

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CAMPUS BACABAL  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

**JOSÉ CARLOS ERICEIRA SOBRINHO**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À MOBILIDADE URBANA: UMA  
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Bacabal – MA  
2025

**JOSÉ CARLOS ERICEIRA SOBRINHO**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À MOBILIDADE URBANA: UMA  
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
da Universidade Estadual do Maranhão -  
UEMA, como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Helenylson Jesus  
Pereira

Bacabal – MA  
2025

Ericeira Sobrinho, José Carlos.

Inteligência artificial aplicada à mobilidade urbana:  
uma revisão bibliográfica. / José Carlos Ericeira Sobrinho. -  
Bacabal - MA, 2025.

50 f.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil  
Bacharelado) - Universidade Estadual do Maranhão, Campus  
Bacabal, 2025.

Orientador: Prof. Esp. Helenylson Jesus Pereira.

1. Semáforos. 2. Algoritmos. 3. Geoinformação. 4.  
Planejamento. 5. Transporte. I. Título.

CDU: 351.811.122:004.8

Elaborado por Anderson de Araújo Machado - CRB 13/746

**JOSÉ CARLOS ERICERIA SOBRINHO**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À MOBILIDADE URBANA: UMA  
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Estadual do Maranhão  
para o grau de bacharelado em Engenharia  
Civil.

Aprovado em: 11/07/2025

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Esp. Hellenylson Jesus Pereira (Orientador)**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

**✓ Prof. Esp. André Rodrigues De Freitas**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

**Prof. Esp. Carlos Eduardo Machado De Oliveira**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

A Deus primeiramente;  
à minha mãe, Antônia;  
ao meu parceiro, Willian;  
e a mim, por não ter desistido.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força, coragem e sabedoria concedidas ao longo desta jornada cheia de desafios. À minha família, pelo amor, apoio e suporte incondicional, em especial à minha mãe Antônia, que sempre acreditou em mim, e ao meu parceiro William, companheiro incansável de todos os dias. Aos amigos, que foram abrigo e alívio nos momentos difíceis, compartilhando sorrisos e palavras de incentivo quando mais precisei. Ao professor Helenylson Jesus Pereira, pela orientação paciente e essencial, guiando-me com firmeza e generosidade.

A todos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, deixaram sua marca nessa conquista, o meu sincero agradecimento.

E, por fim, a mim, que enfrentei noites em claro, dúvidas, medos e cansaços profundos. Que mesmo entre tropeços e incertezas, não desisti. Que me levantei, silenciei o desânimo e segui em frente. A mim, minha eterna gratidão, por ter sido meu próprio herói nesta caminhada.

*“Apenas depois de perder tudo é que você estará livre para fazer qualquer coisa”*

(Clube da Luta - 1996, p. 40)

## RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo analisar a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na mobilidade urbana, com foco em três tecnologias principais: algoritmos preditivos, semáforos inteligentes e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A pesquisa adotou a metodologia de revisão bibliográfica sistemática, com a seleção e análise de estudos publicados entre 2020 e 2025, a fim de sintetizar os impactos, benefícios e limitações dessas tecnologias em contextos urbanos diversos. A partir da revisão realizada, constatou-se que a IA apresenta potencial significativo para otimizar o fluxo de tráfego, reduzir congestionamentos, melhorar a segurança viária e promover uma gestão mais eficiente dos sistemas de transporte público. Os semáforos inteligentes representam uma aplicação prática da IA fraca, utilizando redes neurais convolucionais e modelos como o YOLOv5 para analisar o fluxo veicular e ajustar os tempos de sinalização conforme a demanda. Estudos de caso em cidades da América Latina e da Europa indicam melhorias na fluidez do tráfego, com impacto direto na eficiência operacional urbana. Já os Sistemas de Informação Geográfica, quando integrados à IA, ampliam a capacidade de análise espacial, permitindo a identificação de áreas críticas, a reestruturação de rotas e a alocação mais racional de recursos públicos. A combinação entre SIG e IA tem proporcionado avanços na formulação de políticas públicas baseadas em evidências, com destaque para experiências em cidades brasileiras como Pato Branco e Joinville. Entretanto, a implementação dessas tecnologias enfrenta desafios relevantes. Entre eles, destacam-se a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada, a formação de profissionais capacitados, a governança algorítmica, a interoperabilidade entre plataformas e a proteção de dados pessoais. Conclui-se que, embora promissora, a aplicação da Inteligência Artificial na mobilidade urbana requer uma abordagem adaptativa, integrada e contextualizada às realidades locais, com foco em sustentabilidade, equidade e eficiência operacional.

**Palavras-chaves:** Semáforos; Algoritmos; Geoinformação; Planejamento; Transporte.

## ABSTRACT

This undergraduate thesis aims to analyze the application of Artificial Intelligence (AI) in urban mobility, focusing on three main technologies: predictive algorithms, intelligent traffic lights, and Geographic Information Systems (GIS). The research adopted a systematic literature review methodology, selecting and analyzing studies published between 2020 and 2025 in order to synthesize the impacts, benefits, and limitations of these technologies in various urban contexts. Based on the review conducted, AI has shown significant potential to optimize traffic flow, reduce congestion, improve road safety, and promote more efficient management of public transportation systems. Intelligent traffic lights represent a practical application of weak AI, using convolutional neural networks and models such as YOLOv5 to analyze vehicle flow and adjust signaling times according to demand. Case studies in cities across Latin America and Europe indicate improvements in traffic fluidity, with direct impact on urban operational efficiency. Geographic Information Systems, when integrated with AI, enhance spatial analysis capabilities, allowing for the identification of critical areas, route restructuring, and more rational allocation of public resources. The combination of GIS and AI has enabled advances in the formulation of evidence-based public policies, with noteworthy experiences in Brazilian cities such as Pato Branco and Joinville. However, the implementation of these technologies faces significant challenges. These include the need for adequate technological infrastructure, the training of qualified professionals, algorithmic governance, platform interoperability, and the protection of personal data. It is concluded that, although promising, the application of Artificial Intelligence in urban mobility requires an adaptive, integrated, and context-sensitive approach, with a focus on sustainability, equity, and operational efficiency.

**Keywords:** Trafficlights; Algorithms; Geoinformation; Planning; Transport.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Crescimento da população brasileira (1872 – 2022).....	19
Figura 2 - Número de acidentes de trânsito registrados no Brasil (2018–2022).....	23
Figura 3 - Comparação de eficiência entre modos de aprendizado de IA.....	28
Figura 4 - Gráfico Comparativo: Acurácia e Redução de Congestionamento .....	32
Figura 5 - Comparativo de acidentes com e sem o uso de SIG .....	36

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Diretrizes e Objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012) .....	18
Tabela 2 - Evolução da Frota de Veículos Motorizados no Brasil (2003 – 2024).....	20
Tabela 3 - Tempo médio anual perdido em congestionamentos.....	21
Tabela 4 - Emissão de CO <sub>2</sub> por Hora de Funcionamento por Tipo de Veículo .....	22
Tabela 5 - Emissões de CO <sub>2</sub> por Meio de Transporte nas Cidades por ano.....	22
Tabela 6 - Comparativo entre IA fraca e IA forte .....	26
Tabela 7 - Aplicações da IA por setor .....	29
Tabela 8 - Diferença entre Machine Learning e Deep Learning .....	30
Tabela 9 - Comparativo entre Cidades que Implementaram Modelos Preditivos.....	31
Tabela 10 - Aplicações recentes de semáforos inteligentes baseados em IA (2021 – 2024) .....	34
Tabela 11 - Custos da Implantação de Semáforos Inteligentes em São Paulo.....	34
Tabela 12 - Principais resultados de cada tecnologia .....	42

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	Artificial Intelligence (Inteligência Artificial)
BRT	Bus Rapid Transit
CDU	Classificação Decimal Universal
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
DL	Deep Learning
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EPA	Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos EUA)
GIS	Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação
IEA	International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ML	Machine Learning
OMS	Organização Mundial da Saúde
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	São Paulo
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TMC	Traffic Message Channel
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
YOLO	You Only Look Once

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>Referencial teórico .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Contextualização da mobilidade urbana .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Desafios da mobilidade urbana nas grandes cidades .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>A Inteligência artificial: conceito, origem e evolução .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Inteligência artificial forte e fraca: definições e comparações .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5</b>	<b>Modos de aprendizado da inteligência artificial .....</b>	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Aplicações gerais da inteligência artificial em diferentes setores .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7</b>	<b>Aplicações práticas da inteligência artificial na mobilidade urbana.....</b>	<b>30</b>
<b>2.8</b>	<b>Limitações éticas, técnicas e políticas da inteligência artificial .....</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Condições para a implementação da IA nas cidades.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>Comparação entre tecnologias adotadas.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise crítica das lacunas na literatura .....</b>	<b>42</b>
<b>4.4</b>	<b>Considerações sobre custo-benefício e sustentabilidade.....</b>	<b>43</b>
<b>4.5</b>	<b>Resultados estratégicos da aplicação da IA na mobilidade urbana .....</b>	<b>43</b>
<b>4.6</b>	<b>Implicações sociais e éticas da inteligência artificial na mobilidade urbana.....</b>	<b>44</b>
<b>4.7</b>	<b>Reflexão final sobre os resultados .....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana, Segundo Silva *et al.* (2023), tem ganhado destaque nos debates sobre desenvolvimento urbano devido ao aumento das populações nas cidades e aos desafios de infraestrutura. Esse destaque se deve, principalmente, ao rápido crescimento das áreas urbanas e às mudanças no perfil da população em todo o mundo. Segundo dados da Organização das Nações Unidas (2022), a expectativa é que, até 2050, cerca de 68% da população mundial passe a viver em regiões urbanas. Esse aumento traz consigo uma demanda maior por soluções que ajudem a enfrentar problemas como os congestionamentos, a poluição do ar e as dificuldades no acesso ao transporte coletivo.

Do ponto de vista econômico, os impactos desse cenário são bastante relevantes. Grandes cidades, como Nova York e Tóquio, já enfrentam prejuízos expressivos causados pelos congestionamentos prolongados. Essas perdas afetam diretamente a produtividade das pessoas e reduzem a qualidade de vida da população urbana (World Bank, 2023).

No Brasil, a situação segue um padrão semelhante, mas com características próprias de cada região. Até o início de 2025, o país atingiu uma frota de cerca de 69 milhões de veículos em circulação. No ano anterior, as vendas de veículos novos cresceram 14,1%, somando aproximadamente 2,6 milhões de unidades comercializadas. Esse crescimento tem contribuído para o aumento dos congestionamentos e das emissões de poluentes em grandes cidades, como São Paulo e Rio de Janeiro. Por conseguinte, revela deficiências no planejamento urbano e nas políticas voltadas ao transporte público (Fogaça, 2025).

Dentro desse cenário, a aplicação da inteligência artificial na mobilidade urbana surge como uma solução estratégica para melhorar a qualidade dos serviços de transporte nas cidades. A IA possibilita a coleta e o processamento de grandes quantidades de dados de forma rápida, o que facilita a identificação de padrões de deslocamento, a previsão de comportamentos dos usuários e a elaboração de respostas mais rápidas e adequadas às condições do tráfego (TELTEX, 2023).

Um exemplo importante dessa aplicação é o uso de semáforos com gestão em tempo real, que ajustam o tempo de abertura e fechamento de acordo com o fluxo de veículos. Essa tecnologia ajuda a tornar o trânsito mais fluido e reduz o tempo de espera nos cruzamentos (San Miguel, 2024).

Em vista disso, os chamados algoritmos de previsão têm sido empregados para antecipar possíveis acidentes e indicar os locais com maior risco, permitindo que as autoridades de trânsito realizem ações preventivas de forma mais eficiente (Revista FT, 2024). Esses recursos também têm sido fundamentais para melhorar a administração dos transportes públicos e dos serviços de mobilidade compartilhada, a partir da análise de dados de localização e da previsão da demanda de passageiros.

Outra tecnologia que vem sendo utilizada como apoio é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que contribui para a análise de como o tráfego se distribui nas cidades e para o planejamento de rotas e melhorias na infraestrutura de transporte. Por meio de dados coletados por sensores, plataformas digitais e registros anteriores, o SIG permite uma visão mais completa, integrando aspectos da mobilidade urbana, da ocupação do solo e da sustentabilidade (Pereira; Fujita; Oliveira, 2024). Um exemplo prático é a cidade de Singapura, que faz uso dessa ferramenta junto com sistemas inteligentes para diminuir os congestionamentos e a emissão de poluentes, gerando ganhos tanto para a operação do sistema de transporte quanto para o meio ambiente.

No entanto, o uso da inteligência artificial na mobilidade urbana traz desafios importantes. Entre eles, destacam-se a necessidade de estabelecer regras claras para o uso ético da tecnologia, a proteção dos dados pessoais dos cidadãos, os investimentos necessários em infraestrutura tecnológica e a superação de barreiras institucionais e culturais. A solução desses problemas exige o trabalho conjunto entre os órgãos públicos, as empresas de tecnologia e a sociedade em geral, buscando sempre adotar soluções que atendam às realidades e necessidades de cada localidade (Cavalheiro, 2021).

Diante desse contexto, este estudo tem por objetivo analisar de que forma o sistema inteligente pode ser aplicado para promover avanços mensuráveis na gestão da mobilidade urbana. Para isso, o estudo irá abordar três tecnologias principais: os algoritmos preditivos, os sistemas semafóricos automatizados e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Serão discutidos os ganhos dessas ferramentas, as dificuldades encontradas na sua aplicação, exemplos práticos já implantados e as perspectivas futuras dentro do conceito de cidades inteligentes.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Analisar como a inteligência artificial tem sido aplicada na mobilidade urbana, com foco nos benefícios observados na redução de congestionamentos, aumento da segurança viária e melhoria da gestão do tráfego.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar as principais tecnologias de inteligência artificial utilizadas na mobilidade urbana;
- Avaliar os impactos dessas tecnologias na gestão do tráfego, segurança viária e controle de emissões de gases do efeito estufa;
- Apontar os principais desafios para a implementação dessas soluções no contexto urbano;

### **1.4 Justificativa**

A escolha do tema surgiu da preocupação com os desafios da mobilidade nas grandes cidades, afetando o deslocamento das pessoas e a qualidade de vida. O crescimento da frota de veículos tem agravado os congestionamentos e a poluição. Isso evidencia a necessidade de soluções modernas e eficientes para o tráfego urbano. Segundo a ONU (2022), até 2050, a maioria da população mundial viverá em áreas urbanas. Esse cenário tende a ampliar os problemas existentes. Por isso, o tema revela-se pertinente frente aos desafios contemporâneos da mobilidade urbana e à necessidade de soluções tecnológicas sustentáveis.

Estudos como os de Rocha e Rocha (2022) indicam que há carência de pesquisas aplicadas sobre IA no contexto da mobilidade urbana brasileira. A maioria das pesquisas existentes aborda cenários de países desenvolvidos, com realidades distintas. Este trabalho contribui para o avanço do conhecimento acadêmico ao investigar como a aplicação do aprendizado de máquina pode favorecer a fluidez viária, a eficiência operacional e a sustentabilidade nas cidades brasileiras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Contextualização da mobilidade urbana

A mobilidade urbana diz respeito à maneira como as pessoas e os bens se deslocam dentro das cidades, utilizando diferentes formas de transporte, como carros, ônibus, bicicletas e até caminhadas. Esse assunto é fundamental para garantir qualidade de vida, inclusão social e um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável nas áreas urbanas. No contexto brasileiro, a mobilidade urbana acompanha as mudanças sociais e econômicas do país, mas também revela problemas antigos e atuais relacionados ao planejamento e à administração dos espaços urbanos (IPEA, 2023).

Ao longo da história, o Brasil deu preferência ao transporte individual motorizado, principalmente durante os anos de industrialização nas décadas de 1950 e 1960. Essa escolha teve como consequência o aumento dos engarrafamentos e a piora na qualidade do ar nas cidades. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2021), “a urbanização acelerada e a falta de planejamento adequado contribuíram para uma crise de mobilidade que impacta a eficiência e sustentabilidade das cidades brasileiras”.

Para tentar mudar essa realidade, a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012) definiu orientações e diretrizes (Tabela 1) para criar sistemas de transporte mais acessíveis, bem organizados e sustentáveis. Essa lei dá prioridade ao transporte público e aos meios de locomoção que não usam veículos motorizados, como a caminhada e a bicicleta. O objetivo é garantir um acesso mais justo aos diferentes espaços da cidade e melhorar a qualidade dos deslocamentos diários (IPEA, 2023).

**Tabela 1** - Diretrizes e Objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012)

<b>Diretrizes</b>	<b>Objetivos</b>
Integrar os modos de transporte e seus serviços.	Melhorar a acessibilidade e a integração entre os meios de transporte para todos.
Priorizar transporte público e não motorizado.	Reducir desigualdades no acesso e garantir segurança e eficiência na mobilidade.
Integrar planejamento urbano e mobilidade.	Minimizar os impactos ambientais e socioeconômicos da circulação.
Promover desenvolvimento sustentável e qualidade de vida.	Melhorar as condições urbanas e o bem-estar da população.
Garantir gestão democrática e participação social.	Incentivar o envolvimento da sociedade nas decisões de mobilidade.

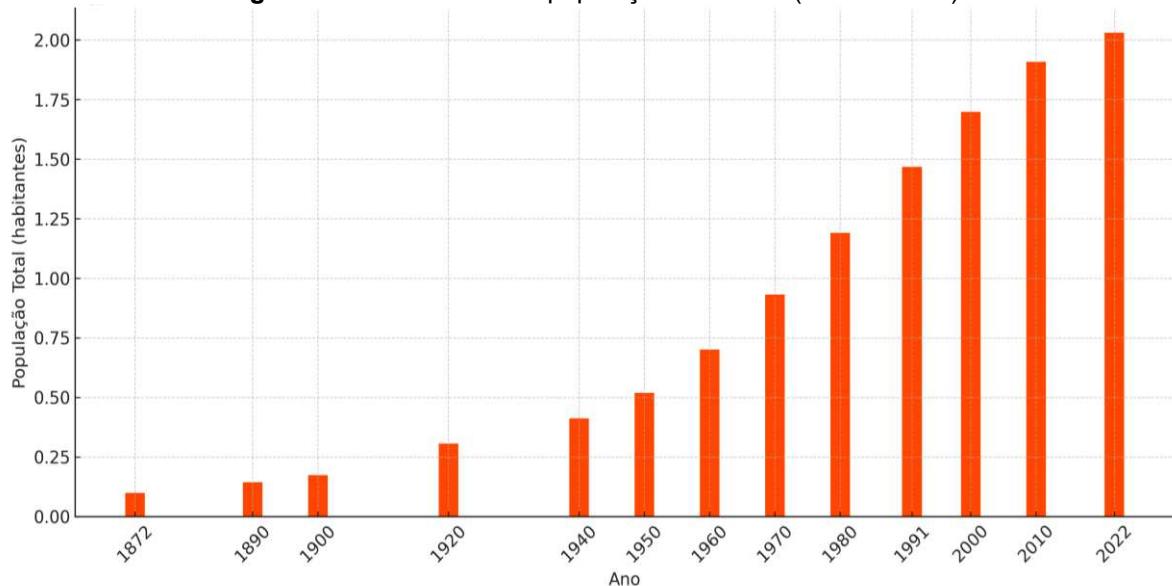
Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da Política Nacional de Mobilidade Urbana(2012)

Entre os anos de 2021 e 2025, várias cidades brasileiras colocaram em prática ações para melhorar o transporte coletivo. Exemplos disso são os sistemas Transporte Rápido por Ônibus (BRT) e o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), que ajudaram a diminuir o tempo de viagem e a ampliar o acesso da população ao transporte em cidades como Curitiba e Rio de Janeiro (IPEA, 2023). Ao mesmo tempo, medidas de incentivo à mobilidade ativa, como a criação de novas ciclovias e os programas de aluguel de bicicletas em São Paulo, têm estimulado o uso de meios de transporte que não dependem de motores (IBGE, 2023).

Mesmo com esses avanços, o aumento do número de carros particulares trouxe novos problemas. Segundo o IBGE (2023), a quantidade de veículos no país subiu 35% entre 2014 e 2023, o que agravou os engarrafamentos e aumentou a poluição nas áreas urbanas. Com isso, a pandemia de COVID-19 trouxe a necessidade de mudanças no transporte coletivo, evidenciando as diferenças no acesso ao transporte e reforçando a importância de adotar soluções que sejam sustentáveis e que consigam se adaptar a situações de crise (IPEA, 2023).

O crescimento da população também tem impacto direto na mobilidade nas cidades. Conforme o Censo Demográfico de 2022(Figura 1), o Brasil passou a ter 203.080.756 habitantes, o que representa um aumento de 6,5% em comparação ao censo anterior. Esse crescimento demanda investimentos constantes em transporte público e na infraestrutura urbana, para que seja possível garantir serviços mais eficientes e que atendam melhor a todos os cidadãos (IBGE, 2023).

**Figura 1 - Crescimento da população brasileira (1872 – 2022)**



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do IBGE, Censos Demográficos (1872 – 2022).

Dessa forma, observa-se que a mobilidade urbana no Brasil demanda uma abordagem integrada, que conte com eficiência operacional, inclusão social e sustentabilidade ambiental. Os avanços registrados entre 2021 e 2025 precisam ser aprofundados, superando desafios estruturais e promovendo soluções tecnológicas e intersetoriais para a melhoria das condições de deslocamento nas cidades (IPEA, 2023).

## 2.2 Desafios da mobilidade urbana nas grandes cidades

### 2.2.1 Crescimento da frota de veículos

O aumento desenfreado da frota de veículos está transformando os centros urbanos em locais onde o trânsito, a poluição e os acidentes de trânsito se tornaram

desafios constantes. Em duas décadas, conforme a Tabela 2, a frota brasileira apresentou um crescimento de cerca de 100 milhões, passando de 26,7 milhões de veículos em 2003 para aproximadamente 124 milhões em 2024 (Senatran 2025). Esse aumento evidencia uma crise urbana que impacta diretamente a qualidade de vida da população e o equilíbrio ambiental.

**Tabela 2 - Evolução da Frota de Veículos Motorizados no Brasil (2003 – 2024)**

Ano	Automóveis (milhões)	Motocicletas (milhões)	Frota Total (milhões)	Observações
2003	21,0	5,7	26,7	Motos representavam 16% da frota total.
2010	34,0	15,0	49,0	Crescimento significativo em motos.
2015	40,0	22,0	62,0	Expansão contínua da frota.
2022	76,3	32,3	115,1	Motos passaram a representar 27% da frota total.
2024	77,8	33,7	123,9	Crescimento de 4% em relação a 2023.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da Secretaria Nacional de Trânsito (2025)

## 2.2.2 Congestionamentos e perda de tempo

Levantamentos recentes (Tabela 3) mostram que, em 2022, os brasileiros passaram, em média, cerca de 200 horas parados em congestionamentos, o que causa um impacto relevante na rotina das cidades e na qualidade de vida da população (IPEA, 2023). Essa situação não apenas diminui a produtividade das pessoas, como também aumenta os níveis de estresse e insatisfação.

Portanto, os congestionamentos contribuem para o aumento da poluição do ar, agravando problemas que afetam a saúde pública e o meio ambiente. A tabela 3 apresenta informações sobre o tempo médio anual perdido no trânsito, a velocidade

média dos veículos e o tempo gasto para percorrer 10 km em algumas capitais brasileiras.

Os dados deixam claro que todas as cidades analisadas enfrentam sérios desafios de mobilidade, com velocidades médias reduzidas e grande perda de horas no trânsito.

**Tabela 3** - Tempo médio anual perdido em congestionamentos

Cidade	Horas Perdidas por Ano	Velocidade Média (km/h)	Tempo Médio para Percorrer 10 km
Recife	220	21	22 min 50 seg
Belo Horizonte	214	21	22 min
São Paulo	209	22	22 min 10 seg
Curitiba	207	22	22 min
Fortaleza	205	23	21 min 30 seg

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Portal do Trânsito (2025)

### 2.2.3 Impactos ambientais

A poluição causada pelo setor de transportes é uma das consequências mais preocupantes do crescimento do tráfego de veículos. A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021) aponta que a queima de combustíveis fósseis está diretamente ligada ao aumento de doenças respiratórias e problemas no coração. Além disso, os gases liberados pelos veículos contribuem para o agravamento do aquecimento global. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2020), cerca de 29% das emissões de gases que causam o efeito estufa no país são provenientes dos veículos automotores.

A Tabela 4 apresenta os dados de emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) gerados por diferentes tipos de transporte, levando em conta o consumo médio de combustível, a quantidade de emissão por litro e a velocidade média de circulação.

**Tabela 4** - Emissão de CO<sub>2</sub> por Hora de Funcionamento por Tipo de Veículo

<b>Tipo de Veículo</b>	<b>Consumo Médio (km/l)</b>	<b>Emissão de CO<sub>2</sub> por Litro (kg)</b>	<b>Velocidade Média (km/h)</b>	<b>Emissão de CO<sub>2</sub> por Hora (kg)</b>
Automóvel (gasolina)	10	2,28	30	6,84
Motocicleta	20	2,28	30	3,42
Ônibus (diesel)	2,5	2,6	20	20,8

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de EPA (2020)

A Tabela 5 apresenta dados sobre a emissão de CO<sub>2</sub> por diferentes meios de transporte em algumas capitais brasileiras, considerando o tempo médio perdido em congestionamentos e a emissão por hora de cada tipo de veículo. Observa-se que cidades como Belo Horizonte e Recife apresentam maiores emissões anuais de CO<sub>2</sub>, o que evidencia a necessidade de soluções eficazes para mitigar os impactos ambientais associados ao transporte urbano(EPA,2024).

**Tabela 5** - Emissões de CO<sub>2</sub> por Meio de Transporte nas Cidades por ano

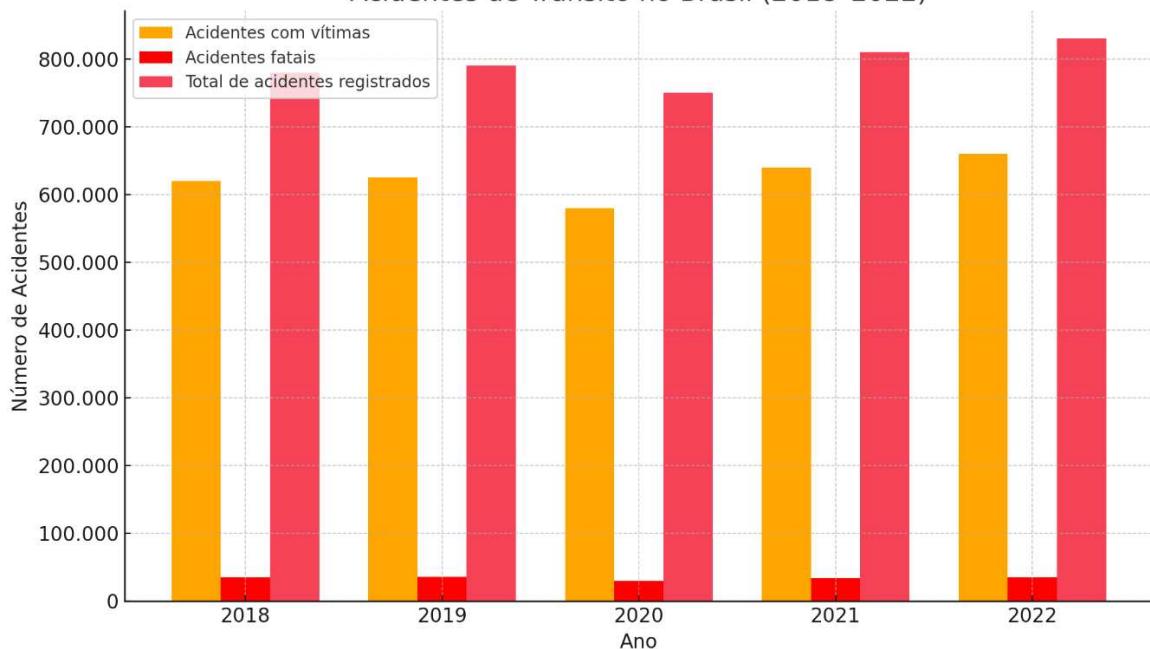
<b>Cidade</b>	<b>Meio de Transporte</b>	<b>Tempo Perdido (h)</b>	<b>CO<sub>2</sub>/h (kg)</b>	<b>Emissão Total Anual (kg)</b>
Recife	Automóvel	220	6,84	1.504,80
Belo Horizonte	Ônibus	214	20,8	4.451,20
São Paulo	Automóvel	209	6,84	1.430,76
Curitiba	Motocicleta	207	3,42	707,94
Fortaleza	Automóvel	205	6,84	1.402,20

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de EPA (2020)

## 2.2.4 Acidentes de trânsito

Outro impacto significativo do aumento do tráfego nas cidades brasileiras está relacionado à segurança viária. O crescimento do fluxo de veículos e a sobrecarga das vias urbanas resultam em um número elevado de acidentes de trânsito. Conforme (Figura 2) dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2023), o número total de acidentes no Brasil passou de 793.885 em 2018 para 833.912 em 2022.

**Figura 2 - Número de acidentes de trânsito registrados no Brasil (2018–2022)**  
**Acidentes de Trânsito no Brasil (2018–2022)**



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados do Departamento Nacional de Trânsito (2022)

Diante dos crescentes desafios da mobilidade urbana, a adoção de sistemas inteligentes de processamento de dados desponta como uma estratégia essencial. As tecnologias baseadas em inteligência artificial (IA) oferecem recursos preditivos e operacionais que viabilizam a análise em tempo real de informações sobre o tráfego, a qualidade do ar e o desempenho das frotas de transporte. Esse tipo de monitoramento permite que gestores públicos e empresas do setor tomem decisões mais ágeis e precisas, contribuindo para uma mobilidade urbana mais eficiente e sustentável (Sousa *et al.*, 2021).

### 2.3 A Inteligência artificial: conceito, origem e evolução

A inteligência artificial é uma área da ciência da computação que tem como objetivo criar sistemas e programas capazes de reproduzir algumas habilidades típicas dos seres humanos, como perceber o ambiente, pensar, aprender e tomar decisões. De acordo com Silva e Santos (2021, p. 45), “a IA pode ser definida como a capacidade de máquinas e sistemas computacionais de simular processos cognitivos humanos, como a percepção, o raciocínio e a aprendizagem”. Essa definição mostra

que, além de realizar tarefas automaticamente, busca imitar capacidades humanas em diferentes situações dentro da computação.

O termo “inteligência artificial” foi oficializado em 1956 durante a Conferência de Dartmouth, nos Estados Unidos, por John McCarthy e outros estudiosos. Na ocasião, propôs-se que “cada aspecto da aprendizagem ou qualquer outra característica da inteligência pode, em princípio, ser descrito de forma tão precisa que uma máquina pode ser feita para simulá-lo” (McCarthy *et al.*, 1956 apud Barbosa; Portes, 2023). Esse acontecimento marcou o início dela como um campo de estudo, incentivando pesquisas que, mesmo passando por fases de avanços e dificuldades nas décadas seguintes, continuaram buscando o desenvolvimento de sistemas inteligentes.

Nos anos seguintes, houve um foco no desenvolvimento de sistemas especialistas, capazes de resolver problemas específicos em áreas como medicina e engenharia. Contudo, esses sistemas mostraram limitações quanto à flexibilidade e adaptação, características centrais da inteligência humana. A partir da década de 1990, com o aumento da capacidade de processamento computacional e o crescimento dos volumes de dados disponíveis, surgiram novas abordagens baseadas em aprendizado de máquina (*machine learning*), culminando em eventos emblemáticos como a vitória do computador *Deep Blue* contra o campeão mundial de xadrez Garry Kasparov em 1997 (Barbosa; Portes, 2023).

Já no século XXI, a IA passou a ser amplamente utilizada em diferentes setores da sociedade, sendo incorporada em assistentes virtuais, sistemas de recomendação, veículos autônomos e plataformas educacionais. Essa popularização foi impulsionada por técnicas como o aprendizado profundo (*deep learning*), que simula redes neurais artificiais inspiradas na estrutura do cérebro humano (Barbosa; Portes, 2023).

Portanto, a IA deixou de ser um campo exclusivamente técnico para se tornar um tema transversal, suscitando discussões éticas e políticas. Em especial, destaca-se a necessidade de uma governança que assegure a transparência, a privacidade e a justiça algorítmica, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, onde a inclusão digital ainda representa um desafio (Pereira; Souza, 2023).

Como destacam Oliveira e Ferreira (2022, p. 12), “a inteligência artificial não é apenas uma ferramenta, mas uma nova forma de interação entre humanos e máquinas, que pode transformar diversos setores da sociedade”. Dessa forma,

compreender a evolução histórica da IA permite contextualizar seu impacto atual e seus potenciais futuros, sendo fundamental para refletir sobre sua aplicação responsável e inclusiva no contexto brasileiro.

## **2.4 Inteligência artificial forte e fraca: definições e comparações**

O processamento inteligente de dados, enquanto área da ciência da computação, tem como principal objetivo criar sistemas capazes de executar tarefas que, normalmente, exigiriam habilidades humanas, como aprender, pensar e resolver problemas. Quanto à sua classificação, a IA pode ser dividida em dois tipos principais: fraca e forte (Russell; Norvig, 2024).

A fraca, também chamada de IA estreita, segundo Montagnoli (2018), “a IA fraca é aquela que resolve problemas específicos com desempenho igual ou superior ao humano, mas sem desenvolver autoconsciência ou inteligência geral”. Seu funcionamento depende de algoritmos e bancos de dados já definidos. Exemplos desse tipo de IA são os assistentes virtuais, os sistemas de recomendação e os mecanismos de busca, muito presentes no nosso dia a dia.

Por outro lado, a forte, também conhecida como IA geral, representa um conceito mais avançado: são sistemas que conseguem entender, aprender e aplicar o conhecimento em diferentes situações, de forma semelhante aos seres humanos. De acordo com o mesmo autor, a IA forte pressupõe “a existência de autoconsciência, ou seja, um agente que sabe de sua própria existência e entende as ações que realiza” (Montagnoli, 2018). Atualmente, a IA forte permanece como um conceito teórico, sem comprovação empírica de sua viabilidade técnica em aplicações reais (Russell; Norvig, 2016). A discussão filosófica sobre a possibilidade da IA forte é enriquecida pela crítica de John Searle, com o experimento mental conhecido como “quarto chinês”. Searle defende que “mesmo que uma máquina seja capaz de simular a linguagem humana de forma convincente, isso não implica que ela comprehenda o que está dizendo” (Lima Filho, 2010, p. 52). Esse argumento destaca a diferença entre imitar uma conversa e ter um entendimento real, reforçando os limites atuais da IA forte quanto à consciência.

A seguir, apresenta-se a Tabela 6, com o comparativo entre as duas abordagens:

**Tabela 6** - Comparativo entre IA fraca e IA forte

<b>Tipo</b>	<b>Inteligência Artificial Fraca</b>	<b>Inteligência Artificial Forte</b>
Finalidade	Tarefas específicas	Compreensão e raciocínio geral
Consciência	Inexistente	Possível autoconsciência e entendimento
Exemplo	Siri, Alexa, Google Assistant	Hipotética máquina com cognição humana
Estado atual	Presente em larga escala	Não implementada; ainda teórica
Capacidade de adaptação	Limitada a padrões programados	Alta, com generalização entre diferentes contextos
Debate filosófico	Ética limitada ao uso	Envolve ética, consciência e direitos

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Montagnoli (2018), Lima Filho (2010) E Russell; Norvig (2024)

Apesar dos avanços importantes na área da IA fraca, como no caso do sistema Watson, da IBM, que mostrou desempenho melhor que o humano em diagnósticos médicos específicos (Montagnoli, 2018), a IA forte ainda é uma meta distante. Para alguns autores, como Marvin Minsky, é apenas uma questão de tempo até que as máquinas ultrapassem a inteligência humana (Lima Filho, 2010). Para outros, como Searle, essa ideia é apenas uma ilusão técnica (Searle, 1980).

Em resumo, entender a diferença entre elas é fundamental para conhecer os limites atuais da tecnologia, assim como para prever os desafios éticos e sociais que virão com seu desenvolvimento. Esse entendimento é ainda mais importante em países como o Brasil, onde a adoção de novas tecnologias precisa ser feita com uma gestão inclusiva e responsável (Barbosa; Portes, 2023).

## 2.5 Modos de aprendizado da inteligência artificial

A abordagem automatizada tem se mostrado uma ferramenta estratégica no aprimoramento da mobilidade urbana, atuando em áreas como gestão de tráfego, planejamento urbano e transporte público. Entre os pilares do funcionamento da IA

estão os diferentes modos de aprendizado: supervisionado, não supervisionado, semissupervisionado e por reforço. Cada um deles possui características próprias que influenciam diretamente nas aplicações e resultados gerados no contexto urbano.

### 2.5.1 Aprendizado supervisionado

No aprendizado supervisionado, a IA é treinada com dados rotulados, ou seja, entradas e saídas previamente definidas. Essa abordagem é amplamente utilizada para prever padrões de tráfego com base em dados históricos. Segundo Pereira (2018), “a aplicação de ferramentas de antecipação de fluxo em sistemas de transporte pode ajudar a antecipar congestionamentos e otimizar rotas, melhorando a eficiência do tráfego”.

### 2.5.2 Aprendizado não supervisionado

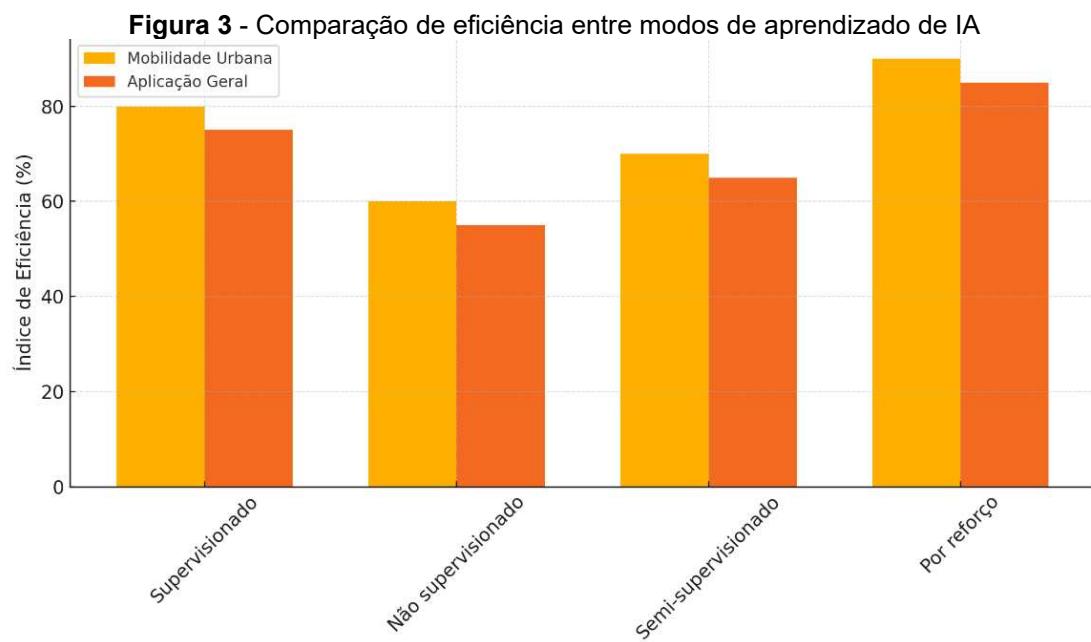
O aprendizado não supervisionado utiliza dados sem rótulos para identificar padrões ocultos ou agrupamentos. Essa técnica pode ser útil para segmentar usuários do transporte público com base em seus comportamentos. Zatti *et al.* (2022) afirmam que “a análise de dados não supervisionada pode revelar insights sobre o uso do transporte público, permitindo que as autoridades ajustem os serviços de acordo com as necessidades dos usuários”.

### 2.5.3 Aprendizado semissupervisionado

Combinando dados rotulados e não rotulados, o aprendizado semissupervisionado é eficaz quando a rotulagem de dados é limitada ou custosa. Essa abordagem permite melhorar a análise de dados de sensores e câmeras no trânsito. Costa, Filho e Bottentuit (2019) destacam que “essa técnica pode ser utilizada para aprimorar a detecção de padrões de tráfego e a identificação de áreas críticas que necessitam de intervenções”.

## 2.5.4 Aprendizado por reforço

Nesse método, a IA aprende com base em tentativa e erro, interagindo com o ambiente e recebendo recompensas ou punições. É ideal para sistemas de controle de tráfego (Figura 3), como semáforos com controle dinâmico. Zuin (2021) afirma que semáforos com gestão em tempo real podem usar aprendizado por reforço para aprender com o movimento dos carros e ajustar os tempos de sinal conforme o trânsito. Isso ajuda a deixar o tráfego mais organizado e a reduzir os congestionamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Zatti *et al.* (2022), Pereira (2018) e Costa, Filho e Bottentuit (2019)

A Figura 3 compara a eficiência dos principais tipos de aprendizado dos sistemas baseados em IA em dois cenários: mobilidade urbana e outras aplicações em geral. No contexto da mobilidade, o aprendizado por reforço se destaca, alcançando cerca de 90% de eficiência, devido à sua capacidade de adaptação rápida e de aprendizado por meio de recompensas, sendo bastante útil na gestão de tráfego e no controle de sistemas semafóricos automatizados.

O aprendizado supervisionado também apresenta bom desempenho, com 80%, por sua habilidade em prever situações com base em dados anteriores. Por outro lado, os métodos semissupervisionado e não supervisionado mostram resultados menores (70% e 60%), sendo mais indicados para tarefas de apoio, como a análise

de perfis de usuários e identificação de comportamentos no transporte público. Esses resultados reforçam a importância de escolher o tipo de aprendizado de acordo com o problema e a quantidade de dados disponíveis, buscando sempre maior eficiência nas soluções de mobilidade urbana.

A aplicação de ferramentas analíticas desempenha papel fundamental na transformação da mobilidade urbana, ao viabilizar a automação das decisões e a análise de dados em tempo real. Esse tipo de abordagem potencializa a eficiência e a segurança dos sistemas de transporte, otimizando o fluxo e a gestão das operações. No entanto, a adoção dessas tecnologias enfrenta obstáculos importantes, como questões técnicas e éticas, a necessidade de qualificação dos profissionais envolvidos e a formulação de políticas públicas que incentivem e regulamentem sua implementação (Silva e Andrade, 2022).

## **2.6 Aplicações gerais da inteligência artificial em diferentes setores**

A tecnologia tem se consolidado como um recurso estratégico em diversas esferas da sociedade contemporânea, contribuindo diretamente para a automação de tarefas, aprimoramento na tomada de decisões e maior eficiência nos processos. Sua aplicação abrange setores como saúde, finanças, indústria, comércio e educação, oferecendo soluções para demandas complexas, elevando a produtividade e promovendo serviços mais alinhados às necessidades dos cidadãos. A Tabela 7, a seguir, sintetiza as principais aplicações tecnológicas e os impactos positivos decorrentes em cada área (Ferreira & Martins, 2023).

**Tabela 7 - Aplicações da IA por setor**

<b>Setor</b>	<b>Aplicações principais</b>
Saúde	Diagnóstico por imagem, previsão de doenças, tratamento
Finanças	Detecção de fraudes, análise de crédito, gestão de riscos
Indústria	Manutenção preditiva, automação de processos
Varejo	Recomendadores, gestão de estoque, análise de comportamento
Educação	Plataformas adaptativas, avaliação automatizada, tutoria virtual

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Otimizar.me (2024), Datacamp (2023) e EPMA (2023)

O sistema autônomo tem papel fundamental na melhoria de processos e na tomada de decisões com base em grandes dados. Os algoritmos de ferramentas de antecipação de fluxo se destacam por ampliar a capacidade da IA ao antecipar comportamentos, eventos e necessidades (Gallent-Torres *et al.*, 2023).

## 2.7 Aplicações práticas da inteligência artificial na mobilidade urbana

### 2.7.1 Algoritmos preditivos

Os algoritmos preditivos fazem parte da área de estudo de tecnologia cognitiva e têm como principal função prever situações futuras com base na análise de dados do passado. De acordo com Costa Júnior *et al.* (2023), esses algoritmos utilizam métodos de aprendizado de máquina (*machine learning*) e aprendizado profundo (*deep learning*) para identificar padrões, realizar interpretações e ajudar na tomada de decisões de forma automática.

Esse processo compreende a coleta e o tratamento de grandes quantidades de dados, o desenvolvimento de modelos e a utilização dessas previsões. No caso da mobilidade urbana, essas ferramentas são fundamentais para prever o fluxo de veículos, identificar pontos de congestionamento e orientar ações de forma rápida e eficiente (Silva *et al.*, 2023). A Tabela 8 resume as diferenças entre as principais abordagens de IA utilizadas.

**Tabela 8** - Diferença entre Machine Learning e Deep Learning

Característica	Machine Learning (ML)	Deep Learning (DL)
Tipo de dados	Estruturados	Não estruturados (imagens, sons, vídeos)
Extração de características	Manual	Automática
Complexidade dos modelos	Menor	Maior
Volume de dados necessário	Moderado	Alto
Poder computacional	Moderado	Elevado
Interpretação dos resultados	Mais fácil	Mais difícil

Fonte: Adaptado de Coursera (2023) e Google Cloud (2024)

### 2.7.1.1 Aplicação de modelos preditivos de fluxo na mobilidade urbana

Diversos estudos demonstram a eficácia das ferramentas de antecipação de fluxo no gerenciamento de tráfego urbano (Tabela 9). Em São Paulo, a aplicação do modelo Sistemas Preditivos Dinâmicos Espaciais (SPDE), aliado a dados georreferenciados e meteorológicos, permitiu prever com 87,4% de acurácia os pontos críticos de acidentes (Melonio, 2021). Já em Campina Grande, a combinação de dados de bilhetagem eletrônica com o método de "viagem espelho" resultou em uma redução de até 18% nos congestionamentos nos horários de pico (Araújo, 2024).

**Tabela 9** - Comparativo entre Cidades que Implementaram Modelos Preditivos

Cidade	Tipo de IA Aplicada	Acurácia (%)	Investimento (R\$ milhões)	Redução de Congestionamento (%)
São Paulo	SPDE + Georreferenciamento	87,4	2,8	22
Campina Grande	Viagem Espelho + OD	81,2	1,2	18
Brasília	YOLO (Visão Computacional)	75,0	3,5	14
Londres	ML + Big Data	90,1	22,0	30
Xangai	DL + Sensores IoT	88,7	18,4	27

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos estudos analisados (2021 – 2024)

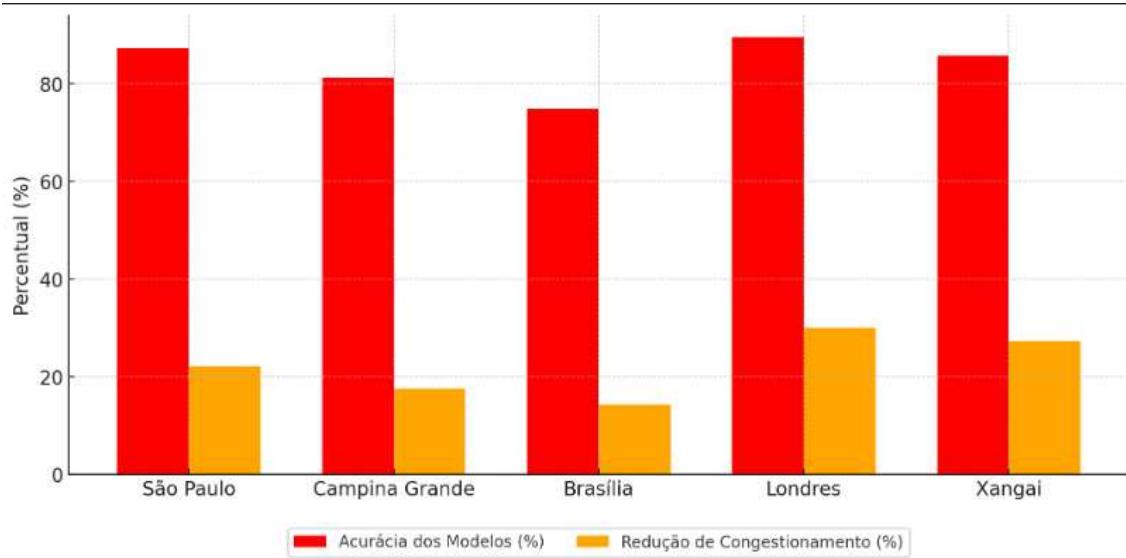
Em Brasília, foi implementado um sistema baseado em visão computacional utilizando a arquitetura YOLO para detectar aglomerações na Rodoviária do Plano Piloto. Apesar das limitações causadas por imagens de baixa resolução, a redistribuição de passageiros proporcionou uma redução de 14% nos pontos críticos de sobrecarga (Barbosa, 2024).

Outros exemplos internacionais incluem Xangai, que investiu aproximadamente R\$ 18,4 milhões em sensores IoT e modelos de *deep learning*, obtendo significativa melhora na eficiência viária (Nagaraj *et al.*, 2022), e Londres, que alcançou redução de 30% no congestionamento com uso de *big data* e *machine learning*.

Apesar dos resultados promissores, esses modelos exigem planejamento estratégico, qualificação técnica e investimentos contínuos. Com isso, sua aplicação deve considerar a realidade local, incluindo a capacidade institucional, a disponibilidade de dados em tempo real e a maturidade digital dos municípios (Caragliu *et al.*, 2011; Djahel *et al.*, 2014; Borges, 2017).

A Figura 4 a seguir compara a acurácia dos modelos de IA com os percentuais de redução de congestionamento nos sistemas de transporte urbano estudados:

**Figura 4 - Gráfico Comparativo: Acurácia e Redução de Congestionamento**



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados de Zatti *et al.* (2022), Pereira (2018) e Costa, Filho e Bottentuit (2019)

### 2.7.2 Semáforos inteligentes

Os sistemas semafóricos automatizados representam uma aplicação direta da inteligência artificial na mobilidade urbana. Eles consistem em sistemas que monitoram, analisam e respondem ao fluxo de veículos em tempo real, por meio de sensores, câmeras, algoritmos e redes de comunicação, ajustando automaticamente os tempos semafóricos conforme a demanda do tráfego local (Cavalheiro, 2021, p. 75).

Esses sistemas são exemplos de IA fraca, pois atuam em tarefas específicas com base em algoritmos pré-programados e aprendizado supervisionado, sem apresentar autonomia ou consciência própria (San Miguel, 2024, p. 32). A maioria dos projetos utiliza redes neurais convolucionais e modelos como o *You Only Look Once*

(YOLOv5), que permitem a identificação em tempo real de veículos por meio de imagens captadas por câmeras urbanas (San Miguel, 2024, p. 33).

Em cidades brasileiras, conforme a Tabela 10, os semáforos programáveis foram testados e analisados, como no caso de São Paulo, onde a tecnologia foi inicialmente adotada na década de 1980, mas seu uso foi descontinuado devido a fatores como manutenção inadequada e dificuldades administrativas. Ainda assim, estudos recentes apontam a viabilidade de reintroduzir o sistema, especialmente com a adoção de sensores mais modernos e integração com redes de comunicação veicular (Cavalheiro, 2021, p. 76-78).

Na cidade de Piura, no Peru, um estudo de 2023 demonstrou que a implementação de semáforos programável simulados no software Synchro V11 resultou na otimização do fluxo veicular, com melhorias observadas nos tempos de espera e nas taxas de fluidez do tráfego (Ramos; Vilchez, 2023, p. 50-57).

Outro estudo de caso recente foi realizado por San Miguel (2024), que desenvolveu um sistema de coordenação de semáforos baseado em IA utilizando YOLOv5 e OpenCV. O sistema foi capaz de avaliar níveis de congestionamento por direção e ajustar os tempos semafóricos dinamicamente, priorizando fluxos mais densos e reduzindo os tempos de espera nos cruzamentos urbanos (San Miguel, 2024, p. 33).

Na região amazônica brasileira, cidades vêm adotando soluções de mobilidade urbana baseadas em IA, com a sinalização viária inteligente integrados ao SIG. Essas tecnologias coletam e processam dados em tempo real sobre o fluxo de veículos, sendo integradas a plataformas de gerenciamento urbano e gerando respostas adaptativas para cada cenário (Pereira; Fujita; Oliveira, 2024, p. 4).

Na cidade de Barcelona, o uso de SIG e sistemas de representação do conhecimento permite a coleta de dados por sensores distribuídos nas vias, que alimentam algoritmos capazes de ajustar automaticamente os tempos dos semáforos, além de informar motoristas e pedestres sobre as melhores rotas disponíveis (Pereira; Fujita; Oliveira, 2024, p. 5).

**Tabela 10** - Aplicações recentes de semáforos inteligentes baseados em IA (2021 – 2024)

Cidade/Local	Tecnologia utilizada	Resultados principais	Fonte
São Paulo (SP, Brasil)	Semáforo adaptativo + sensores + revisão de políticas	Viabilidade técnica comprovada para reativação	Cavalheiro (2021)
Piura (Peru)	Simulação com Synchro V11 e ajustes de ciclos	Otimização de fluxo em interseções críticas	Ramos e Vilchez (2023)
Barcelona (Espanha)	SIG + sensores urbanos + plataforma central	Ajuste em tempo real de semáforos e rotas	Pereira, Fujita e Oliveira (2024)
Amazônia (Brasil)	Semáforo inteligente + serviços integrados	Melhor cobertura de tráfego e conectividade regional	Pereira, Fujita e Oliveira (2024)
Argentina (projeto piloto)	YOLOv5 + OpenCV + coordenação dinâmica	Redução de espera e maior eficiência nos cruzamentos	San Miguel (2024)

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos estudos de Cavalheiro (2021)

Com base no estudo de caso da cidade de São Paulo, é possível ter uma ideia aproximada dos custos envolvidos (Tabela 11) na implantação de semáforos automatizados:

**Tabela 11** - Custos da Implantação de Semáforos Inteligentes em São Paulo

Item de Custo	Estimativa*
Controlador semafórico inteligente	R\$ 25.000 a R\$ 35.000 por unidade
Câmeras e sensores de detecção	R\$ 10.000 a R\$ 15.000 por ponto
Infraestrutura de fibra óptica	R\$ 180.000 por quilômetro de via urbana
Software de controle e licenciamento	R\$ 500.000 a R\$ 2.000.000 (por cidade)
Custo de manutenção anual	15% a 20% do valor do projeto total

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos estudos de Cavalheiro (2021)

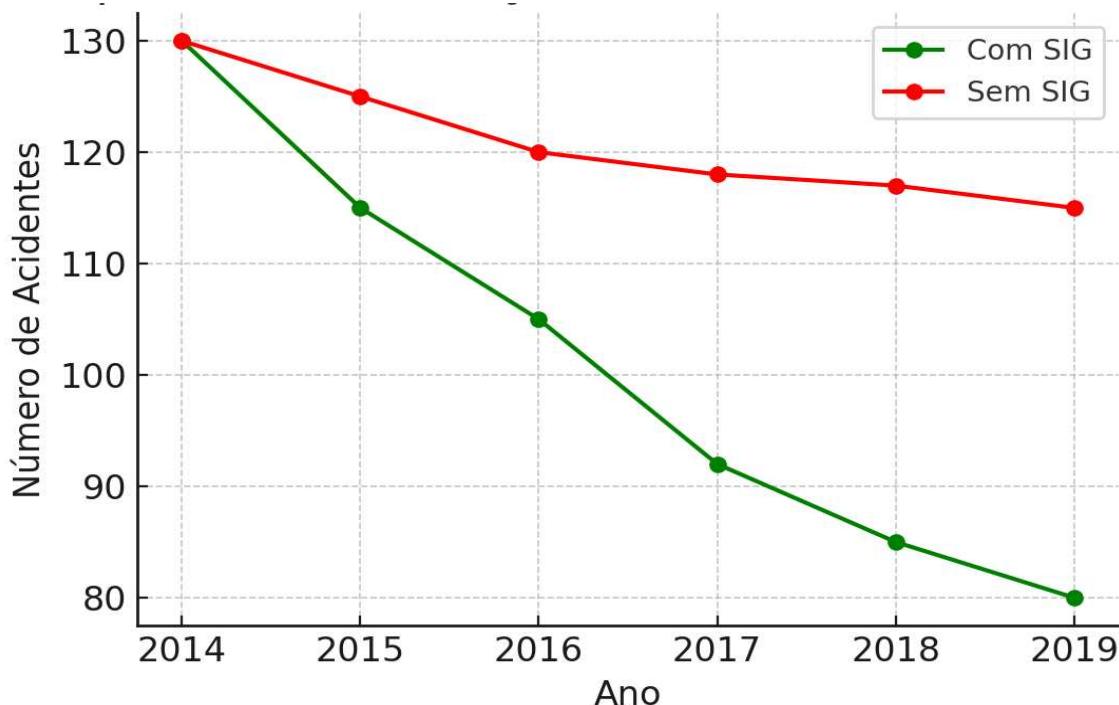
### 2.7.3 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O SIG é uma tecnologia que permite capturar, armazenar, manipular, analisar e apresentar dados geograficamente referenciados. Ele integra camadas de informações espaciais com dados quantitativos e qualitativos, oferecendo suporte à tomada de decisão em diversos setores, especialmente no planejamento urbano e na mobilidade. Ao transformar dados complexos em mapas e análises visuais, o SIG proporciona uma compreensão mais precisa e estratégica dos territórios urbanos e suas dinâmicas, sendo essencial para intervenções eficientes e sustentáveis (Rocha e Rocha, 2022).

A adoção de SIG no planejamento da mobilidade urbana constitui um avanço estratégico na transformação de dados brutos em informações qualificadas, capazes de sustentar políticas públicas eficazes. Conforme destacam Rocha e Rocha (2022), a integração dos Sistemas de Informação Geográfica com a análise espacial é fundamental, especialmente em regiões onde há escassez ou ausência de mapas atualizados. Essa combinação permite que gestores e planejadores urbanos obtenham informações precisas sobre o território, mesmo em locais que não contam com dados cartográficos organizados. Com isso, torna-se possível tomar decisões mais seguras e fundamentadas, contribuindo para intervenções mais eficazes nas cidades.

Um estudo relevante, mostrado na Figura 5, conduzido por Legramanti (2021), no município de Pato Branco-PR, empregou técnicas de Estimativa de Densidade Kernel (KDE) dentro de uma plataforma SIG para identificar áreas críticas em relação aos acidentes de trânsito. O método possibilitou intervenções direcionadas, sustentadas em evidências espaciais, resultando em uma redução significativa dos índices de sinistros viários. Essa abordagem demonstrou ser mais eficiente que os métodos tradicionais, os quais frequentemente se baseiam em relatórios textuais ou planilhas que carecem de representatividade espacial (Legramanti, 2021).

**Figura 5 - Comparativo de acidentes com e sem o uso de SIG**



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Legramanti (2021)

Segundo Ayala Filho e Lopes (2020), o Sistemas de Informação Geográfica aplicados ao Transporte (SIG-T) possibilita a execução de análises como acessibilidade ao transporte coletivo, caminhos mínimos e previsão de demanda. A aplicação dessas ferramentas em Joinville (SC) comprovou que SIGs *open source* como QGIS podem cumprir todas as etapas do planejamento de transportes com resultados satisfatórios, eliminando a dependência de softwares comerciais onerosos (Ayala Filho; Lopes, 2020).

Além de sua aplicação em acidentes, o SIG permite a integração com bases censitárias e demográficas para calcular índices como o de acessibilidade espacial. Em Joinville, a análise de cobertura de transporte público revelou áreas críticas com mais de 30% da população fora da cobertura ideal de 300 metros até o ponto de ônibus, conforme preconizado por Ferraz e Torres (2004) e Costa (2008). Com isso, gestores públicos puderam remanejar linhas e criar novas rotas com base em critérios científicos.

A análise comparativa entre municípios que adotaram SIG em seus planejamentos urbanos e os que não adotaram revela um padrão claro de superioridade técnica, econômica e operacional das cidades que investem na geotecnologia. Segundo dados do IBGE e do Ministério do Desenvolvimento Regional

(2020), essas cidades apresentam uma eficiência até 40% superior na aplicação de recursos voltados à mobilidade. A aplicação de SIGs, portanto, não é uma opção, mas uma necessidade para o enfrentamento de problemas urbanos contemporâneos.

Em relação aos custos de implantação, segundo relatório da ESRI (2022), o software ArcGIS possui licenças anuais que podem ultrapassar R\$ 15.000,00 por usuário. Em contrapartida, o QGIS, sendo *open source*, elimina esse custo, permitindo a alocação de recursos em capacitação técnica e aquisição de equipamentos. Legramanti (2021) apontou que o uso de SIG gratuito reduziu os custos operacionais em até 40% no projeto de mobilidade urbana de Pato Branco.

Como demonstrado, segundo Ayala Filho e Lopes (2020) o SIG é um instrumento decisivo na formulação de políticas públicas mais inteligentes, inclusivas e baseadas em evidências. Sua aplicação transcende a simples visualização geográfica, passando a incorporar elementos da tecnologia de análise e modelagem preditiva, o que o torna indispensável para qualquer estratégia moderna de mobilidade urbana.

## **2.8 Limitações éticas, técnicas e políticas da inteligência artificial**

As tecnologias digitais têm ganhado espaço nas cidades como ferramentas essenciais para aprimorar a mobilidade urbana. Soluções como inteligência artificial, sensores inteligentes e sistemas de geolocalização têm contribuído para o planejamento do trânsito, a previsão de horários de pico e a sugestão de rotas mais eficientes, promovendo deslocamentos mais rápidos e sustentáveis. Segundo o Portal do Trânsito, essas inovações estão transformando a forma como nos movimentamos, integrando dados em tempo real para melhorar a gestão viária e o transporte público.

No campo ético, uma das maiores preocupações está na privacidade dos cidadãos. Para operar corretamente, a IA precisa coletar muitos dados, como localização, horários e trajetos. Isso pode acabar expondo informações pessoais dos usuários. Conforme apontam Gallent-Torres, Zapata-González e Ortego-Hernando (2023), é essencial garantir que esses dados sejam tratados com segurança, sem invadir a privacidade das pessoas.

Outro ponto ético é a forma como as decisões são tomadas pelos sistemas automáticos. Por exemplo, em um cruzamento controlado por IA, o sistema pode definir qual rua terá mais tempo no sinal verde. Entretanto, tais decisões podem estar

sujeitas a vieses, especialmente quando baseadas em dados desbalanceados e podem acabar prejudicando áreas com menos infraestrutura. Zabala Leal (2021) destaca que, se a IA for treinada com dados injustos ou incompletos, pode reforçar desigualdades sociais já existentes.

Na parte técnica, a IA ainda apresenta limitações importantes. Os sistemas nem sempre funcionam bem em situações novas ou inesperadas. Gallent-Torres, Zapata-González e Ortego-Hernando (2023) explicam que, por trabalhar com base em probabilidades, a IA pode cometer erros e gerar resultados incorretos. Em decorrência disso, tudo depende da qualidade dos dados usados no treinamento: se forem ruins ou incompletos, a IA terá dificuldade para tomar decisões corretas.

No Brasil, há também limitações políticas e legais. Segundo Rangel (2024), o país ainda não possui uma lei específica sobre o uso da IA, o que dificulta o controle e a fiscalização dessas tecnologias em áreas como a mobilidade urbana. Isso pode abrir espaço para abusos, como o uso inadequado de dados ou a implantação de sistemas sem a análise adequada dos impactos sociais.

No cenário internacional, já existem algumas iniciativas para tratar dessas questões. A Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), por exemplo, propõe que a IA seja sempre usada com responsabilidade, respeitando os direitos humanos e contando com supervisão humana constante (Flores-Vivar; García-Péñalvo, 2023).

Atualmente, organizações internacionais como a UNESCO e a União Europeia já propuseram diretrizes e leis para regulamentar o uso da inteligência artificial. A Recomendação da UNESCO de 2021 destaca princípios como o respeito aos direitos humanos, a justiça e a supervisão humana no desenvolvimento e aplicação da IA (Flores-Vivar; García-Péñalvo, 2023). Já a União Europeia classifica a IA como uma tecnologia de alto risco e apresenta normas específicas para garantir segurança, transparência e controle humano sobre sistemas automáticos (Flores-Vivar; García-Péñalvo, 2023). Essas propostas buscam organizar o uso da IA em diferentes áreas, como a mobilidade urbana.

### 3 METODOLOGIA

(IA) à mobilidade urbana. A pesquisa foi conduzida conforme as seguintes etapas:

#### 3.1 Definição do escopo e estratégia de busca

Inicialmente, foi delimitado o escopo da revisão com base nos objetivos do trabalho. As buscas foram realizadas em bases de dados. Serão utilizados descritores e operadores booleanos, como:

- "*Inteligência Artificial*" AND "*Mobilidade Urbana*"
- "*Artificial Intelligence*" AND "*Urban Mobility*"
- "*Smart Traffic*" OR "*Predictive Algorithms*" OR "*Intelligent Transport Systems*"

Serão priorizadas publicações entre os anos de 2020 e 2025, a fim de garantir a atualidade das tecnologias analisadas.

#### 3.2 Seleção e análise do material

A seleção dos materiais seguirá critérios de inclusão (relevância temática, atualidade, rigor científico) e exclusão (duplicidade, falta de relação com o tema, caráter opinativo sem base empírica). Serão considerados artigos científicos, dissertações, teses e livros.

O conteúdo será analisado por meio de categorização temática, permitindo a organização dos dados em eixos como:

- Tecnologias de IA aplicadas à mobilidade urbana;
- Impactos e benefícios observados;
- Desafios e limitações;
- Estudos de caso relevantes.

Foram analisados 50 publicações onde 25 foram excluídas.

### **3.3 Síntese e interpretação dos resultados**

Os dados extraídos serão comparados, integrados e discutidos à luz da literatura científica, buscando-se evidenciar padrões, lacunas e perspectivas futuras. Será adotada a técnica de triangulação entre diferentes fontes e abordagens para ampliar a confiabilidade dos achados.

São apresentadas recomendações práticas e proposições temáticas destinadas a futuras investigações acadêmicas, com vistas à construção de soluções inteligentes, sustentáveis e eficazes para a mobilidade urbana.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Condições para a implementação da IA nas cidades

De acordo com Barbosa e Portes (2023), a efetividade da IA depende de infraestrutura tecnológica, capacitação técnica e acesso a dados confiáveis. Por exemplo, cidades como Londres e Xangai, analisadas por Nagaraj *et al.* (2022), conseguiram reduzir entre 27% e 30% os congestionamentos após a adoção de modelos preditivos e sistemas inteligentes de controle de tráfego. Esses avanços foram possíveis graças ao investimento contínuo em sensores, big data e infraestrutura de comunicação.

Em contrapartida, municípios de médio porte, como Campina Grande e Pato Branco, apresentaram resultados mais modestos, com redução de congestionamentos na ordem de 14% a 18% (Araújo, 2024; Legramanti, 2021). Essa diferença está relacionada à limitação de recursos tecnológicos e à menor integração entre os órgãos gestores do trânsito.

### 4.2 Comparação entre tecnologias adotadas

Uma comparação, na Tabela 12, direta entre as tecnologias analisadas revela que os modelos preditivos apresentam maior potencial de impacto na redução de congestionamentos, enquanto os semáforos inteligentes têm se mostrado mais eficientes na otimização da circulação viária local. Já os SIG destacam-se por oferecer suporte estratégico ao planejamento de longo prazo, especialmente na identificação de áreas críticas.

**Tabela 12** - Principais resultados de cada tecnologia

<b>Tecnologia</b>	<b>Redução Média de Congestionamento (%)</b>	<b>Benefício Principal</b>	<b>Limitação Identificada</b>
Modelos Preditivos	22%	Antecipação de pontos críticos	Alta dependência de dados de qualidade
Semáforos Inteligentes	18%	Otimização local do tráfego	Custo de manutenção elevado
SIG integrado à IA	15%	Planejamento urbano estratégico	Necessidade de capacitação técnica

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Nagaraj *et al.* (2022), Araújo (2024), Legramanti (2021) e Ramos e Vilchez (2023)

#### 4.3 Análise crítica das lacunas na literatura

Durante a análise, foi possível perceber algumas lacunas importantes nas pesquisas atuais. Primeiramente, poucos estudos abordam a eficácia da IA em cidades de pequeno porte ou em regiões periféricas, que muitas vezes enfrentam maiores desafios de mobilidade. A maioria dos trabalhos concentra-se em metrópoles com maior capacidade tecnológica.

Outro ponto de atenção é a falta de avaliações de longo prazo sobre os impactos socioambientais das tecnologias de IA no tráfego urbano, conforme destacam Gallent-Torres, Zapata-González e Ortego-Hernando (2023). A maioria das pesquisas limita-se a resultados imediatos, como a diminuição dos engarrafamentos, mas não explora efeitos indiretos, como deslocamento de fluxos para outras áreas ou impactos sociais.

Além disso, há uma escassez de estudos nacionais que avaliem o desempenho de tecnologias de IA considerando o contexto regulatório brasileiro, como a ausência de uma política nacional de governança algorítmica (Rangel, 2024).

#### **4.4 Considerações sobre custo-benefício e sustentabilidade**

A comparação entre diferentes cidades do Brasil e do exterior mostra que o custo para implementar soluções de tecnologia cognitiva pode variar bastante. Essa variação está ligada ao grau de complexidade das redes urbanas em cada local, ou seja, quanto maior a complexidade, maior tende a ser o investimento necessário. Estudos realizados por Cavalheiro (2021) e por Ayala Filho e Lopes (2020) confirmam essa relação e destacam que é importante considerar essas diferenças para planejar projetos de forma adequada. Por conseguinte, essa análise ajuda a entender que não existe uma solução única para todas as cidades, pois cada uma apresenta desafios e necessidades específicas que influenciam os custos.

Para municípios que enfrentam limitações financeiras, Legramanti (2021) demonstra que ferramentas com base no SIG podem reduzir custos operacionais em até 40% no contexto da mobilidade urbana. Rocha e Rocha (2022), indicam que essa estratégia pode reduzir os custos iniciais e também os custos operacionais em até 40%. Isso é possível sem perder a qualidade das análises e das decisões baseadas nesses sistemas. Dessa forma, essa alternativa oferece uma relação otimização de recursos favorável, viabilizando a adoção de tecnologias modernas mesmo em municípios com restrições orçamentárias

#### **4.5 Resultados estratégicos da aplicação da IA na mobilidade urbana**

Os estudos revisados evidenciam que o processamento inteligente de dados tem se consolidado como uma ferramenta estratégica na gestão da mobilidade urbana, especialmente em cenários de alta complexidade viária. A adoção de sistemas de previsão, controle adaptativo de tráfego e SIG tem proporcionado resultados práticos na melhoria da fluidez do tráfego, na redução de acidentes e na otimização dos serviços de transporte coletivo.

Além de benefícios operacionais, a IA também tem potencial para transformar a formulação de políticas públicas ao permitir uma gestão baseada em evidências. Essa capacidade de análise em tempo real tem possibilitado intervenções mais rápidas e eficientes, como apontam os estudos de Nagaraj *et al.* (2022) sobre Londres e Melonio (2021) no contexto de São Paulo. No entanto, apesar dos avanços observados, a adoção de tais tecnologias ainda apresenta variações significativas

entre diferentes contextos urbanos. Cidades com infraestrutura limitada ou com deficiência na integração institucional ainda enfrentam dificuldades na adoção de soluções tecnológicas complexas.

A literatura destaca, portanto, que a IA não é uma solução isolada, mas parte de um conjunto de medidas que precisam estar alinhadas a políticas de mobilidade, infraestrutura tecnológica e capacitação de recursos humanos.

#### **4.6 Implicações sociais e éticas da inteligência artificial na mobilidade urbana**

O avanço da Inteligência Artificial (IA) no contexto da mobilidade urbana tem promovido transformações profundas, especialmente na gestão do trânsito, na segurança viária e na eficiência operacional dos sistemas de transporte. Estudos demonstram que a adoção de tecnologias baseadas em IA pode contribuir significativamente para a redução de congestionamentos, otimização de rotas e melhoria da fluidez no tráfego urbano (Nagaraj *et al.*, 2021; Shaheen & Cohen, 2019).

Uma das principais discussões éticas refere-se ao uso massivo de dados sensíveis para alimentar algoritmos de tráfego. Esses sistemas coletam informações sobre deslocamentos, padrões de comportamento e localização dos usuários. Conforme Dignum (2019), a ausência de uma governança robusta sobre esses dados pode resultar em violações de privacidade, além de permitir usos indevidos por entidades públicas ou privadas.

Além disso, a distribuição desigual da infraestrutura tecnológica tende a intensificar disparidades urbanas. Segundo Ravagnani *et al.* (2022), tecnologias como veículos autônomos, sensores inteligentes e sistemas de previsão geralmente são implementados em regiões centrais e economicamente favorecidas, marginalizando bairros periféricos e populações de baixa renda no acesso as vantagens proporcionadas pelo sistema autônomo.

Outro aspecto crítico é a possibilidade de os algoritmos reproduzirem ou até amplificarem preconceitos e discriminações. Estudos apontam que, quando os dados históricos utilizados pelos sistemas refletem desigualdades sociais, os algoritmos podem perpetuar esses vieses, impactando negativamente grupos vulneráveis (Barros, 2023).

A automação dos sistemas de transporte também gera debates sobre impactos no mercado de trabalho. Embora promova aumento na eficiência e redução

de custos operacionais, há risco de substituição de profissionais, especialmente motoristas e operadores de trânsito, o que acarreta efeitos socioeconômicos relevantes (Adorno, 2021).

Na esfera internacional, iniciativas como a da Comissão Europeia (2019) destacam a necessidade de desenvolvimento da tecnologia baseada em princípios éticos, priorizando a supervisão humana, a segurança, a privacidade dos dados, a transparência dos algoritmos e a não discriminação. Essa abordagem é fundamental para garantir que as vantagens sejam distribuídas de maneira equitativa e que os riscos sejam mitigados.

Portanto, observa-se que a adoção da IA na mobilidade urbana exige uma reflexão crítica que transcende as questões técnicas. É necessário assegurar que essas tecnologias estejam alinhadas aos princípios de justiça social, sustentabilidade e responsabilidade ética, de forma a garantir que os avanços tecnológicos contribuam efetivamente para cidades mais inclusivas e equitativas.

#### **4.7 Reflexão final sobre os resultados**

A análise dos resultados demonstra que a utilização da ferramenta na mobilidade urbana gera impactos positivos concretos, como a diminuição de congestionamentos, a otimização do tráfego e o aprimoramento da segurança viária. Contudo, essas melhorias dependem da superação de desafios técnicos, como investimentos em infraestrutura, capacitação profissional e integração de sistemas inteligentes. Observa-se que cidades que já utilizam essas tecnologias apresentam melhorias na fluidez do trânsito e na gestão de dados.

Por outro lado, surgem desafios éticos e sociais, como privacidade, segurança de dados, transparência algorítmica e acesso desigual às tecnologias. Diante disso, é essencial que políticas públicas garantam uma implementação responsável, ética e inclusiva, assegurando que as vantagens da IA alcancem toda a população de forma justa e sustentável.

## 5 CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica teve como foco analisar a aplicação da Inteligência Artificial na mobilidade urbana, tema que vem ganhando destaque diante dos crescentes desafios enfrentados pelas cidades no gerenciamento do tráfego, na segurança viária e na busca por soluções sustentáveis de transporte. A partir da análise de estudos publicados entre os anos de 2020 e 2025, foi possível atingir todos os objetivos específicos delineados, oferecendo uma compreensão ampla sobre as tecnologias mais utilizadas, seus impactos práticos e os principais entraves enfrentados em sua implementação.

Identificou-se que as tecnologias de IA aplicadas à mobilidade urbana são bastante diversificadas e vêm sendo utilizadas com diferentes propósitos. Entre elas, destacam-se os algoritmos previsão, capazes de antecipar padrões de tráfego e permitir ações preventivas; os sistemas de controle adaptativo de tráfego, que ajustam automaticamente os tempos de sinalização com base no fluxo real de veículos; e a integração com (SIG), que potencializa o planejamento urbano ao cruzar dados espaciais com informações de trânsito em tempo real. Essas soluções têm sido amplamente adotadas em contextos urbanos de médio e grande porte, especialmente em cidades que já contam com infraestrutura tecnológica e conectividade adequada.

A literatura aponta de forma consistente para os ganhos significativos da aplicação da IA no setor. Diversos estudos relatam reduções expressivas nos congestionamentos, com variações de 22 % a 30 %, a depender do modelo adotado e das características locais. Além disso, há evidências concretas de que essas tecnologias contribuem para a diminuição de acidentes de trânsito, por meio da identificação antecipada de pontos críticos e da redistribuição mais eficiente dos fluxos de veículos. Em paralelo, os sistemas inteligentes oferecem suporte à tomada de decisão baseada em dados, permitindo que gestores públicos atuem com maior rapidez e precisão diante de situações emergenciais ou na formulação de políticas públicas.

Contudo, também foram identificados aspectos desafiadores relacionados à implementação e consolidação dessas tecnologias. Entre os principais pontos negativos apontados pela literatura, estão os altos custos iniciais de aquisição e manutenção dos equipamentos e softwares, que muitas vezes inviabilizam sua adoção em cidades de menor porte. Outro fator limitante é a dependência de dados

de qualidade, atualizados e interoperáveis, que são essenciais para o funcionamento adequado dos modelos baseados em IA. A ausência desses dados ou sua coleta inadequada pode comprometer seriamente a eficácia das soluções. Além disso, foram evidenciadas questões éticas e legais ainda pouco discutidas, como o risco de exposição de dados sensíveis dos cidadãos, a ocorrência de vieses algorítmicos em processos decisórios automatizados e a inexistência de uma regulação específica para o uso no setor público, o que gera insegurança jurídica e limita a confiança da população.

Diante desse panorama, conclui-se que a Inteligência Artificial representa uma ferramenta estratégica para a modernização e melhoria dos sistemas de mobilidade urbana, oferecendo soluções inovadoras para problemas históricos enfrentados pelas cidades brasileiras e internacionais. No entanto, para que as benfeitorias sejam efetivamente alcançadas, é necessário que sua adoção esteja inserida em uma abordagem integrada, que considere não apenas os aspectos tecnológicos, mas também os institucionais, sociais e legais. A transformação da mobilidade urbana por meio do sistema dependerá, sobretudo, da capacidade de governos, empresas e sociedade civil de trabalharem de forma colaborativa, promovendo o desenvolvimento de cidades mais inteligentes, humanas e sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA). **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2020.** Washington: EPA, 2020.
- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). **Vendas globais de veículos elétricos.** 2024. Disponível em: <<https://www.iea.org>>. Acesso em: 8 abr. 2025.
- ALMEIDA, J. R.; COSTA, M. A. Política e inteligência artificial: prováveis desafios ao contexto brasileiro. *Revista Tópicos*, v. 10, n. 2, p. 75-90, 2023. Disponível em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/politica-e-inteligencia-artificial-provaveis-desafios-ao-contexto-brasileiro>. Acesso em: 20 out. 2023.
- ARAÚJO, Lucas Alves Fidelis. **Análise dos impactos da Inteligência Artificial na mobilidade urbana em Campina Grande.** 2024.
- AYALA FILHO, G. G. M.; LOPES, S. B. **Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de planejamento de transportes para Joinville (SC).** Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.
- BANDEIRA, A. Planejamento urbano inteligente em Fortaleza. 2020.
- COSTA JÚNIOR, João Fernando *et al.* A inteligência artificial como ferramenta de apoio no ensino superior. *Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem*, v.6, p.246-269, 2023.
- BARBOSA, Guilherme Dias. **Análise de mobilidade e fluxo de usuários na Rodoviária de Brasília utilizando visão computacional.** CEUB, 2024.
- BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito. **Relatório Anual de Estatísticas de Trânsito 2023.** Brasília: DENATRAN, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/denatran/pt-br>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. **Estabelece as diretrizes para a Política Nacional de Mobilidade Urbana.** Diário Oficial da União, Brasília, 2012. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm)>. Acesso em: 8 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde.** Indicadores de acidentes de transporte terrestre. Brasília: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Rodoviários – Ano-base 2020.** Brasília: MMA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Emissões veiculares.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2024/04/Relatorio-emissoes-veiculares-2022.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

COSTA, M. D. B. **Indicadores de mobilidade urbana sustentável**. Brasília: IPEA, 2008.

DATAHUB. **Top 10 Real-Life Examples of Artificial Intelligence**. 2023. Disponível em: <https://www.datacamp.com/pt/blog/examples-of-ai>. Acesso em: 24 abr. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2025**. Disponível em: <<https://www.gov.br/participamaisbrasil/revisao-pnatrians>>. Acesso em: 5 abr. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito – RENAEST**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-estatistico>. Acesso em: 14 abr. 2025.

FOGAÇA, André. **Venda de veículos novos no Brasil tem alta de 14,1% em 2024**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/2025/01/08/venda-de-veiculos-novos-no-brasil-tem-alta-de-141percent-em-2024.ghtml>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

IBPT - Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação. **Frota efetiva de veículos no Brasil é de mais de 69 milhões, aponta estudo do IBPT**. Disponível em: <<https://www.ibpt.com.br/frota-efetiva-de-veiculos-no-brasil-e-de-mais-de-69-milhoes-aponta-estudo-do-ibpt>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Mobilidade Urbana 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 7 abr. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Emissões relativas de poluentes do transporte rodoviário de passageiros no município de São Paulo**. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td\\_1606.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td_1606.pdf). Acesso em: 18 abr. 2025.

LOS ANGELES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (LADOT). **Relatório de desempenho de mobilidade urbana**. Los Angeles, 2016.

OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES. **Relatório sobre mobilidade urbana e qualidade de vida nas metrópoles brasileiras**. Rio de Janeiro: Observatório das Metrópoles, 2021. Disponível em: <http://www.observatoriodasmetropoles.net.br>. Acesso em: 08 de abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN**. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air.** Geneva: WHO, 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Global status report on road safety 2023.** Genebra: OMS, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240068644>. Acesso em: 14 abr. 2025.

OTIMIZAR.ME. **Aplicações de Inteligência Artificial: Transformando Setores em 2025.** 2024. Disponível em: <https://otimizar.me/aplicacoes-de-inteligencia-artificial-transformando-setores-em-2025/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

SILVA, Keila Ramos da *et al.* **Inteligência artificial e seus impactos na educação: uma revisão sistemática.** RECIMA21, v.4, n.11, 2023.