parâmetros sensíveis. A experiência descrita oferece uma moldura aplicável a cidades de porte comparável, conciliando desenvolvimento sob controle local, inclusão de públicos diversos e proteção de dados (Gomes Junior, 2025).

Do ponto de vista técnico, a interoperabilidade deve ser tratada como política de longo prazo. Documentação de versões, registro de mudanças e catálogos coerentes de metadados constituem condições de manutenção e evolução do sistema. Em contextos com sazonalidade marcada, essa disciplina orientada por padrões reduz assimetrias informacionais e facilita integrações graduais com outros serviços de mobilidade (Gomes Junior, 2025).

No plano social, inclusão precisa estar no centro do projeto. A combinação entre aplicativos e canal telefônico demonstra que barreiras de letramento digital podem ser contornadas por desenho de serviço atento às rotinas dos usuários. Medidas voltadas à segurança de usuárias

funcionam como vetor de confiança e convivem com políticas de divulgação em níveis agregados, sem necessidade de métricas individualizáveis (Gomes Junior, 2025).

A operação cotidiana requer observação permanente e ciclos de melhoria sustentados por evidências. Feedback em aplicativos, lojas e redes sociais, combinado a registros internos de uso, orienta a priorização de entregas e a mensuração de efeitos em janelas temporais amplas, adequadas à publicação pública. Transparência, nesse arranjo, traduz-se em séries agregadas e em critérios de cálculo documentados, com anonimização e minimização de dados pessoais (Gomes Junior, 2025).

Para fins de replicação, a compatibilidade institucional e econômica é determinante. Ambientes regulatórios previsíveis, cooperação com o poder público e canais estáveis de comunicação com a comunidade reduzem incertezas e sustentam expansão orgânica.

Em cidades com topografia e sazonalidade desafiadoras, recomenda-se percurso incremental com testes controlados, avaliação antes-depois e revisão periódica de escopo a partir de resultados verificáveis, sempre com agregação territorial e temporal adequada (Gomes Junior, 2025).

A trajetória examinada demonstra que a combinação entre desenvolvimento sob controle local, governança informacional consistente e desenho de serviço inclusivo gera um arranjo replicável em diferentes contextos federativos.

A arquitetura modular admite parametrização por município e por temporada, mantendo documentação de versões, registro de mudanças e processos de anonimização compatíveis com a legislação brasileira. Nesse enquadramento, a plataforma pode ser implantada em outras cidades do país sem exposição de elementos sensíveis, preservando qualidade operacional e continuidade do serviço (Gomes Junior, 2025).

A aderência a padrões abertos e a práticas reconhecidas internacionalmente amplia o horizonte de aplicação. Formatos interoperáveis, tratamento parcimonioso de dados pessoais e publicação de séries agregadas com marcos temporais explícitos compõem núcleo de conformidade que dialoga com requisitos técnicos e regulatórios de diversas jurisdições. A presença de canais múltiplos de acesso, incluindo atendimento telefônico, expressa capacidade de adaptação sociotécnica em ambientes heterogêneos, atributo valorizado em processos de expansão responsável (Gomes Junior, 2025).

Referências Bibliográficas

ACMINAS. *Relatório anual*. Belo Horizonte: Associação Comercial e Empresarial de Minas, 2025.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Dispõe sobre a proteção de dados pessoais e altera a Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014 (Marco Civil da Internet). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 15 ago. 2018.

COMISSÃO EUROPEIA. *Diretrizes para elaboração de Planos de Mobilidade Urbana Sustentável*. Bruxelas: União Europeia, 2019.

CURRICULUM. *Curriculum vitae de Marcos Gomes Junior*. Guarapari, 2025.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Relatório de gestão 2024*. Brasília: DNIT, 2024.

GOVERNO DE MINAS. *Plano de intervenções rodoviárias da BR-262/MG*. Belo Horizonte: Governo de Minas Gerais, 2022.

GOMES JUNIOR, Marcos. *Relato empresarial e técnico do Livre App*. Guarapari: Edição do autor, 2025.

GOOGLE. *General Transit Feed Specification (GTFS) – Realtime*. [S. l.]: Google, [s. d.]. Disponível em: <https://gtfs.org/documentation/realtime/reference/>. Acesso em: 11 set. 2025.

IBGE. *Censo demográfico 2022: resultados gerais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE. *Grade estatística 2024*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IBGE. *Malha municipal 2025*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.

ISO. ISO 37110:2022. *Sustainable cities and communities — Management requirements and recommendations for smart city operating models*. Geneva: ISO, 2022.

ISO. ISO 37120:2018. *Sustainable cities and communities — Indicators for city services and quality of life*. Geneva: ISO, 2018.

MOBILITYDATA. *General Bikeshare Feed Specification (GBFS)*. [S. l.]: MobilityData, [s. d.]. Disponível em: <https://gbfs.org/>. Acesso em: 11 set. 2025.

OPENSTREETMAP FOUNDATION. *Política de licenciamento ODbL*. [S. l.]: OpenStreetMap Foundation, [s. d.]. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/copyright>. Acesso em: 11 set. 2025.

TOMP-API FOUNDATION. *TOMP-API specification*. [S. l.]: TOMP-API Foundation, [s. d.]. Disponível em: <https://github.com/TOMP-WG/TOMP-API>. Acesso em: 11 set. 2025.

UFJF – UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. *Perfil socioeconômico da Zona da Mata Mineira*. Juiz de Fora: UFJF, 2016.

W3C. *Data on the Web Best Practices*. Cambridge: W3C, 2017.

W3C. *DCAT Vocabulary Version 2*. Cambridge: W3C, 2020.

W3C. *DCAT Vocabulary Version 3*. Cambridge: W3C, 2024.

WCCD – WORLD COUNCIL ON CITY DATA. *ISO 37120 indicators for sustainable cities*. Toronto: WCCD, [s. d.].

MODELO DE REPLICABILIDADE E INTERNACIONALIZAÇÃO EM MOBILIDADE POR DEMANDA

Introdução

Este capítulo examina sob que condições uma solução regional de mobilidade por demanda se torna transferível entre cidades e países, mantendo desempenho operacional, governança informacional e atenção a grupos socialmente diversos.

A abordagem integra três eixos: i) literatura sobre redes multimodais e arquitetura multilayer aplicadas à mobilidade urbana; ii) padrões abertos e guias de planejamento; iii) protocolos de conformidade e privacidade para circulação internacional de produtos digitais.

O enquadramento multilayer fornece gramática comum para integrar modos e serviços distintos sem colapsar heterogeneidades locais, favorecendo comparabilidade em processos de expansão.

5.1 Marco conceitual

A literatura recente descreve sistemas de transporte como redes em múltiplas camadas, nas quais modos e serviços interagem por acoplamentos que podem ser medidos e otimizados. Essa representação permite projetar

integrações graduais, avaliar conectividade efetiva e estimar efeitos sistêmicos de intervenções tecnológicas.

Em paralelo, as diretrizes de Planos de Mobilidade Urbana Sustentável sugerem ciclos de participação, metas verificáveis e monitoramento sistemático, o que orienta a governança de expansão e a avaliação antes-depois em novas praças.

Para cidades que buscam comparabilidade, a série ISO 37120 e 37122 oferece indicadores padronizados de desempenho urbano e de cidades inteligentes, úteis para alinhar metas e auditorias.

5.2 Arquitetura técnica de referência

A arquitetura proposta organiza-se em quatro camadas interoperáveis.

Captação: eventos mínimos do ciclo de viagem em tempo quase real e dados de suporte ao despacho. Quando relevante, fontes externas padronizadas complementam planejamento e informação ao usuário, como GTFS estático e GTFS-Realtime para transporte coletivo, e GBFS para micromobilidade compartilhada.

Integração: orquestração de serviços e meios de pagamento em barramento com contratos de interface documentados. Para integração com ecossistemas MaaS, recomenda-se aderência progressiva à TOMP-API e boas práticas do MaaS Alliance, reduzindo assimetria entre operadores locais e provedores de mobilidade.

Análise e decisão: monitoramento operacional, previsão de demanda e regras de despacho calibradas por

dados locais. A literatura de sistemas adaptativos com IA e IoT indica ganhos quando o ciclo predição–ação é iterativo, audível e sujeito a parâmetros públicos de qualidade. MDPI

Entrega e experiência do usuário: múltiplos canais, incluindo interfaces digitais e, onde fizer sentido, atendimento telefônico para públicos com menor letramento digital. A camada de experiência deve registrar versões, mudanças e critérios de acessibilidade.

5.3 Governança informacional e conformidade transnacional

A expansão internacional requer adesão a princípios de minimização, finalidade e anonimização, com documentação das bases legais e das versões de políticas de privacidade. Como referência regulatória de origem, a Lei Geral de Proteção de Dados estabelece parâmetros para tratamento de dados pessoais, que dialogam com marcos de outras jurisdições.

A publicação externa deve ocorrer em nível agregado, com supressão de contagens pequenas e registro de métodos. Auditorias internas periódicas e changelog público de funcionalidades e políticas fortalecem reprodutibilidade e confiança.

5.4 Protocolo de entrada em novos mercados

A estratégia de internacionalização pode ser conduzida em três fases.

Fase 1: Exploração regulatória e institucional: mapeamento de exigências locais, identificação de

parceiros e definição de instrumentos de cooperação. Diretrizes SUMP apoiam a construção de agendas compartilhadas e a incorporação de metas e indicadores desde o desenho do piloto.

Fase 2: Pilotos controlados: janelas de 90 a 180 dias com metas explícitas em acessibilidade, confiabilidade e segurança percebida, avaliadas por métodos antes–depois e séries agregadas. A integração técnica segue padrões abertos, priorizando interfaces com menor custo de acoplamento e maior capacidade de auditoria.

Fase 3: Escalonamento responsável: decisão de escala condicionada a estabilidade operacional, aderência jurídica e resultados sociais verificados. Documentação completa das versões de dados, regras e endpoints públicos evita assimetrias informacionais e facilita integração futura com novos operadores. [GitHub](#)

5.5 Métricas e avaliação em nível agregado

A avaliação recorre a indicadores narrados sem tabelas, com marcos temporais claros.

Acessibilidade: oportunidades cumulativas em tempo porta a porta e medidas gravitacionais parametrizadas; leitura por faixas temporais e recortes territoriais amplos.

Confiabilidade: regularidade de atendimento e espera em janelas agregadas; quando aplicável, EWT para serviços de alta frequência e índices de desempenho de viagem.

Segurança e confiança: registros de segurança percebida por categorias amplas de relato e ciclos de mitigação documentados.

Participação e inclusão: uso de canais alternativos, presença de categorias que respondem a preferências de grupos específicos e aderência às práticas de acessibilidade.

A seleção e a divulgação seguem padrões comparáveis aos indicadores urbanos e a guias de planejamento, favorecendo triangulação entre literatura, governança local e resultados observados.

5.6 Riscos e mitigação

Riscos operacionais incluem variabilidade de demanda em contextos sazonais e assimetrias de infraestrutura digital. Riscos informacionais envolvem reidentificação em bases ricas e exposição indevida de parâmetros proprietários. Mitigações recomendadas: calibração local do despacho com salvaguardas de qualidade; generalização espacial e temporal nas publicações; revisão jurídica prévia de contratos e políticas; e validação técnica independente de interfaces críticas. MDPI

5.7 Agenda de pesquisa e inovação

A agenda de P&D prioriza explicabilidade de modelos adaptativos, integração de dados públicos e privados em camadas multilayer e avaliação causal em pilotos. Revisões sistemáticas recentes indicam que combinações de IA, IoT e analytics geram ganhos de eficiência e segurança quando há trilhas de auditoria e governança robusta. Esse caminho técnico deve ser acompanhado de documentação pública e da ampliação de padrões abertos no ecossistema.

5.8 Considerações

O modelo apresentado organiza a replicabilidade em bases verificáveis: planejamento iterativo, metas explícitas, avaliação contínua e documentação de versões. Segundo ELTIS (2019), os Planos de Mobilidade Urbana Sustentável estruturam ciclos de participação, monitoramento e revisão que permitem escalonar soluções em novos territórios sem perder coerência metodológica.

Para desempenho comparável entre jurisdições, recomenda-se ancorar resultados em indicadores padronizados. Conforme o World Council on City Data (2024), a série ISO 37120 e correlatas oferecem núcleo de métricas auditáveis para serviços urbanos e cidades inteligentes, favorecendo benchmarking e transparência pública.

A proteção informacional permanece condição operacional. No Brasil, a Lei 13.709 estabelece princípios de minimização, finalidade e anonimização que devem reger todo o ciclo de tratamento, com publicação externa em nível agregado e registro de métodos. Essa disciplina jurídica sustenta confiança pública e reduz exposição a riscos tecnológicos e reputacionais.

Com esse arranjo, a proposta consolida percurso de internacionalização tecnicamente portátil, mensurável por padrões reconhecidos e compatível com salvaguardas de privacidade. Encerram-se as diretrizes de expansão: foco em desempenho avaliado por métricas padronizadas, governança de dados com rastreabilidade e documentação pública não sensível, em consonância com referências do Urban Mobility Observatory e do WCCD.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este volume estabeleceu um referencial operativo para mobilidade urbana inteligente, articulando integração tecnológica e institucional com objetivos de eficiência, equidade e sustentabilidade. A obra combinou arcabouço normativo (SUMP/ELTIS e série ISO 37120/37122/37110), arquitetura em camadas (captura, integração, análise e ação) e governança informacional compatível com legislação de proteção de dados, com foco em resultados auditáveis e publicação em níveis agregados.

No plano conceitual, o livro contribui com definição operacional de mobilidade inteligente e com um vocabulário comum para planejamento, implementação e avaliação. Esse enquadramento evita generalidades e sustenta mensuração reproduzível por indicadores consolidados: acessibilidade por oportunidades cumulativas e medidas gravíticas com calibração explícita, tempo porta a porta com p50/p85/p95, confiabilidade por métricas reconhecidas, segurança com taxas e auditorias, e participação acompanhada por indicadores sociais.

No plano técnico, a obra demonstra que interoperabilidade é condição de portabilidade. A adoção de padrões abertos GTFS/GTFS-RT, GBFS e TOMP-API quando pertinente reduz custos de integração e permite auditoria por terceiros. O uso criterioso de IA e IoT em rotinas adaptativas é tratado com ênfase em explicabilidade, versionamento e rastro de fontes, assegurando que melhorias de desempenho possam ser verificadas sem revelar parâmetros proprietários.

No plano social, justiça espacial é tratada como requisito de projeto. Desagregações por renda, gênero, raça/cor, idade e deficiência deixam de ser anexos e passam a orientar desenho de serviço, priorização de canais e avaliação de efeitos. A opção por canais inclusivos e por medidas voltadas à segurança percebida exemplifica como decisões de interface e operação podem ampliar o acesso de públicos com barreiras tecnológicas.

O estudo aplicado apresentado no corpo do livro mostra liderança em projeto original, com arquitetura proprietária sob governança local, cadência disciplinada de versões e integração progressiva a contextos municipais diversos. A trajetória documentada associa escala de uso a geração de oportunidades econômicas locais, com expansão orgânica e respeito a marcos regulatórios, ilustrando capacidade de coordenação entre atores públicos, privados e comunitários. Esses elementos, descritos sempre em agregados e com marcos temporais definidos, traduzem impacto mensurável sem expor informações sensíveis.

Como referencial para replicabilidade, a obra propõe um protocolo acadêmico e público: i) planejamento iterativo com metas e avaliação antes-depois; ii) interoperabilidade por padrões abertos e documentação de mudanças; iii) publicação de séries agregadas com método declarado; iv) salvaguardas de minimização, finalidade e anonimização no ciclo de dados; v) critérios de decisão para expansão baseados em desempenho, inclusão e segurança. Esse conjunto confere condições de transposição para outras jurisdições, preservando rastreabilidade técnica e coerência institucional.

Em termos de legado, o livro entrega três contribuições duráveis. Primeiro, um método de desenho e avaliação que integra ciência de dados, engenharia de sistemas e política pública. Segundo um modelo de governança que equilibra inovação contínua e proteção informacional, apto a escrutínio externo. Terceiro, uma demonstração aplicada de liderança e de contribuição original em mobilidade por demanda, com efeitos sociais e econômicos verificáveis e potencial de expansão em contextos internacionais.

Encerrando, a obra deixa um roteiro utilizável por gestores, pesquisadores e empreendedores: definir objetivos em linguagem mensurável; implementar arquitetura interoperável com padrões reconhecidos; medir resultados com recortes sociais; documentar versões e processos; e publicar evidências em agregados. Trata-se de um fecho que descreve a identidade do livro como instrumento técnico e público, alinhado a expectativas de avaliadores institucionais e a práticas de transparência metodológica.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Lei n. 13.709, de 14 de agosto de 2018. *Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais*. Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm. Acesso em: 4 set. 2025.

ELTIS; RUPPRECHT CONSULT. *Guidelines for developing and implementing a Sustainable Urban Mobility Plan*. 2. ed. Luxembourg: European Commission, 2019. Disponível em: <https://urban-mobility->

observatory.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-09/sump_guidelines_2019_second%20edition.pdf. Acesso em: 4 set. 2025.

GHEORGHE, Carmen; SOICA, Adrian. Revolutionizing urban mobility: a systematic review of AI, IoT, and predictive analytics in adaptive traffic control systems for road networks. *Electronics*, v. 14, n. 4, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/4/765>. Acesso em: 4 set. 2025.

MOBILITYDATA. *General Bikeshare Feed Specification (GBFS)*. 2025. Disponível em: <https://gbfs.org/> e <https://github.com/MobilityData>. Acesso em: 4 set. 2025.

NATERA OROZCO, Luis G. et al. Multimodal urban mobility and multilayer transport networks. *Urban Analytics and City Science*, 2022. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/23998083221127652>. Acesso em: 4 set. 2025.

TOMP-WG. *TOMP-API: Transport Operator to MaaS Provider API*. 2025. Disponível em: <https://github.com/TOMP-WG/TOMP-API>. Acesso em: 4 set. 2025.

TRANSIT; GOOGLE DEVELOPERS. *GTFS e GTFS-Realtime: documentação oficial*. 2024–2025. Disponível em: <https://developers.google.com/transit> e <https://gtfs.org>. Acesso em: 4 set. 2025.

WCCD – WORLD COUNCIL ON CITY DATA. *ISO 37120 e indicadores urbanos*. Toronto: WCCD, 2024. Disponível em: <https://dataforcities.org>. Acesso em: 4 set. 2025.

POSFÁCIO

Este livro oferece um caminho verificável para conceber, operar e avaliar mobilidade urbana inteligente. A partir de definições operacionais e arquitetura em camadas, organiza padrões abertos, indicadores reprodutíveis e governança de dados compatível com a LGPD.

O estudo de caso regional com operação física em cidades mineiras e matriz tecnológica no Espírito Santo é narrado em níveis agregados, preservando privacidade enquanto demonstra escala, confiabilidade e inclusão sociotécnica, com canal telefônico para públicos com menor familiaridade digital.

O resultado é um referencial que integra ciência, engenharia e finalidade pública, útil para formular metas, documentar versões e publicar séries com transparência metodológica. Portável entre jurisdições, o arranjo proposto favorece comparação temporal, auditoria independente e expansão responsável, sem expor parâmetros sensíveis. Leitura indicada a gestores, pesquisadores e empreendedores que buscam decisões mensuráveis, interfaces claras e processos rastreáveis em ecossistemas de mobilidade.

Marcos Rodrigues Gomes Junior
Fundador e CEO, Livre Tecnologia Ltda.



ISBN: 978-65-5320-647-9



9 786553 210479