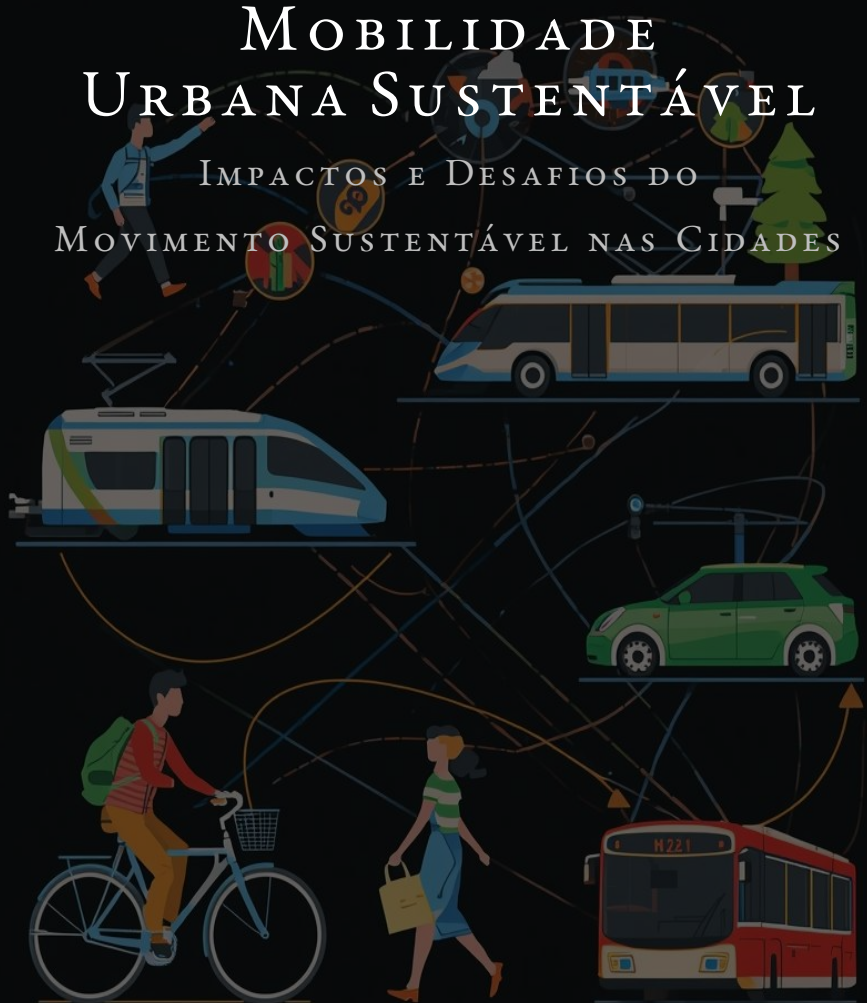


JOÃO REIS, PAULA CORREIA, RODRIGO

TOLOI E SIVANILZA MACHADO (ORG.)

GESTÃO DA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

IMPACTOS E DESAFIOS DO
MOVIMENTO SUSTENTÁVEL NAS CIDADES



NAPOLE

JOÃO REIS, PAULA CORREIA, RODRIGO TOLOI E SIVANILZA MACHADO (ORG.)

GESTÃO DA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

IMPACTOS E DESAFIOS DO
MOVIMENTO SUSTENTÁVEL NAS CIDADES

NAPOLE

Primera edição, 2026

Copyright © 2026 João Reis, Paula Correia, Rodrigo Toloi e Sivanilza Machado (Org.)

Todo o conteúdo desta publicação está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição-SemDerivações-SemDerivados 4.0 Internacional. Você está autorizado a compartilhar, copiar e redistribuir o material em qualquer formato ou meio, desde que atribua crédito ao autor original, não modifique o conteúdo de nenhuma forma e não utilize este trabalho para fins comerciais. Para mais detalhes sobre os termos desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.



Publicado por NAPOLE - Núcleo Avançado de Produção, Operações, Logística e Estratégia (ISBN: 9786502217887 e DOI: 10.5281/zenodo.21296074)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Gestão da mobilidade urbana sustentável [livro eletrônico] : impactos e desafios do movimento sustentável nas cidades / organização João Gilberto Mendes dos Reis...[et al.]. -- São Paulo : Ed. dos Autores, 2026.
PDF

Vários autores

Outros organizadores: Paula Ferreira da Cruz Correia, Rodrigo Carlo Toloi, Sivanilza Teixeira Machado.

Bibliografia.

ISBN 978-65-02-21788-7

1. Cidades 2. Engenharia 3. Logística
4. Mobilidade urbana 5. Sustentabilidade I. Reis, João Gilberto Mendes dos. II. Correia, Paula Ferreira da Cruz. III. Toloi, Rodrigo Carlo. IV. Machado, Sivanilza Teixeira.

26-375666.0

CDD-388.4

Índices para catálogo sistemático:

1. Mobilidade urbana 388.4

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

DEDICATÓRIA

ESTE livro é dedicado a todos que acreditam em uma mobilidade urbana mais humana, inclusiva, segura e sustentável.

APRESENTAÇÃO

A INQUIETAÇÃO para a organização deste livro surge com discussões profundas entre pesquisadores da área de Engenharia de Produção, mas com diferentes perspectivas sobre os avanços da (des)governança da mobilidade urbana, que têm afetado milhões de cidadãos que vivem em áreas conurbadas, como as Regiões Metropolitanas.

As pessoas revolucionaram as formas de produção, de consumo, de comunicação e de locomoção, buscando meios de facilitar a realização de suas tarefas cotidianas. As inclinações para atender às demandas da sociedade por mobilidade têm levado ao crescimento do transporte individual como modo principal de locomoção de curtas distâncias, como complemento do transporte público de passageiros ou, em alguns casos, sua substituição, consequentemente, gerando diversos impactos negativos no meio urbano.

De forma despretensiosa, mas com interesse genuíno sobre a problemática da mobilidade urbana, os pesquisadores se reuniram em busca de uma forma de expressar “suas inquietações”. Portanto, se os pensamentos são os “ingredientes” para fomentar a discussão sobre o tema, este livro é o “recipiente” que recebe e dissemina não só palavras, mas sentimentos compartilhados.

Este livro está estruturado em 12 capítulos independentes que discorrem sobre a mobilidade ativa, a micromobilidade, moderação e espaço urbano, segurança viária, transição energética, eletrificação e transporte coletivo, sustentabilidade e logística urbana. Assim, o leitor pode rea-

lizar a sua leitura sem observar a precedência de capítulos, seguindo a ordem que melhor lhe interesse no momento.

Cada capítulo reflete a ótica dos autores e não dos organizadores, sendo totalmente adequado à problemática multifacetada da mobilidade. Uma obra multidisciplinar envolvendo profissionais de diversas áreas: administração, ciências biológicas, ciências econômicas, engenharia civil, engenharia de produção, engenharia metalúrgica, engenharia química, gestão financeira, gestão pública, gestão de cidades e planejamento urbano, história, logística, transportes, naturologia, processos gerenciais, produção industrial, psicologia, entre outras.

Este livro não teria alcançado sua estrutura e qualidade se não fosse o envolvimento, esforço e as contribuições de: Acácio Pereira de Macedo Neto, Daniele dos Santos Ramos Xavier, Davi de Albuquerque Gomes, Deise Mara do Nascimento, Dircelene Teixeira do Nascimento, Fabrício Henrique do Nascimento da Silva, Gabriel Santos Rodrigues, Hécio Raymundo, Izolina Margarida de Souza, João Gilberto Mendes dos Reis, Joel Porto Alves, Julio Raymundo, Márcio José Padovan de Antônio, Mirian Cristina de Moura Garrido, Paula Ferreira da Cruz Correia, Rodrigo Carlo Toloi, Rodrigo Ribeiro de Oliveira que acreditaram neste projeto.

Agradecimentos se estendem a todos que, direta ou indiretamente, incentivaram a ideia e apoiaram sua concretização.

Sivanilza Machado

PREFÁCIO

O MOVIMENTO É, ANTES DE TUDO, UMA CONDIÇÃO DA NATUREZA. O conceito de mobilidade urbana engloba movimento e movimentação e, ainda que pareça algo recente, já habitava a literatura técnica desde os anos de 1950.

O avanço importante foi conceituar a mobilidade urbana de forma mais generosa e abrangente, cabendo ao transporte urbano ser conceituado como meio — o que realmente é.

Assim, a mobilidade urbana pode ser entendida como a condição decorrente da movimentação de pessoas em ambientes urbanos e, portanto, pode ser melhorada ou piorada. Mobilidade urbana também pode ser definida como a possibilidade de deslocar-se de um ponto a outro. Relaciona-se, pois, à condição, possibilidade e capacidade de movimentação (locomoção, deslocamento), que será maior ou menor, melhor ou pior, de acordo com as necessidades e escolhas das pessoas e com o que as cidades oferecem em termos de infraestrutura e de meios ou modos de transporte (integrados e compartilhados), bem como suas combinações e alternativas.

O passo maior, entretanto, se deu com a definição, isto sim, já nos anos de 1980, da mobilidade urbana sustentável, considerando as necessidades futuras e buscando a manutenção da viabilidade social, econômica e ambiental por meio do uso de técnicas que permitam o reuso contínuo dos recursos. Em essência, a mobilidade urbana sustentável relaciona-se ao direito das pessoas de se deslocar nas áreas urbanas para atender às suas diferentes necessidades sem comprometer o futuro.

A mobilidade urbana está relacionada ao passado, pois sempre desempenhou um papel fundamental, mesmo quando o conceito ainda não existia, dado que os movimentos das pessoas eram considerados o sangue das cidades, correndo em suas veias (veículos e vias). Naquele tempo, prevalecia certa escassez de recursos em comparação com os dias atuais, e as necessidades humanas limitavam-se ao básico. O transporte antigo era a pé, seguido pela tração animal em infraestrutura de estradas do Império Romano, por exemplo, e, chegando ao século XX, por veículos motorizados. Atualmente, a tecnologia está transformando o transporte de passageiros com a ascensão de modos compartilhados, como bicicletas, automóveis e táxis por aplicativo (autônomos ou não), entre outros. E, mesmo que possa parecer contraditório, a caminhada e a bicicleta ganharam novo protagonismo como modos de transporte, sob a nova marca “mobilidade ativa”.

A mobilidade urbana sustentável também está relacionada ao futuro, pois as pessoas continuarão precisando se deslocar para atender às suas necessidades. Nesse sentido, na mídia, na academia e na opinião pública, o futuro da mobilidade urbana sustentável pode parecer uma ameaça relacionada ao crescimento exponencial das demandas, um desafio relacionado às oportunidades de negócios e uma esperança relacionada à fascinação pela tecnologia. Desta maneira, a mobilidade urbana sustentável poderia nos levar a novas fronteiras que, se gerenciadas democraticamente, estariam abertas a todas as classes socioeconômicas, proporcionariam eficiência multimodal e garantiriam segurança. Mas não há consenso sobre esse tema, uma vez que é possível aprender que, ao promover um ambiente urbano desenhado para atrair investimentos, facilitar a circulação de capital, bens e pessoas e estimular o consumo, o “novo espírito da cidade” poderia gradualmente erodir os espaços e as correntes que sustentam tal configuração, ainda que pudesse estimular a invenção de novas possibilidades. O que restará, então, do desejo de “mudar a cidade para mudar a vida”?

Este livro não responde a esta difícil pergunta, mas traz insumos e insights preciosos para a prática e a reflexão. O livro atende a estudantes,

acadêmicos, profissionais, jornalistas e leigos que desejam compreender e aprender mais sobre os fascinantes desafios contemporâneos, especialmente os relacionados à vida urbana.

Somos convidados a compartilhar temas como: benefícios da arborização urbana nas vias públicas para ciclistas, sinistros de trânsito, atividade logística e suas relações com estresse ocupacional, eletrificação de frotas de ônibus, externalidades da logística urbana, entregas de “*last mile*” em contexto urbano, transporte de produtos perigosos em centros urbanos, transição para ônibus verdes no Brasil (tecnologias, desafios e caminhos para a sustentabilidade do transporte público), eletrificação e mobilidade sustentável nas zonas portuárias (estratégia integrada de descarbonização urbana e logística), renascimento da “caminhabilidade” no planejamento urbano, uso da bicicleta nos grandes centros urbanos (desafios e oportunidades) e automóveis elétricos.

O livro *Gestão da Mobilidade Urbana Sustentável (Movimento Sustentável nas Cidades)* é uma obra vigorosa e fundamental para transformar as cidades em ambientes mais acessíveis, saudáveis e eficientes, indo além do foco no automóvel. Além de contribuir com temas da logística urbana, mostra que o caminho da transformação passa pela integração entre os modos de transporte coletivo e ativo (caminhada e bicicleta) e a tecnologia, o que reduz os impactos ambientais e sociais e melhora a qualidade de vida das pessoas.

Boa leitura!

Helcio Raymundo

CONTEÚDO

<i>dedicatória</i>	iv
<i>Apresentação</i>	v
<i>Prefácio</i>	vii
<i>O Renascimento da Caminhabilidade no Planeja- mento Urbano</i>	i
Introdução	i
Caminhabilidade e sua Importância no Planejamento Ur- bano: Redefinindo o Espaço da Cidade	3
Componentes Fundamentais da Caminhabilidade: Além da Calçada	5
O Índice de Caminhabilidade do ITDP: Uma Ferramenta Adaptada e Multidimensional	8
Aplicações do Índice do ITDP: Estudos de Caso e a Leitura Crítica do Espaço Urbano	10
Limitações e Potenciais do Índice: A Necessidade de um Olhar Híbrido	12
Caminhabilidade e Justiça Espacial: O Direito de Caminhar com Dignidade	15
Caminhabilidade no Contexto Pós-Pandemia: A Redesco- berta da Proximidade	17
Considerações Finais: Tecendo o Futuro das Cidades a Pé .	20

<i>O Uso da Bicicleta nos Grandes Centros Urbanos: Desafios e Oportunidades</i>	25
Introdução	25
Infraestrutura Necessária para o Uso da Bicicleta	30
Bicicletas Compartilhadas	36
Segurança	39
Conclusões	40
 <i>Benefícios da Arborização Urbana nas Vias Públicas de São Paulo para Ciclistas: Absorção de Carbono e Redução das Ilhas De Calor</i>	45
Introdução	46
Absorção de Carbono pela Arborização Urbana	47
Mecanismos de Sequestro de Carbono pelas Árvores	47
Quantificação da Absorção de CO ₂ por Espécies Comuns em São Paulo	48
Impacto da Arborização na Qualidade do Ar	48
Redução de Ilhas de Calor Através da Arborização	50
Caracterização das Ilhas de Calor em São Paulo	50
Mecanismos de Mitigação Térmica pela Vegetação Urbana	51
Conforto Térmico para Ciclistas em Vias Arborizadas	52
Estudo de Caso em São Paulo	53
Ciclovias da Avenida Paulista	53
Projeto Ciclovias Verdes	55
Relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e Agenda 2030	56
ODS 3: “Saúde e Bem-Estar”:	56
ODS 11: “Cidades e Comunidades Sustentáveis”:	57
ODS 13: “Ação Contra a Mudança Global do Clima”:	58
Recomendações de Políticas Públicas	58
Diretrizes para Planejamento Integrado	58
Instrumentos Legais e Normativos	61

Monitoramento e Avaliação	62
Índice de Conforto Térmico para Ciclistas (ICTC)	62
Taxa de Sequestro de Carbono por Quilômetro (TSC- km)	63
Índice de Qualidade do Ar em Ciclovias (IQAC)	64
Coefficiente de Sombreamento Efetivo (CSE)	64
Conclusões	65
 <i>Sinistros Antropogênicos: Recorte da Insegurança de Trânsito no Estado de São Paulo</i>	
Objetivo deste Capítulo	71
Ocorrência de Desastres no Trânsito	72
Perfil de Pessoas Envolvidas nos Sinistros de Trânsito	80
Análise de Ocorrências Fatais no Trânsito	83
Segurança Viária e Traffic Calming	86
Educação para o Trânsito	92
Educação como “Analgésico” para Todos	96
Reflexões Finais	105
 <i>Transporte de Produtos Perigosos em Centros Urbanos como São Paulo</i>	
Introdução	116
Classificação das Produtos Perigosos	117
Panorama da Logística Urbana em São Paulo	119
Produtos Transportados e Operadores do Setor	119
Tipos de Veículos Utilizados	121
Regulação e Legislação Aplicável	123
Gestão de Riscos e Segurança	123
Tecnologias Aplicadas ao Transporte Seguro de Produtos Pe- rigosos	127
Desafios na Contratação e Capacitação da Mão de Obra	128
Tendências, Boas Práticas e Casos Relevantes	130
Conclusões	130

<i>Poluição e Qualidade de Vida: O Papel da Logística Verde na Sustentabilidade Urbana</i>	138
Introdução	138
Poluição e seus Impactos na Qualidade de Vida	141
Impactos Multidimensionais da Poluição	142
Poluição Sonora e Visual: Efeitos no Bem-Estar e na Paisagem Urbana	143
Congestionamento Urbano, Ilhas de Calor e Impactos Climáticos	145
A Logística Verde e sua Contribuição para a Sustentabilidade Urbana	147
Benefícios da Logística Verde para a Saúde Pública e o Meio Ambiente	150
Redução de Doenças Respiratórias e Cardiovasculares	151
Redução do Estresse e dos Problemas Psicológicos	152
Eficiência Energética e Preservação dos Recursos Naturais	154
Mobilidade Urbana e Qualidade de Vida	155
Políticas Públicas	156
Casos Nacionais e Internacionais na Transição para a Logística de Baixo Carbono	159
Conclusão	161
 <i>A Transição para Ônibus Verdes no Brasil: Tecnologias, Desafios e Caminhos para a Sustentabilidade do Transporte Público</i>	167
Introdução	168
Contexto Histórico do Transporte Público e da Utilização de Combustíveis Alternativos no Brasil	171
Tecnologias Disponíveis para Ônibus Verdes	181
Ônibus Diesel Euro VI com HVO	181
Ônibus a Biometano	182
Ônibus Híbridos	183

Ônibus Elétrico a Bateria (BEB)	185
Trólebus	187
Ônibus movido a Hidrogênio (FCEB)	188
Avaliação Comparativa das Tecnologias	190
Estudos de Caso de Transição para Energias Limpas	197
Desafios para a Implementação no Brasil	199
Falta de Políticas Públicas e Incentivos: Desafios para a Im- plementação de Ônibus Verdes no Brasil	201
Oportunidades para o Desenvolvimento Sustentável	203
Conclusões	205
<i>Automação do Transporte e Carro Elétrico</i>	214
Introdução	214
Mobilidade e sua Evolução Tecnológica	215
Automação no Transporte: Histórico	216
Primeiros Sistemas de Assistência ao Motorista	216
Níveis de Automação segundo a SAE	216
Empresas Pioneiras e Marcos Tecnológicos	217
Tecnologias Envolvidas	218
Sensores e Inteligência Artificial	218
Sistemas de Navegação de Inteligência Artificial	218
Baterias de Alta Capacidade	219
Infraestrutura de Recarga e Desafios	219
Comunicação Veículo-Integração (V2I) e Veículo- Veículo (V2V)	220
O Carro Elétrico: Funcionamento e Impacto	220
Motor Elétrico e Princípios Básicos	221
Sistemas de Armazenamento de Energia e Tipos de Baterias	221
Benefícios Ambientais e Econômicos	222
Impactos Sociais e Ambientais	222
Redução de Emissões	223
Segurança no Trânsito	223

Barreiras Culturais e Aceitação do Usuário	224
Integração da Automação com o Carro Elétrico	224
Sensores e Sistemas	224
Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial	225
Benefícios da Integração	225
Controle de Qualidade e Segurança	226
Testes e Validação dos Sistemas Autônomos	226
Normas e regulamentações internacionais	227
Desempenho e Crescimento do Setor	227
Dados de Vendas no Brasil e no Mundo	227
Revisão de Eficiência e Custos Operacionais	228
Custos operacionais e Manutenção	229
Desafios e Perspectivas Futuras	229
Infraestrutura e Políticas Públicas	230
Segurança Cibernética e Ética na Automação	230
Tendências tecnológicas e inovação	230
Conclusões	231

<i>Na Teoria Sim, na Prática Ainda Não: Um Relato Técnico sobre a Inviabilidade da Eletrificação de Frotas na Região Metropolitana de São Paulo</i>	235
Introdução	236
Aspectos Críticos para a Viabilidade da Eletrificação	237
Custo Inicial e Modelos de Aquisição	237
Custo Total de Propriedade (TCO) e Retorno sobre o Investimento (ROI)	239
Infraestrutura e Gestão Operacional	240
Recarga Centralizada ou Domiciliar: Dilema Operacional	242
Ausência de Infraestrutura Pública e Soluções Alternativas	242
Desafio da Gestão e do Treinamento Corporativo	244

Barreiras Operacionais, Estruturais e Humanas à Im- plementação	245
Estudo de Caso Aplicado	246
Caracterização da Frota	247
Alternativas Consideradas	248
Simulação de Custo Total de Propriedade (TCO)	249
Considerações Finais do Estudo de Caso	252
Conclusões e Recomendações	252

*Eletrificação e Mobilidade Sustentável nas Zonas Por-
tuárias: Uma Estratégia Integrada de Descarboni-
zação Urbana e Logística* 258

Introdução	259
Oportunidade para a Transição Energética no Brasil	261
Operações Portuárias e a Pegada de Carbono Urbana	261
Casos Transição Energética	262
Porto de Rotterdam: Hub Europeu da Transição Ener- gética	262
Porto de Los Angeles: Liderança Regulatória e Técnica	263
Porto de Singapura: Automação, Energia Limpa e Mo- bilidade Inteligente	264
Reflexões para o Cenário Brasileiro	265
Eletrificação Portuária como Eixo da Mobilidade Urbana Sustentável	265
Equipamentos-Chave para a Eletrificação	266
Infraestrutura de Apoio: Energia, Tecnologia e Plane- jamento	267
Contribuições à Mobilidade Urbana Sustentável	268
Proposta para o Cenário Brasileiro	268
Indicadores e Impactos Técnicos da Eletrificação Por- tuária	269
Indicadores de Desempenho Recomendados	272
Conclusões e Recomendações	274

<i>Café Na Cidade: Uma Análise Crítica da Mobilidade Urbana nas Entregas de Last Mile em Cafeterias de Grandes Centros</i>	281
Introdução	282
Fundamentos Conceituais e Contexto Urbano	285
O que é Mobilidade Urbana?	285
Características dos Grandes Centros Urbanos	288
Mobilidade Urbana em São Paulo	292
Entregas de <i>Last Mile</i> em Contexto Urbano	295
O que é <i>Last mile</i>	295
Desafios Logísticos nas Entregas Urbanas	299
Inovações e Tecnologias no Apoio à Mobilidade	303
Sustentabilidade nas Entregas <i>Last Mile</i>	306
Estudo de Caso: A Entrega do Café nas Cafeterias de São Paulo	310
Apresentação do Caso	310
Trajetória do Café: Do Marco Zero às 5 Zonas da Cidade	313
Análise Crítica	318
Considerações Finais e Oportunidades de Melhoria	321
Conclusões do Estudo de Caso	321
Oportunidades de Melhorias	325
Tecnológicas: roteirizadores com parâmetros ambientais	325
Operacionais: uso mais estratégico de <i>hubs</i> logísticos	326
Institucionais: políticas públicas para entregas sustentáveis	326
Econômicas: incentivo fiscal para veículos de baixo impacto ambiental	327
Integração entre frentes de ação	327
Desenvolvimento de um plano piloto municipal	328
Participação social e transparência	328
Educação e capacitação técnica	329
 <i>Trabalho Logístico e Sofrimento Psíquico: A Dimensão Humana nas Operações em Tempo Real</i>	 333

Introdução	334
A Intensificação dos Processos Logísticos na Contemporaneidade	336
Transformação Logística em Tempo Real e Estresse Ocupacional: Exigências Atuais e Impactos na Saúde Mental do Trabalhador	340
Bem-estar Psicológico e Gestão Organizacional	344
Corpo, Mente e Trabalho: Caminhos que Levam do Sofrimento ao Adoecimento	349
Fundamentos do Cuidado e Estratégias de Saúde Mental no Trabalho Logístico	353
Do Chão de Armazém à Gestão: Práticas Aplicadas e Evidências Empíricas para o Bem-Estar Psicológico na Logística	355
Considerações Finais	360

I

O RENASCIMENTO DA CAMINHABILIDADE NO PLANEJAMENTO URBANO

Fabício Henrique do Nascimento da Silva – Universidade Paulista – UNIP ¹

João Gilberto Mendes dos Reis – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP ²

I.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a facilidade de se locomover a pé nas cidades é um ponto crucial nas discussões sobre o futuro urbano. Por muito tempo, o planejamento das cidades, principalmente no Brasil, focou nas vias para carros, deixando de lado outras formas de transporte. Essa priorização do automóvel transformou as cidades grandes e espraiadas, dificultando para quem caminha.

¹Graduado em Gestão da Produção Industrial, Pós-Graduado em Especialização em Logística e Operações e Mestrando em Engenharia de Produção

²Graduado em Tecnologia em Logística com Ênfase em Transportes e Engenharia Civil, Pós Graduado com Especialização em Mobilidade Urbana e Sustentável e Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

Paradoxalmente, caminhar, a forma mais básica, natural e conveniente de movimento humano, tem sido sistematicamente negligenciada e relegada a segundo plano nas prioridades de investimento e projeto urbano. Entretanto, essa visão tem sido fortemente contestada nas últimas décadas. Vários fatores se combinaram para impulsionar o ressurgimento da caminhabilidade como um pilar fundamental do desenvolvimento urbano sustentável. Um deles foi a crise ambiental, a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e a busca por alternativas de transporte mais limpas que colocaram as caminhadas e as bicicletas no centro das estratégias de mitigação das mudanças climáticas. Ao mesmo tempo, problemas crescentes de saúde pública, como o sedentarismo, a obesidade e doenças cardiovasculares, têm sido associados diretamente à falta de atividade física e à dependência excessiva do carro.

Cidades que incentivam a caminhada promovem naturalmente um estilo de vida mais ativo e saudável para seus habitantes [4]. Além disso, a crescente demanda por cidades mais inclusivas e equitativas tem reforçado a importância da caminhabilidade. Caminhar é a forma mais democrática de se locomover, acessível a quase todos, independentemente de idade, renda ou capacidade. Ao priorizar os pedestres, as cidades se tornam mais equitativas, proporcionando autonomia e acesso a serviços, trabalho e lazer para uma gama maior de pessoas. Essa busca por maior justiça socioespacial [11] é particularmente importante em países como o Brasil, onde as desigualdades urbanas são particularmente evidentes em termos de infraestrutura de transporte.

A crescente noção da importância de caminhar, desenvolver métodos para avaliar e monitorar a qualidade do ambiente de pedestres virou uma prioridade. Entre as várias ferramentas que surgiram, o Índice de Caminhabilidade do Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP) é notável, uma ferramenta técnica essencial e amplamente reconhecida. O Índice do ITDP é particularmente pertinente para a realidade brasileira. Um país marcado por profundas desigualdades urbanas, com periferias frequentemente desprovidas de infraes-

trutura básica para pedestres, e centros urbanos densos que podem ser tanto agradáveis quanto hostis à caminhada. A aplicação de um índice padronizado permite não apenas diagnosticar as lacunas existentes, mas também comparar diferentes áreas, embasar decisões de investimento e orientar a formulação de uma política de mobilidade mais equitativa e sustentável. A compreensão detalhada desse índice e de sua aplicação é, portanto, crucial para quem busca contribuir para a construção de cidades verdadeiramente caminháveis e humanas.

I.2 CAMINHABILIDADE E SUA IMPORTÂNCIA NO PLANEJAMENTO URBANO: REDEFININDO O ESPAÇO DA CIDADE

A caminhabilidade é muito mais do que a simples existência de calçadas para o deslocamento com segurança das pessoas. No contexto do planejamento urbano contemporâneo, ela representa um pilar fundamental para a construção de cidades mais justas, saudáveis e sustentáveis. Planejar cidades caminháveis significa, essencialmente, reequilibrar a distribuição e a prioridade do espaço público, que por muito tempo foi monopolizado pelo transporte individual motorizado.

A relevância do deslocamento a pé é subestimada quando se olha apenas para a qualidade da infraestrutura. Dados do relatório "Mobilidade Urbana no Brasil 2024" da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) são reveladores: cerca de 30% dos deslocamentos diários nas cidades brasileiras são feitos a pé [1]. Esse percentual, que pode parecer baixo à primeira vista, é expressivo e, em várias metrópoles como Recife, Belém e Fortaleza, o uso do modo a pé supera, em volume, o uso do automóvel individual. No entanto, essa predominância quantitativa não se traduz em qualidade: essas caminhadas frequentemente ocorrem

em calçadas precárias, sem acessibilidade, mal iluminadas e inseguras, expondo os pedestres a riscos e desconforto. Isso revela uma contradição gritante entre a demanda e a oferta de infraestrutura para pedestres.

Quando comparamos o transporte a pé com outros modos de transporte, suas vantagens se tornam ainda mais evidentes como podemos ver elencados a seguir:

- **Andar a pé:** Um gesto amigo do ambiente: Além de fazer bem para a saúde, ir a pé é a maneira mais sustentável de se locomover. Diferentemente dos automóveis, não há produção de barulho, gases tóxicos ou elementos que contaminam o ar e intensificam o efeito estufa. Essa notável distinção é fundamental no combate à poluição nos centros urbanos.
- **Saúde pública e bem estar:** Uma maneira acessível de se exercitar é caminhar, o que ajuda a combater o estilo de vida sedentário e seus impactos ruins na saúde, como problemas do coração, diabetes e obesidade. Cidades feitas para caminhadas incentivam pessoas a serem mais ativas e, portanto, mais saudáveis, aliviando a pressão sobre os serviços de saúde [4].
- **A conexão com a malha urbana e o incentivo à união entre as pessoas:** Ao se locomoverem a pé, os indivíduos tendem a prestar mais atenção no que os cerca, lojas da vizinhança, áreas de convivência, outros transeuntes. Tal fato intensifica o sentimento de pertencimento, fomenta a proteção coletiva (a vigilância natural, como apontava Jane Jacobs)³ e impulsiona o desenvolvimento econômico da região. O pedestre é um participante atuante no dinamismo do espaço comum, ao contrário do condutor que, na maior parte do tempo, se encontra apartado dentro de seu automóvel.

³Jane Jacobs (1916–2006) foi uma escritora e ativista norte-americana, naturalizada canadense, que revolucionou o pensamento urbanístico global. Sem formação acadêmica na área, ela defendeu cidades focadas nas pessoas, no convívio social e na diversidade, em oposição a grandes obras rodoviárias e ao zoneamento rígido.

- **Aproveitamento inteligente do espaço:** Uma pessoa a pé precisa de muito menos área que um automóvel. Ao priorizar o caminhar, o planejamento urbano possibilita um uso do solo mais justo e produtivo, abrindo mão de áreas para estacionamento e ruas em favor de espaços públicos diversos, como praças, parques e calçadas maiores. E mesmo reconhecendo o papel crucial do transporte público para se locomover por distâncias maiores, andar a pé é fundamental para que ele funcione bem e seja eficaz.

Em relação ao transporte público, embora seja inegável sua importância para a mobilidade de média e longa distância, o deslocamento a pé é um componente indispensável para a sua funcionalidade e eficácia. A caminhada atua como o modo de acesso e saída para as estações e pontos de ônibus, metrô ou trem, configurando o que se denomina mobilidade de "primeiro e último quilômetro". Se a caminhada até um ponto de transporte público é insegura, desconfortável ou demorada, pode ocorrer desinteresse pelo uso do transporte coletivo, mesmo quando ele é eficiente na etapa principal do trajeto. Portanto, a caminhabilidade não é apenas um fim em si mesma, mas um indicador crítico da funcionalidade urbana e da eficiência de todo o sistema de mobilidade. Uma cidade verdadeiramente integrada reconhece que a jornada do cidadão começa e termina a pé.

I.3 COMPONENTES FUNDAMENTAIS DA CAMINHABILIDADE: ALÉM DA CALÇADA

Desfrutar de uma caminhada agradável transcende a simples existência de calçadas, diversos elementos se unem para construir a jornada do pedestre. Para uma cidade aspirar ao título de "amiga do pedestre", é fundamental considerar tanto a infraestrutura quanto o ambiente, a

percepção de segurança, a diversidade de opções e a facilidade de movimentação.

Estudos comparativos entre cidades como Bogotá (Colômbia), Curitiba (Brasil) e São Paulo (Brasil), frequentemente citados em publicações do ITDP [3], são exemplares ao demonstrar que bairros com infraestrutura integrada, ou seja, não apenas calçadas, mas também arborização, iluminação adequada, mobiliário urbano e um bom desenho de paisagem apresentam resultados superiores. Essas áreas não só registram uma maior caminhabilidade intrínseca, avaliada por critérios técnicos, mas também revelam uma maior vitalidade urbana. Essa vitalidade é frequentemente medida pela presença de pedestres no espaço público ao longo do dia, o que indica um uso ativo e diverso das ruas e praças, fortalecendo a vida comunitária e a segurança.

Um elemento muitas vezes negligenciado, mas crucial para o conforto do pedestre, é o conforto térmico. Em localidades de clima quente, a exemplo de Manaus e Teresina, passear ao ar livre em meio ao calor intenso e à umidade elevada pode ser algo complicado e até arriscado se não houver proteção. Nesse cenário, as árvores nas cidades se mostram cruciais para que as pessoas possam caminhar com mais conforto. A sombra das árvores diminui a temperatura percebida e ainda contribui para um ar mais puro e para o bem-estar.

Fica evidente, assim, a importância de pensar o planejamento das cidades levando em conta o clima, de modo que a vegetação seja mais que um enfeite, mas sim uma parte fundamental da infraestrutura que permite a mobilidade a pé. Em contraste, modos como o automóvel oferecem uma bolha de proteção climática (ar-condicionado, cobertura), mas essa conveniência vem à custa de um consumo energético considerável e, principalmente, de uma ocupação excessiva do espaço viário, contribuindo para congestionamentos e a degradação ambiental urbana, em vez de simplesmente construir, a prioridade da caminhabilidade reside em encontrar alternativas que respeitem o meio ambiente e aproveitem cada metro quadrado da melhor forma possível. Adicionalmente, outros aspectos cruciais da caminhabilidade abrangem:

- **Conectividade da malha urbana:** A configuração com quadras menores e uma grande quantidade de esquinas oferece aos pedestres a chance de variar seus caminhos, o que deixa os trajetos mais rápidos e atrativos.
- **Mix de usos do solo:** Áreas que combinam moradia, comércio, serviços, cultura e lazer a distâncias caminháveis reduzem a necessidade de deslocamentos motorizados e tornam a caminhada mais funcional e atrativa.
- **Segurança viária e urbana:** A percepção de estar seguro contra acidentes de trânsito (velocidade controlada, travessias bem sinalizadas) e contra crimes é um fator determinante para a escolha do modo a pé.
- **Acessibilidade universal:** Calçadas que contam com rampas acessíveis, superfícies táteis e estão livres de barreiras asseguram que indivíduos com dificuldades de locomoção, pessoas da terceira idade e famílias com carrinhos de criança consigam se movimentar de forma independente.
- **Mobiliário urbano e amenidades:** A facilidade de encontrar bancos para um momento de repouso, juntamente com lixeiras que incentivam o descarte correto do lixo, assim como acesso a água para beber e banheiros públicos, auxilia para que o passeio seja mais aprazível e acolhedor.
- **Manutenção e limpeza:** Manter as calçadas em bom estado, livres de buracos e sujeira, demonstra zelo com a área comum e convida as pessoas a frequentá-la.

Em harmonia, esses aspectos moldam um cenário onde caminhar não é só viável, mas também atrativo, tornando essa prática uma opção agradável e eficaz, crucial para a evolução de centros urbanos mais acolhedores e ecologicamente corretos.

I.4 O ÍNDICE DE CAMINHABILIDADE DO ITDP: UMA FERRAMENTA ADAPTADA E MULTIDIMENSIONAL

O Índice de Caminhabilidade do Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP) representa um avanço significativo na avaliação da qualidade urbana para pedestres, distinguindo-se de indicadores genéricos por sua capacidade de propor métricas adaptadas à complexa realidade das cidades, especialmente nos países em desenvolvimento. Enquanto muitos modelos ocidentais podem focar exclusivamente em infraestrutura básica, o ITDP reconhece a interconexão de fatores socioeconômicos e ambientais na experiência da caminhada. Um dos pontos mais relevantes do Índice do ITDP é como é realizada a ponderação de cada um dos critérios. Esta abordagem permite que estudos mais detalhados sejam feitos e que atendam a realidade local. Por exemplo, uma área com baixa densidade demográfica, mas que possua um excelente sistema de transportes públicos, como metrô ou corredores de ônibus expresso, pode ainda obter uma classificação alta, ou até positiva, em facilidade de locomoção a pé. Isso ocorre porque o ITDP compreende que a acessibilidade ao transporte coletivo é um fator crucial para a mobilidade sustentável e que o pedestre muitas vezes utiliza a caminhada como "primeira e última milha" para chegar ou sair do transporte público. Essa ponderação reflete uma visão mais holística da mobilidade urbana, onde os modos de transporte são complementares e não apenas concorrentes. Para ilustrar a aplicação prática e as nuances do Índice, podemos observar um estudo aplicado em Belo Horizonte [2].

Apesar de a cidade de Belo Horizonte, Figura I.1, ser reconhecida por possuir uma das melhores redes de transporte coletivo do país, com uma capilaridade considerável que incentiva o uso de ônibus e metrô, a análise do ITDP revelou um desafio. A baixa conectividade da malha

viária em certas áreas caracterizada por quarteirões muito longos ou a presença de grandes barreiras urbanas, como avenidas de alta velocidade ou topografia acidentada e, crucialmente, a ausência de travessias seguras para pedestres em postos-chave, comprometeram significativamente a nota final de caminhabilidade da cidade.



Figura I.1: Belo Horizonte. Fonte: Ramos (2023) [9]

Isso demonstra que ter um bom transporte público não é suficiente se o acesso a ele é precário, e que a fragmentação do tecido urbano pode anular outros pontos positivos. Em contraste com os desafios observados em grandes centros urbanos planejados sob forte influência do transporte motorizado, cidades históricas apresentam características morfológicas distintas que também influenciam a caminhabilidade. Em uma comparação interessante, podemos contrastar essa realidade com a de

idades que possuem uma forte herança colonial, como Ouro Preto, em Minas Gerais. Embora as ruas de Ouro Preto sejam estreitas e, em muitos casos, com relevo acentuado, elas frequentemente pontuam bem nos quesitos de conectividade e escala humana.

O *design* urbano misturado com o uso do espaço cria uma atmosfera de segurança, e não apenas conveniência. Este mobiliário urbano feito sob medida é comum em núcleos mais antigos e, embora os desafios do relevo a ser enfrentado sejam muitos, sempre há um incentivo para tentar fazer o percurso a pé. A importância do planejamento urbano é destacada em como a experiência de caminhar em determinada região pode ser um prazeroso destaque. De maneira resumida, o Índice de Caminhabilidade do ITDP permite transformar aspectos diversos da experiência do pedestre em critérios objetivos de avaliação. Embora não capture integralmente dimensões subjetivas, como percepção de segurança e pertencimento, sua aplicação contribui para diagnósticos mais consistentes e para a definição de intervenções urbanas mais adequadas à realidade local.

I.5 APLICAÇÕES DO ÍNDICE DO ITDP: ESTUDOS DE CASO E A LEITURA CRÍTICA DO ESPAÇO URBANO

A aplicação prática do Índice de Caminhabilidade do ITDP transcende a mera coleta de dados, posicionando-se como uma ferramenta poderosa para uma leitura crítica e propositiva do espaço urbano brasileiro. Ao traduzir a complexa experiência do pedestre em métricas objetivas, o índice tem instrumentalizado gestores públicos e a sociedade civil na identificação de deficiências, na priorização de investimentos e na avaliação do impacto de intervenções urbanas.

Essa capacidade de diagnóstico e monitoramento é fundamental para orientar políticas públicas mais eficazes e direcionadas às necessidades reais da população. Um exemplo emblemático dessa aplicação vem de

Fortaleza, Ceará. Conforme apontado pelo ITDP em seus diagnósticos por volta de 2020, a intervenção em bairros estratégicos como Benfica e Aldeota, que incluíram a requalificação abrangente das calçadas (alargamento, nivelamento, acessibilidade), a melhoria da iluminação e a reorganização do espaço viário, resultou em um aumento significativo na nota de caminhabilidade dessas áreas.

Esse resultado positivo, quantificável pelo índice, não apenas validou as intervenções, mas também incentivou a prefeitura a considerar a expansão de projetos similares para outras regiões da cidade, demonstrando como um diagnóstico técnico pode catalisar ações políticas mais amplas e embasadas. A experiência de Fortaleza ilustra como o índice pode servir de base para um ciclo virtuoso de planejamento, ação e avaliação. Outro caso relevante é o da cidade de São Paulo, onde iniciativas como o programa “Ruas Completas” (referenciado em análises por volta de 2022) se beneficiaram da aplicação de metodologias inspiradas ou diretamente ligadas ao Índice de Caminhabilidade. O índice foi utilizado como um critério técnico para priorizar vias que, apesar de apresentarem alta demanda de pedestres (fluxo intenso), sofriam com baixa qualidade de infraestrutura. Essa abordagem permitiu uma alocação mais eficiente de recursos, direcionando os esforços para locais onde as melhorias teriam maior impacto positivo na vida diária da população e na segurança dos deslocamentos a pé. A lógica é clara: intervir onde a necessidade é mais preeminente e o benefício potencial é maior.

Um dos *insights* mais significativos derivados da aplicação do Índice do ITDP e de estudos correlatos é a forte correlação entre a qualidade da infraestrutura para pedestres e a adesão ao transporte público. Observou-se consistentemente que regiões com melhores condições de caminhabilidade, calçadas acessíveis, travessias seguras, entornos agradáveis de estações e pontos de ônibus também apresentaram maior utilização do transporte coletivo. Isso reforça a tese de que caminhabilidade e transporte público não são modos concorrentes, mas sim complementares e sinérgicos. Nesse sentido, a qualificação dos espaços destinados aos pedestres amplia a acessibilidade ao transporte coletivo, reduz bar-

reiras aos deslocamentos cotidianos e favorece padrões de mobilidade mais sustentáveis. Ambientes urbanos com conforto, segurança e conectividade tendem a fortalecer a integração entre caminhada e transporte público. A importância do planejamento urbano é destacada em como a experiência de caminhar em determinada região pode ser um prazeroso destaque.

De maneira resumida, os nordestinos geralmente possuem um senso empreendedor muito aguçado e observacional, o que no caso do Índice de Caminhabilidade do ITDP se compra com a objetividade “exame de simples verificação de elementos básicos”. Esse instrumento complexo faz exatamente isso, mas em última análise mergulha em análise multifatorial, possibilitando resultados verdadeiramente caminháveis.

I.6 LIMITAÇÕES E POTENCIAIS DO ÍNDICE: A NECESSIDADE DE UM OLHAR HÍBRIDO

Apesar de sua robustez e importância como ferramenta de diagnóstico quantitativo, é crucial reconhecer que o Índice de Caminhabilidade do ITDP, como qualquer modelo técnico, possui suas limitações. A principal lacuna metodológica reside na sua incapacidade de capturar as percepções subjetivas que influenciam decisivamente a escolha de caminhar. Fatores como o medo urbano, o conforto individual, a sensação de pertencimento e a estética da paisagem são dimensões da experiência humana que escapam à frieza dos números, mas que moldam profundamente o comportamento dos pedestres, Figura 1.2.

Essa limitação torna-se evidente em muitos centros urbanos brasileiros, uma área central histórica, por exemplo, pode obter uma excelente pontuação técnica no índice devido à alta densidade de cruzamentos, ao mix de usos do solo e à proximidade com o transporte público. Contudo, se essa mesma área for percebida pela população como insegura, mal iluminada ou degradada socialmente, ela será sistematicamente evi-

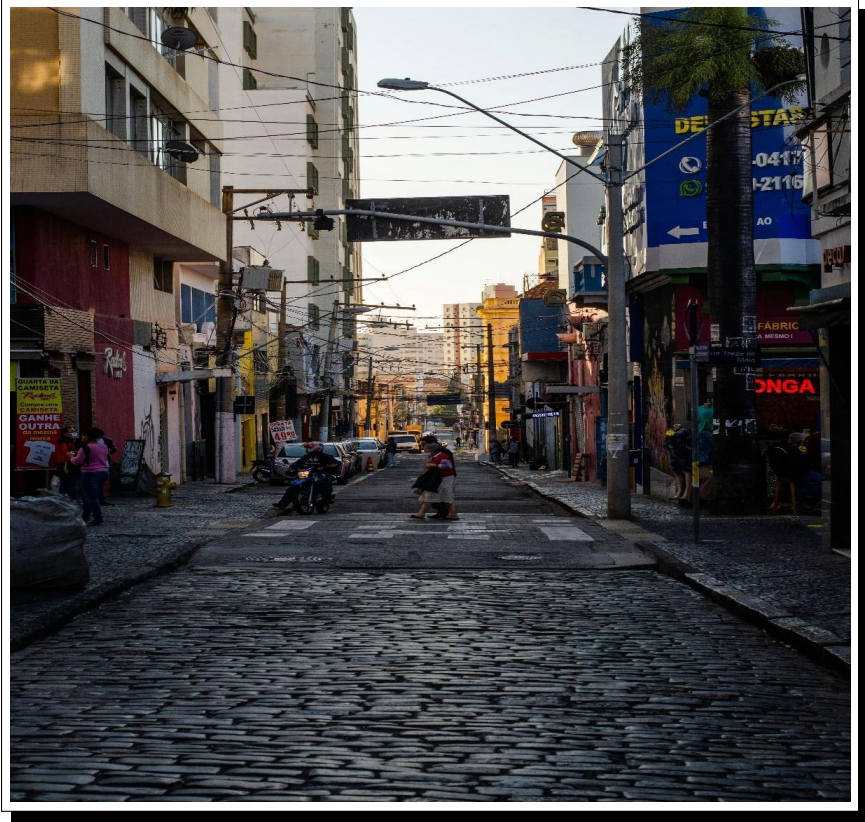


Figura I.2: Caminhabilidade. Fonte: Morgado (2021) [8]

tada por pedestres, especialmente durante a noite. O medo de assaltos ou assédio pode anular completamente os benefícios de uma infraestrutura tecnicamente adequada. A caminhabilidade, nesse caso, existe no papel, mas não na prática diária, revelando um descompasso entre o espaço projetado e o espaço vivido.

É aqui que reside o grande potencial do índice: sua capacidade de ser enriquecido e validado por métodos complementares, criando um diagnóstico verdadeiramente multidimensional. A integração de abordagens qualitativas e outras ferramentas quantitativas pode preencher as lacunas deixadas pela análise puramente estrutural. Entre os métodos complementares, destacam-se:

- **Entrevistas e Mapeamentos Participativos:** A realização de "caminhadas diagnósticas" com moradores, rodas de conversa e o uso de mapas colaborativos permite coletar dados sobre a percepção de segurança, os pontos de interesse afetivo, as barreiras invisíveis e os trajetos preferenciais. Essas técnicas dão voz à experiência do usuário, que é o especialista final de seu próprio ambiente.
- **Índices Focados em Destinos (como o “*Walk Score*”):** Ferramentas como o *Walk Score*, embora também quantitativas, focam especificamente na proximidade de amenidades (comércio, parques e escolas). Elas complementam o índice do ITDP ao responder não apenas "como é a caminhada?", mas também "para onde se pode caminhar?".
- **Análises Qualitativas da Paisagem e Vitalidade:** Estudos acadêmicos, como o realizado por Souza e Krafta [10] em Florianópolis e Porto Alegre, corroboram essa necessidade de um olhar mais amplo. A pesquisa demonstrou que indicadores qualitativos, como a beleza da paisagem urbana (presença de vegetação, arquitetura interessante, ausência de pichações agressivas) e a vitalidade social (a presença de outras pessoas na rua, "olhos na rua"), explicam uma parcela significativa da adesão ao transporte a pé. Notavelmente, esses fatores são ainda mais determinantes para grupos vulneráveis como mulheres e idosos, cuja percepção de segurança e conforto é um pré-requisito para se aventurarem a pé.

Portanto, o futuro da avaliação da caminhabilidade não está em abandonar ferramentas como o Índice do ITDP, mas em integrá-las a uma abordagem híbrida. O potencial máximo do índice é alcançado quando seus dados quantitativos são usados como uma base sólida sobre a qual se sobrepõem as ricas camadas de informação subjetiva e qualitativa. Com essa união, o planejamento das cidades se torna mais humano, eficiente e com foco real nos cidadãos.

I.7 CAMINHABILIDADE E JUSTIÇA ESPACIAL: O DIREITO DE CAMINHAR COM DIGNIDADE

A discussão sobre ruas orientadas às pessoas exige considerar a justiça espacial como dimensão central do planejamento urbano. O modo como as cidades são organizadas e como o acesso à locomoção é oferecido espelha e, com frequência, intensifica as disparidades que já existem na sociedade. Conforme aponta o geógrafo Flávio Villaça [ii] em suas análises críticas sobre o espaço intraurbano brasileiro, as políticas de mobilidade historicamente tendem a reforçar a segregação socioespacial, concentrando investimentos e infraestrutura de qualidade em áreas centrais e nobres, enquanto negligenciam as vastas periferias onde reside a maior parte da população de baixa renda.

Nesse contexto, a experiência da caminhada assume contornos dramaticamente distintos. Em muitas áreas periféricas de grandes cidades brasileiras pensemos em exemplos emblemáticos como Cidade Tiradentes, no extremo leste de São Paulo, ou o Subúrbio Ferroviário de Salvador a ausência de calçadas adequadas, iluminação pública, sinalização segura e arborização não é uma exceção, mas a regra. Para os moradores dessas regiões, o deslocamento a pé frequentemente não é uma escolha consciente por um modo de transporte sustentável ou saudável, mas uma imposição ditada pela escassez ou inexistência de alternativas viáveis. Sem acesso a transporte público eficiente e com tarifas acessíveis, e sem condições financeiras para arcar com o transporte individual motorizado, caminhar longas distâncias em condições precárias torna-se a única opção para acessar trabalho, estudo, serviços de saúde e lazer. Essa "caminhabilidade da necessidade" imposta às populações periféricas revela uma profunda injustiça espacial:

- **Infraestrutura Deficitária:** Ruas sem pavimentação, calçadas inexistentes ou obstruídas, valas a céu aberto, falta de passarelas seguras sobre córregos ou rodovias e iluminação pública precária

transformam o ato de caminhar em um desafio diário, repleto de riscos de acidentes e violência.

- **Exposição a Riscos:** Os pedestres correm o risco de serem atropelados por veículos que aparecem do nada enquanto competem com o tráfego motorizado em vias não destinadas a uma convivência segura, devido a fatores socioeconômicos como a falta de infraestrutura. A iluminação pública é precária e há muitos lotes abandonados com vegetação descuidada, o que contribui para a percepção e incidência de violência urbana.
- **Isolamento e Acesso Limitado:** A dificuldade de se locomover a pé e a provisão desigual de transporte público impede o acesso ao emprego, à educação e a serviços essenciais, piorando assim a lacuna socioeconômica.

Diante desse quadro, a promoção da caminhabilidade em contextos de vulnerabilidade socioespacial transcende a aplicação de soluções puramente técnicas. Não basta apenas construir calçadas ou instalar semáforos. É imperativo adotar uma abordagem política que reconheça o direito à mobilidade segura e digna como um componente essencial da cidadania. Isso implica:

1. **Priorização de Investimentos:** Direcionar recursos de forma equitativa, priorizando explicitamente bairros populares e áreas historicamente negligenciadas, mesmo que os retornos econômicos imediatos pareçam menores em comparação com áreas centrais já consolidadas.
2. **Ações Integradas de Urbanização:** A melhoria da caminhabilidade deve estar atrelada a projetos mais amplos de urbanização, que incluam saneamento básico, pavimentação de vias, qualificação de espaços públicos, iluminação eficiente e arborização.
3. **Foco na Segurança Pública:** Para realmente elevar a segurança, é crucial moldar as táticas às necessidades únicas de cada área. Isso

significa misturar aprimoramentos físicos e espaços mais abertos, com o apoio da população e da polícia, aumentando assim, a sensação de segurança para todos.

4. **Inclusão Social e Participação Comunitária:** Para assegurar que as alternativas apresentadas estejam alinhadas com os costumes e carências da população da região, é fundamental trabalharmos juntos. É indispensável, portanto, envolver os residentes desde a descoberta das dificuldades até a aplicação das medidas, passando pela criação das estratégias.

Melhorar a acessibilidade a pé ajuda a ter melhor acesso a instalações sociais, culturais e recreativas, e fortalece a coesão comunitária. Em resumo, a caminhada se tornará um meio de distribuição espacial justa quando todos tiverem o direito de caminhar com segurança, confortavelmente e com respeito, não importa onde morem na cidade ou seu status financeiro. Transformar a caminhada imposta em uma caminhada escolhida e prazerosa nas periferias é um dos maiores desafios e, ao mesmo tempo, uma das mais nobres missões do planejamento urbano contemporâneo.

I.8 CAMINHABILIDADE NO CONTEXTO PÓS-PANDEMIA: A REDESCOBERTA DA PROXIMIDADE

A pandemia da COVID-19, iniciada globalmente no final de 2019 e com impactos profundos ao longo dos anos seguintes, representou um divisor de águas para a vida urbana e, conseqüentemente, para as dinâmicas de mobilidade. As restrições de circulação, o receio do contágio em transportes públicos lotados e a massificação do trabalho remoto levaram a uma redução drástica de muitos deslocamentos pendulares de

longa distância. Neste contexto, a caminhada foi revitalizada não apenas como uma necessidade para atividades básicas, mas também como uma forma segura de lazer, exercício físico e conexão com o meio ambiente.

É neste contexto que o conceito de “cidade de 15 minutos”, popularizado pelo urbanista franco-colombiano Carlos Moreno [7], ganha força e visibilidade internacional. O modelo de cidade propõe uma cidade na qual todas as necessidades básicas dos cidadãos, moradia, trabalho, comércio, saúde, educação e lazer estejam a 15 minutos de caminhada ou de bicicleta, uma ideia que repercutiu em metrópoles como Paris e Buenos Aires. Essas cidades viram no modelo uma oportunidade para criar bairros mais autossuficientes, reduzir a dependência do automóvel, melhorar a qualidade do ar e fortalecer os laços comunitários, tornando a vida urbana mais humana e resiliente. A caminhabilidade é, portanto, a espinha dorsal da “Cidade de 15 Minutos”. No Brasil, o eco dessa visão também se fez sentir, impulsionando debates e iniciativas. Municípios como Recife e Belo Horizonte, por exemplo, começaram a explorar projetos-piloto com enfoque na policentralidade e na qualificação de espaços para pedestres, inspirados pela lógica da proximidade. Essas iniciativas buscam adaptar o conceito às realidades locais, enfrentando desafios como a desigualdade socioespacial e a dispersão urbana características de muitas metrópoles brasileiras.

É importante notar que, em certa medida, essa visão já encontrava paralelos em políticas urbanas anteriores à pandemia. A cidade de São Paulo, por meio de seu Plano Diretor Estratégico (PDE), já vinha propondo a criação de “centralidades locais” e o desenvolvimento de “bairros completos”. O objetivo era descentralizar oportunidades e serviços, reduzindo a necessidade de grandes deslocamentos e promovendo uma vida urbana mais integrada em escala de bairro. A crise sanitária, por outro lado, serviu como um propulsor, intensificando a compreensão da necessidade imediata e das vantagens desses formatos. As estratégias que incentivam o deslocamento a pé e o conceito de cidades de bairro são essenciais para:

- **Reduzir a dependência do transporte motorizado:** Ter mais opções de comércio e lazer ao alcance de uma caminhada simples significa que as pessoas não precisam tanto de carro ou ônibus para as coisas do dia a dia. Isso ajuda a diminuir o movimento nas ruas, a fumaça dos escapamentos e, conseqüentemente, deixa o ar mais limpo para todos.
- **Promover maior resiliência urbana:** Bairros que concentram serviços essenciais, comércio, saúde, educação e lazer em distâncias caminháveis tornam-se mais preparados para enfrentar situações de crise, como pandemias, desastres naturais ou interrupções no sistema de transporte. Essa proximidade reduz a dependência de deslocamentos longos e fortalece a autonomia e a capacidade de adaptação das comunidades.
- **Estimular a economia local:** Promover o desenvolvimento de negócios e serviços locais não apenas capacita micro e pequenos empreendedores, mas também promove uma economia mais diversificada e vibrante dentro da comunidade.
- **Melhorar a saúde pública:** Incentivar a prática da caminhada contribui para a preservação do bem-estar físico e mental dos indivíduos, atenuando o sedentarismo e o estresse decorrente de deslocamentos prolongados.

O período pós-pandemia, portanto, nos deixa com uma reflexão sobre como queremos viver nas cidades. A valorização da possibilidade de caminhar e da vida local não é apenas uma tendência passageira, mas uma resposta estratégica aos desafios da sustentabilidade, da saúde pública e da qualidade de vida urbana no século XXI.

I.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS: TECENDO O FUTURO DAS CIDADES A PÉ

Ao longo deste capítulo sobre a caminhabilidade urbana, torna-se inequívoco que esta dimensão deve ocupar uma posição central e estratégica na agenda do planejamento urbano contemporâneo. Os benefícios intrínsecos ao fomento de ambientes propícios ao deslocamento a pé transcendem em muito a esfera da mobilidade. Como demonstrado, eles se entrelaçam profundamente com a saúde pública, ao promoverem a atividade física e combaterem o sedentarismo; com a inclusão social, ao garantirem o acesso democrático ao espaço urbano; com a segurança, ao aumentarem a vitalidade e os "olhos da rua"; e com a sustentabilidade ambiental, ao reduzirem a dependência de modos de transporte poluentes. A comparação direta com outros modais de transporte revela a clara superioridade da caminhada para deslocamentos de curta distância e sua insubstituível complementaridade com o transporte público, formando a espinha dorsal de um sistema de mobilidade integrado e eficiente.

O Índice de Caminhabilidade desenvolvido pelo ITDP representa, nesse contexto, um avanço técnico significativo. Ele fornece uma metodologia robusta e padronizada para a medição da qualidade do espaço urbano sob a perspectiva do pedestre, permitindo diagnósticos precisos, comparações entre diferentes áreas e o monitoramento do impacto de intervenções. Contudo, como toda ferramenta técnica, seu potencial máximo só é alcançado quando sua aplicação é conjugada com a sensibilidade e a profundidade de instrumentos participativos. A escuta ativa das comunidades, a incorporação de suas percepções subjetivas sobre segurança, conforto e pertencimento, e o entendimento de suas reais necessidades são cruciais para que os projetos de caminhabilidade sejam verdadeiramente eficazes e legitimados.

Ademais, a busca por cidades mais caminháveis não pode estar desvinculada de políticas redistributivas conscientes. A justiça espacial exige que os investimentos em infraestrutura para pedestres não se concentrem apenas em áreas já privilegiadas, mas que priorizem territórios historicamente negligenciados, onde a caminhada é muitas vezes uma imposição em condições precárias. A requalificação desses espaços, considerando as especificidades locais e promovendo a integração com outras políticas sociais, é um passo fundamental para mitigar desigualdades e construir cidades mais equitativas.

Em última instância, promover o direito à cidade, um conceito tão caro ao urbanismo humanista, passa, inescapavelmente, por garantir o direito fundamental de caminhar. E não se trata apenas de permitir o ato mecânico de se deslocar a pé, mas de assegurar que essa experiência ocorra com dignidade, segurança e prazer. Cidades que valorizam seus pedestres são cidades que valorizam a vida em sua plenitude, fomentando encontros, interações e um senso de comunidade. O desafio que se impõe aos planejadores, gestores públicos e à sociedade civil é o de tecer, passo a passo, um futuro urbano onde caminhar seja não apenas uma necessidade ou uma opção, mas uma celebração cotidiana do espaço público e da convivência humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP. **Relatório geral 2024: Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP (SIMOB)**. São Paulo: ANTP, 2026. Disponível em: <https://files.antp.org.br/simob/simob-2024-final.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

- [2] BARROS, Rafaela Moreira. A caminhabilidade em Belo Horizonte sob a ótica de pedestres de diferentes faixas etárias. In: **CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES**, 33., 2019. Anais [...]. Balneário Camboriú: ANTP, 2019. Disponível em: <https://files.antp.org.br/2019/10/7/a-caminhabilidade-em-belo-horizonte.pdf>.

- [3] FERREIRA, Lucas Sousa. **Índice de caminhabilidade: um estudo de caso na cidade de Fortaleza**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/54083>.

- [4] GEHL, Jan. **Cidades para pessoas**. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013. Tradução de Anita Di Marco. Tradução de: Cities for People. ISBN 978-85-273-0980-6.

- [5] INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO – ITDP BRASIL. **Índice de Caminhabilidade – Ferramenta**. Versão 2.0. Rio de Janeiro: ITDP Brasil, 2018. Disponível em: <https://itdpbrasil.org>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- [6] JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. 3. ed. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2011. (Coleção Cidades). Tradução de Carlos S. Mendes Rosa. Revisão da tradução de Maria Estela Heider Cavalheiro. Revisão técnica de Cheila Aparecida Gomes Bailão. ISBN 978-85-7827-421-4.
- [7] MORENO, Carlos et al. Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. **Smart Cities**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 93-III, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>.
- [8] MORGADO, Pedro. **Cidade, meio urbano, estrada, via**. [Fotografia]. Pexels, 2021. Disponível em: <https://www.pexels.com/pt-br/foto/cidade-meio-urbano-estrada-via-9379174/>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- [9] RAMOS, Gabriel. **Carros, veículos, automóveis, tráfego**. [Fotografia]. Pexels, 2023. Disponível em: <https://www.pexels.com/pt-br/foto/carros-veiculos-automoveis-trafego-16550635/>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- [10] SOUZA, M. C. de; KRAFTA, A. P. A influência de indicadores qualitativos na caminhabilidade: Paisagem urbana e vitalidade social em Florianópolis e Porto Alegre. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.e202001>.

- [11] VILLAÇA, Flávio. **Espaço intra-urbano no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 2001. 373 p.
- [12] WRI BRASIL. **Rede Ruas Completas SP**. Porto Alegre: WRI Brasil, [s.d.]. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/projetos/rede-ruas-completas-sp>. Acesso em: 20 nov. 2025.

II

O USO DA BICICLETA NOS GRANDES CENTROS URBANOS: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Izolina Margarida de Souza – Universidade Paulista - UNIP ¹

João Gilberto Mendes dos Reis – Universidade Estadual de Campinas
- UNICAMP ²

II.1 INTRODUÇÃO

Até a década de 1940, a bicicleta era amplamente utilizada como meio de transporte por pessoas de todas as classes sociais e em diferentes regiões. No entanto, o desenvolvimento tecnológico impulsionado pela Segunda Guerra Mundial, a partir de 1945, favoreceu o crescimento de

¹Graduada em Administração, Pós-Graduada Especialização em Gestão Financeira, Mestra em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos e Doutora em Engenharia de Produção.

²Graduado em Tecnologia em Logística com Ênfase em Transportes e Engenharia Civil, Pós Graduado com Especialização em Mobilidade Urbana e Sustentável e Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

diversas indústrias, especialmente a petrolífera e a automobilística. Esse avanço tecnológico também resultou em uma menor absorção de mão de obra no campo, contribuindo para o êxodo rural. Paralelamente, a proliferação das indústrias nesse período estimulou um rápido processo de urbanização, à medida que a população da área rural migrou em busca de novas oportunidades de trabalho nas áreas urbanas próximas aos polos industriais.

Em São Paulo, a especulação imobiliária, elevou os preços dos imóveis tanto para locação quanto para aquisição, fazendo com que as pessoas com baixa renda, buscando reduzir custos com moradia, fossem afastadas dos centros, e das oportunidades de trabalho e de emprego gerando grandes movimentos pendulares diários.

O avanço da indústria automobilística, aliado às inovações tecnológicas no processo produtivo, resultou na redução dos custos de fabricação dos veículos, tornando-os mais acessíveis e impulsionando seu consumo. A adoção do modelo americano e europeu de planejamento viário, focado na ampliação das vias, construção de viadutos e túneis para desafogar o tráfego de automóveis, favoreceu o crescimento do transporte individual e beneficiou principalmente as regiões economicamente privilegiadas. Por outro lado, as políticas públicas negligenciaram a infraestrutura do transporte coletivo, impactando negativamente as populações periféricas, que enfrentam tarifas elevadas e um sistema de transporte público ineficiente. Apenas nos anos de 1970 iniciaram-se os investimentos nas obras para o transporte de pessoas pela malha ferroviária.

A partir da década de 1990, a estratégia de atração de investimentos para o setor automobilístico levou a uma quase triplicação da capacidade produtiva de automóveis e motocicletas. Esse expressivo aumento na produção impulsionou a adoção de novas políticas econômicas voltadas para facilitar a absorção desses veículos pelo mercado, medidas como a redução de impostos para veículos de até 1000 cilindradas (responsáveis por mais de 50% das vendas), a ampliação do acesso ao crédito e a melhoria das condições salariais foram fundamentais nesse processo.

Esses incentivos consolidaram o automóvel como principal meio de transporte e reforçaram o papel central das áreas mais desenvolvidas da cidade. Como consequência, a mobilidade urbana em grandes centros urbanos passou a ser marcada por elevados níveis de congestionamento, níveis elevados de poluição sonora e do ar, decorrentes da intensa queima de combustíveis fósseis não renováveis, principalmente de dióxido de carbono, principal elemento do GEE – Gases de Efeito Estufa, má qualidade de vida, estresse, sedentarismo, elevação dos custos com saúde pública pelo aumento de doenças cardiovasculares e respiratórias.

É importante ressaltar que o uso excessivo de veículos automotores nas cidades brasileiras acarreta significativas perdas financeiras. Um dos principais problemas é o prejuízo econômico causado pelos congestionamentos. Na cidade de São Paulo, por exemplo, os engarrafamentos geraram perdas estimadas em R\$ 40 bilhões somente em 2012, valor equivalente a aproximadamente 1% do PIB nacional [7]. Além disso, o sistema de saúde brasileiro destina, em média, cinquenta bilhões de reais por ano ao tratamento de doenças cardiovasculares e respiratórias, bem como a outros custos relacionados a acidentes de trânsito.

O novo sistema de planejamento viário, a redução da carga tributária incidentes sobre os veículos e a facilidade ao crédito, ao mesmo tempo que tornou o veículo automotor mais acessível, fez com que a bicicleta perdesse seu espaço.

Na década de 1970, a crise do petróleo e o aumento do número de mortes em acidentes de trânsito impulsionaram, na Holanda, movimentos e protestos em defesa da retomada do uso da bicicleta, destacando-a como uma alternativa de transporte mais econômica, sustentável e segura. Todavia, no Brasil, em resposta à crise, concentraram-se esforços no desenvolvimento de novas fontes energéticas, como o etanol, o que manteve o padrão de mobilidade focado no uso de veículos automotores.

Na década de 1980, a sustentabilidade emergiu como tema central, especialmente em cidades de países em desenvolvimento, onde o crescimento urbano desordenado começou a restringir o direito das pessoas

a uma vida produtiva, agravando a exclusão das populações mais pobres e vulneráveis. O Relatório Brundtland, publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU intitulado “Nosso Futuro Comum”, que foi publicado em 1987, surgiu no contexto dos debates sobre mudanças climáticas e a limitação dos recursos naturais, considerados fundamentais para o funcionamento das cidades. Esse relatório marcou o início das discussões globais voltadas à busca de soluções para mitigar os impactos negativos do crescimento urbano descontrolado da época. Tal relatório influenciou diretamente o Artigo 225 da Constituição Federal Brasileira que trata da questão da mobilidade: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial, à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações [...]” [5].

O cenário de congestionamento e poluição causado pelo uso excessivo de veículos automotores tem sido amplamente debatido nas Conferências das Nações Unidas, onde são tomadas decisões fundamentais para orientar as políticas dos países participantes, visando reduzir os impactos negativos desse modelo de mobilidade. Nesse contexto, muitas cidades europeias vêm promovendo a bicicleta como uma alternativa de transporte ativo, sustentável e eficiente. Nos países em desenvolvimento, a bicicleta assume ainda um papel de destaque como meio de transporte acessível e inclusivo, contribuindo não apenas para a preservação ambiental, mas também para a integração social e a ampliação das opções de mobilidade urbana. Dessa forma, seu uso reforça a importância da multimodalidade e da democratização do acesso ao transporte nas cidades.

A pandemia de COVID-19 e a adoção do isolamento social resultaram em um crescimento significativo no número de pessoas utilizando a bicicleta, seja como meio de transporte ou para a prática de exercícios físicos. Além disso, observou-se uma melhoria na qualidade do ar, relacionada à diminuição de 39% no fluxo de veículos, efeito direto da implementação do trabalho remoto [9].

A bicicleta é um meio de transporte sustentável, pois gera menor impacto ambiental ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a poluição sonora. Além disso, possibilita a prática de exercícios físicos sem a necessidade de reservar um tempo exclusivo para isso, promovendo benefícios à saúde física e mental, além de proporcionar bem-estar aos seus usuários. A bicicleta também favorece uma melhor conexão entre as pessoas e contribui para um uso mais igualitário dos espaços públicos, já que ocupa menos espaço nas vias. Outro ponto positivo é a exigência de menor investimento em infraestrutura, o que a torna uma alternativa economicamente viável. Além disso, o uso da bicicleta estimula o comércio local, pois permite paradas rápidas para consumo e aumenta a demanda por pontos de serviços voltados para ciclistas favorecendo a movimentação da economia local.

Apesar dos inúmeros benefícios, a adoção da bicicleta como meio de transporte ainda enfrenta grandes desafios. Mesmo com exemplos de destaque, como cidades europeias que lideram os rankings das cidades mais bem preparadas para ciclistas — resultado de investimentos significativos, infraestrutura de qualidade e bem conectadas, incentivo à cultura da bicicleta desde o ensino médio e políticas públicas que favorecem seu uso — ainda persistem barreiras importantes. Entre os obstáculos, destacam-se questões culturais: em algumas cidades do Oriente, questões de gênero e até mesmo as roupas tradicionalmente usadas pelas mulheres dificultam o uso da bicicleta. No Ocidente e em outros contextos marcados pela forte predominância do uso do automóvel, a bicicleta costuma ser associada a pessoas de baixa renda ou vista apenas como equipamento para lazer e prática esportiva, o que limita sua aceitação como meio de transporte no dia a dia.

Em países em desenvolvimento, as comunidades periféricas, além de sofrerem com transporte público ineficiente, enfrentam ainda falta de infraestrutura e políticas públicas que favoreçam a adoção da bicicleta como modo de transporte, que promoveria inclusão e acessibilidade. Tal oferta proporcionaria maior acesso aos aparelhos de desenvolvimento econômico e social tais como educação, saúde, trabalho e lazer,

que são itens disponíveis em abundância nos grandes centros, porém, escassos nas regiões periféricas.

II.2 INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA PARA O USO DA BICICLETA

Ao longo dos anos, o Brasil tem implementado ações que incentivam o uso da bicicleta, reconhecendo-a como um meio de transporte saudável e sustentável. A bicicleta promove baixo impacto ambiental, oferece baixo custo aos seus usuários e se destaca por sua característica inclusiva, tornando-se uma alternativa acessível e benéfica para a mobilidade urbana. Neste contexto, algumas legislações foram de fundamental importância para a propagação da bicicleta como mobilidade urbana em muitas cidades brasileiras.

Em 2012, foi criada no Brasil a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), por meio da Lei Federal 12.587/12. Essa legislação exige que todos os municípios com mais de vinte mil habitantes elaborem um Plano de Mobilidade Urbana (PMU), estabelecendo princípios, objetivos e diretrizes para orientar as cidades em direção ao desenvolvimento de uma estratégia de mobilidade urbana mais sustentável. A ênfase da PNMU está na redução das desigualdades sociais, bem como na melhoria da mobilidade e da acessibilidade nos ambientes urbanos. O ponto forte dessa legislação é que, cada município, dentro de suas características socioeconômicas, é obrigado a investir nas infraestruturas necessárias para uma estrutura de mobilidade mais inclusiva, seguindo as diretrizes definidas pelo PNMU.

A partir da Política Nacional de Mobilidade Urbana, diversos estados e municípios brasileiros passaram a elaborar seus próprios planos de mobilidade, incorporando a bicicleta em todas as etapas do planejamento. A lei também prioriza aos meios de transporte não motorizados em relação aos motorizados e valoriza o transporte coletivo público em detrimento do transporte individual motorizado, tanto em investimen-

tos quanto na movimentação física. Essa estratégia busca aprimorar a mobilidade urbana nas cidades brasileiras, incentivando um desenvolvimento mais sustentável e justo.

Foi neste contexto que a cidade de São Paulo triplicou a oferta de rotas para ciclistas, num espaço de tempo menor que 10 anos, passando de 242,3 km no ano de 2014 para 731 km no ano de 2023 [15]. Vale salientar que apenas as construções não bastam, as vias precisam de manutenção, revisão e fiscalização constante.

A reformulação do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) contempla a mobilidade ativa, embora nem sempre se utilize esse termo de forma explícita. A legislação reconhece e protege os modos de transporte não motorizados, como a bicicleta e o deslocamento a pé, tratando-os como prioritários em relação aos veículos motorizados. O CTB estabelece direitos e deveres para ciclistas e pedestres, garante preferência dos ciclistas sobre automóveis em diversas situações e prevê a necessidade de infraestrutura adequada, como ciclovias, ciclofaixas e bicicletários.

Para que o uso da bicicleta seja seguro e atrativo de modo que proporcione experiências positivas para seus usuários e conquiste novos, é essencial que a cidade ofereça uma infraestrutura cicloviária de qualidade, com pavimentação adequada, que seja arborizada, iluminada, devidamente sinalizada e coerentemente conectada a terminais de ônibus, trem, metrô, de modo que permitam conexões com outras vias principais, com outros modos de transporte, ou até mesmo estacionamentos apropriados. Entre as principais opções de vias destinadas aos ciclistas, destacam-se:

Ciclofaixas: Conforme representação na Figura II.1, são faixas exclusivas para ciclistas, geralmente demarcadas por sinalização específica ou por cores diferentes da pista de rolamento, compartilhando o mesmo nível das vias utilizadas pelos carros.

Ciclovias: Consistem em vias totalmente separadas do tráfego de automóveis, nota-se na Figura II.2 que são vias projetadas exclusivamente para o uso de bicicletas. São devidamente sinalizadas e oferecem maior segurança aos ciclistas.



Figura II.1: Ciclofaixa. Fonte: Autores (2024)

Ciclorrotas: Conforme demonstrado na Figura II.3, essas vias normalmente são aplicadas em vias de tráfegos mais tranquilos, com determinação de velocidades mais baixas nas quais há apenas sinais indicati-



Figura II.2: Ciclovía. Fonte: Autores (2024)

vos sobre a possibilidade de ciclistas na via e o espaço é compartilhado com carros.

Os desafios enfrentados pelos ciclistas urbanos nas cidades são muitos. Na cidade de São Paulo, por exemplo, os ciclistas sofrem com desrespeito de motoristas, correm risco de acidentes em cruzamentos, enfrentam condições precárias das vias que ainda são compartilhadas com cadeirantes, atletas que treinam corridas, pedestres que não tem estruturas de calçadas favoráveis para o seu deslocamento, descarte incorreto de lixo, buracos, pessoas em situação de rua com seus pertences, árvores que precisam de serviço de poda, entre outros. Estas vias ainda são



Figura II.3: Ciclorrotas. Fonte: Vá de Bike (2024) [19]

mal sinalizadas e mal iluminadas, razão pela qual há poucas mulheres utilizando a bicicleta como modo de transporte.

A desconexão das vias também representa um grande obstáculo para a mobilidade urbana eficiente, sustentável e segura. Quando as ciclovias não formam uma rede contínua, obrigam os ciclistas a trafegar em meio ao trânsito de veículos motorizados, expondo-os a riscos e reduzindo a sensação de segurança. Essa falta de integração dificulta o uso da bicicleta como meio de transporte cotidiano, pois impede deslocamentos longos e fluidos, além de desestimular novos usuários, especialmente mulheres e pessoas menos experientes. É importante destacar que em

muitas cidades brasileiras, as poucas ciclovias existentes estão concentradas em áreas centrais e mais ricas, enquanto regiões periféricas permanecem sem conexão adequada à malha ciclovária principal, acentuando desigualdades e limitando o acesso igualitário ao transporte sustentável. Entretanto, em cidades europeias como Oslo e Madrid, os maiores investimentos em infraestruturas de transporte de baixo custo são realizados em áreas periféricas para promover a inclusão e a sustentabilidade.

A falta de estacionamento apropriado principalmente nos terminais de transporte público dificulta o acesso do ciclista que precisa realizar viagens mais longas, impedindo que se faça a intermodalidade e aumentando a dependência do veículo automotor.

Algumas cidades pertencentes a países europeus têm muitas ações em incentivo ao uso da bicicleta e à redução de emissões de poluentes. A Amazon, uma empresa multinacional de tecnologia norte-americana que se destaca no comércio eletrônico, computação em nuvem, *streaming* e inteligência artificial, investiu 356 mil euros, no Reino Unido, em bicicletas cargueiras para realizar entregas de última milha de seus pedidos online, reduzindo custos, emissões e congestionamentos [11]. Ações desse tipo são aplicadas em mais de 40 cidades europeias. É importante ressaltar que, em países como Alemanha, França e Áustria, o uso de bicicletas de carga conta com o apoio de subsídios governamentais. Além disso, esses países investem em infraestrutura adequada para garantir que os entregadores possam se deslocar com segurança.

Em países onde a mobilidade urbana historicamente se baseia no uso predominante de veículos automotores, romper com esse paradigma exige a adoção de estratégias muito mais rigorosas e abrangentes. Não basta apenas incentivar alternativas; é necessário promover uma transformação institucional profunda, que envolva políticas públicas integradas, ações de diversos atores, tais como empresários, gestores, poder público e cidadãos de um modo geral.

Investimentos robustos em transporte coletivo e infraestrutura para modos ativos, além de medidas regulatórias que desestimulem o uso do transporte individual motorizado são necessários. Essa mudança deve

ser acompanhada de ações de planejamento urbano que priorizem a acessibilidade, a qualidade de vida e a sustentabilidade, colocando as pessoas no centro das decisões e garantindo equidade no acesso ao espaço público e aos diferentes modos de deslocamento. O sucesso dessa transição depende, ainda, do envolvimento da sociedade, de uma gestão democrática e da articulação entre diferentes setores, para que a mobilidade ativa e coletiva se torne realmente competitiva e atraente frente ao automóvel, promovendo cidades mais sustentáveis e inclusivas.

Em várias cidades pertencentes a países em desenvolvimento, as escolas e empresas não oferecem estacionamento para bicicletas e nem tampouco balneário para higienização de alunos e funcionários que utilizam a bicicleta como modo de transporte. Da mesma forma, comércios e estabelecimentos que recebem consumidores como lojas, shoppings, edifícios públicos, farmácias, restaurantes, lanchonetes e supermercados não oferecem estacionamentos para bicicletas. Tornando-se um ponto negativo no incentivo ao uso da mesma.

Algumas cidades que têm sua mobilidade urbana arraigada em veículos automotores, implementaram estratégias radicais para a redução dos carros nas cidades. Ações como restrição de circulação de carros em determinadas áreas da cidade ou em áreas escolares, redução de vagas de estacionamento para carros, redução da velocidade nas vias foram algumas das ações implementadas por Frankfurt, Clermont-Ferrand, e Londres que além de cobrar o acesso de carros nas regiões centrais da cidade, aumentou a oferta de espaço de área verde que substituíram áreas de estacionamento para carros, favorecendo a caminhada e o uso da bicicleta. Nota-se em todas estas cidades o aumento da oferta de serviço de bicicletas compartilhadas.

II.3 BICICLETAS COMPARTILHADAS

As bicicletas compartilhadas têm um papel importante no processo de mudança de paradigma. Ao olhar para as estações de oferta desse serviço, o transeunte pode se sentir curioso em experimentar como seria a rea-

lização de seu trajeto habitual numa bicicleta, sem despendar dinheiro em sua aquisição. Essa experiência pode ser ainda melhor sucedida se o trajeto todo a ser realizado for amparado por uma via estruturada e segura.

A bicicleta compartilhada promove deslocamentos rápidos, acessíveis e sustentáveis. Os sistemas de compartilhamento facilitam o acesso à bicicleta para pessoas que não possuem o veículo próprio, tornam acessível o uso desse meio de transporte e tornam-o uma alternativa viável para trajetos cotidianos, especialmente em grandes centros urbanos. Além de incentivar hábitos mais saudáveis, ao integrar atividade física à rotina, a bicicleta compartilhada contribui para a redução de emissões de poluentes, diminuição dos congestionamentos e melhora da qualidade do ar, fortalecendo o compromisso com a sustentabilidade urbana.

Outro aspecto relevante é a integração com outros modais de transporte, como ônibus e metrô, facilitando os chamados deslocamentos de “última milha” e tornando o sistema de mobilidade urbana mais eficiente e conectado. A tecnologia envolvida nesses sistemas, como aplicativos de geolocalização e desbloqueio, amplia a praticidade e a flexibilidade de uso, eliminando barreiras para novos usuários. Além disso, o crescimento da oferta do serviço de bicicleta compartilhada impulsiona a economia local, gera empregos e valoriza o comércio de bairro. Em São Paulo, muitos entregadores utilizam bicicletas compartilhadas para serviços de entrega de fast-food nas áreas centrais da cidade, ao mesmo tempo em que se estimulame políticas públicas voltadas à mobilidade sustentável. Dessa forma, a bicicleta compartilhada não apenas amplia as opções de deslocamento, mas também transforma a dinâmica urbana, promovendo cidades mais inclusivas, saudáveis e resilientes, favorecendo a economia e a renda.

No Brasil, em cidades como Curitiba e Belém, não há serviços de bicicletas compartilhadas e na cidade de São Paulo, maior cidade da América Latina, não há oferta do serviço em regiões mais periféricas. Em

idades da Europa, as regiões mais periféricas são melhores atendidas com esse serviço.

A oferta do serviço de bicicleta compartilhada é um aspecto fundamental para aumentar a visibilidade e a aceitação da bicicleta como meio de transporte. Em cidades como São Paulo, por exemplo, a bicicleta ainda não faz parte da cultura de mobilidade da maioria da população, sendo frequentemente associada apenas a um brinquedo ou a um instrumento para a prática esportiva.

A presença de sistemas de bicicletas compartilhadas, no entanto, contribui para mudar essa percepção ao tornar a bicicleta mais acessível, prática e integrada ao cotidiano urbano. Com esta oferta, mais pessoas têm a oportunidade de experimentar a bicicleta em seus deslocamentos diários, percebendo seus benefícios em termos de agilidade, economia e saúde. Além disso, a popularização do serviço estimula o poder público a investir em infraestrutura ciclovitária e incentiva uma mudança cultural, promovendo a bicicleta como uma alternativa real e eficiente para a mobilidade urbana.

Na cidade de São Paulo, com quase 12 milhões de habitantes, há a oferta de 9.430 bicicletas compartilhadas distribuídas em 240 estações pelo serviço Bike Itaú [4] concentradas em maior volume na região central da cidade, é um número de aparelho ofertado considerado baixo quando correlacionado com o número de habitantes da cidade, ou seja, uma média aproximada de 13 bicicletas para cada 100 habitantes. Em Belo Horizonte, apesar da oferta também ser baixa, há 51 estações que disponibilizam 400 bicicletas elétricas e 24 estações que disponibilizam 200 bicicletas convencionais.

O uso de bicicletas elétricas com pedal assistido é importante por exigir menor esforço do usuário, tornando-se mais inclusiva, principalmente em regiões em que o relevo se torna um desafio.

Em cidades da Europa como Clermont-Ferrand e Oslo é possível obter subsídios do governo de até 50% ou 400 Euros na aquisição de uma bicicleta elétrica. No Brasil, uma bicicleta elétrica custa, em média, o equivalente a 4,7 salários mínimos. Trata-se de um valor pouco acessível

principalmente quando comparado com os padrões de renda de regiões periféricas. A criação de um programa de incentivo, subsídio ou financiamento por parte do poder público seria de grande importância para a disseminação desse modo de transporte e ainda provocaria a redução de 10% das emissões a cada 15% de aumento de viagens feitas em bicicletas elétricas.

II.4 SEGURANÇA

Além das estruturas viárias oferecerem segurança e tranquilidade ao ciclista, é fundamental que este tome alguns cuidados ao transitar nos grandes centros urbanos principalmente no quesito uso de EPI – Equipamento de Proteção Individual.

De acordo com o Artigo 105 do Código de Trânsito Brasileiro – CTB, é obrigatório “para as bicicletas, a campainha, sinalização noturna dianteira, traseira, lateral e nos pedais, e espelho retrovisor do lado esquerdo”. Vale destacar que esses itens se referem à bicicleta.

Não há na legislação a exigência do uso de óculos e capacete, há apenas a recomendação do uso. Os equipamentos de proteção são divididos em dois grupos: equipamentos para o ciclista e equipamentos para a bicicleta.

Dentre os equipamentos recomendáveis aos ciclistas, destacam-se:

1. **Capacete:** é o item mais importante que pode proteger a cabeça de impactos;
2. **Luvas:** que protege as mãos, permite maior aderência ao guidão e evita atritos;
3. **Óculos:** protegem os olhos dos raios solares, poeira, insetos e detritos carregados pelo vento;
4. **Roupas:** confortáveis, que permitam transpiração, claras e com detalhes reflexivos; principalmente no período noturno ou es-

paços com pouca iluminação como túneis compartilhados com veículos automotores; e

5. **Protetores de joelhos e cotovelos:** protegem as articulações em caso de queda.

Para a bicicleta, é importante que seja instalado:

1. **Buzina:** ajuda a alertar pedestres que ocupam as vias específicas para ciclistas ou motoristas em conversões ou em calçadas compartilhadas;
2. **Retrovisores:** permitem que o ciclista tenha maior noção do espaço no entorno e ajuda a fazer manobras mais seguras;
3. **Sinalizador de luz:** ficam piscando em sinal de alerta principalmente para ciclistas noturnos, normalmente instalados na frente do guidão e embaixo do selim;
4. **Refletores:** refletem os faróis dos carros principalmente à noite ou em áreas pouco iluminadas, normalmente são instalados nos pedais, nos raios das rodas, no guidão, no bagageiro e atrás do selim.

Esses equipamentos podem reduzir o risco de lesões ao ciclista caso algum acidente aconteça. Porém, a grande maioria dos ciclistas ignoram os riscos aos quais estão expostos e não utilizam nenhum tipo de EPI.

II.5 CONCLUSÕES

A promoção da bicicleta como meio de transporte nos grandes centros urbanos representa uma alternativa bastante estratégica para enfrentar desafios de mobilidade no atual contexto. O histórico brasileiro revela que a priorização do automóvel, impulsionada por políticas econômicas e urbanas, resultou em cidades congestionadas, poluídas e socialmente

desiguais. No entanto, a bicicleta, por suas características de baixo impacto ambiental, acessibilidade e potencial para integração social, surge como alternativa viável e necessária para readequação dos espaços urbanos.

Exemplos internacionais demonstram que a transformação do paradigma da mobilidade exige mais do que incentivos pontuais. São necessárias políticas públicas integradas, investimentos robustos em infraestrutura cicloviária, campanhas educativas, gestão participativa e uma abordagem que valorize o transporte ativo e coletivo. No Brasil, avanços como a Política Nacional de Mobilidade Urbana, a reforma do Código Nacional de Trânsito e a expansão de ciclovias em cidades como São Paulo indicam uma mudança de perspectiva, embora ainda haja muito a ser feito para garantir segurança, conectividade e acesso igualitário, especialmente nas regiões periféricas.

A disseminação dos sistemas de bicicletas compartilhadas tem papel fundamental no processo de mudança de paradigma, ampliando a visibilidade da bicicleta e facilitando o acesso de novos usuários. Para consolidar a bicicleta como componente real da mobilidade urbana, é imprescindível superar barreiras culturais, garantir a manutenção e expansão da infraestrutura, promover incentivos econômicos – como subsídios para aquisição de bicicletas elétricas – e integrar o planejamento de cicloviário às demais políticas de transporte e uso do solo. Somente com uma abordagem sistêmica e colaborativa integrando empresas, escolas, comunidade e poder público, será possível construir cidades mais saudáveis, resilientes e equitativas de modo que a mobilidade ativa seja valorizada como direito e, simultaneamente, possa representar uma oportunidade para que a sociedade se torne mais consciente e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALIANÇA BIKE. **Associação Brasileira do Setor de Bicicletas**. Disponível em: <https://aliancabike.org.br/>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- [2] ARALDI, F. **Caderno Técnico de Referência: Mobilidade por Bicicleta**. Brasília, DF: Editora IABS, 2021. (Mobilidade urbana de baixo carbono). ISBN 9786587999104.
- [3] ASSEMBLEIA DE SÃO PAULO. **Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo**. 2014. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/>.
- [4] BIKE ITAÚ. **Bike Itaú em São Paulo**. São Paulo, [2026]. Disponível em: <https://bikeitau.com.br/sao-paulo/>. Acesso em: 12 jun. 2026.
- [5] BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 7 fev. 2022.
- [6] CARVALHO, M. L. D.; FREITAS, C. M. D. Pedalando em busca de alternativas saudáveis e sustentáveis. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1617–1628, 2012.

- [7] CINTRA, Marcos. **Os custos dos congestionamentos na cidade de São Paulo**. São Paulo: FGV EESP, 2014. (Texto para Discussão / Working Paper Series, TD 356). Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/11576>. Acesso em: 12 jun. 2026.
- [8] FIX, M. Uma ponte para a especulação: ou a arte da renda na montagem de uma “cidade global”. **Caderno CRH**, v. 22, p. 41–64, abr. 2009.
- [9] GONÇALVES, D.; MIRANDA, R. M. Speed limits in São Paulo and the actions for road safety and air quality. **Sustainability**, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/18/8065>.
- [10] LITMAN, T. **Active transportation policy issues**. Victoria Transport Policy Institute, 2003. Disponível em: https://www.vtpi.org/act_tran.pdf.
- [11] MEIO SUSTENTÁVEL. **Amazon transforma entregas urbanas com centros de micromobilidade sustentável**. [S. l.]: Meio Sustentável, 16 ago. 2024. Disponível em: <https://news.meiosustentavel.com.br/2024/08/16>. Acesso em: 12 jun. 2026.
- [12] OLIVEIRA, M. **Faltam bicicletas compartilhadas nas periferias de São Paulo**. 2023.
- [13] PERO, V.; STEFANELLI, V. A questão da mobilidade urbana nas metrópoles brasileiras. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 19, n. 3, p. 366–402, dez. 2015.
- [14] PMU; SECRETARIA MUNICIPAL DE TRANSPORTES. **Plano de Mobilidade de São Paulo - 2015**. 2025. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/planmobsp_v072_1455546429.pdf.

- [15] SÃO PAULO (Cidade). Secretaria Municipal de Mobilidade Urbana e Transporte. **Prefeitura entrega novos trechos de ciclovias a partir desta quarta-feira (20)**. São Paulo: Portal da Prefeitura de São Paulo, 20 abr. 2016. Disponível em: <https://prefeitura.sp.gov.br/web/mobilidade/w/noticias/215967>. Acesso em: 12 jun. 2026.
- [16] RAYMUNDO, H.; REIS, J. G. M. d. Measures for Passenger-Transport Performance Evaluation in Urban Areas. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 144, n. 3, p. 04018023, 2018. ISSN 0733-9488, 1943-5444. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29UP.1943-5444.0000461>.
- [17] SILVA, F. **Cidades inteligentes: planejamento e gestão para a mobilidade urbana**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1 jul. 2021.
- [18] SILVA, F. N. D. Mobilidade urbana: os desafios do futuro. **Cadernos Metrópole**, v. 15, n. 30, p. 377-388, 2013.
- [19] VÁ DE BIKE. **Ciclorrotas**. Disponível em: <https://vadebike.org/ciclorrotas/>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- [20] VALERI, A. V. (Ed.). **Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade por bicicleta nas cidades**. Brasília, DF: Presidência da República, Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana, 2007. (Coleção Bicicleta Brasil, 1). ISBN 978-85-60133-47-5.

III

BENEFÍCIOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA NAS VIAS PÚBLICAS DE SÃO PAULO PARA CICLISTAS: ABSORÇÃO DE CARBONO E REDUÇÃO DAS ILHAS DE CALOR

Deise Mara do Nascimento – Universidade Paulista – UNIP ¹

João Gilberto Mendes dos Reis – Universidade Estadual de Campinas
– UNICAMP ²

¹Graduada em Gestão Pública e Pós Graduada em Especializações em Jornalismo, Gestão de Cidades e Planejamento Urbano, Arquitetura e Urbanismo e Tecnologia da Informação.

²Graduado em Tecnologia em Logística e Engenharia Civil, Pós Graduated com Especialização em Mobilidade Urbana e Sustentável e Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

III.1 INTRODUÇÃO

A arborização urbana representa um elemento fundamental no planejamento e gestão das cidades contemporâneas, especialmente em metrópoles densamente povoadas como São Paulo. Em um contexto de crescentes desafios ambientais e climáticos, a presença de árvores no ambiente urbano transcende aspectos meramente estéticos, configurando-se como infraestrutura verde essencial para a sustentabilidade e resiliência urbana.

São Paulo, com sua área de 1.521 km² e uma população superior a 12 milhões de habitantes, apresenta desafios significativos relacionados à qualidade ambiental e à mobilidade urbana. Essa qualidade ambiental afeta principalmente a mobilidade que é realizada de forma ativa. Como a caminhada e o ciclismo.

Em relação ao uso de bicicleta, por exemplo, a cidade possui aproximadamente 652 km de infraestrutura cicloviária [4], porém carece de vegetação adequada para diminuir as ondas de calor nesses locais. Neste cenário, é preciso entender que a interação entre arborização urbana e mobilidade por bicicleta emerge como um campo de estudo relevante, especialmente considerando os impactos na absorção de carbono e na mitigação das ilhas de calor urbanas.

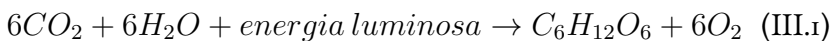
Desse modo, este capítulo tem como objetivo avaliar, sob uma perspectiva técnica e quantitativa, os benefícios da arborização urbana nas vias públicas de São Paulo para ciclistas, com ênfase nos processos de absorção de carbono e redução de ilhas de calor. A abordagem adotada busca integrar dados científicos, estudos de caso locais e recomendações técnicas, fornecendo subsídios para o planejamento e implementação de políticas públicas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e à Agenda 2030 da ONU.

III.2 ABSORÇÃO DE CARBONO PELA ARBORIZAÇÃO URBANA

III.2.1 MECANISMOS DE SEQUESTRO DE CARBONO PELAS ÁRVORES

A eficiência deste processo em ambientes urbanos é frequentemente comprometida por fatores como compactação do solo, poluição atmosférica e estresse hídrico, resultando em taxas de sequestro inferiores às observadas em ambientes naturais.

O processo de sequestro de carbono pelas árvores urbanas ocorre primariamente através da fotossíntese, onde o CO₂ atmosférico é convertido em compostos orgânicos utilizando energia solar. Este processo bioquímico pode ser representado pela Equação 1.



Em termos quantitativos, a capacidade de sequestro de carbono varia significativamente entre espécies arbóreas, sendo influenciada por fatores como taxa fotossintética, área foliar, idade da árvore e condições ambientais. Estudos técnicos indicam que uma árvore urbana adulta pode sequestrar entre 10 e 40 kg de CO₂ anualmente, dependendo da espécie e condições de crescimento.

No contexto urbano, o sequestro de carbono ocorre através de três reservatórios principais:

1. Biomassa aérea (tronco, galhos e folhas): responsável por aproximadamente 70% do carbono sequestrado;
2. Biomassa subterrânea (raízes): representa cerca de 20% do carbono armazenado;

3. Solo: armazena aproximadamente 10% do carbono sequestrado pelo sistema.

III.2.2 QUANTIFICAÇÃO DA ABSORÇÃO DE CO₂ POR ESPÉCIES COMUNS EM SÃO PAULO

A quantificação precisa da absorção de CO₂ por árvores urbanas requer metodologias específicas que considerem as particularidades do ambiente urbano. Em São Paulo, estudos técnicos têm avaliado a capacidade de sequestro de carbono das espécies mais comuns utilizadas na arborização viária, Figuras III.1 e III.2.

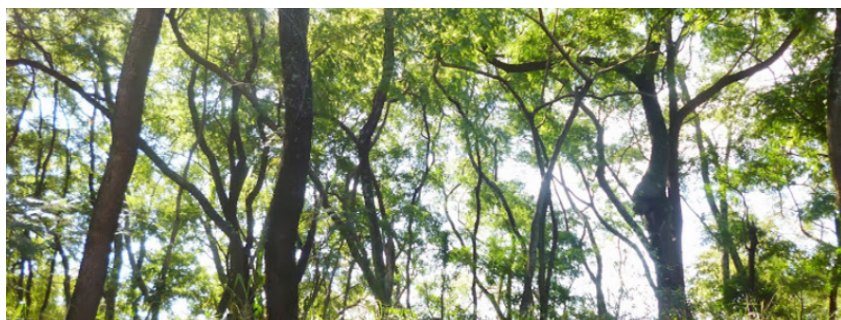


Figura III.1: Árvores em paisagem urbana. Fonte: Autores (2025)

Considerando a densidade média de árvores em vias cicláveis de São Paulo (aproximadamente 40 árvores por quilômetro), estima-se que cada quilômetro de via arborizada possa sequestrar entre 490 e 896 kg de CO₂ anualmente, dependendo da composição de espécies.

III.2.3 IMPACTO DA ARBORIZAÇÃO NA QUALIDADE DO AR

Além do sequestro de carbono, a arborização urbana contribui significativamente para a melhoria da qualidade do ar através da remoção

Espécie	Nome Científico	Sequestro Anual de CO ₂ (kg/ano)	Biomassa Total (kg)
Sibipiruna	Cenostigma pluviosum	18,7	980
Tipuana	Tipuana tipu	22,4	1.250
Ipê-amarelo	Handroanthus chrysotrichus	12,3	720
Jacarandá-mimoso	Jacaranda mimosifolia	15,8	850
Pau-ferro	Libidibia ferrea	17,2	910

Figura III.2: Capacidade média de sequestro de carbono por espécies arbóreas comuns em São Paulo. Fonte: Adaptado de Buckeridge and Locasselli [3, 5]

de poluentes atmosféricos, incluindo material particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NO_x), ozônio (O_3) e compostos orgânicos voláteis (COVs).

Para ciclistas, por exemplo, que apresentam taxa respiratória elevada durante o exercício físico (até 5 vezes superior à taxa em repouso), a qualidade do ar representa um fator crítico de saúde. Estudos realizados em São Paulo demonstram que vias arborizadas apresentam concentrações de material particulado ($MP_{2,5}$) até 24% inferiores em comparação com vias não arborizadas adjacentes.

A eficiência na remoção de poluentes varia conforme características morfológicas das espécies, como:

- Densidade e estrutura da copa;
- Rugosidade e cerosidade foliar;
- Presença de tricomas e outras estruturas superficiais; e
- Área foliar específica.

Espécies como a Sibipiruna (*Cenostigma pluviosum*) e o Pau-ferro (*Libidibia ferrea*) demonstram elevada capacidade de retenção de material particulado, com taxas de captura de 2,8 e 3,2 g/m² de área foliar, respectivamente.

III.3 REDUÇÃO DE ILHAS DE CALOR ATRAVÉS DA ARBORIZAÇÃO

III.3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR EM SÃO PAULO

O fenômeno das ilhas de calor urbanas (ICU) caracteriza-se pela elevação da temperatura em áreas urbanizadas em comparação com seu entorno rural ou menos urbanizado. Em São Paulo, estudos técnicos documentam diferenças térmicas que podem alcançar 10°C entre o centro densamente urbanizado e áreas periféricas com maior cobertura vegetal, Figura III.3. A formação das ICU em São Paulo resulta da interação complexa entre diversos fatores:

1. Propriedades térmicas dos materiais urbanos (concreto, asfalto, vidro);
2. Geometria urbana e fator de visão do céu;
3. Calor antropogênico (veículos, sistemas de climatização, atividades industriais);
4. Redução da cobertura vegetal e superfícies permeáveis; e
5. Alteração dos padrões de circulação atmosférica local.

Análises termográficas realizadas na cidade identificam "bottlenecks" térmicos coincidentes com áreas de baixa densidade arbórea e elevado tráfego veicular, como os corredores Norte-Sul, Leste-Oeste e a Região Central.

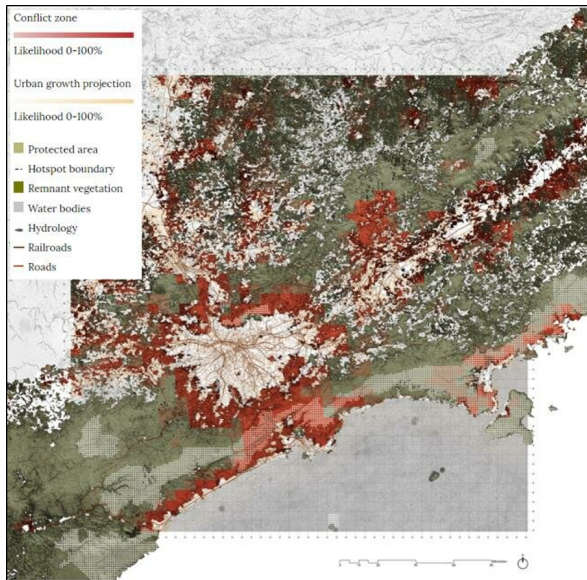


Figura III.3: Mapa de *hotspot* da cidade de São Paulo. Fonte: ATLAS for the END of the WORLD (<https://atlas-for-the-end-of-the-world.com>)

III.3.2 MECANISMOS DE MITIGAÇÃO TÉRMICA PELA VEGETAÇÃO URBANA

A arborização urbana atua na mitigação das ilhas de calor através de múltiplos mecanismos físicos:

- **Sombreamento:** A interceptação da radiação solar direta pelas copas das árvores reduz o aquecimento de superfícies como asfalto e concreto. Medições realizadas em vias de São Paulo indicam que o sombreamento arbóreo pode reduzir a temperatura superficial do pavimento em até 17°C durante o período de maior insolação [17].
- **Evapotranspiração:** O processo combinado de evaporação da água do solo e transpiração vegetal converte energia térmica em energia latente, reduzindo a temperatura do ar circundante. Uma árvore adulta pode transpirar até 450 litros de água diariamente,

resultando em capacidade de resfriamento equivalente a cinco aparelhos de ar condicionado de médio porte (2500 kcal/h) operando por 20 horas [3].

- **Alteração de Albedo:** A presença de vegetação modifica a refletividade das superfícies urbanas, reduzindo a absorção de calor. O albedo médio de superfícies arborizadas (0,25-0,30) é significativamente superior ao de superfícies asfaltadas (0,05-0,10), resultando em menor acúmulo térmico [17].

III.3.3 CONFORTO TÉRMICO PARA CICLISTAS EM VIAS ARBORIZADAS

O conforto térmico para ciclistas pode ser quantificado através de índices biometeorológicos como a Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) e o Índice Universal de Conforto Térmico (UTCI), que integram variáveis meteorológicas e fisiológicas.

Estudos realizados em ciclovias de São Paulo demonstram que o sombreamento proporcionado por espécies como a sibipiruna pode reduzir a temperatura PET em até 11°C para ciclistas [1]. Esta redução é particularmente significativa considerando que:

1. Ciclistas produzem calor metabólico elevado durante o exercício (150-300 W/m²).
2. Estão diretamente expostos às condições ambientais, sem climatização artificial.
3. A sensação térmica é amplificada pela velocidade de deslocamento (efeito *wind-chill*).

A Figura III.4 apresenta dados comparativos de conforto térmico em ciclovias arborizadas e não arborizadas em São Paulo, durante o verão.

A análise técnica destes dados evidencia que a arborização proporciona condições térmicas significativamente mais favoráveis para a prática

Parâmetro	Ciclovía Arborizada	Ciclovía Não Arborizada	Diferença
Temperatura do ar (°C)	28,3	31,5	-3,2
Temperatura radiante média (°C)	32,7	48,9	-16,2
Temperatura PET (°C)	29,8	40,7	-10,9
Umidade relativa (%)	62	48	+14
Índice UTCI (°C)	30,2	39,8	-9,6

Figura III.4: Parâmetros de conforto térmico em ciclovias de São Paulo (13h, verão. Fonte: Adaptado de Martins et al. e Abreu-Harbach et al. [7, 1])

do ciclismo, reduzindo o estresse térmico e os riscos associados à exposição prolongada ao calor, como desidratação e exaustão térmica.

III.4 ESTUDO DE CASO EM SÃO PAULO

III.4.1 CICLOVIA DA AVENIDA PAULISTA

A ciclovía da Avenida Paulista, implementada em 2015, representa um caso emblemático para análise dos impactos da arborização urbana na infraestrutura ciclovitária. Com extensão de 2,7 km e fluxo médio de 1.900 ciclistas/dia, esta via apresenta trechos com diferentes configurações de arborização.

Um estudo técnico conduzido por Martins et al. [7] avaliou parâmetros microclimáticos e de qualidade do ar ao longo da ciclovía, comparando segmentos com diferentes densidades arbóreas:

- Segmento A (alta densidade): 32 árvores/100m, predominância de sibipirunas adultas.
- **Segmento B (média densidade):** 18 árvores/100m, espécies diversificadas.

- **Segmento C (baixa densidade):** 7 árvores/100m, árvores jovens ou ausentes.

Os resultados demonstraram correlação significativa entre densidade arbórea e parâmetros de conforto ambiental:

1. **Temperatura superficial do asfalto:** redução de até 7,3°C no segmento A em comparação com o segmento C durante o período da tarde.
2. **Concentração de $MP_{2,5}$:** 18% inferior no segmento A em relação ao segmento C.
3. **Temperatura PET:** redução média de 8,2°C no segmento A em comparação com o segmento C.

Adicionalmente, pesquisas de percepção realizadas com ciclistas indicaram que 87% dos entrevistados preferem utilizar trechos arborizados, citando como principais benefícios o conforto térmico (93%), proteção contra radiação solar (89%) e sensação de melhor qualidade do ar (76%) (Figura III.5).



Figura III.5: Conforto térmico proporcionado por vegetação. Fonte: Autores (2025)

III.4.2 PROJETO CICLOVIAS VERDES

O Projeto Ciclovias Verdes, iniciativa da Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente em parceria com a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), visa integrar infraestrutura cicloviária e arborização urbana em São Paulo. Implementado inicialmente em 2018 na Zona Oeste, o projeto expandiu-se para outras regiões da cidade

Na ciclovia da Avenida Sumaré, um dos primeiros trechos contemplados pelo projeto, foram plantadas 124 árvores de espécies nativas, incluindo ipês, pau-brasil e sibipiruna, com espaçamento técnico de 8 metros entre indivíduos. O monitoramento técnico realizado entre 2018 e 2022 documentou:

- Aumento de 32% no fluxo de ciclistas após a intervenção;
 - Redução média de 3,8°C na temperatura do ar durante o verão;
 - Diminuição de 22% na concentração de material particulado;
 - Sequestro estimado de 1,7 toneladas de CO_2 pelo conjunto arbóreo em 2022
- O projeto incorpora aspectos técnicos inovadores, como:
1. Utilização de células de retenção para manejo de águas pluviais;
 2. Implementação de pavimentos permeáveis nas áreas de plantio;
 3. Monitoramento remoto de parâmetros fisiológicos das árvores; e
 4. Seleção de espécies com base em modelagem microclimática.

Os resultados preliminares do Projeto Ciclovias Verdes demonstram a viabilidade técnica e os benefícios mensuráveis da integração entre infraestrutura cicloviária e arborização urbana, fornecendo subsídios para sua expansão em outras áreas da cidade.

III.5 RELAÇÃO COM OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E AGENDA 2030

A arborização urbana nas vias públicas de São Paulo, com foco nos benefícios para ciclistas, relaciona-se diretamente com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 (Figura III.6):



Figura III.6: 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS.
Fonte: Organização das Nações Unidas [11]

III.5.1 ODS 3: “SAÚDE E BEM-ESTAR”:

A integração entre arborização urbana e infraestrutura cicloviária contribui para o ODS 3 através de múltiplos mecanismos:

- Melhoria da qualidade do ar, reduzindo a incidência de doenças respiratórias;
- Mitigação do estresse térmico, prevenindo condições relacionadas ao calor;

- Promoção da atividade física segura e confortável através do ciclismo; e
- Redução da exposição a poluentes atmosféricos durante o deslocamento.

Estudos epidemiológicos realizados em São Paulo indicam que a implementação de corredores verdes cicláveis pode reduzir em até 18% a incidência de internações por doenças respiratórias nas áreas adjacentes [12].

III.5.2 ODS II: “CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS”:

Visa tornar as cidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis. A arborização de vias cicláveis contribui diretamente para as metas:

- **II.2:** Proporcionar acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis e sustentáveis.
- **II.6:** Reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades.
- **II.7:** Proporcionar acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos e acessíveis.
- **II.b:** Aumentar o número de cidades com políticas integradas para mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

O Plano Municipal de Arborização Urbana (PMAU) de São Paulo, instituído em 2020, estabelece diretrizes técnicas para integração entre arborização e mobilidade sustentável, alinhando-se ao ODS II e à Agenda Municipal 2030.

III.5.3 ODS 13: “AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA”:

A arborização urbana associada à infraestrutura ciclovitária contribui para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas através de:

- Sequestro de carbono pela vegetação urbana.
- Redução de emissões de gases de efeito estufa pela substituição de viagens motorizadas.
- Mitigação de ilhas de calor urbanas.
- Aumento da resiliência urbana a eventos climáticos extremos.

Estimativas técnicas indicam que a implementação de corredores verdes cicláveis em 30% das vias arteriais de São Paulo poderia resultar em redução de aproximadamente 58.000 toneladas de CO₂ anualmente, considerando o sequestro direto e a substituição modal [14].

III.6 RECOMENDAÇÕES DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Com base na análise técnica (Figuras III.7 e III.8) dos benefícios da arborização urbana para ciclistas em São Paulo, apresentam-se as seguintes recomendações para implementação de políticas públicas:

III.6.1 DIRETRIZES PARA PLANEJAMENTO INTEGRADO

- I. **Implementação de Corredores Verdes Cicláveis:** Priorizar a implementação de infraestrutura ciclovitária em vias com potencial para arborização intensiva, criando corredores verdes que maximizem os benefícios ambientais e de conforto para ciclistas.

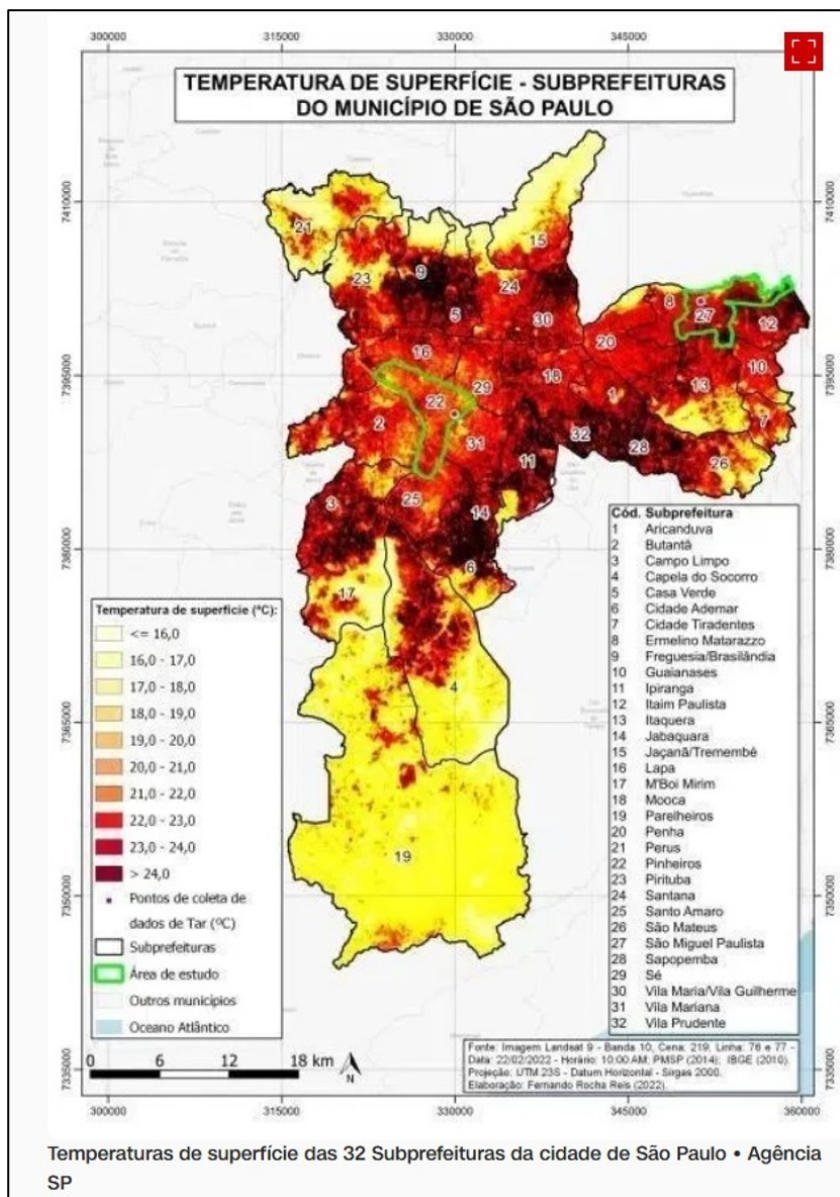


Figura III.7: Temperatura de superfície cidade de São Paulo. Fonte: Reis (2024) [15]

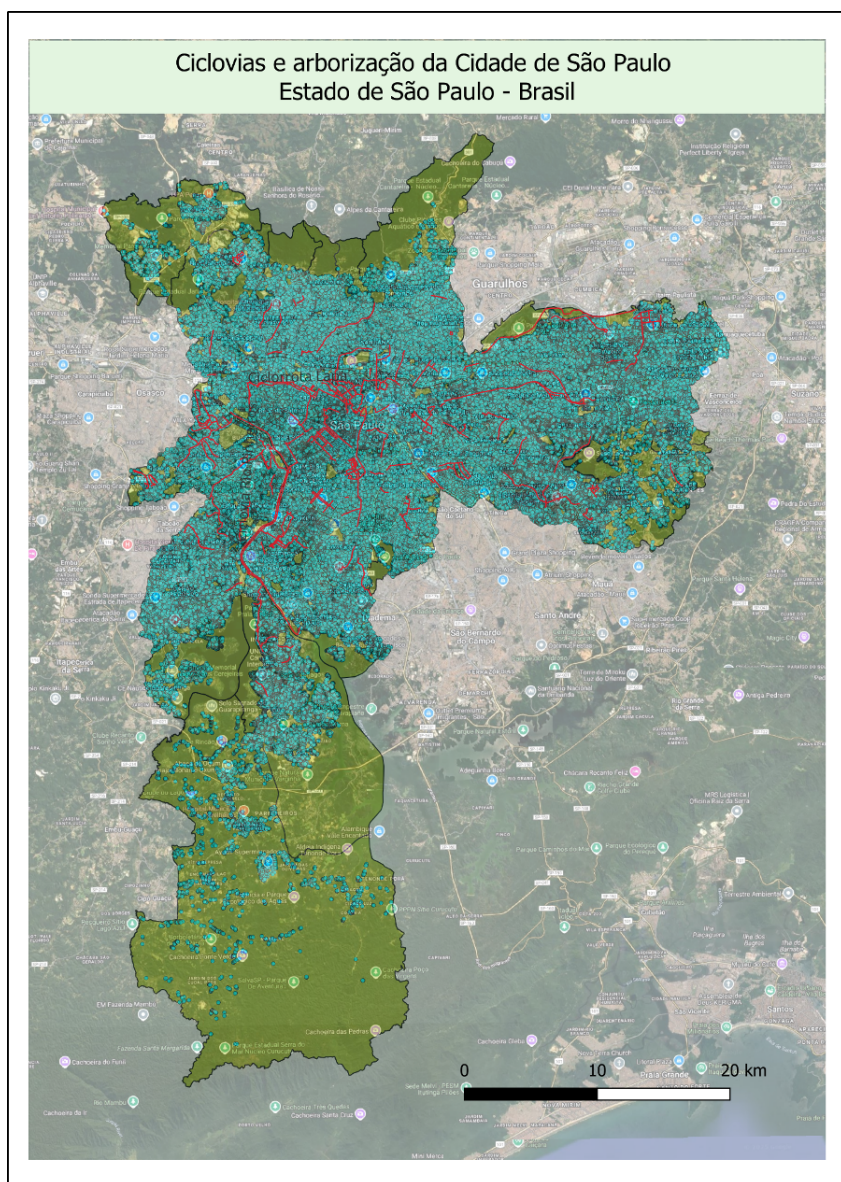


Figura III.8: Mapa da cidade de São Paulo, ciclovias e arborização urbana atual. Fonte: Adaptado usando Dados GEOSAMPA (2026) [16]

2. **Seleção Técnica de Espécies:** Estabelecer critérios técnicos para seleção de espécies arbóreas em ciclovias.
3. **Capacidade de sequestro de carbono:** optar por espécies arbóreas que pertencem ao bioma e que possam contribuir com maior volume de carbono absorvido, considerando:
 - (a) Potencial de sombreamento e redução térmica, espécies arbóreas que possuam copa volumosa e que no conjunto com demais espécies arbóreas próximas, possam formar um dossel bem estruturado.
 - (b) Eficiência na captura de poluentes atmosféricos, escolha de espécies arbóreas com maior capacidade foliar, copa e formação de dossel expansivo.
 - (c) Compatibilidade com infraestrutura urbana, escolha de espécies arbóreas do bioma local e que possuam raízes profundas, evitando-se danos em calçadas e muros; copas e troncos compatíveis com arruamento, rede hidráulica, rede elétrica e mobiliário urbano em geral.
 - (d) Resistência a condições urbanas adversas, espécies arbóreas do bioma local e que cumpram os requisitos anteriores.
 - (e) Modelagem Microclimática: Incorporar modelagem microclimática no planejamento de novas ciclovias, utilizando ferramentas computacionais como ENVI-met e RayMan para otimizar o posicionamento e densidade arbórea.

III.6.2 INSTRUMENTOS LEGAIS E NORMATIVOS

1. **Revisão do Código de Obras:** Atualizar o Código de Obras municipal para incluir requisitos específicos de arborização em

projetos de infraestrutura cicloviária, estabelecendo parâmetros técnicos mínimos de densidade arbórea e área de sombreamento.

2. **Incentivos Fiscais:** Implementar mecanismos de incentivo fiscal para empreendimentos privados que incorporem arborização e infraestrutura cicloviária, como redução de IPTU e outorga onerosa.
3. **Compensação Ambiental:** Direcionar recursos de compensação ambiental para projetos de arborização em ciclovias existentes, priorizando áreas com elevados índices de poluição e formação de ilhas de calor.

III.6.3 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

1. **Rede de Monitoramento Microclimático:** Implementar rede de sensores para monitoramento contínuo de parâmetros microclimáticos em ciclovias, permitindo avaliação em tempo real dos benefícios da arborização.
2. **Inventário Dinâmico:** Desenvolver sistema de inventário arbóreo dinâmico, com atualização contínua de dados dendrométricos e fisiológicos, permitindo quantificação precisa dos serviços ecossistêmicos.
3. **Indicadores de Desempenho:** Estabelecer indicadores técnicos para avaliação do desempenho da arborização em ciclovias.

III.6.4 ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO PARA CICLISTAS (ICTC)

- **Descrição:** Métrica adaptada de índices de conforto térmico (como o UTCI - *Universal Thermal Climate Index* ou a Temperatura Efetiva) para refletir a sensação térmica experimentada

pelos ciclistas em um determinado trecho da ciclovia, considerando a influência da arborização.

- **Finalidade:** Avaliar a eficiência da arborização em mitigar o estresse térmico (principalmente o calor) nos usuários das ciclovias. O conforto térmico é um fator crucial para incentivar o uso da bicicleta como meio de transporte.
- **Fatores de Medição/Cálculo:** Considera a temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar (incidência direta e sombreada pela copa das árvores) e, em alguns casos, o nível de atividade metabólica dos ciclistas. A arborização impacta diretamente na radiação solar (sombreamento) e, em menor grau, na temperatura e umidade (evapotranspiração).

III.6.5 TAXA DE SEQUESTRO DE CARBONO POR QUILOMETRO (TSC-KM)

- **Descrição:** Representa a quantidade de Dióxido de Carbono (CO_2) que a arborização da ciclovia é capaz de remover da atmosfera e armazenar (sequestrar), normalizada pela extensão da via (km).
- **Finalidade:** Quantificar o benefício ambiental da arborização em termos de mitigação das mudanças climáticas, proporcionando um valor comparativo da contribuição ecológica da arborização em diferentes trechos ou projetos de ciclovias.
- **Fatores de Medição/Cálculo:** Calculado a partir da estimativa da biomassa total das árvores (tronco, galhos, raízes) em um determinado trecho da ciclovia, usando fatores de conversão (geralmente 45% da biomassa é carbono, e o CO_2 é obtido pela razão de massas moleculares) e a taxa de crescimento das espécies ao longo do tempo. O resultado é tipicamente expresso em unidades como kg de CO_2 por ano por km de ciclovia ($kgCO_2/ano/km$).

III.6.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR EM CICLOVIAS (IQAC)

- **Descrição:** Indicador que mede a qualidade do ar específica na área da ciclovia, com foco na redução de poluentes atmosféricos devido à presença da arborização.
- **Finalidade:** Avaliar a capacidade da arborização em filtrar ou reter poluentes comuns em ambientes urbanos (como material particulado - PM_{10} e $PM_{2.5}$, NO_x , SO_2) que podem ser prejudiciais à saúde dos ciclistas.
- **Fatores de Medição/Cálculo:** Adaptação de índices de qualidade do ar existentes (como o IQAr ou AQI), mas com foco em medições ou modelagens que isolam o efeito de deposição de poluentes nas folhas das árvores ou na dispersão devido à barreira vegetal, ao longo do percurso da ciclovia. Um valor mais alto na escala melhor (ou mais baixo em escalas de poluição) indicaria maior eficácia da arborização na melhoria do ar.

III.6.7 COEFICIENTE DE SOMBREAMENTO EFETIVO (CSE)

- **Descrição:** É a razão entre a área de sombreamento total fornecida pelas copas das árvores sobre a superfície da ciclovia (e adjacências imediatas de descanso) e a área total da ciclovia no trecho analisado, ponderada pela eficácia do sombreamento em horários críticos de uso (ex: pico da manhã, meio-dia).
- **Finalidade:** Medir a eficiência geométrica e temporal da arborização em proporcionar sombra, o principal benefício da vegetação para o conforto térmico. É um indicador de planejamento espacial e cobertura vegetal.

- **Fatores de Medição/Cálculo:** A Área de Sombreamento Efetivo pode ser calculada por sensoriamento remoto (imagens aéreas), levantamento de campo ou simulações 3D, considerando a projeção da copa das árvores sobre a ciclovia, muitas vezes avaliada em momentos específicos do dia e do ano de maior insolação (por exemplo, 12h no verão) ou como uma média ponderada ao longo do dia de uso. Valores mais próximos de 1 (ou 100%) indicam maior cobertura de sombra.

A implementação destas recomendações, fundamentadas em análise técnica e evidências científicas, pode contribuir significativamente para a maximização dos benefícios da arborização urbana para ciclistas em São Paulo, promovendo simultaneamente a mitigação das mudanças climáticas e a melhoria da qualidade ambiental urbana.

III.7 CONCLUSÕES

A análise técnica apresentada neste capítulo evidencia os múltiplos benefícios da arborização urbana nas vias públicas de São Paulo para ciclistas, com ênfase nos processos de absorção de carbono e redução de ilhas de calor. Os resultados demonstram que a integração entre infraestrutura cicloviária e arborização urbana representa uma estratégia eficiente para promoção da mobilidade sustentável e melhoria da qualidade ambiental urbana.

Em termos de absorção de carbono, as espécies arbóreas comumente utilizadas na arborização viária de São Paulo demonstram capacidade significativa de sequestro de CO_2 , contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Adicionalmente, a vegetação urbana atua na remoção de poluentes atmosféricos, proporcionando ar de melhor qualidade para ciclistas, que apresentam taxa respiratória elevada durante o exercício físico.

No contexto da mitigação de ilhas de calor, a arborização viária proporciona redução significativa da temperatura do ar e da temperatura

radiante média, resultando em condições térmicas mais favoráveis para a prática do ciclismo. Os estudos de caso analisados, como a ciclovia da Avenida Paulista e o Projeto Ciclovias Verdes, demonstram benefícios mensuráveis em termos de conforto térmico, qualidade do ar e atratividade para ciclistas.

A relação entre arborização urbana, ciclismo e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável evidencia o potencial desta integração para promoção de cidades mais saudáveis, resilientes e sustentáveis. As recomendações de políticas públicas apresentadas fornecem diretrizes técnicas para maximização destes benefícios, considerando aspectos de planejamento, implementação, monitoramento e avaliação.

A compreensão dos mecanismos técnicos pelos quais a arborização urbana beneficia ciclistas representa conhecimento fundamental para o desenvolvimento de soluções urbanas integradas, que conciliam mobilidade sustentável, qualidade ambiental e resiliência climática.

Conclui-se que o investimento em arborização urbana nas vias públicas de São Paulo, com foco nos benefícios para ciclistas, constitui estratégia técnica e economicamente viável para enfrentamento de desafios urbanos contemporâneos, contribuindo simultaneamente para a mitigação das mudanças climáticas, redução de ilhas de calor e promoção da mobilidade sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. **Landscape and Urban Planning**, v. 138, p. 99-109, 2015.
- [2] BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A relação entre ilhas de calor urbana, ocupação do solo e morfologia urbana na cidade de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 133-159, 2016.
- [3] BUCKERIDGE, M. Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 85-101, 2015.
- [4] CET - COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. **Mapa de Infraestrutura Cicloviária**. São Paulo, 2023.
- [5] LOCOSSELLI, G. M. et al. Spatial-temporal variability of metal pollution across an urban network of small parks: implications for ecosystem services of air filtration. **Environmental Pollution**, v. 252, p. 1287-1295, 2019.
- [6] LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

- [7] MARTINS, T. A. L.; BONHOMME, M.; ADOLPHE, L. Micro-climate impacts of cycling infrastructure: A case study in central São Paulo. **Urban Climate**, v. 34, p. 100677, 2020.
- [8] MCPHERSON, E. G.; XIAO, Q.; AGUARON, E. A new approach to quantify and map carbon stored, sequestered and emissions avoided by urban forests. **Landscape and Urban Planning**, v. 120, p. 70-84, 2013.
- [9] MILANO, M. S.; DALCIN, E. C. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000.
- [10] NOWAK, D. J. et al. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 229-236, 2013.
- [11] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://gtagenda2030.org.br/ods/>>. Acesso em: 18 jun. 2026.
- [12] RIBEIRO, F. N. D. et al. Effect of sea breeze propagation on the urban boundary layer of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Atmospheric Research**, v. 214, p. 174-188, 2018.
- [13] RIBEIRO, H.; PESQUERO, C.; COELHO, M. Influência das áreas verdes urbanas na qualidade do ar de São Paulo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 19, n. 4, p. 667-676, 2016.
- [14] RIBEIRO, J. P.; MENDES, R. L. R.; SANTOS, C. A. N. Arborização urbana e sequestro de carbono: potencial para mitigação das mudanças climáticas em São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 55, p. 50-64, 2020.
- [15] REIS, Fernando Rocha. **A produção desigual do espaço e as repercussões no clima urbano**: estudo de caso das subprefeituras de São Miguel Paulista e Pinheiros. 2024. Dissertação

(Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-19122024-201510/publico/2024_FernandoRochaReis_VCorr.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2026.

- [16] SÃO PAULO (Município). Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL). **Portal GeoSampa:** Mapa Digital da Cidade de São Paulo. Disponível em: <https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx>. Acesso em: 18 jun. 2026.
- [17] SPANGENBERG, J. et al. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 14, n. 4, p. 1-25, 2019.

IV SINISTROS ANTROPOGÊNICOS: RECORTE DA INSEGURANÇA DE TRÂNSITO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Sivanilza Teixeira Machado - Instituto Federal de São Paulo - IFSP ¹

João Gilberto Mendes dos Reis - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP ²

¹Graduada em Logística com Ênfase em Transportes e Engenharia Civil. Especialização em Estatística e Data Science, Mestra em Engenharia Agrícola e Doutora em Engenharia de Produção.

²Graduado em Tecnologia em Logística com Ênfase em Transportes e Engenharia Civil, Especialização em Mobilidade Urbana e Sustentável e Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

Hélcio Raymundo - Universidade Paulista - UNIP ³

Rodrigo Ribeiro de Oliveira - Instituto Federal de São Paulo - IFSP ⁴

Em 1897..., aconteceu o primeiro acidente de trânsito no Brasil protagonizado pelo veículo do famoso jornalista e abolicionista José do Patrocínio, que, no momento do acidente, estava sendo conduzido pelo não menos famoso escritor Olavo Bilac. Este, ao perder o controle do carro, desceu ladeira abaixo, chocando-se contra uma árvore na estrada velha da Tijuca. A colisão⁵ provocou perda total do veículo [43].

IV.1 OBJETIVO DESTE CAPÍTULO

Este capítulo discute de forma aberta os principais problemas de gestão de tráfego, os índices de acidentes no trânsito, a insegurança viária e como os programas de educação para o trânsito podem contribuir para a mudança de comportamento das pessoas. Neste contexto, este capítulo tem como objetivo resgatar os princípios básicos de segurança no trânsito e analisar o grave impacto de vidas perdidas todos os dias nas ruas, avenidas, estradas e rodovias do Estado de São Paulo. E com isso, espera-se chamar a atenção da sociedade para não fechar os olhos e tapar os ouvidos para um sério problema de saúde pública e que precisa ser colocado em evidência para ser “visto”. A quantidade de sinistros no trânsito do Estado de São Paulo é uma questão política, de interesses individuais que prevalecem em detrimento do interesse do coletivo.

³Graduado em Engenharia Civil, Mestre em Transportes Rodoviários e Doutor em Engenharia de Produção.

⁴Graduado em Administração, Mestre em Administração e Doutor em Engenharia de Produção.

⁵Trata-se do impacto que um veículo em movimento sofre de outro também em movimento (NBR 10697:2020)[3]

IV.2 OCORRÊNCIA DE DESASTRES NO TRÂNSITO

Este tópico busca primeiramente “chocar” você, leitor! Chamar a sua atenção para um problema de saúde pública que está nas mídias todos os dias, mas não “doem” mais aos ouvidos humanos, nem “incomodam” os olhos pelas visões perturbadoras de imagens gravadas por câmeras e reproduzidas para todos os lares conectados ao canal transmissor.

O sinistro de trânsito passou a ser tão banalizado e habitual que não comove mais as pessoas como deveria, cada ocorrência deveria ser um alerta para mais prudência no trânsito e gestores públicos serem mais cautelosos nos projetos de mobilidade urbana (infraestrutura e tráfego). Globalmente, os sinistros de trânsito produzem aproximadamente 1,3 milhão de mortes e estimados 50 milhões de feridos por ano [48]. Para se ter uma ideia da dimensão dessa situação, basta você imaginar que no Brasil tem muitos municípios que não têm 1,3 milhão de habitantes. Vamos listar alguns municípios com população próxima a 1,3 milhão: Porto Alegre/RS, Belém/PA, Guarulhos/SP e Campinas/SP. É como se anualmente uma dessas cidades deixasse de existir! Pensou no absurdo dessa estatística? E o que as autoridades estão fazendo para mudar essa situação?

Para você compreender melhor os tópicos deste capítulo, recomendamos fortemente a leitura das notas de rodapé que esclarecem o significado de alguns termos aqui trabalhados. A leitura é importante para você compreender a decisão de se utilizar o termo “sinistro” para as ocorrências de trânsito. O conceito de sinistro de trânsito foi incluído no Código de Trânsito Brasileiro (CTB) em 2023, pela Lei nº 14.599 ⁶, 82 anos após a criação do Conselho Nacional de Trânsito (Contran) e dos Conselhos Regionais de Trânsito [43], como:

⁶Para o Eng. Francisco Peres Soares, autor do livro *Rastro na via*, o CTB não diferencia os termos ‘sinistro’ e ‘acidente’, que, no seu amplo conhecimento, ambos os termos podem ser tratados como desastres viários, definindo: “acidentes são eventos de difícil percepção prévia (...). Sinistros são eventos fáceis de identificar e prevenir”.

Evento que resulta em dano ao veículo ou à sua carga e/ou em lesões a pessoas ou animais e que pode trazer dano material ou prejuízo ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou em áreas abertas ao público (CTB, 2023) [9].

Enquanto escrevemos esse capítulo, recebemos uma informação aterradoradora de que um conhecido “entrou debaixo de um caminhão” com seu carro em alta velocidade, perdeu a mulher, o filho (ainda muito jovem), ficou paraplégico e ele com graves sequelas cerebrais, que não se sabe ainda se sobreviverá. Uma família destruída! Isto choca? Ou não mais? Porque, talvez, é só mais um caso de sinistro de trânsito, a esposa entra para a estatística como um sinistro “fatal” e pai e filho como “grave”.

Perguntamos todos os dias quando escutamos notícias de sinistros de trânsito, porque as pessoas dirigem perigosamente, e mais perigoso ainda, é não perceberem que estão dirigindo perigosamente e transferirem, quase sempre, as questões de trânsito para os demais que compartilham as vias públicas. O trânsito se tornou uma “guerra silenciosa”, na qual veículos, como meio de locomoção, passam a ser armas poderosas nas mãos de pessoas despreparadas. Aviso! A partir daqui, o conteúdo é composto por informações ainda mais fortes e chocantes, retratando o cenário de violência urbana no trânsito. Assim, para chocar, recomendamos que você faça uma leitura dos dados e pense que cada número representa uma vida, uma história abortada e memórias apagadas no asfalto, na lataria, e que cada sobrevivente da “guerra do trânsito” ficou com algum trauma, físico ou mental, leve ou grave.

Vamos começar apresentando um recorte de ocorrências de “desastres” no trânsito, nos últimos 10 anos (2015-2024), com a impressionante marca de 1,5 milhão de vítimas, entre casos leves e fatais. O mapa do Estado de São Paulo abaixo foi plotado considerando apenas o número de ocorrências de sinistros que apresentavam em seu registro as coor-

denadas geográficas, longitude e latitude⁷, conforme mostra a Figura IV.1.

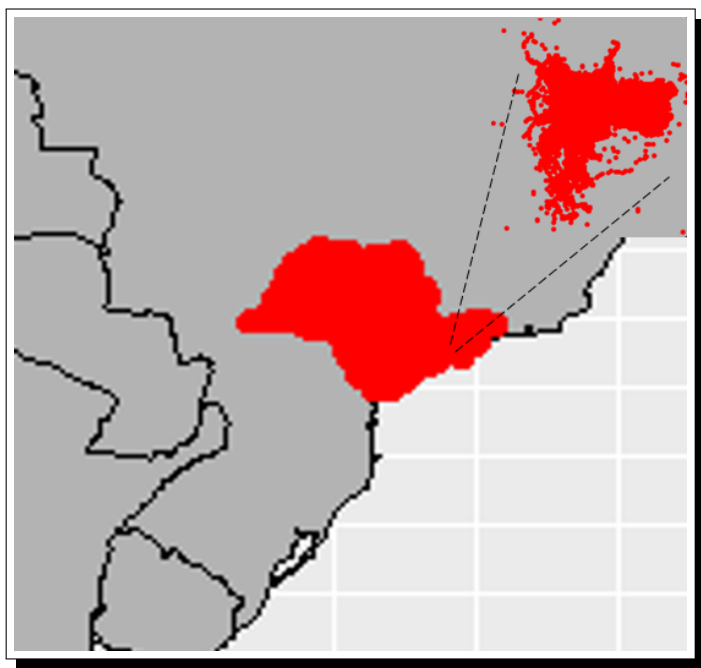


Figura IV.1: Estado de São Paulo plotado por número de ocorrência de desastres no trânsito, período: 2015-2024. Fonte: Adaptado de Infosiga (2025)

Refletindo sobre a quantidade de vítimas no período, como dito anteriormente, 1,5 milhão, é mais do que a população do município de Guarulhos, localizado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)⁸, segunda maior cidade do Estado de São Paulo, perdendo somente para a capital, com cerca de 12 milhões de pessoas.

⁷O número de ocorrências no período foi suficiente para gerar o mapa do Estado de São Paulo, com 1,18 milhão de registros, sendo desconsideradas todas as demais ocorrências sem informação de coordenadas geográficas. Da mesma forma, o mapa da cidade de São Paulo foi plotado considerando cerca de 157 mil observações, desconsiderando dados sem informação.

⁸Região composta por 39 municípios, com população estimada de 22 milhões de habitantes.

No período analisado foram registradas 54.655 (cerca de 3,4%) mortes no Estado de São Paulo por sinistros de trânsito, uma média anual de $5.465,5 \pm 487,6$ mortes, ou seja, são 455,4 mortes por mês e 15,18 mortes por dia. De acordo com *World Health Organization* [50], a taxa estimada de mortalidade no trânsito do Brasil por 100.000 habitantes é de 15,70⁹, ocupando a 14ª posição entre os países comparados das Américas, Haiti aparece com a taxa mais elevada (31,3) e o Canadá é o país com a taxa mais baixa (4,70).

Explorando mais esse contexto brasileiro, em 2021, as lesões no trânsito aparecem como uma das principais causas de mortes de pessoas no país ocupando a 10ª posição, sendo a principal causa no período o COVID-19 com taxa de mortes por 100.000 habitantes (219,5), seguido de doenças cardíacas (85,7), AVC (64,2), infecções do trato respiratório (38,3), violência interpessoal (32,3), entre outras [49].

O ano de 2015 foi o mais fatal, com 6.321, e o ano de 2020 o menos fatal, com 4.844 mortes, provavelmente pelo enfrentamento da pandemia e pela redução de pessoas no trânsito, dado a política de isolamento social. Sinistros de trânsito com vítimas em estado grave representam 5,1%, ferimentos leves 43,7%, e sem informações disponíveis 47,7% dos casos. Para efeitos comparativos, a Figura IV.2 a seguir apresenta a plotagem do número de vítimas de trânsito de 2019 a 2024, devido ao período de 2015-2018 não ter registros de ocorrências distribuídas como fatal, grave e leve.

Com relação aos meses do ano, percebe-se que há uma distribuição de ocorrências semelhantes entre os meses (média de 8,3%), com destaque para os meses com maior incidência, março, abril e outubro com respectivamente 8,9%, 8,7% e 8,5% de participação sobre o total. Os meses com menor ocorrência de sinistros no trânsito foram junho (8,10%), janeiro (8,09%) e setembro (8,08%).

Para análise de incidências na faixa horária, os dados foram distribuídos entre madrugada (00:00 – 5:59), manhã (6:00 – 11:59), tarde (12:00

⁹A taxa de mortes no trânsito brasileira é superior que a Global (15) e das Américas (14,1) [49]

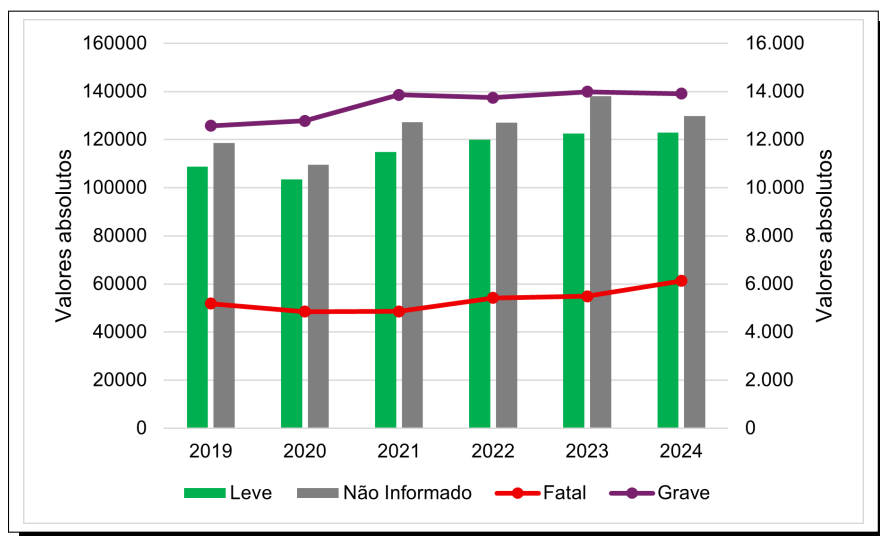


Figura IV.2: Distribuição das vítimas de trânsito por gravidade, período de 2019-2024. Fonte: Adaptado de Infosiga (2025) [24]

– 17:59) e noite (18:00 – 23:59), como indica a Figura IV.3. Os períodos do dia mais críticos são tarde e noite, como participações de 32,80% e 30,56% respectivamente.

Em quantidade de ocorrências, os dez municípios mais críticos são, pela ordem: São Paulo (23,3%), Guarulhos (2,8%), Ribeirão Preto (2,8%), Campinas (2,6%), São José do Rio Preto (1,5%), Sorocaba (1,3%), São Bernardo do Campo (1,2%), São José dos Campos (1,5%), Bauru (1,3%) e Jundiaí (1,2%). Entretanto, quando se observa a taxa de sinistro anual por 100 mil habitantes, para esses mesmos municípios, tem-se a cidade de São José do Rio Preto com 459,6, Bauru (429,4), Ribeirão Preto (394,4), Jundiaí (342,5), Sorocaba (298,9), São José dos Campos (266,3), Guarulhos (251,6), São Paulo (245,8), Campinas (241,7) e São Bernardo do Campo (235,4).

Os sinistros de trânsito podem ocorrer por diversos fatores. Entre eles, pelo volume de veículos na via. A frota de veículos é composta por automóveis, motocicletas, caminhão, caminhão trator, caminhonete, camioneta, motoneta, ônibus, entre outros. Por exemplo, analisando

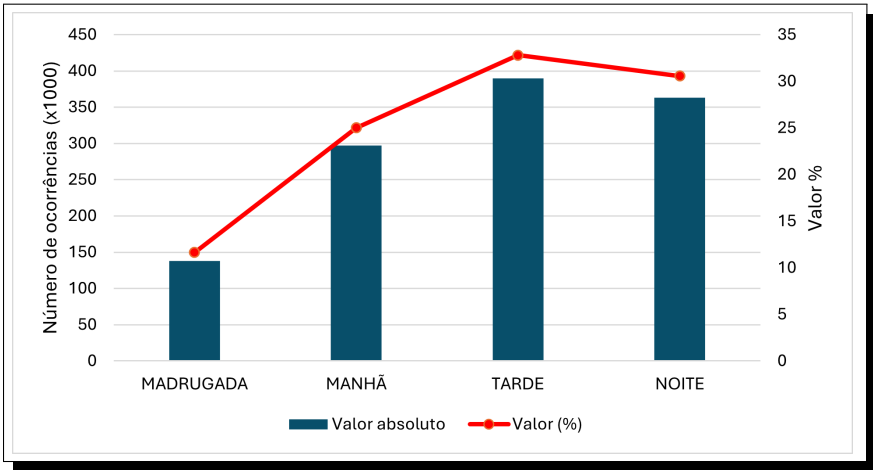


Figura IV.3: Distribuição das ocorrências de trânsito por período do dia (2015-2024). Fonte: Adaptado de Infosiga (2025) desprezando as ocorrências sem informações horárias [24]

a taxa de crescimento de veículos no Estado de São Paulo e na capital paulista, observa-se um crescimento nos últimos 10 anos de aproximadamente 29% e 28,5%, respectivamente, como ilustram a Tabela IV.1 e Tabela IV.2.

Além disso, pode-se verificar a participação de automóveis na composição da frota e a taxa de motorização. No período, a participação de automóveis na composição da frota apresentou uma queda de cerca de 6% para o Estado e 7% para a Capital, e uma média de 62% e 68%, respectivamente. Entretanto, quando se observa a taxa de motorização, tem-se que um crescimento de aproximadamente 20% para o Estado e 26% para a cidade de São Paulo, e uma média de 717,93 veículos por 1.000 habitantes e 762,54 veículos por 1.000 habitantes, respectivamente.

Adicionando à análise a participação de motocicletas juntamente com automóveis na composição da frota, a porcentagem tanto para o Estado como para a cidade gira em torno de 80%, e o restante é distribuído entre os demais tipos de veículos.

Tabela IV.1: Frota de veículos, participação de automóveis na composição da frota e taxa de motorização para o Estado, período 2015-2024

Ano	Frota (milhões)	Participação automóveis (%)	Taxa de motorização (1000 hab.)*
2015	26,61	63,28	644,78
2016	27,33	63,10	662,40
2017	28,14	62,97	681,95
2018	29,06	62,74	704,22
2019	30,06	62,39	728,49
2020	30,78	62,02	745,94
2021	31,46	61,37	762,33
2022	32,29	60,79	727,14
2023	33,26	60,22	749,00
2024	34,33	59,57	773,07

Fonte: Adaptado de IBGE (2022) [23]

* Para o cálculo da taxa de motorização, considerou a população do censo 2010 e 2022, respeitando os períodos de vigência, para o Estado de São Paulo e a cidade de São Paulo

Tabela IV.2: Frota de veículos, participação de automóveis na composição da frota e taxa de motorização para a Cidade de São Paulo, período 2015-2024

Ano	Frota (milhões)	Participação automóveis (%)	Taxa de motorização (1000 hab.)
2015	7,59	70,08	674,47
2016	7,81	69,73	693,57
2017	8,04	69,46	714,16
2018	8,30	69,06	737,16
2019	8,57	68,51	761,21
2020	8,76	67,97	778,53
2021	8,89	67,20	789,90
2022	9,15	66,60	799,01
2023	9,46	65,93	826,11
2024	9,75	65,24	851,25

Fonte: Adaptado de IBGE (2022)

Analisando o tipo de vias, percebeu-se que cerca de 82,3% das ocorrências de trânsito se concentram em vias municipais, 17,1% em rodovias e as demais não foram classificadas. Com relação ao tipo de veículo envolvido em sinistros de trânsito, contabilizou-se cerca de 41,4% de automóveis, 34,8% de motocicletas, 13,1% de veículos não informados, 3,8% de caminhões, 2,6% de outros tipos de veículos, 2,1% de ônibus e 2,1% de bicicletas.

Considerando os dados com informações sobre os tipos de acidentes, notou-se que 33,2% correspondem a colisão, 6,8% a atropelamentos, 5,4% a choque¹⁰, 4,5% a tombamento¹¹, 1,6% a capotamento¹² e menos de 0,5% a engavetamento¹³, conforme mostra a Tabela IV.3.

Tabela IV.3: Tipos de sinistros de trânsito – Estado de São Paulo

Tipo	Valor absoluto	Média anual	Proporção (%)
Atropelamento	112.283	11.228,3	6,85
Capotamento	26.628	2.662,8	1,63
Choque	88.919	8.891,9	5,43
Colisão frontal	147.441	14.744,1	9,0
Colisão lateral	244.470	24.447	14,92
Colisão transversal	144.243	14.424,3	8,81
Outras colisões	8.485	848,5	0,52
Engavetamento	7.015	701,5	0,43
Tombamento	74.389	7.438,9	4,54
Outros sinistros	583.670	58.367	35,63
Não disponível	200.628	20.062,8	12,25

Fonte: Adaptado de Infosiga (2025)[24]

¹⁰Refere-se ao impacto de um veículo contra qualquer objeto fixo ou móvel que não esteja em movimento (NBR 10697:2020)[3].

¹¹Ocorre quando um veículo sai da sua posição normal, encontrando-se imobilizado (NBR 10697:2020)[3].

¹²Ocorre quando o veículo gira sobre si mesmo, ficando com as rodas para cima (NBR 10697:2020) [3].

¹³Quando no mesmo sentido de circulação, ocorre o impacto entre três ou mais veículos, tornando-se uma sequência de colisões (NBR 10697:2020)[3].

IV.2.1 PERFIL DE PESSOAS ENVOLVIDAS NOS SINISTROS DE TRÂNSITO

A maioria dos sinistros de trânsito tem características destacadas que merecem atenção (ver Tabela IV.4), principalmente quando se observa a distribuição dos 1,5 milhão de pessoas envolvidas por sexo biológico. Aproximadamente 72% das vítimas são do sexo masculino e 52% estavam como condutores.

Tabela IV.4: Distribuição das vítimas de desastres de trânsito, por tipo de vítima (x 1.000 indivíduos)

Sexo biológico	n	Pedestre	Passageiro	Condutor	Não disponível	Prop. (%)
Feminino	431,67	3,2	3,36	153,81	259,81	27,26
Masculino	1.139,65	10,04	3,08	590,85	513,34	72,00
Sem informação	11,75	0,16	0,06	0,30	10,47	0,74
Total	1.583,08	13,41	6,51	744,97	783,63	

Fonte: Adaptado de Infosiga (2025)[24]

A distribuição de sinistros fatais¹⁴ no período por sexo revela uma média para o sexo feminino em torno de 951 ± 109 e para o sexo masculino de 4.454 ± 327 , ou seja, pessoas do sexo masculino estão 4,6 vezes mais envolvidas em sinistros de trânsito fatais do que pessoas do sexo feminino. A Figura IV.4 mostra a distribuição absoluta para ambos os sexos por ano, verificando-se um padrão de redução e, depois, aumentos gradativos.

Considerando os dados disponíveis sobre sexo por gravidade de ocorrência, tem-se que vítimas fatais representam cerca de 7,0% para o sexo masculino e 4,6% para o feminino, já as vítimas com lesões graves foram registradas em aproximadamente 10,7% para o sexo masculino e 7,2% para o sexo feminino, e ferimentos leves foram 88,8% para o sexo feminino e 81,8% para o sexo masculino. Assim, observa-se que os sinistros envolvendo os indivíduos do sexo masculino são mais violentos em relação ao sexo feminino. Outro ponto importante nessa reflexão é que a

¹⁴Nessa análise não foi considerados os valores de vítimas sem informação de sexo biológico, de gravidade, ou ainda, do ano do desastre, por isso, pode haver divergências se comparadas com outras análises.

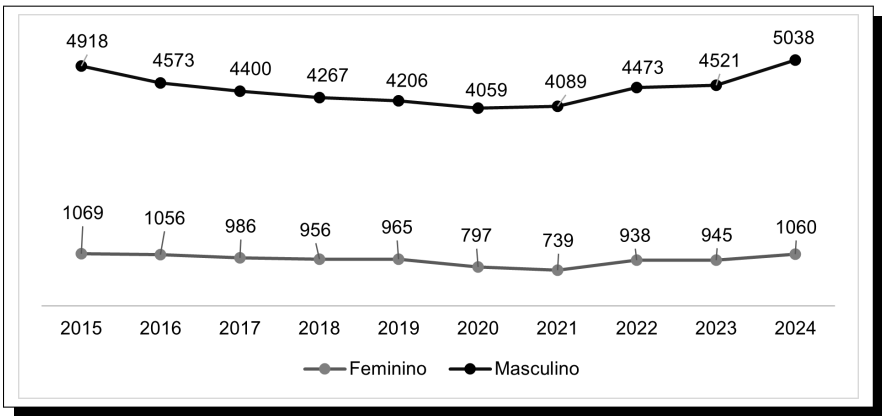


Figura IV.4: Distribuição absoluta de vítimas fatais para ambos os sexos, por ano. Fonte: Adaptado de Infosiga (2025) [24]

base não esclarece a responsabilidade pelo sinistro de trânsito, portanto, a percepção é meramente pela análise dos dados brutos e proporcionais.

Essas estatísticas são consideradas pelas companhias de seguros para formação de preços de suas apólices. Existe uma longa discussão sobre a diferença de preço de seguros para autos, quando o perfil do motorista indica o sexo masculino e faixa etária entre 18 e 24 anos. Obviamente que a precificação de seguro leva em consideração outras variáveis, como reportado nos estudos de Lima, Forti e Alves Neto [26], além de observar o acréscimo no valor da apólice devido ao sexo e à faixa etária.

Aqui, a discussão percorre e tem se expandido cada vez mais, devido a uma perigosa distração que tem contaminado a população global: a utilização do celular deliberadamente, em todos os lugares e, ao volante, não tem sido diferente. Os dados do Departamento de Trânsito de São Paulo - DETRAN [18], apresentam as estatísticas de multas por infração de trânsito, e nos últimos anos, tem-se observado a proporção de multas por conduzir veículo manuseando telefone celular, que, por exemplo em 2022, representou 8,22% do total de infrações, segundo lugar no ranking, perdendo somente para a infração “Deixar de efetuar o registro em 30 dias, quando for transferida a propriedade”, conforme ilustra a Figura IV.5.

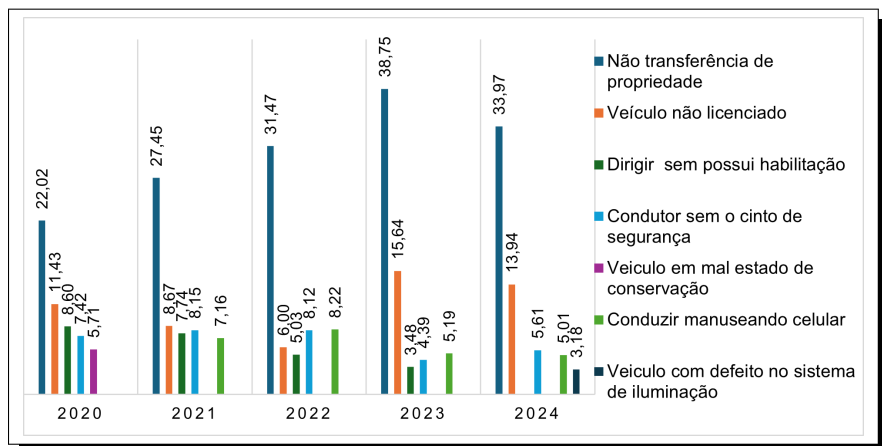


Figura IV.5: Principais infrações de trânsito registradas pelo Departamento de Trânsito de São Paulo, valores em %. Fonte: Adaptado de Detran/SP (2025) [18]

Os dados revelam que 50% dos indivíduos do sexo masculino envolvidos em sinistros de trânsito se encontram abaixo e acima de 31 anos, ainda que 25% se encontram abaixo de 23 anos e 25% acima de 43 anos, apresentando uma amplitude interquartil (IQR) de 20 anos, e máximo de 73 anos. Em comparação, 50% dos indivíduos do sexo feminino se encontram abaixo e acima de 32 anos, com 25% abaixo de 23 anos e 25% acima de 44 anos, um IQR de 21 anos, com máximo de 78 anos, objeto da Figura IV.6. Em estudo semelhante Reis e Machado (2022), observou que a maioria das vítimas de sinistros de trânsito eram do sexo masculino, e já na fase adulta (acima de 25 anos).

Portanto, podemos concluir com base em tais dados que 75% dos indivíduos encontram-se abaixo de 44 anos, ou seja, pessoas em plena atividade econômica ativa. Assim, a questão das políticas para mobilidade urbana não é meramente social, mas uma questão de saúde e economia pública. Do total de informações na base sobre pessoas envolvidas em sinistros de trânsito, as cinco profissões mais apontadas foram cerca de 9,5% os motoristas, 5,7% os aposentados, 5,5% os estudantes, 5,5% os autônomos e 4,5% os “motoboy”.

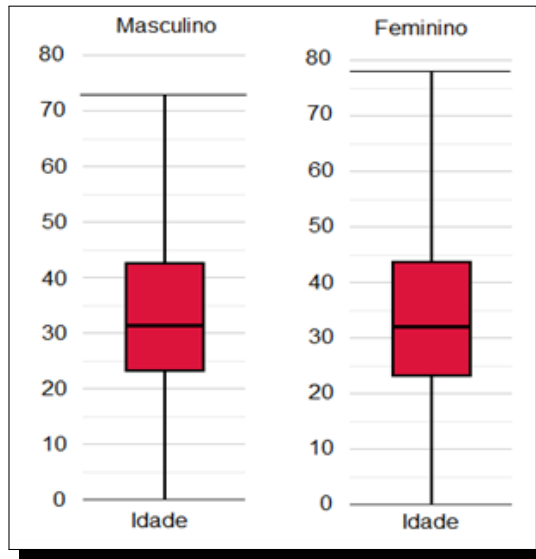


Figura IV.6: Estatística descritiva da idade dos indivíduos, por sexo.
Fonte: Adaptado de Infosiga (2025) [24]

IV.2.2 ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS FATAIS NO TRÂNSITO

Observando as variações dos registros de sinistros no trânsito com vítimas fatais no período de 2015 a 2024, teve-se uma redução média de 5,15% nos primeiros seis anos (2015-2020), sendo que em 2016 se observou a maior redução das ocorrências de sinistros (8,94%). Do mesmo modo, verificou-se um aumento médio de 6,17% nos últimos quatro anos (2021-2024), com maior variação em 2024 (11,61%), objeto da Figura IV.7.

O mapa da distribuição de vítimas fatais no Estado de São Paulo e na cidade de São Paulo é apresentado a seguir, no qual pode-se observar uma maior concentração de na capital por números absolutos, conforme mostra a Figura IV.8.

Em termos absolutos, a cidade de São Paulo representou cerca de 16,0% do total de sinistros fatais no período, seguido das cidades de Campinas (2,6%), Guarulhos (2,5%), Sorocaba (1,7%), Ribeirão Preto

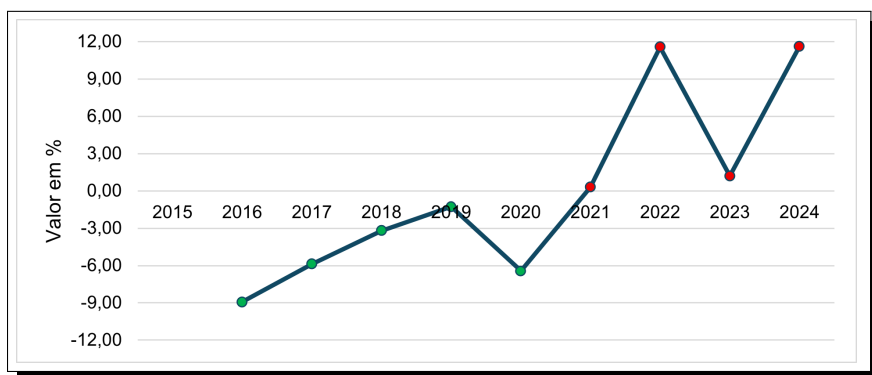


Figura IV.7: Variação anual de ocorrências de desastres com vítima fatal.
Fonte: Adaptado de Infosiga (2025) [24]

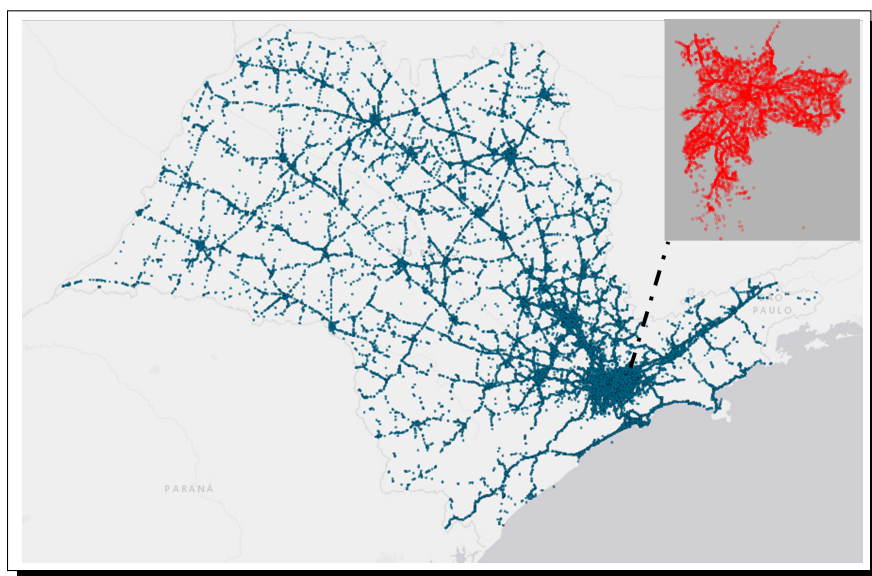


Figura IV.8: Sinistros fatais no Estado de São Paulo e na Capital Paulista – período de 2015 – 2024. Fonte: Adaptado de Infosiga (2025) [24]

(1,6%), São Bernardo do Campo (1,5%), São José dos Campos (1,4%), Jundiaí (1,3%), Mogi das Cruzes (1,1%) e São José do Rio Preto (1,1%), entre outros, as cidades com menor índice de ocorrências foram Dolcinópolis, Lourdes e São João do Pau D'Alho.

Quando analisada a média anual do número de vítimas fatais por 100 mil habitantes, tem-se a cidade de Jundiaí como a mais violenta no trânsito com 16,9 mortes, Mogi das Cruzes (13,9), Sorocaba (13,4), Campinas (13,1), São José do Rio Preto (13,1), Ribeirão Preto (12,7), São José dos Campos (11,6), Guarulhos (10,9), São Bernardo do Campo (10,5) e São Paulo (7,9).

Nos últimos 10 anos, os dados revelaram que aproximadamente 36,6% das vítimas fatais do trânsito são motociclistas ou passageiros de motocicletas, com marco de uma média diária de 5,5 mortes no Estado de São Paulo. Na sequência, tem-se pedestres (média diária de 3,7 pessoas) e condutores ou passageiros de automóveis (média diária de 3,7 pessoas), Tabela IV.5.

Tabela IV.5: Valores absolutos e proporcionais de desastres fatais no trânsito por tipo de veículo

Tipo de veículos	n	Média anual	Média mensal	Média diária	Proporção (%)
Motocicleta	19.996	1.999,6	166,6	5,50	36,59
Pedestre	13.397	1.339,7	111,6	3,70	24,51
Automóvel	13.314	1.331,4	110,9	3,70	24,36
Bicicleta	3.559	355,9	29,6	0,90	6,51
Caminhão	1.857	185,7	15,4	0,50	3,40
Ônibus	433	43,3	3,6	0,10	0,79
Outros veículos	282	28,2	2,3	0,08	0,52
Veículo não disponível	1.817	181,7	15,1	0,50	3,32
Total	54.655	5.465,5	455,4	15,2	

Fonte: Adaptado de Infosiga (2025)[24]

Observando a distribuição das ocorrências fatais de trânsito por meses do ano, nota-se que o mês de março se apresenta com a maior taxa no período (9,0%), julho e dezembro apresentam certa semelhança (8,7%), seguido dos meses de abril, maio e outubro (8,5%), e janeiro, fevereiro e novembro (cerca de 7,6%). Com relação aos dias, aproximadamente 53,5% das ocorrências foram registradas entre sexta, sábado e domingo, sendo domingo o dia mais fatal para o trânsito.

IV.2.3 SEGURANÇA VIÁRIA E TRAFFIC CALMING

A segurança viária é um tema abordado nos estudos da Engenharia de Tráfego, que se destina a investigação dos métodos, ações e normas existentes necessários para garantir a circulação segura de pessoas e veículos nas vias urbanas e rurais, com a finalidade de prevenir e reduzir o risco de sinistros (Ministério dos Transportes, 2020) [30]. Portanto, para garantir a segurança viária, busca-se a compreensão entre a interação entre infraestrutura viária, indivíduo e legislação de trânsito.

De acordo com *Transportation Engineering Agency* – TEA [46], a abordagem se baseia no conceito *Engineering, Education and Enforcement* (3Es) que está associado a redução de acidentes. Ainda segundo a TEA [46], desde 1925, com o surgimento do Conselho Nacional de Segurança, os transportes têm sido organizados e planejados considerando os 3Es.

A abordagem 3Es é a base para a elaboração e proposição de programas voltados para a segurança viária, buscando o combate aos sinistros de trânsito. Além dessa abordagem americana, outras surgiram, como a abordagem eurocêntrica do Sistema Seguro e Visão Zero, originada na Suécia em 1997, com foco na redução de mortes no trânsito.

A abordagem de segurança de trânsito baseada no tripé **Homem–Veículo–Via** tem sustentação teórica na Engenharia de Tráfego e na Psicologia do Trânsito e prática em políticas públicas e normas técnicas que reconhecem a interação entre fatores humanos, tecnológicos e ambientais como determinantes dos acidentes. Esse modelo é amplamente utilizado em estudos acadêmicos e documentos oficiais, como os do DNIT e da Senatran, para estruturar estratégias de prevenção e gestão da segurança viária. A base teórica do modelo deriva da Teoria dos Fatores Múltiplos de Acidentes, proposta por Heinrich em 1931, e posteriormente adaptada para o trânsito (Marsden, 2022)[27]. A ideia central é que acidentes não resultam de uma única causa, mas da interação entre:

3Es - Engineering, Education and Enforcement

Engineering – responsável pelo estudo técnico de obras, manutenção e melhoria de vias. Portanto, acidentes na via, este local deve ser tecnicamente estudado e soluções de engenharia implementadas, garantindo que o local problemático seja corrigido e se torne seguro para os usuários da via. Medidas de correção de projeto de via devem ser implementadas sempre que houver identificação de problemas de engenharia. Entre as medidas de engenharia, pode-se incluir ajuste de limite de velocidade, alteração do controle de tráfego em cruzamento, adição de sinalização, realinhamento de capacidade, entre outras.

Enforcement – responsável pela regulamentação do fluxo de tráfego, por meio de estudos técnicos e do comportamento de condutores no trânsito, para cumprimento das leis de trânsito. Há diferentes áreas de fiscalização como de colisão, de velocidade, de direção sobre influência de álcool e fiscalização automatizada (ex. áreas escolares, rodovias em geral), penalizando mau comportamentos de infratores das leis de trânsito. A regulamentação do fluxo de veículos é fundamental para aumentar a segurança no trânsito.

Education – responsável pela formação inicial de condutores, provedor de informações aos motoristas, orientação e educação formal sobre noções básicas de direção, bem como conscientização adicional aos motoristas experientes. A educação comportamental do motorista é um dos aspectos mais críticos, e as informações educacionais podem ser difundidas em várias formas: outdoors, campanhas publicitárias em TV, rádio, redes sociais, estandes em shopping centers, painéis de mensagens dinâmicos etc.

Fonte: Adaptado e traduzido de *Transportation Engineering Agency* – TEA (2022) [46]

- **Homem (condutor e pedestre):** comportamento, percepção de risco, fadiga, álcool/drogas, formação;
- **Veículo:** condições mecânicas, tecnologia embarcada, sistemas de segurança ativa e passiva; e
- **Via:** infraestrutura, sinalização, geometria, tipo e estado do pavimento e condições climáticas.

A fundamentação acadêmica está em:

- **Wagenaar & Reason (1990):** destacam o papel dos erros humanos como principal fator em acidentes, mas sempre em interação com condições técnicas e ambientais;
- **Peden et al. (2004, OMS – *World Report on Road Traffic Injury Prevention*)**[39]: reforçam que a segurança viária exige abordagem sistêmica, integrando fatores humanos, veículos e vias; e
- **Elvik & Vaa (2004, *The Handbook of Road Safety Measures*)** [20]: sistematizam medidas de segurança com base nesse tripé, mostrando evidências empíricas de sua eficácia.

As principais aplicações no Brasil são:

- **Código de Trânsito Brasileiro (CTB):** prevê responsabilidades compartilhadas entre condutores, fabricantes de veículos e órgãos gestores da via;
- **DNIT (2025) [19]:** explica que a tripé orienta a fiscalização, educação e engenharia de tráfego, reconhecendo que falhas em qualquer um dos três elementos aumentam o risco de acidentes; e
- **Senatran (2024) [41]:** ao lançar o Manual Brasileiro de Exames de Direção Veicular, reforça a importância da formação do condutor (Homem) como parte essencial do tripé.

As aplicações internacionais de destaque, por sua vez, são:

- **Sistema “Safe System” (OCDE, 2008):** modelo adotado em países como Suécia e Austrália, que amplia a abordagem como uma visão integrada, “dialogando” com outras abordagens, mas mantém o tripé como núcleo; e
- **EuroNCAP e LatinNCAP:** programas de avaliação de veículos, a partir de testes de impacto (“*crash test*”) que mostram como o componente Veículo contribui para reduzir lesões em acidentes.

Em suma, tem-se “Homem” com estudos da Psicologia do Trânsito, Teoria do Erro Humano, formação de condutores, campanhas educativas e fiscalização; “Veículo” com estudos de Engenharia Automotiva, Sistemas de Segurança, Inspeção Veicular, Normas Técnicas e testes de impacto (“*crash test*”) (NCAP); e “Via” estudos de Engenharia de Tráfego, Urbanismo, Projeto Geométrico, sinalização, manutenção e auditorias de segurança viária.

A Visão Zero é um programa que reconhece que a segurança no trânsito depende da interação das diferentes fontes atuantes, tais como instituições, leis, regulamentos, uso do solo, infraestrutura, veículos e usuários da via, considerando a responsabilidade compartilhada pela segurança viária [31].

O Programa se expandiu além das fronteiras da Europa, sendo adaptado e aplicado em outros países, como o Programa Zero Fatalidades de Utah (Estados Unidos), gerenciado pela Divisão de Trânsito e Segurança, sendo evidenciado que 90% da população do município conhece o programa e que há o reconhecimento de que 93% dos acidentes têm um componente comportamental que pode ser corrigível, por meio do Programa de Educação Comportamental [1]. Esse resultado positivo ocorreu devido ao extenso programa de participação pública realizado pelo escritório Zero Fatalidades, envolvendo a população.

Os princípios de um sistema seguro de mobilidade apontados pelo Ministério dos Transportes [31], enfatiza:

- Nenhuma morte no trânsito é aceitável, nenhum sinistro é desejável, priorizando que sinistros não resultem em mortes;
- Os seres humanos cometem erros, assim o sistema de transporte deve ser concebido para prever e evitar mortes;
- Os seres humanos são vulneráveis a lesões, as pessoas têm limitações para suportar os impactos das colisões no trânsito;
- A responsabilidade é compartilhada, todas as partes devem garantir que os sinistros não resultem em ferimentos graves ou fatais;
- A gestão da segurança no trânsito é integrada e proativa, buscando identificar e mitigar riscos no sistema de transporte, aplicando ferramentas preventivas.

Traffic Calming (Moderação do Tráfego) é uma estratégia baseada nos estudos técnicos e de julgamento de engenharia, devendo ser considerada para a sua implementação quando houver necessidade de reduzir a velocidade de veículos ou controlar o fluxo de tráfego (regulação). Assim, deve ser compreendida como uma estratégia de ação, e não uma abordagem de enfrentamento, ainda que derive de uma das abordagens. Neste contexto, atenção maior deve ser dada em locais de circulação de pedestres e ciclistas, em pontos de rodovias com alta porcentagem de colisões, para auxiliar em áreas de transição de alta para baixa velocidade [11].

A redução de mortes no trânsito é um esforço global entre as nações, impulsionando as políticas públicas. O Brasil criou o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito – Pnatrans em 2018 (Lei nº 13.614), dispondo sobre o regime de metas de redução de sinistros de trânsito [8].

De acordo com a Secretaria Nacional de Trânsito – SENATRAN [41] um Sistema Seguro de Mobilidade deve ampliar a compreensão sobre as ocorrências de fatalidades e estudo profundo das suas causas, considerando a vulnerabilidade e as falhas humanas e a responsabilidade dos governos de proteger os cidadãos.

O Pnatrans aborda seis pilares, iniciando pela Gestão da Segurança no Trânsito (Pilar 1), Vias Seguras (Pilar 2), Segurança Veicular (Pilar 3), Educação para o Trânsito (Pilar 4), Atendimento às Vítimas (Pilar 5) e Normatização e Fiscalização (Pilar 6) [41]. É reconhecido que o sinistro de trânsito pode ocorrer por diversos fatores, tais como esclarecido pela NBR 10697:2020, os fatores de legislação, de fiscalização, de equipamentos e de educação, relacionando a ausência, insuficiência ou ineficiência dos fatores e que, portanto, contribuem com os sinistros de trânsito. A Tabela IV.6 apresenta os princípios e elementos relacionados à área de atuação do Pnatrans.

A abordagem de sistemas seguros busca refletir sobre uma visão holística das causas de sinistros de trânsito, que pode ser mais bem compreendida quando todos trabalham conjuntamente para a solução do problema: sociedade, governo e organizações. As medidas de moderação do tráfego promovem a segurança viária, por meio de mecanismos e estratégias de controle de velocidade, volume e fluxo de tráfego, tais como: sinalização de redução de velocidade, ondulação transversal, faixa elevada para travessia de pedestres, platôs e interseção elevada.

Tabela IV.6: Princípios, elementos e pilares do Pnatrans

Princípios	Elementos	Pilares
Humanos cometem erros	Análise econômica	Gestão da segurança no trânsito
Humanos são vulneráveis a lesões	Prioridades e planejamento	Vias seguras
A responsabilidade é compartilhada	Monitoramento e avaliação	Segurança veicular
Nenhuma morte ou lesão grave é aceitável	Governança e gestão abrangentes	Educação para o trânsito
Proativa vs. Reativa	Metas e dados robustos	Atendimento às vítimas
		Normalização e fiscalização

Fonte: Adaptado de Secretaria Nacional de Trânsito (2024) [41]

Reflexão: segundos de direção às cegas

Para termos uma reflexão sobre a importância do comportamento do motorista durante a direção e sobre os perigos de distrações ao volante, vamos imaginar o exemplo abaixo:

O que acontece no segundo da distração do motorista durante a direção?

Vamos supor que um veículo está em uma determinada via a uma velocidade de 60 km/h e que o motorista se distraiu por um segundo (1 s) olhando para o lado direito do carro.

Considerando que Velocidade é igual a Distância por Tempo, então, temos que a Distância em segundo será Velocidade por Tempo, ou seja, $60.000 / 3600 = 17$ metros.

O que isso significa? Significa que uma distração de 1 segundo enquanto dirige leva a um “voo sego” de 17 metros, o motorista desloca o veículo em cerca de 17 metros sem saber o que está acontecendo à sua frente.

E se o veículo estiver a 120 km/h falaremos de um “voo sego” de cerca de 34 metros. Portanto, a distração não combina com direção, nem por 1 segundo! Pense nisso!

IV.3 EDUCAÇÃO PARA O TRÂNSITO

A educação para o trânsito é um caminho para a redução de sinistros no trânsito, por meio da conscientização, da transmissão de informações importantes sobre como se comportar e como agir no trânsito. A educação para o trânsito atua como uma ação preventiva ao sinistro de trânsito, visto que entre 50% e 90% das ocorrências são causadas por falhas humanas [37, 7, 13].

Entretanto, a educação sozinha não surtirá efeitos nem de imediato nem a longo prazo, se não houver um trabalho para diminuir a agressividade e a mudança do comportamento humano durante sua interação com as variáveis de trânsito [29]. Neste sentido, a percepção da mudança

de comportamento do ser humano no trânsito não é algo da contemporaneidade, em 1950, a famosa curta-metragem lançado pela Disney “Motor mania”, por meio do personagem Pateta, já retratava a dualidade do “cidadão de bem” (Sr. Walker) que enquanto pessoa mantém um comportamento pacato, calmo, gentil e educado com o “meio que o circunda”, não sendo capaz de fazer mal a ninguém, sendo transformado drasticamente no instante que ele entra no veículo, liga o motor do seu “possante” e passa a ser o “motorista” (Sr. Wheeler), agora agressivo, impaciente, estressado, mal-educado com todos, e violento com os demais condutores, realizando uma direção perigosa para si e demais, com ultrapassagens arriscadas, disputas de espaço e velocidade .

De acordo com Milhomem e Azevedo [29], a agressividade no trânsito é compreendida pelo comportamento das pessoas e como elas reagem às variáveis de trânsito, e como estas alteram os processos psicológicos, podendo resultar em direção perigosa com consequências negativas, tais como ocorrência de sinistros, excesso de velocidade, gestos obscenos, aumento da hostilidade no trânsito, entre outros.

Estudo realizado por Monteiro [32], para investigar as relações entre variáveis individuais de motoristas (agressividade e raiva na direção) e variáveis ambientais de trânsito (fiscalização deficiente, ambiente social permissivo), pode influenciar o comportamento dos motoristas, tendo como resultado que cerca de 80% dos participantes admitiram sentir raiva durante a direção, 98% admitiram direção agressiva e 85% incômodo com o ambiente físico (calor, barulho). Os autores identificaram que “quanto menores os índices de agressividade verbal e de irritabilidade, menores os indicadores de raiva na direção em termos de progresso do veículo impedido, direção agressiva de outro motorista e incômodo no ambiente físico (calor e barulho)” [32].

As pessoas que atuam no trânsito assumem responsabilidades e estão submetidas à legislação específica. A questão brasileira não é a sua legislação, pois temos o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), mas a sua efetividade de aplicação. Soares [43], chama a atenção para a produção de um código de ética para o trânsito, evidenciando que o CTB é muito

bom para “latas e pneus”, entretanto, não é tão bom para “pessoas e pés”, uma vez que o CTB não cumpre seu papel de regulador da postura das pessoas no trânsito.

O mau comportamento no trânsito deve ser fiscalizado e corrigido constantemente, buscando com “ações preventivas” minimizar os efeitos nocivos do trânsito e reduzir as estatísticas de sinistros de trânsito. Quantas vezes, no Brasil, você foi parado para ser orientado sobre seu comportamento? Passamos por “*blitz* policial”, ou seja, uma operação preparada para fiscalização para saber se a documentação do condutor ou veículo está vigente, identificar irregularidades e, às vezes, *blitz* direcionadas para testar se os condutores estão alcoolizados. Mas uma abordagem isolada, para tratar somente da forma como você está conduzindo, raramente ocorre, por vezes, em rodovia, mas em vias urbanas, dificilmente.

Já presenciamos, motoristas fazendo diversas “barbeiragens” no trânsito e, às vezes, na frente de agentes de segurança pública e não há nenhuma ação desses agentes, para o processo fiscalizador e educador. Os diversos equipamentos de controle instalados ao longo das vias públicas não inibem de forma efetiva o mau comportamento nem orientam sobre a necessidade de manter uma direção segura para a própria pessoa e para todos os demais que compartilham as vias: pedestres, ciclistas, e demais veículos automotores.

Tais equipamentos de controle de trânsito, auxiliam na regulação do trânsito, e buscam identificar veículos em velocidade acima da via, ou realizando manobras irregulares, entre outras condições; entretanto, o Departamento de Trânsito, mesmo com acesso a esses motoristas infratores realizam a emissão de notificação de infração de trânsito e emissões de multas, mas não há uma convocação para essas pessoas prestarem contas sobre seu mau comportamento e uma ação educativa e preventiva. Apesar da multa ser um instrumento que pesa no bolso, tem efeito pouco eficaz na correção do indivíduo, pois com o tempo ele cometerá os mesmos erros.

Por exemplo, analisando os dados do Departamento de Trânsito de São Paulo, observa-se que a variação geral de multas lavradas no período pandêmico e pós-pandemia (de 2020 a 2024) registrou um aumento de aproximadamente 224%, Tabela IV.7.

Tabela IV.7: Registro de multas lavradas pelo Departamento de Trânsito de São Paulo, 2020-2024

Ano	Multas lavradas	Multas pagas	de Multas pagas	VAR. Anual (%)
2020	1.150.613	812.406	70,61	-
2021	1.553.702	1.184.569	76,24	35,03
2022	2.341.148	1.903.308	81,30	50,68
2023	2.928.652	2.247.536	76,74	25,09
2024	3.726.352	2.190.628	58,79	27,24

VAR = Variação. **Fonte:** Adaptado de Detran (2025)[18]

Portanto, o problema do trânsito no Brasil é mais profundo do que se imagina. Requer uma gestão combinada de educação, fiscalização e punição. A multa não é um instrumento educativo, mas punitivo que busca mudar o comportamento do indivíduo! E por mais que a pessoa reconheça o erro que resultou na multa, dificilmente ela faz uma reflexão sobre essa inflação de trânsito e nos riscos que assumiu ao transitar de forma irregular ou na insegurança coletiva provocada pelo seu comportamento. Geralmente, pensa sobre a resolução da situação de pontos na habilitação e no dinheiro para pagar a multa. A discussão sobre o efeito das multas na mudança de comportamento dos condutores não é uma realidade brasileira, mas global. Os estudos de Kashani et al. [25], com motoristas profissionais, concluíram que o nível de educação é a variável que pode influenciar o comportamento dos motoristas, sendo recomendado o desenvolvimento de cursos de formação para condutores, com o objetivo de mudar atitudes, crenças, normas sociais e contribuir para a direção viária segura e redução das infrações de trânsito.

Estudo realizado por Topolšek e Ojsteršek [45] apresenta que os índices de acidentes de trânsito na Europa, por exemplo, aumentaram nos últimos anos, portanto, foi avaliado o programa de formação adicional para a condução segura, com o objetivo de verificar a sua efetividade no

comportamento do condutor. Neste contexto, os autores identificaram que os efeitos positivos foram observados em casos de infrações decorrentes de comportamentos intencionais, e não em lapsos ou erros dos condutores; assim, o programa foi mais eficaz para participantes que estão cognitivamente engajados em ações de risco no trânsito, como direção em alta velocidade [45].

Obviamente, que o exemplo abordou aqui os motoristas, mas a legislação de trânsito é aplicada para todos que de alguma forma pode colocar em risco a sua segurança e dos demais. Assim, a busca de um processo educativo para o trânsito não pode ser somente para motoristas de veículos automotores.

IV.3.1 EDUCAÇÃO COMO “ANALGÉSICO” PARA TODOS

A educação para o trânsito e o comportamento defensivo não devem ser voltados somente para os motoristas de veículos automotores. É evidente que a educação para o trânsito envolve todos os cidadãos que, em algum momento, interagirão com o trânsito, seja na figura do pedestre, do ciclista, do motociclista ou do motorista de veículos leves ou pesados.

Quantos pedestres você já ouviu dizendo que estavam estudando sobre como “caminhar defensivamente”, como andar na rua, aprendendo como atravessar uma rua ou avenida em segurança, como os sinais de trânsito devem ser respeitados e como deve sinalizar para o motorista a sua intenção, e que não se deve atravessar na frente de um carro em movimento usando o celular? Ou ainda, quantos ciclistas você já ouviu dizendo que estavam aprendendo a pedalar e estavam tendo aulas de “pedalada defensiva”? Bom, nós nunca ouvimos! Mas se um dia ouvisse, soaria como a Nona Sinfonia de Beethoven!

Há pouco tempo, uma conhecida foi atropelada por atravessar a via quando o semáforo estava fechado para os pedestres e aberto para os veículos. O que aconteceu? Estava andando pela calçada olhando o celular

e não se deu conta de que saíra do nível de calçada e passava para a via, só se deu conta quando sofreu o impacto com o carro. Aqui há algumas ponderações que muitas pessoas esquecem ou não têm consciência. Por exemplo, quando se tem a “interação” entre espaço (distância percorrida) e tempo de deslocamento, resultando na velocidade do veículo, sabe-se que há um tempo de reação do motorista, que ocorre entre o intervalo que percorre desde a sua percepção até a tomada de decisão sobre realizar uma ação, ou seja, a reação do motorista, por uma questão da física, dependerá da distância (do ponto em que se encontra) e a velocidade em que ele se encontra na via, conseguindo ou não evitar um sinistro.

No trânsito, muitas pessoas ignoram esse princípio da física, o que é lamentavelmente triste, pois em muitos casos pessoas são atropeladas pelo simples fato de não darem o devido tempo de reação ao motorista; embora, acreditamos que o mais correto e prudente em todos os casos é nem cogitar pensar em atravessar na frente de um carro em movimento, “calculando apenas com os olhos”, que a distância entre o carro e você é segura o bastante para atravessar.

Geralmente, esse tipo de situação ocorre por distração do pedestre no trânsito ou por enfrentamento mesmo. Já ouvimos pessoas dizendo, “eu tenho prioridade no trânsito e eles (motoristas e motociclistas) é que devem parar para eu passar”. Esse é um pensamento perigoso e que coloca todos em situação de risco. De fato, o pedestre tem preferência no trânsito, mas não podemos ignorar que do outro lado, também, tem uma pessoa conduzindo uma máquina (seja carro, moto, caminhão, ônibus, etc.) e que pode não “dar a preferência” por diversas razões, as quais poderiam ser listadas aqui, uma delas é que não viu a pessoa mesmo, por questões técnicas, não conseguiu parar a “máquina” a tempo, ou ainda, por simples maldade humana.

Apesar do movimento por mobilidade urbana mais ativa e sustentável, o que resultou na Pirâmide Invertida da Mobilidade Urbana, Figura IV.9, onde os modos de transporte não motorizados têm preferência em relação aos motorizados (‘o maior cuida do menor’), e que o motorista

de veículo automotor deve adotar uma postura defensiva e cuidadosa, considerando a vulnerabilidade do pedestre, ciclistas e veículos menores, não se pode colocar a “nossa” vida nas mãos de terceiros. O que queremos dizer aqui, é que o todos devem estar “atentos” e adotar uma postura defensiva ao transitar em vias urbanas e realizar travessias. Portanto, no trânsito, não abuse, não pressuponha, não imagine que o(a) motorista está lhe vendo e que dará tempo de você fazer travessias em frente a veículos próximos em movimento.

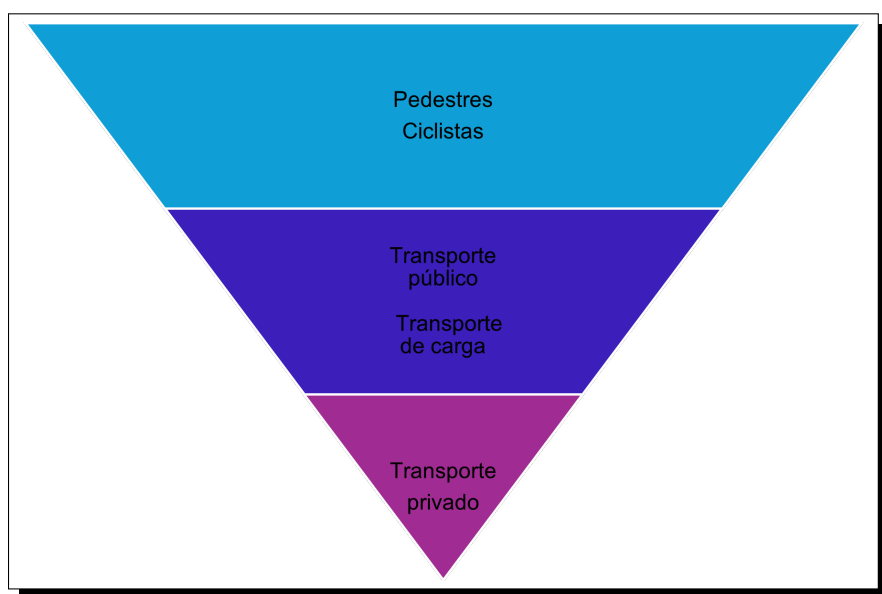


Figura IV.9: Pirâmide Invertida da Mobilidade Urbana – Prioridade.
Fonte: Adaptado de Companhia de Engenharia de Tráfego (2025)[14]

Citamos um caso, em que um motociclista perdeu dois dedos dos pés, por “pressupor” que num cruzamento o motorista do veículo iria parar para ele cruzar, sendo que a preferência era do motorista do veículo e não dele. Resultado, o veículo colidiu com a moto, o motociclista caiu no asfalto e, quando percebeu, estava sem os dois dedos dos pés. Não cabe pressuposição no trânsito! É a sua vida que está em jogo, portanto, nunca se coloque em risco, já estamos vendo diversos noticiários de pessoas sendo atropeladas quando realizam a travessia, devidamente,

pela faixa de pedestre e obedecendo a sinalização de trânsito, e com motoristas fugindo do local sem prestar o devido socorro.

Entre estar certo, porque a preferência é sua, e estar vivo, prefira a vida!

A educação para o trânsito deve se iniciar observando o nosso próprio comportamento enquanto nos deslocamos. Se realizamos um deslocamento seguro para todos, prestando atenção no nosso próprio deslocamento e na interação com os demais que compartilham o espaço urbano. Costumamos dizer que “via vazia” não é sinônimo de pista de corrida (autódromo), em que o motorista pode acelerar seu veículo; é preciso recordar que é uma via urbana pública e não privada, e que há regras de convivência para a segurança própria e do coletivo.

Esse enfrentamento ocorre o tempo todo no trânsito por diversos conflitos, tais como o físico, que é a competição pelo espaço, e isso ocorre entre motoristas de veículos, entre motociclistas, pedestres, ciclistas e entre eles. Brigas no trânsito são comuns por diversos fatores, por mudança abrupta de faixa sem sinalização, por ultrapassagem perigosa, por não respeitar a preferência da via e assim por diante. Manter a calma em situações de trânsito que envolvem pessoas vivendo “a sociedade da ansiedade”, do estresse é muito difícil, mas vale muito a pena, pois o resultado pode ser “menos uma morte no trânsito”; a vida não vale uma discussão no trânsito porque você está certo e a outra parte está errada. Você não sabe com quem está lidando, se é uma pessoa que compreende e assume o erro cometido ou uma pessoa que jamais assumirá seu erro e pode até ser violenta se afrontada.

Como exemplo desse tipo de caso, cita-se a ocorrência na cidade de Suzano, em maio/2025, em que um guarda civil disparou contra um motorista após uma discussão de trânsito, em que o motorista havia fechado a motocicleta que o guarda civil estava conduzindo [36]. Apesar da morte do motorista não ser considerada um sinistro de trânsito, podemos chamar a atenção para a “raiz” que levou à discussão entre dois desconhecidos e que resultou em uma vida perdida: o comportamento

no trânsito! Assim, a educação no trânsito também considera o comportamento gentil e respeitoso para uma boa convivência no trânsito.

Voltando ao caso da prioridade do pedestre na regulamentação de trânsito, não diz que ele deve infringir regras de trânsito porque tem prioridade em relação aos demais modos e, ainda, colocar em risco a si próprio e os demais. A prioridade do pedestre está dentro das regras, portanto, o pedestre também deve manter uma postura de deslocamento segura não só para si, mas para o coletivo.

Os sinistros de trânsito, como já dito anteriormente, deixam traumas diversos, e em todos os envolvidos, ou seja, não só na vítima, mas também em quem é responsável pelo sinistro, considerando um cidadão/uma cidadã de boa índole, sofrerá com o sentimento de culpa e, dependendo do trauma, pode não conseguir mais conduzir veículo automotor, necessitar de terapias, entre outros. Viver num país em que a civilidade seja praticada por todos e em todos os lugares, com certeza, não teríamos as estatísticas fúnebres apresentadas neste capítulo. A educação para o trânsito pode ser a chave para a redução dos sinistros, desde que levada a sério e inserida no currículo escolar desde o início da formação da criança, de forma obrigatória e contínua, sendo trabalhada seriamente e mantida durante o período de formação. A educação para o trânsito é tão importante quanto saber ler e escrever, pois enquanto saber ler e escrever dá liberdade para o indivíduo se comunicar de diversas formas através da escrita e o habilita para o mercado de trabalho, a educação para o trânsito salva vidas e permite a conscientização da importância do respeito e convívio em sociedade no compartilhamento do espaço público. A revisão sistemática realizada por Beralde e Camboin [4], evidenciou que as práticas educativas, com a combinação de diferentes metodologias de ensino, para a prevenção de sinistros de trânsito, apresentam melhores resultados de aprendizagem e o desenvolvimento de habilidades e comportamentos seguros no trânsito, devendo ser incluídas o mais cedo possível nos currículos escolares, sendo recomendado o início para crianças a partir dos três anos de idade.

A educação para o trânsito está prevista tanto no Código de Trânsito Brasileiro [6], como na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB [5]. De acordo com o CTB,

Art. 19 - Compete ao órgão máximo executivo de trânsito da União: XII - administrar fundo de âmbito nacional destinado à segurança e à educação de trânsito; XV - promover, em conjunto com os órgãos competentes do Ministério da Educação, de acordo com as diretrizes do Contran, a elaboração e a implementação de programas de educação de trânsito nos estabelecimentos de ensino (Redação Lei 14.599, 2023); XVI - elaborar e distribuir conteúdos programáticos para a educação de trânsito;

Ainda dispõe de um Capítulo destinado a Educação para o Trânsito, o Capítulo VI. Em que se destaca:

Art. 74. A educação para o trânsito é direito de todos e constitui dever prioritário para os componentes do Sistema Nacional de Trânsito Art. 76. A educação para o trânsito será promovida na pré-escola e nas escolas de 1º, 2º e 3º graus, por meio de planejamento e ações coordenadas entre os órgãos e entidades do Sistema Nacional de Trânsito e de Educação, da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, nas respectivas áreas de atuação

Com relação a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional [5], destaca-se:

Art. 1º A educação abrange os processos formativos que se desenvolvem na vida familiar, na convivência humana, no trabalho, nas instituições de ensino e pesquisa, nos movimentos sociais e organizações da sociedade civil e nas manifestações culturais.

Segundo Feitosa e Ferreira [21], os sinistros de trânsito (número de feridos e óbitos) constituem um grave problema social, e a educação para o trânsito incorporada ao currículo escolar de forma estratégica e programática, num processo formativo contínuo, promove o adequado comportamento de circulação de pessoas. Os autores questionam o fato

de, após terem se passado mais de 25 anos da publicação do CTB, os principais documentos normativos da Educação Básica trabalharem o conteúdo da Educação para o Trânsito na perspectiva da transversalidade, seguindo ‘modelo’ praticado em muitos países latino-americanos, sendo necessário um “olhar crítico” no quesito de políticas públicas educacionais coesas com a realidade, considerando as alarmantes estatísticas de trânsito [42, 21].

Neste contexto, Silva, Rodriguez e Menendez [42], chamam a atenção em seu estudo *Traffic Education involving Children in Latin America and Brazil*, pois diversos países da América Latina apresentam legislação incompleta sobre a educação para o trânsito envolvendo a segurança. Práticas de educação no trânsito se mostram eficientes, como relatado nos estudos de Beralde e Camboin [4], entre exemplos, as autoras citaram os estudos de Aitken et al. (2007) e Will e Dunaway (2017), que relatam o aumento do uso do cinto de segurança de 32% para 68% no grupo de intervenção, mudança de comportamento e atitudes no trânsito não só das crianças, mas também dos parentes, entre outros.

O Programa de Educação para o Trânsito é oferecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), buscando atender escolas em todo o território nacional [19]. Além do DNIT, outros órgãos públicos trabalham em Programas de Educação para o Trânsito, como as prefeituras e, também, fundações e organizações que buscam contribuir com a questão social.

O investimento em Educação para o Trânsito não é uma jornada recente e nem algo focado apenas no Brasil, mas que permeia o globo, com objetivos quando não idênticos, semelhantes: a redução de obtidos no trânsito. Os países com melhores indicadores de taxa de mortalidade no trânsito por 100 mil habitantes são Monaco com zero mortalidade, Micronésia (0,2), Maldives (1,6), Kiribati (1,9), Islândia (2,0), Noruega (2,1), Singapura (2,1), Suíça (2,2), Irlanda (3,1), Suécia (3,1), Reino Unido (3,2), Japão (3,6), Dinamarca (3,7), Alemanha (3,8), Espanha (3,9) [47]. Enquanto o Brasil apresentou uma taxa de 15,7 mortes no trânsito por 100 mil habitantes [49].

Enquanto escrevemos esse capítulo, o Brasil tem flexibilizado o processo de habilitação de condutores de veículos automotores. Esse movimento já havia sido iniciado durante a pandemia, com a autorização pelo Conselho Nacional de Trânsito (Contran), por meio da Resolução nº 189, de 2020, e referendada pela Resolução n.º 783, de 2020, a realizarem aulas técnico-teóricas na modalidade de ensino remoto. E recentemente, o Governo Federal aprovou e publicou a Resolução Contran n. 1.020, de 1 de dezembro de 2025, que alterou o processo para obtenção da Carteira Nacional de Habilitação (CNH) e a expedição de documentos, com o objetivo de tornar o processo mais acessível à população. De acordo com o Art. 12, da Resolução Contran n. 1.020 (2025), o processo para obtenção da CNH, poderá passar por 10 etapas dependendo do tipo de CNH requerida. Uma das etapas se refere ao curso teórico e às aulas práticas, sendo destacado:

Art. 20. Formalizado o requerimento para início do processo de formação, o candidato poderá iniciar o curso teórico, observado o disposto no art. 19, parágrafo único, junto aos seguintes órgãos ou entidades: I - órgão máximo executivo de trânsito da União, realizado na modalidade de Educação a Distância - EaD, do tipo assíncrono; II - autoescolas, realizado na modalidade presencial ou de EaD, dos tipos síncrono ou assíncrono; III - entidades especializadas de ensino EaD, realizado na modalidade de EaD, dos tipos síncrono ou assíncrono; IV - Escolas Públicas de Trânsito, realizado nas modalidades presencial ou de EaD, dos tipos síncrono ou assíncrono; ou V - órgãos ou entidades integrantes do Sistema Nacional de Trânsito, realizados nas modalidades presencial ou de EaD, dos tipos síncrono ou assíncrono. (...) Art. 36. Após a aprovação nos exames teóricos e a expedição da Licença de Aprendizagem, o candidato deverá iniciar aulas práticas de direção veicular junto a: I - instrutores de trânsito autônomos; II - instrutores de trânsito vinculados a autoescolas; III - instrutores de trânsito vinculados às Escolas Públicas de Trânsito; ou IV - instrutores de trânsito vinculados aos órgãos ou entidades integrantes do Sistema Nacional de Trânsito. Art. 37. As aulas práticas de direção veicular em vias terrestres somente poderão ocorrer: I - com o candidato por-

tando sua respectiva Licença de Aprendizagem; II - nos termos, horários e locais estabelecidos pelo órgão ou entidade executivo de trânsito; e III - sob acompanhamento e supervisão permanentes de instrutor de trânsito devidamente autorizado pelo órgão ou entidade executiva de trânsito competente. Parágrafo único. O candidato deverá apresentar a Licença de Aprendizagem sempre que solicitado pelo instrutor de trânsito responsável ou pela autoridade ou agente da autoridade de trânsito, no momento da fiscalização. Art. 38. O curso de aulas práticas de direção veicular deverá observar carga horária mínima de duas horas, podendo ser cumprida de forma contínua ou fracionada, observado o disposto no art. 35, §§ 4º e 5º.

Dados as estatísticas aqui descritas, temos muitas dúvidas sobre esse tópico, pois acreditamos que o processo precisaria mesmo passar por uma reformulação, pois os índices de sinistros são altos, por si só são indicadores que o sistema de formação de condutores de veículos automotores atual não vem funcionando adequadamente há anos, e não tem garantido confiabilidade no processo de obtenção da CNH, além dos custos envolvidos nesse processo.

Por outro lado, há questionamentos e uma preocupação profunda sobre o novo processo de obtenção da CNH, permitindo aulas teóricas completamente em sistemas de Educação a Distância e aulas práticas podendo ser realizadas de diferentes formas, com a preferência do candidato, com carga horária mínima de 2 horas. Assim, a resolução anterior que exigia o cumprimento da carga horária mínima de 15 a 20 horas, dependendo do tipo de categoria da CNH, atualmente, duas horas parecem convenientes. Mas a pergunta é: conveniente para quem?

Além disso, não está claro o processo de habilitação dos possíveis instrutores no sistema, sendo um ponto sensível. Como pessoas interessadas em atuar como instrutores de trânsito obterão a autorização para ensinar durante as aulas práticas? Como o órgão responsável garantirá que o candidato está sendo orientado e educado por uma pessoa preparada e garantirá a segurança viária? São muitos questionamentos que a flexibilização do processo traz e uma, por que não dizer, certa insegurança.

IV.4 REFLEXÕES FINAIS

Os conflitos físicos no trânsito, em tese, são resolvidos pelo Código de Trânsito Brasileiro. Entretanto, há os conflitos sociais, ambientais e políticos que não são tão fáceis de serem resolvidos. Os conflitos sociais do trânsito, historicamente, estão associados à percepção de quem pode e de quem não pode usar o espaço, quem tem mais direito de uso e menos direito de uso. Não vamos tão longe, vamos tomar como exemplo o Brasil da década de 1930. Nessa época, quem tinha condições econômicas de adquirir um carro, uma máquina possante?

Além do mais, antes desse período, durante o processo de urbanização das cidades, se iniciou o movimento chamado de “embelezamento”, que simplesmente conduziu as pessoas mais vulneráveis dos centros urbanos para as áreas periféricas, surgindo assim, as favelas. Esse processo levou ao “alargamento” das cidades e culminou com o aumento da demanda por realização de viagens mais longas pela população, contribuindo para o conhecido “movimento pendular” (pela manhã, movimento casa-trabalho e ao fim da tarde, o inverso).

O projeto urbano de vias para o deslocamento dos bens móveis produzidos pela indústria automobilística não considerava a via compartilhada entre outros modos de transporte. A história retrata a cobrança de motoristas de veículos automotores querendo estradas melhores para aumentarem a velocidade de seus carros e, claro, sem veículos lentos (bicicletas) para “atrapalhá-los” (*The Guardian*, 2011)[44], e os ciclistas foram ‘convidados’ a se retirarem das vias públicas, com a justificativa de que era para assegurar a sua segurança. Ao longo da história, esse pensamento levou os planejadores urbanos a se recusarem a projetar qualquer coisa que não fosse para o carro (*The Guardian*, 2011)[44].

Resumindo, economicamente a infraestrutura viária que permite o deslocamento por veículos automotores privados é custeada com verbas do dinheiro público proveniente da arrecadação de impostos, taxas e contribuições pagos pela população, mas socialmente não pode ser

utilizado por todos, assim, conceitualmente a via é pública, porém na prática, a via é semipública, nem todos podem usar!

Outro conflito social gritante, efeito colateral da falta de políticas e ações que respeitem a vida no trânsito, trata-se do número de mortes no trânsito e de pessoas que se tornaram incapacitadas por sinistros de trânsito, tornando-as economicamente inativas e socialmente prejudicadas, muitas vezes, dependentes de renda mínima para sobreviver ou da ajuda de parentes/amigos. No estudo de Santiago et al. (2023) [40], foram analisadas as taxas de mortalidade e de incapacidade de motociclistas homens entre 15 e 49 anos na América Latina e no Caribe durante o período de 2010 a 2019, sendo observada uma queda de 12,74 para 11,94 óbitos e de 821,9 para 768,21 incapacitados por 100.000 habitantes. Ainda segundo os autores, Brasil e Paraguai foram as subregiões com maior taxa de mortalidade e motociclistas incapacitados por sinistro de trânsito.

Quanto aos conflitos ambientais, esses podem ser justificados pelos benefícios que promovem (ou prometem). Modos de transporte não motorizados são lentos/demorados, não vencem viagens longas, mas contribuem positivamente com as questões ambientais. Os modos de transporte motorizados são rápidos, vencem distâncias longas, maior capacidade de carga, mas com seus efeitos ambientais negativos, desde o desmatamento para o uso do solo de grandes áreas, poluição atmosférica, sonora, visual até problemas de saúde causados pelo excesso de uso combustíveis fósseis numa determinada área. A eletrificação da frota vem sendo colocada como a energia limpa e que resolverá os problemas de emissão de CO_2 produzida pelos motores a combustão. Neste sentido, precisa-se pensar no ponto de equilíbrio entre o número de veículos elétricos adequados para serem considerados “energia limpa”, pois, ultrapassando esse número, a frota elétrica passaria de efeitos positivos para negativos. O processo industrial de carros com tanque ou baterias, da fonte de energia a ser utilizada como petróleo ou eletricidade, tem seu impacto ambiental e isso é inegável. Entretanto, a discussão de operação mais limpa encontra-se na utilização do veículo, em que o veículo

a combustão é mais poluente do que o veículo elétrico, pois contribui com a emissão de poluentes (CO , CO_2 e NO_x) lançados na atmosfera.

As questões políticas envolvem os governantes das diferentes esferas e as grandes associações, corporações, institutos, entre outros, com interesses diretos nas ações de mobilidade urbana. Aqui, políticas que incentivam o uso do carro favorecem o parque industrial automobilístico, as políticas que incentivam o uso do transporte público urbano favorecem as associações e empresas operadoras do serviço de transporte público nos espaços urbanos, políticas que incentivam o uso da mobilidade ativa e mais sustentável favorecem as associações, organizações e movimentos que defendem a democratização do espaço urbano.

O conflito é regido pelo *trade-off*, ou seja, favorece um lado e desfavorece outro, portanto, a busca por políticas de equilíbrio é um grande desafio. Aqui podemos citar o Projeto de Lei do Senado PLS nº 304, de 2017, de autoria do Senador Ciro Nogueira que busca a instituição da “política de substituição dos automóveis movidos a combustíveis fósseis e altera a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro) para dispor sobre a vedação a comercialização e a circulação de automóveis movidos a combustíveis fósseis” (Nogueira, 2017) [35]. O PLS atualmente está em tramitação, e se aprovado, a longo prazo favorecerá a sociedade em questões sociais e ambientais, toda a cadeia de suprimentos que envolve a produção de carros elétricos e a fonte de energia, e a curto prazo, desfavorecerá a sociedade em questões econômicas, pois precisará custear a substituição do veículo a combustão por um elétrico e, também, a cadeia de suprimentos da indústria de veículos a combustão que precisará reestruturar o processo de produção.

Ações locais, como a política do município de São Paulo que por meio da Lei Municipal 16.802, de 2018, tratou da substituição de forma gradual da frota por veículos e tecnologias mais limpas, pelos operadores dos serviços de transporte coletivo por ônibus, e as empresas que prestam serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos e hospitalares no município de São Paulo [12].

Aqui, podemos citar outras políticas voltadas para a mobilidade urbana na cidade de São Paulo, como o incentivo à implantação de ciclofaixas, oferecendo uma mínima infraestrutura para a mobilidade de ciclistas, e a redução de velocidades máximas em diversas vias da cidade, com foco em aumentar a segurança viária e reduzir o número de vítimas de acidentes de trânsito.

Os conflitos são inerentes às relações humanas, portanto, eles sempre existirão, e os conflitos no trânsito requerem um olhar multidisciplinar e multifacetado, pois enquanto forem adotadas ações que não consideram a profundidade da problemática, que aceitam e normalizam a morte no trânsito, continuaremos com estatísticas de vidas perdidas em asfalto e lataria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ADMINISTRATION, US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY. **Chapter 8 – considering all “4e’s”**. HIGHWAY, 2025. Disponível em: <https://highways.dot.gov/safety/hsip/tribal-road-safety-audits-case-studies/chapter-8-considering-all-4es>.
- [2] ALMEIDA, R. L. F. et al. Via, homem e veículo: fatores de risco associados à gravidade dos acidentes de trânsito. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 4, p. 718–731, 2013.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10697: Pesquisa de sinistros de trânsito – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- [4] BERALDE, V. S.; CAMBOIN, F. F. Educational interventions for reducing traffic accidents undertaken in the school environment: Systematic review. **International Journal of Human Sciences Research**, v. 3, n. 8, p. I–II, 2023.
- [5] BRASIL. **Lei número 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm.

- [6] BRASIL. **Lei número 9.503, de 23 de setembro de 1997.** Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm.
- [7] BRASIL. **Registro nacional de sinistros e estatísticas de trânsito.** Brasília: Ministério dos Transportes, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes>.
- [8] BRASIL. **Lei número 13.614, de 11 de janeiro de 2018.** Cria o plano nacional de redução de mortes e lesões no trânsito (pnatrans) e (...). Brasília, [S.d.]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13614.htm.
- [9] BRASIL. **Lei nº 14.599, de 19 de junho de 2023. Posterga a exigência do exame (...); altera a Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997.** 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14599.htm.
- [10] BRASIL. **Lei número 14.599, de 19 de junho de 2023.** [Posterga a exigência do exame toxicológico periódico para obtenção e renovação da Carteira Nacional de Habilitação...]. Brasília, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14599.htm.
- [11] CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Traffic calming guide: a compendium of strategies.** 2025.
- [12] CÂMARA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Lei nº 16.802, de 17 de janeiro de 2018.** São Paulo, 2018. Disponível em: <https://prefeitura.sp.gov.br/web/se/w/noticias/122623>.
- [13] CARNEIRO, Frederico de Moura. **Estatísticas de acidentes de trânsito ocorridos entre 2016 e 2018, com foco no número de mortes e faixa etária das vítimas.** Brasília:

- Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, 2019. Disponível em: <https://bd.camara.leg.br/bd/bitstreams/3afceb03-6c01-436f-b142-63336405a05d/download>.
- [14] COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO - CET. **Cartilha do pedestre: deveres e direitos de quem anda a pé.** 2025. Disponível em: <https://www.cetsp.com.br/consultas/seguranca-e-mobilidade/cartilha-do-pedestre.aspx>.
- [15] CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução Contran nº 783, de 18 de julho de 2020.** Referenda a Deliberação CONTRAN nº 189, de 28 de abril de 2020. CONTRAN, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucao-no-783-de-18-de-junho-de-2020>.
- [16] CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução Contran nº 789, de 18 de julho de 2020.** Consolida normas sobre o processo de formação de condutores de veículos automotores e elétricos. Ministério dos Transportes, 2020b.
- [17] CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução Contran nº 1020, de 1 de dezembro de 2025.** Normatiza os procedimentos sobre a aprendizagem, a habilitação e a expedição de documentos de condutores (...). CONTRAN, 2025.
- [18] DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO. **Multas: Estatísticas sobre infrações de trânsito. 2020-2024.** São Paulo, 2025. Disponível em: https://www.detran.sp.gov.br/detransp?id=infracoes_transito_dados.
- [19] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Aderir ao programa nacional de educação para o trânsito (conexão DNIT).** Brasília: DNIT, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br>.

- [20] ELVIK, Rune et al. **The handbook of road safety measures**. 2. ed. [S.l.]: Emerald Group Publishing Limited, 2009.
- [21] FEITOSA, N. M. S.; FERREIRA, J. P. S. Educação para o trânsito nos documentos normativos da educação básica. **Journal of Education, Science and Health**, v. 2, n. 4, p. 1–12, 2022.
- [22] FERRAZ, A. C. P. et al. **Segurança no trânsito**. 3. ed. [S.l.]: Ed. dos Autores, 2023.
- [23] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados do Brasil**. Brasília: IBGE, 2022.
- [24] INFOSIGA. **Estatística: Dados abertos e documentos 2015-2024**. São Paulo: DETRAN-SP, 2025. Disponível em: <https://infosiga.detran.sp.gov.br/#referencia>.
- [25] KASHANI, M. M. et al. Driving fine and its relationship with dangerous driving behaviour among heavy vehicle drivers. **Indian Journal of Occupational & Environmental Medicine**, v. 26, n. 4, p. 266–272, 2022.
- [26] LIMA, L. M.; FORTI, P.; ALVES NETO, W. Determinantes hedônicos sobre o preço de apólices de seguro automotivo. **Revista Administração em Diálogo**, v. 21, n. 2, p. 122–147, 2019.
- [27] MARSDEN, Eric. **Modelo dominó de Heinrich para a causalidade de acidentes**. 2022. Disponível em: <https://risk-engineering.org/concept/Heinrich-dominos>.
- [28] MACHADO, S. T.; DOS REIS, J. G. M. Fatal traffic accidents in são paulo state, brazil: Social characteristics and social distance effects. In: IFIP ADVANCES IN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY (Org.). **Advances in production management systems. Smart manufacturing and logistics systems: Turning ideas into action**. [S.l.]: Springer, 2022.

- [29] MILHOMEM, K. C. D.; AZEVEDO, G. N. Agressividade e comportamentos de risco no trânsito através de uma perspectiva analítico comportamental. **Psicologias em Movimento**, v. 5, n. 1, p. 35–49, 2025.
- [30] MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Segurança viária**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/rodovias-federais/seguranca-viaria>.
- [31] MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Sistema seguro e visão zero**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/pnatrans/sistema-seguro-e-visao-zero>.
- [32] MONTEIRO, C. A. S. Agressividade, raiva e comportamento de motorista. **Psicologia: Pesquisa & Trânsito**, v. 2, n. 1, p. 9–17, 2006.
- [33] MOOREN, L.; SHUEY, R. Systems thinking in road safety management. **Journal of Road Safety**, v. 35, n. 2, p. 63–73, 2024.
- [34] NOGUEIRA, Ciro. **Projeto de Lei do Senado nº 304, de 2017**. 2017. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/130612>.
- [35] NOGUEIRA, C. **Projeto de Lei do Senado nº 304, de 2017**. 2017. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/130612>.
- [36] NOTÍCIAS R7. **Guarda civil de Suzano é preso após matar motorista em discussão de trânsito**. 2025. Disponível em: <https://noticias.r7.com/jr-na-tv>.
- [37] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA. **90**. Portal ONSV, 2018. Disponível em: <https://onsv.org.br>.

- [38] ONOHARA, E. Y.; ONOHARA, M. M. Comparações entre a eficiência energética de carro elétrico E de carro À combustão: uma análise dos impactos socioambientais e financeiros. **Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas**, v. 7, n. 1, p. 73–92, 2022.
- [39] PEDEN, M. et al. **World report on road traffic injury prevention**. Geneva: World Health Organization, 2004. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9241562609>.
- [40] SANTIAGO, M. L. O.; NUNES, R. A. L.; OLIVEIRA, F. V. A.; BESERRA, M. K. M.; SENA, F. T. C.; GOMES, L. E. S.; COSTA, D. A.; MACENA, R. H. M. Mortalidade e anos de vida ajustados por incapacidade de motociclistas na América Latina e Caribe na primeira década de segurança viária. **Revista Panamericana de Salud Pública**. 47, 2023.
- [41] SECRETARIA NACIONAL DE TRÂNSITO. **Guia de medidas de moderação de tráfego**. SENATRAN, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br>.
- [42] SILVA, R. M. M.; RODRIGUEZ, T. D. M.; MENENDEZ, P. M. Traffic education involving children in latin america and brazil. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 8, p. 775–793, 2020.
- [43] SOARES, Francisco de Assis Peres. **Rastros na via**. 1. ed. [S.l.]: Governo do Maranhão, 2023.
- [44] THE GUARDIAN. **19th century cyclists paved the way for modern motorists' roads: Car drivers assume the roads were built for them, but it was cyclists who first lobbied for flat roads more than 100 years ago**. 2011. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/bike-blog/2011/aug/15/cyclists-paved-way-for-roads>.

- [45] TOPOLŠEK, D.; OJSTERŠEK, T. C. Assessing behavioural changes in high-risk drivers through additional training for safe driving. **Transportation Research Procedia**, v. 91, p. 211–218, 2025.
- [46] TRANSPORTATION ENGINEERING AGENCY. **Traffic safety and compliancy, enforcement and education**. 2022.
- [47] WORLD ATLAS. **25 safest countries to drive in**. 2025. Disponível em: <https://www.worldatlas.com/society/25-safest-countries-to-drive-in.html>.
- [48] WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global plan: Decade of action for road safety 2021-2030**. [S.d.]. Disponível em: <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility>.
- [49] WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health data overview for the federative republic of brazil**. [S.d.]. Disponível em: <https://data.who.int/countries/076>.
- [50] WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The global health observatory**. [S.d.]. Disponível em: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO>.

V

TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS EM CENTROS URBANOS COMO SÃO PAULO

Davi de Albuquerque Gomes – Universidade Paulista – UNIP ¹

V.1 INTRODUÇÃO

A cidade de São Paulo, maior centro urbano e econômico do Brasil, enfrenta desafios complexos no que se refere à logística urbana. A cidade conta com mais de 12 milhões de habitantes e uma frota circulante superior a 8 milhões de veículos, e a movimentação de cargas para o abastecimento da metrópole exige uma infraestrutura robusta e altamente regulada, em especialmente no Transporte de Produtos Perigosos (TPP).

¹Graduado em Engenharia de Produção, Administração, Tecnologia em Fabricação Mecânica. MBA em Logística Empresarial e Supply Chain, MBA em Gestão da Qualidade e Produtividade, Pós-graduado em Engenharia Metalúrgica e Processos de Fabricação. Mestre e Doutorando em Engenharia de Produção.

A logística urbana paulistana convive com problemas crônicos como congestionamentos intensos, falta de áreas de carga e descarga, infraestrutura viária limitada e altos índices de poluição atmosférica e sonora. Tais fatores tornam o transporte de mercadorias — especialmente o rodoviário — complexo, principalmente quando se trata de produtos perigosos, como inflamáveis, tóxicos, corrosivos e radioativos. Além dos riscos à segurança pública e ao meio ambiente, o transporte desses materiais requer regulamentações específicas e infraestrutura dedicada, que nem sempre está disponível de forma eficiente.

V.2 CLASSIFICAÇÃO DAS PRODUTOS PERIGOSOS

Produto Perigoso é todo o produto que represente risco para a saúde das pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente, e estão discriminados na Resolução nº 420/2004 da ANTT. Para garantir um padrão internacional de segurança no TPP, organismos como a Organização das Nações Unidas (ONU), a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelecem critérios específicos para a classificação desses produtos.

- **ONU:** De acordo com as Recomendações da ONU para o Transporte de Produtos Perigosos, produtos perigosos são substâncias, misturas, soluções ou artigos classificados em classes de risco segundo o perigo que apresentam durante o transporte [38]. Esses critérios são publicados pelo Comitê de Peritos do Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas no “Regulamento Modelo” (conhecido como Orange Book), que serve de referência global.
- **ANTT:** Adota a estrutura da ONU e do Acordo Europeu sobre Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR). Conforme a Resolução ANTT nº 5.998/22 e seus com-

plementos, produtos perigosos são aqueles que apresentam risco à saúde, segurança pública ou ao meio ambiente durante o transporte terrestre.

- **ABNT:** A NBR 7500 trata da identificação para transporte, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos perigosos, assegurando simbologia padronizada, conforme as classes de risco estabelecidas.

Os produtos perigosos são agrupados em 9 classes principais, podendo ter subclasses ou divisões, conforme o risco predominante, apresentado na Figura V.1:

Classe	Tipo de Risco	Subclasses e Exemplos
1	Explosivos	Subclasses 1.1 a 1.6 (explosão em massa, perigo de projeção etc.)
2	Gases	2.1: Inflamáveis, 2.2: Não inflamáveis, 2.3: Tóxicos
3	Líquidos Inflamáveis	Gasolina, solventes, álcool etílico
4	Sólidos Inflamáveis e Substâncias Reativas	4.1: Sólidos inflamáveis, 4.2: Espontaneamente combustíveis, 4.3: Reagem com água
5	Substâncias Oxidantes e Peróxidos Orgânicos	5.1: Oxidantes, 5.2: Peróxidos orgânicos
6	Substâncias Tóxicas e Infectantes	6.1: Tóxicas, 6.2: Infectantes (vírus, bactérias)
7	Material Radioativo	Subdivididos por níveis de radiação (7A a 7C e material fissil)
8	Corrosivos	Ácidos fortes, soda cáustica
9	Substâncias Diversas	Substâncias que apresentam risco ambiental, (baterias de lítio).

Figura V.1: Classe de Risco e Subgrupos de Produtos Perigosos. Fonte: Autor (2025)

Cada classe possui símbolos e rótulos específicos, exigidos pela ABNT NBR 7500 e pela regulamentação da ANTT, para correta identificação visual durante o transporte. A correta aplicação das normas evita infrações e responsabiliza os diversos agentes da cadeia logística (expedidor, transportador e destinatário).

V.3 PANORAMA DA LOGÍSTICA URBANA EM SÃO PAULO

Em São Paulo, o transporte de substâncias controladas é disciplinado por legislações federais, estaduais e municipais, sendo a Licença Especial de Trânsito de Produtos Perigosos (LETPP) obrigatória para veículos que transitem na capital. A movimentação desses veículos é restrita a determinados horários e vias, especialmente no Centro Expandido e minianel viário, com proibições das 7h às 10h e das 17h às 20h em dias úteis.

Além disso, o Decreto Municipal nº 50.446/2009 exige o Plano de Atendimento a Emergências (PAE) e a documentação técnica para autorizar o trânsito de produtos perigosos em áreas urbanas densamente povoadas.

A cidade de São Paulo tem investido em medidas para mitigar os riscos logísticos, incluindo o uso de fiscalização eletrônica automatizada, treinamento de motoristas, roteirização inteligente e implantação de zonas de restrição. Ainda assim, faltam terminais urbanos de transbordo, infraestrutura segregada para o transporte de materiais perigosos e maior integração intermodal (rodoviário-ferroviário). Diante dos riscos algumas medidas são consideradas prioritárias, conforme mostra a Figura V.2 a seguir:

O TPP, em especial, destaca-se como uma atividade de alto risco que exige investimentos contínuos em infraestrutura, tecnologia, regulação e educação para assegurar um abastecimento urbano seguro, eficiente e sustentável.

V.4 PRODUTOS TRANSPORTADOS E OPERADORES DO SETOR

O TPP e produtos químicos na cidade de São Paulo destaca-se como um dos segmentos mais sensíveis e regulados da logística urbana. De acordo

Medida Prioritária	Objetivo Estratégico	Impacto Esperado
Ampliação da infraestrutura	Favorecer o uso de modais ferroviário e hidroviário para transporte de longa	Redução do tráfego rodoviário e da emissão de poluentes
Requalificação das vias urbanas	Melhorar a segurança viária e a fluidez da mobilidade de veículos de carga	Diminuição de acidentes, atrasos e custos operacionais
Digitalização e automação da gestão	Implementar rastreamento em tempo real e análise preditiva de riscos	Aumento da eficiência, redução de perdas e maior previsibilidade
Incentivo à logística de ciclo curto e de base	Descentralizar os centros de distribuição e aproximar os estoques dos pontos de	Melhoria na agilidade das entregas e menor impacto ambiental nas
Revisão do zoneamento urbano	Permitir a implantação de hubs logísticos estratégicos nas bordas da cidade	Otimização do uso do solo e redução da pressão logística sobre áreas

Figura V.2: Medidas Prioritárias para a Logística Urbana de São Paulo.
Fonte: Autor (2025)

com os dados da Comissão de Estudos e Prevenção de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos do Estado de São Paulo - CEPAT-PP/SP [13], na capital paulista, os produtos mais comuns incluem alimentos, medicamentos, materiais de construção, produtos eletrônicos e combustíveis. Contudo, um volume expressivo e estratégico é composto por produtos críticos, como combustíveis líquidos, gases comprimidos, resíduos industriais, produtos químicos e farmacêuticos, além de materiais corrosivos e inflamáveis.

Algumas das empresas especializadas, devidamente registradas e autorizadas pela Prefeitura de São Paulo, de acordo com a classificação de riscos são apresentados na Figura V.3:

Essas transportadoras investem em tecnologia embarcada, gestão de risco, motoristas capacitados, frota especializada e sistemas de rastreamento em tempo real, além de manterem planos de emergência e protocolos de segurança rigorosos, como exigido pela legislação municipal (Decreto nº 50.446/2009) e federal (Resolução ANTT nº 5.947/2021).

Além disso, desafios como roubos de carga, falta de carga de retorno, restrições de tráfego urbano, acidentes e infraestrutura viária precária elevam os custos operacionais e o nível de risco.

Empresa	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9
BND Bionuclear							●		●
Enaex Brasil	●				●				
Marquetti Transportes			●		●	●		●	●
Novacope	●	●	●	●	●	●	●	●	●
RC Transportes	●		●	●	●	●		●	●
SetLog	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Suatrans Ambipar		●	●	●	●	●	●	●	●
Supergasbrás		●							
Tegma	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Transkompa		●		●				●	●
Translix						●			●
Transok Transportes			●		●	●		●	●
Transportadora Garbuiol	●								
TransReid		●	●	●	●	●		●	●
Ultragaz S.A.		●							
Veloce Logística	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Figura V.3: Empresas que transporta Produtos Perigosos em São Paulo. Fonte: Adaptado de Ambipar [6], BND Bionuclear [8], Enaex Brasil [15], Marquetti [18], Novacope [21], Porto Seguro [22], SetLog [30], Supergasbrás [31], Tegma [32], Transkompa [35], Translix [36], Transok Transportes [33], Transportadora Garbuiol [17], TransReid [34], Ultragaz S.A. [37] e Veloce Logística [39]

A atuação dos operadores especializados, em conjunto com a regulamentação municipal, estadual e federal, busca minimizar os impactos ambientais e sociais, garantindo segurança para a população e eficiência para o setor produtivo.

V.5 TIPOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS

A cidade de São Paulo exige que os operadores logísticos utilizem frota adequada e devidamente licenciada, além de adotarem medidas preven-

tivas de segurança. Os implementos são construídos com materiais específicos que resistem a reações químicas, pressão e temperatura, e são dotados de dispositivos de segurança, como: válvulas de segurança, placas de identificação de risco e obrigatoriamente devem possuir o Certificado de Inspeção Veicular (CIV) e a LETPP emitida pela Prefeitura de São Paulo para circulação na capital. Os tipos de equipamentos, suas aplicações, características técnicas e as exigências legais estão dispostas na Figura V.4:

Tipo de Veículo	Aplicações/Produtos Transportados	Características Técnicas	Exigências Legais e Documentais
Caminhão-Tanque (Toco/Trucado)	Médias distâncias; líquidos inflamáveis, combustíveis, gases, produtos corrosivos a granel	Menor capacidade; construção em material resistente a reações químicas; compartimentos com válvulas de segurança; placas de risco	CIV, LETPP, sinalização adequada
Caminhão-Tanque (Cavalo Mecânico + Semirreboque)	Grandes volumes; transporte intermunicipal ou interestadual	Maior capacidade; estrutura reforçada para longas distâncias e grandes volumes	CIV, LETPP, placas de risco e compartimentação adequada
Bobtail	Entrega urbana de GLP em áreas urbanas restritas	Veículo menor; tanque fixo; sujeito a limitações no centro expandido	LETPP, sinalização de risco, CIV
VUC Adaptado	Produtos perigosos de consumo local (combustíveis, gás engarrafado, reagentes químicos)	Até 2,2 m de largura e 7,2 m de comprimento; compartimentos selados; sinalização específica; adaptado para circulação urbana (ZMRC)	LETPP por placa (Dec. 50.446/2009); sinalização; Portaria 100/2016-DSV.GAB (exceções por tipo de produto)
Caminhão Baú Refrigeração Adaptado	Materiais infectantes (ONU 3291), sangue, medicamentos especiais, amostras laboratoriais, resíduos clínicos, produtos radioativos (ONU 2910 a 2915)	Baú com controle de temperatura e contenção biológica; isolamento térmico; adaptado para segurança sanitária	Licença sanitária e ambiental; LETPP; sinalização (rótulo de risco/painel de segurança); PAE aprovado pela SVMA
Caminhão Trator + Prancha Porta-Contêiner (Isotâncas)	Líquidos corrosivos, gases criogênicos, ácidos industriais; transporte intermodal	Uso de contentores-tanque (isotâncas); estrutura para conexão com ferrovia e porto; transporte específico e porto; transporte específico	LETPP para o reboque; CIV; sinalização; PAE conforme exigências do produto

Figura V.4: Transporte de Produtos Perigosos por Modal Rodoviário.
Fonte: Autor 2025

A Portaria SMT.GAB nº 051/2024 reconhece exceções para o transporte de produtos como oxigênio comprimido, etanol, gás natural comprimido e outros produtos classificados como de consumo local pela ANTT.

A escolha correta do tipo de veículo, seja ele um caminhão-tanque convencional, VUC (Veículo Urbano de Carga) adaptado, baú refrigerado ou prancha porta-isotank, é condição determinante para o sucesso da operação e para a segurança pública.

Essas exigências estão respaldadas por legislações como as Resoluções ANTT nº 5.947/2021 e 3665/2011, a Lei Municipal 11.368/1993, e as Portarias da Secretaria de Mobilidade e Trânsito da Prefeitura de São Paulo.

V.6 REGULAÇÃO E LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

O TPP na cidade de São Paulo é regulamentado por um conjunto de legislações federais, estaduais e municipais que visam garantir a segurança da população, do meio ambiente e dos trabalhadores envolvidos na operação logística. A Figura V.5 sintetiza essas informações:

A fiscalização do TPP é realizada de forma integrada entre diversas esferas, como demonstra a Figura V.6 a seguir:

A atuação conjunta de órgãos federais, estaduais e municipais é essencial para garantir a segurança da operação, a preservação ambiental e a fluidez do trânsito urbano.

V.7 GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA

A gestão de riscos no TPP e especiais envolve um conjunto de protocolos preventivos, treinamentos obrigatórios, regulamentações técnicas

Âmbito	Órgãos Envolvidos	Legais / Normas	Principais Atribuições e Regras
Federal	Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) - Organização das Nações Unidas (ONU)	Resolução ANTT nº 5.947/2021 - Recomendações da ONU sobre Transporte de Mercadorias Perigosas	- Classificação de substâncias perigosas - Requisitos para embalagens e sinalização dos veículos - Documentos obrigatórios (MTR, envelope de emergência).
Estadual	Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo - Corpo de Bombeiros da Polícia Militar	Licença Ambiental - Certificado de Vistoria Técnica (CVT)	Fiscalização e controle do transporte de produtos com risco ambiental - Vistorias técnicas dos implementos e das condições de transporte
Municipal	Secretaria Municipal de Mobilidade e Trânsito (SMT) - Companhia de Engenharia de Tráfego (CET)	Lei Municipal nº 14.491/2007 - Decreto nº 58.584/2018	Regras de circulação em áreas urbanas - Controle da Zona de Máxima Restrição de Circulação (ZMRC) - Cadastro prévio e respeito a rotas/horários autorizados

Figura V.5: Regulamentação do Transporte de Produtos Perigosos.
Fonte: Autor (2025)

Órgão / Entidade	Âmbito de Atuação	Responsabilidades Principais
ANTT	Federal	Fiscalização em rodovias federais, com foco em segurança viária, documentação e conformidade regulatória.
PRF	Federal	Inspeção de implementos rodoviário e condutores em rodovias federais, verificação de equipamentos obrigatórios e documentação.
Polícia Militar Rodoviária Estadual	Estadual	Fiscalização nas rodovias estaduais, inspeção do equipamento e condutores.
Corpo de Bombeiros	Estadual / Municipal	Verificação do cumprimento das normas de segurança contra incêndio, vazamentos e atuação em emergências.
CET-SP	Municipal	Fiscalização da circulação urbana de cargas perigosas, controle em zonas de restrição e horários permitidos.
CETESB	Estadual	Fiscalização ambiental, especialmente em casos de risco de contaminação do solo, água ou ar
Vigilância Sanitária	Federal / Estadual / Municipal	Atuação em casos de transporte de substâncias tóxicas ou radioativas com risco à saúde pública.

Figura V.6: Órgãos fiscalizadores do Transporte de Produtos Perigosos.
Fonte: Autor (2025)

e articulações visando minimizar os impactos de eventuais acidentes sobre a população, o meio ambiente e a infraestrutura urbana.

Na cidade de São Paulo é adotado o sistema de Subcomissões Regionais de Prevenção de Acidentes, supervisionadas pela Comissão Estadual de Prevenção de Acidentes vinculada à Secretaria de Logística e Transportes. A Comissão Estadual identificou que o MOPP não contempla adequadamente as Combinações de Veículos de Carga (CVCs), propondo a criação de um curso adicional específico para essa categoria, dado seu maior risco operacional.

As subcomissões promovem simulações práticas e treinamentos regulares em parceria com a Defesa Civil, Corpo de Bombeiros e CET, especialmente em regiões com maior tráfego de substâncias controladas. As ações incluem cenários de tombamento, colisões, vazamentos tóxicos, incêndios e evacuação de áreas residenciais, com o objetivo de avaliar a eficácia dos planos de contingência e a integração entre os órgãos.

Uma das etapas mais sensíveis do transporte é o armazenamento temporário e o transbordo de produtos críticos em zonas urbanas. Na cidade de São Paulo, essas operações são permitidas apenas em áreas específicas, com infraestrutura adequada e licenciamento ambiental. Segundo relatório da CEPAT-PP/SP [13], as ocorrências demonstraram variações significativas, conforme exibido na Figura V.7:

Embora esse capítulo trate do transporte rodoviário na cidade de São Paulo, o relatório destaca a grande incidência de ocorrências em horários de grande fluxo de movimentação de pessoas, reforçando a correlação entre tráfego intenso e maior risco de incidentes e em rodovias em trechos urbanos, que envolve os corredores logísticos de grande fluxo na Região Metropolitana.

Além disso, os relatórios indicam que no período a maioria das ocorrências envolveu cargas transportadas a granel (combustíveis líquidos, gases comprimidos e substâncias químicas líquidas) com mais de 80% em relação ao transporte fracionado (transportadas em embalagens como bombonas, tambores e cilindros), como apresentado na Figura V.8:

A Comissão utiliza essas estatísticas para mapear áreas de risco, sugerir intervenções técnicas, atualizar normas e promover campanhas educati-

Tópico	2022	2023	2024	Observações
Ocorrências Totais	1.012	862	1.033	Queda em 2023, seguida de aumento em 2024
Acidentes	471	458	490	Redução em 2023; crescimento em 2024
Incidentes	541	404	543	Mesmo padrão dos acidentes
Rodovias com Maior Incidência	Rodoanel (Leste, Oeste, Sul), Anhanguera, Bandeirantes, Castello Branco, Washington Luís, Raposo Tavares			Mesmas rodovias mantiveram destaque nos 3 anos
Mês com Maior Ocorrência	–	Agosto	Julho	Coincide com período seco e de maior tráfego
Período com Mais Ocorrências	–	16h–18h	14h–16h	Períodos de pico viário exigem atenção especial
Vazamentos	–	–	141 casos	108 com impacto ambiental, atingindo solo e ar
Vítimas (Total)	1.098 (880 sem ferimentos, 188 feridos, 30 mortos)	911 (721 sem ferimentos, 160 feridos, 30 mortos)	1.094 (874 sem ferimentos, 200 feridos, 20 mortos)	Redução de mortes, apesar do aumento no total de vítimas em 2024

Figura V.7: Ocorrências no Transporte de Produtos Perigosos. Fonte: Autor (2025)

Ano	Total de Ocorrências	Carga a Granel	Carga Fracionado
2022	1.012	Não especificado	Não especificado
2023	862	735	127
2024	1.033	855	178

Figura V.8: Tipo de Cargas envolvido nas Ocorrências (2022–2024). Fonte: Autor (2025)

vas sobre o transporte seguro. A gestão de riscos no TPP na cidade de São Paulo exige capacidade de resposta rápida, fundamental para preservar vidas, proteger o meio ambiente e assegurar a mobilidade urbana sustentável.

V.8 TECNOLOGIAS APLICADAS AO TRANSPORTE SEGURO DE PRODUTOS PERIGOSOS

A capital paulista impõe controles e normas específicas ao transporte desses materiais, forçando o setor a buscar soluções tecnológicas inovadoras para mitigar riscos de acidentes, incidentes e garantir a segurança e a conformidade legal.

O trânsito denso, elevado fluxo de pedestres e a proximidade com áreas sensíveis (escolas, hospitais, mananciais) exigem um controle rigoroso sobre o TPP. Diante disso, diversas tecnologias têm sido empregadas para promover o transporte seguro de produtos perigosos, conforme Figura V.9:

Monitoramento em tempo real	sensores IoT e telemetria veicular permitem acompanhar variáveis como pressão, temperatura e localização, possibilitando respostas imediatas a incidentes como vazamentos ou desvios.
Georreferenciamento de rotas	sistemas com inteligência artificial traçam rotas seguras, evitando áreas sensíveis e cumprindo exigências legais, como as da CET e ANTT.
Gestão documental digital	plataformas centralizadas organizam documentos obrigatórios (ex: DTPP, LETPP), facilitando auditorias e garantindo conformidade.
Tecnologias embarcadas de segurança	recursos como câmeras 360°, sensores antitombamento e frenagem automática reduzem o risco de acidentes, inclusive em veículos antigos.
Resposta a emergências	integração com centrais como a da CET, uso de drones e sistemas automáticos de contenção garantem agilidade no atendimento a acidentes com produtos perigosos.
Blockchain para rastreabilidade	em fase inicial, essa tecnologia promete maior segurança na cadeia logística ao assegurar a integridade das informações.

Figura V.9: Tecnologias empregadas no Transporte de Produtos Perigosos. Fonte: Autor (2025)

Além das tecnologias embarcadas que estão sendo adotadas, investimentos na formação dos profissionais são pilares essenciais. Simuladores de Realidade Virtual, cursos online baseados em cenários re-

ais e programas de treinamento medida (como os desenvolvidos pelo SEST/SENAT em parceria com a ABTLP e a USP) vêm sendo utilizados para qualificar motoristas, gestores e operadores logísticos. Com o avanço da Indústria 4.0 e das cidades inteligentes, o uso de redes 5G, modelos preditivos de *machine learning* permitirá a automação de processos de segurança, garantindo maior controle sobre o transporte de substâncias controladas. Espera-se também o aumento da integração entre plataformas públicas e privadas, otimizando o compartilhamento de dados e respostas coordenadas em situações críticas.

Diante dos riscos significativos à segurança pública e ao meio ambiente, as soluções tecnológicas vêm se consolidando como elementos indispensáveis para garantir um sistema logístico mais seguro, eficiente e sustentável.

V.9 DESAFIOS NA CONTRATAÇÃO E CAPACITAÇÃO DA MÃO DE OBRA

O TPP e especiais em um centro urbano exige rigor técnico, conformidade legal e profissionais capacitados. O conhecimento detalhado dessas regulamentações é essencial, o que gera demanda por motoristas com formação específica e atualizada. Um dos principais gargalos é a formação insuficiente de motoristas habilitados para conduzir veículos com produtos perigosos.

O curso de Movimentação e Operação de Produtos Perigosos (MOPP) é obrigatório, mas muitas vezes considerado genérico frente à complexidade das substâncias e situações de risco encontradas no dia a dia. A CEPAT-PP/SP propôs inclusive a criação de cursos específicos para a formação e preparação de condutores de Combinações de Veículos de Carga (CVC), como por exemplo o curso de movimentação de produtos perigosos. Outro desafio é a defasagem da frota e dos profissionais, com muitos implementos rodoviário em circulação com mais de 10 anos de uso e motoristas sem formação contínua.

Segundo levantamento da Comissão Estadual de Prevenção de Acidentes [13], em 2021 tiveram diversas ocorrências de acidentes envolvendo o transporte de materiais de risco no estado de São Paulo, especialmente nas rodovias da Região Metropolitana. A maioria desses acidentes foi causada por colisões traseiras, tombamentos e avarias mecânicas. Esses fatores estão diretamente relacionados à presença de motoristas sem capacitação adequada para lidar com produtos perigosos e à utilização de veículos que não passam por manutenção regular, o que aumenta consideravelmente o risco de falhas mecânicas e acidentes graves. Assim, tanto a falta de treinamento específico quanto a precariedade da infraestrutura veicular contribuem significativamente para a ocorrência de incidentes nesse setor.

Para mitigar esses acidentes, os motoristas precisam conhecer rotas alternativas para evitar o trânsito intenso, estar atentos aos protocolos de emergência e manter contato com centrais de monitoramento, o que exige habilidades além da condução, como gestão de risco e comunicação em situação de crise. A formação de mão de obra para esse setor é frequentemente deixada a cargo das próprias empresas transportadoras, sem incentivos fiscais ou apoio estatal contínuo. Embora entidades como o SEST/SENAT ofereçam cursos, eles ainda não atendem à demanda crescente por especialização em um setor que exige conhecimento técnico, ambiental e legal.

A escassez de profissionais treinados, as exigências rigorosas da legislação federal, estadual e municipal somados ao elevado índice de acidentes demonstram a urgência de políticas públicas e investimentos voltados a qualificação técnica, à formação e a valorização de motoristas aptos a condução de CVC's e ao TPP, além disso são necessários investimentos em melhoria da infraestrutura viária, na sinalização, pontos de parada e descanso, além da integração entre órgãos públicos e privados para garantir a segurança da população e a eficiência do transporte urbano de produtos perigosos.

V.10 TENDÊNCIAS, BOAS PRÁTICAS E CASOS RELEVANTES

Com uma malha viária saturada e legislação rígida, o setor de TPP e especiais na cidade de São Paulo busca soluções inovadoras para garantir segurança, eficiência e sustentabilidade, e neste cenário adverso, destacam-se tendências tecnológicas, boas práticas operacionais e casos emblemáticos que ajudam a tornar a operação menos desafiadora. Na Figura V.10 estão dispostas as principais tendências no TPP:

Tendências	Descrição e Benefícios
Digitalização e Rastreabilidade	Tecnologias como IoT e telemetria estão melhorando o monitoramento em tempo real, permitindo detectar vazamentos, rotas perigosas e desvios.
Planejamento de Rotas Inteligentes	Algoritmos ajudam a evitar horários e áreas restritas, como o Centro Expandido e o minianel viário nos horários de pico.
Sustentabilidade e Logística Verde	Há avanço no uso de veículos menos poluentes e em práticas de compensação ambiental, especialmente no transporte de resíduos perigosos.
Educação e Capacitação Profissional	Cursos mais especializados, como os de condutores de CVC, têm sido incentivados por entidades como a ABTLP, SEST/SENAT e a Comissão Estadual de Prevenção de Acidentes.

Figura V.10: Tendências no Transporte de Produtos Perigosos. Fonte: Autor (2025)

Com a intensificação das fiscalizações, a digitalização dos processos logísticos e a criação de redes colaborativas entre empresas, as Boas Práticas têm se disseminado entre os operadores logísticos, onde se destacam as contidas na Figura V.11:

Os desafios persistem, mas boas práticas e tendências apontam para um futuro mais seguro e eficiente nesse setor estratégico.

V.11 CONCLUSÕES

O Transporte de Produtos Perigosos em centros urbanos como São Paulo exige planejamento rigoroso, regulação eficiente e uso intensivo

Contratação de Empresas Especializadas	terceirização do transporte para empresas com infraestrutura adequada, frota adequada e equipe treinada tem sido a escolha mais segura. Tais empresas também fornecem consultoria, documentação e PAE exigido pela legislação.
Embalagens e sinalização adequadas	Seguir rigorosamente as normas da ANTT e da ABNT, como a Resolução 5.998/2022 e NBRs específicas, assegura a correta identificação dos produtos por números ONU e classes de risco, o que facilita ações em emergências.
Documentação obrigatória	Em São Paulo, é obrigatória a LETPP para qualquer veículo que transporte substâncias perigosas, mesmo em pequenas quantidades. A licença tem validade anual, e sua ausência pode gerar multas acima de R\$ 7 mil.
Integração interinstitucional	A cooperação entre CET, CETESB, Defesa Civil, ANTT e PMESP tem ampliado a fiscalização e agilizado respostas a acidentes. A Comissão Estadual de Prevenção de Acidentes tem proposto melhorias, como a exigência de controle de estabilidade para caminhões antigos.

Figura V.II: Boas Práticas no Transporte de Produtos Perigosos. Fonte: Autor (2025)

de tecnologias para garantir segurança e fluidez na mobilidade. Os dados analisados entre 2022 e 2024 mostram que os riscos permanecem elevados, especialmente com cargas a granel em horários de pico e vias críticas.

Entre os avanços, destacam-se a digitalização dos processos, o uso de tecnologias embarcadas e os programas de capacitação profissional. No entanto, persistem desafios conhecidos como a falta de infraestrutura adequada, defasagem da frota, formação adequada e atualizada de condutores e a necessidade de integração entre órgãos reguladores.

Para o futuro, recomenda-se o fortalecimento da infraestrutura intermodal, o incentivo à formação continuada, o uso de soluções inteligentes e a atuação coordenada entre governo, empresas e sociedade. Com essas medidas, é possível avançar rumo a um modelo de logística urbana para o TPP mais seguro, sustentável e eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Agência Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos. (2023). **Relatório de ocorrências no transporte rodoviário de produtos perigosos: Levantamento estatístico no Estado de São Paulo de 2023**. Disponível em: <https://www.abtlp.org.br/>.
- [2] Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). (2025). **Produtos perigosos**. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/cargas/produtos-perigosos>. Acesso em: 07 de jul. 2025.
- [3] Agência Nacional de Transportes Terrestres. (2021). *Manual de procedimentos de fiscalização do transporte rodoviário de produtos perigosos* (4ª ed.). Disponível em: <https://www.gov.br/antt>.
- [4] Agência Nacional de Transportes Terrestres. (2021). Resolução nº 5.947, de 21 de junho de 2021. **Diário Oficial da União**, seção 1. Disponível em: <https://www.gov.br/antt>.
- [5] Agência Nacional de Transportes Terrestres. (2025). **Produtos perigosos**. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/cargas/produtos-perigosos>.

- [6] Ambipar Response. (2025). **Transporte de produtos perigosos**. Disponível em: <https://ambipar.com/ambipar-response/>.
- [7] Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos. (2025). **Relatório de ocorrências no transporte rodoviário de produtos perigosos no Estado de São Paulo – 2024**. Disponível em: <https://ppl-ai-file-upload.s3.amazonaws.com/...>
- [8] BND Bionuclear. (s.d.). **Empresa de logística no transporte de materiais radioativos no Brasil**. Disponível em: <https://bndbionuclear.com.br/>.
- [9] Brasil. (1988, 18 de maio). Decreto nº 96.044, de 18 de maio de 1988. **Diário Oficial da União**, seção I, 20 de maio de 1988.
- [10] Brasil. (2001, 5 de junho). Lei nº 10.233, de 5 de junho de 2001. **Diário Oficial da União**, seção I, 6 de junho de 2001.
- [11] Brasil. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). (2021). Resolução nº 5.947, de 21 de junho de 2021. **Diário Oficial da União**: seção I, Brasília, DF, 25 jun. 2021.
- [12] CET – Companhia de Engenharia de Tráfego. (2024). **Zona de Máxima Restrição de Circulação de Caminhões (ZMRC)**. Disponível em: <https://www.cetsp.com.br>.
- [13] Comissão de Estudos e Prevenção de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos do Estado de São Paulo. (2023). **Ocorrências no transporte rodoviário de produtos perigosos no Estado de São Paulo – 2022**. Disponível em: <https://ppl-ai-file-upload.s3.amazonaws.com/...>
- [14] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2024). **Transporte de Produtos Perigosos**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br>>.

- [15] Enaex Brasil. (s.d.). **Home – líder em sistemas de iniciação para mineração.** Disponível em: [https://www.enaex.com/br/pt/](https://www.enaex.com.br/pt/). Acesso em: 10 jul. 2025.
- [16] FETRABENS. (2025). **Ocorrências com produtos perigosos sobem 198% em São Paulo e acendem alerta no setor de transporte.** Disponível em: <https://www.fetrabens.org.br>. Acesso em: 07 jul. 2025.
- [17] Garbuio Transportadora. (s.d.). **Transporte de açúcar; antrafen; areia; biodiesel; gasolina; fertilizantes; óleo combustível; explosivos; etc.** Disponível em: <https://www.garbuio.com.br/>. Acesso em: 11 jul. 2025.
- [18] Marquetti Transportes. (s.d.). **Transporte de cargas químicas.** Disponível em: <https://www.marquetti.net.br/transporte-cargas-quimicas>. Acessado jul. 2025.
- [19] Normas.com.br. (s.d.). **ABNT NBR 7500: Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos.** Recuperado em 14 de julho de 2025, de <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/7865/...>
- [20] Normas.com.br. (s.d.). **ABNT NBR 9735: Conjunto de equipamentos para emergências no transporte terrestre de produtos perigosos.** Recuperado em 13 de julho de 2025, de <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/24479/...>
- [21] Novacope Transporte e Logística. (s.d.). **Transportadora de produtos perigosos em SP.** Recuperado em 14 de julho de 2025, de <https://www.novacope.com.br/transportadora-de-produtos-perigosos-em-sp>.

- [22] Porto Seguro. (2024). **RC Ambiental Transportes: a solução da Porto para os seus transportes e o meio ambiente**. Disponível em: <https://www.portoseguro.com.br>. Acesso em: 07 jul. 2025.
- [23] São Paulo (Município). (2007, 27 de julho). Lei nº 14.491, de 27 de julho de 2007. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**, 28 de julho de 2007.
- [24] São Paulo (Município). (2009, 20 de fevereiro). Decreto nº 50.446, de 20 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br>.
- [25] São Paulo (Município). (2018, 18 de dezembro). Decreto nº 58.584, de 18 de dezembro de 2018. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**.
- [26] São Paulo (Município). (2024). **Perguntas frequentes relativas ao trânsito de produtos perigosos**. SMT/DSV. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/>.
- [27] São Paulo (Município). Departamento de Operação do Sistema Viário. (2016, 25 de abril). Portaria DSV.GAB nº 100. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**, 26 de abril de 2016.
- [28] São Paulo (Município). Prefeitura do Município de São Paulo. (s.d.). **Passo a passo para obtenção da LETPP – Licença Especial de Trânsito de Produtos Perigosos**. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso em: 07 jul. 2025.
- [29] São Paulo (Município). Secretaria Municipal de Mobilidade e Trânsito. (2023, 13 de janeiro). Portaria SMT nº 051. **Diário Oficial da Cidade de São Paulo**. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/>.

- [30] SETLOG Transportes. (2025). **Cargas Perigosas**. Disponível em: <https://setlogtransportes.com.br/cargas-perigosas/>. Acesso em: 11 jul. 2025.
- [31] Supergasbras Energia Ltda. (s.d.). **Distribuidora de gás – GLP para casas e negócios**. Disponível em: <https://www.supergasbras.com.br/>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- [32] Tegma Gestão Logística. (s.d.). **Empresa de logística 100% brasileira**. Disponível em: <https://www.tegma.com.br/>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- [33] Trans OK Transportes Ltda. (s.d.). **Especialista no transporte de produtos químicos**. Disponível em: <<https://www.transok.com.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- [34] Trans Reid. (s.d.). **Transporte químicos**. Disponível em: <https://transreid.com.br/en/transporte-quimicos/>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- [35] Transkompa. (s.d.). **Quem somos**. Disponível em: <https://www.transkompa.com.br/a-transkomp>. Acesso em: 09 jul. 2025.
- [36] Translix. (s.d.). **Home – coleta, transporte e destinação de resíduos**. Disponível em: <http://www.translix.com.br/>. Acesso em: 11 jul. 2025.
- [37] Ultragaz S.A. (s.d.). **Comércio varejista de gás liquefeito de petróleo**. Disponível em: <https://www.ultragaz.com.br/>. Acesso em: 13 jul. 2025.
- [38] UNITED NATIONS. *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Model Regulations*. 23rd rev. ed. New York; Geneva: United Nations, 2023.

- [39] Veloce Logística. (s.d.). **Transporte de produtos químicos e perigosos.** Disponível em: <https://velocelog.com.br/solucoes/transporte-de-produtos-quimicos-e-perigosos>. Acesso em: 09 jul. 2025.

VI

POLUIÇÃO E QUALIDADE DE VIDA: O PAPEL DA LOGÍSTICA VERDE NA SUSTENTABILIDADE URBANA

Joel Porto Alves – Universidade Paulista – UNIP ¹

Dircelene Teixeira do Nascimento - Universidade de Taubaté - UNI-
TAU ²

VI.1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida pode ser compreendida como a percepção que o indivíduo tem de sua posição na vida, considerando aspectos culturais, sociais, econômicos e ambientais, bem como suas metas e expectativas

¹Graduado em Engenharia Química, Pedagogia, Química, Ciências Sociais. Pós-Graduado Especialização em Liderança e Gestão de Pessoas, Engenharia de Segurança do Trabalho, Metodologia do Ensino de Física e Química, e Mestre em Engenharia de Produção.

²Graduada em Psicologia e Pedagogia, Mestre em Desenvolvimento Humano.

[25]. Em contextos urbanos, essa percepção é fortemente influenciada pelas condições ambientais e pela forma como a cidade organiza seus fluxos de pessoas, bens e serviços. Nesse cenário, a logística exerce papel central, pois além de viabilizar o abastecimento e a circulação de mercadorias, também pode gerar impactos negativos associados a tais processos. Entendida como o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e informações — desde o ponto de origem até o consumo final — a logística tem como finalidade atender às exigências dos clientes.

O crescimento acelerado das cidades e a expansão das atividades logísticas intensificaram os desafios ambientais urbanos. Poluição atmosférica, sonora, visual e do solo, além da intensificação das ilhas de calor, são alguns dos efeitos que reduzem o bem-estar, ampliam doenças respiratórias e cardiovasculares, comprometem a saúde mental e agravam desigualdades sociais. Esse cenário também pressiona os serviços públicos, que precisam lidar com a sobrecarga de demandas associadas à degradação ambiental.

Para melhor compreensão desses impactos, a Figura VI.1 apresenta o fluxo logístico urbano e os principais efeitos ambientais associados, evidenciando como as etapas de transporte, armazenagem e distribuição estão diretamente ligadas à geração de poluentes e ao comprometimento da qualidade de vida nas cidades.

A cadeia de suprimentos, impulsionada por transformações de mercado, avanços tecnológicos e fatores econômicos [4], é ao mesmo tempo essencial e impactante. Todas as suas etapas — transporte, armazenamento e manuseio — contribuem de maneira significativa para emissões de poluentes e sobrecarga da infraestrutura urbana [2]. Estima-se que o setor seja responsável por aproximadamente 10% das emissões globais de CO₂ [18].

Nesse contexto, a pressão por práticas mais sustentáveis cresce de forma consistente, abrindo espaço para a logística verde, abordagem que busca reduzir os danos ambientais associados ao setor. Ela integra tecnologias limpas, estratégias de eficiência e políticas públicas voltadas à

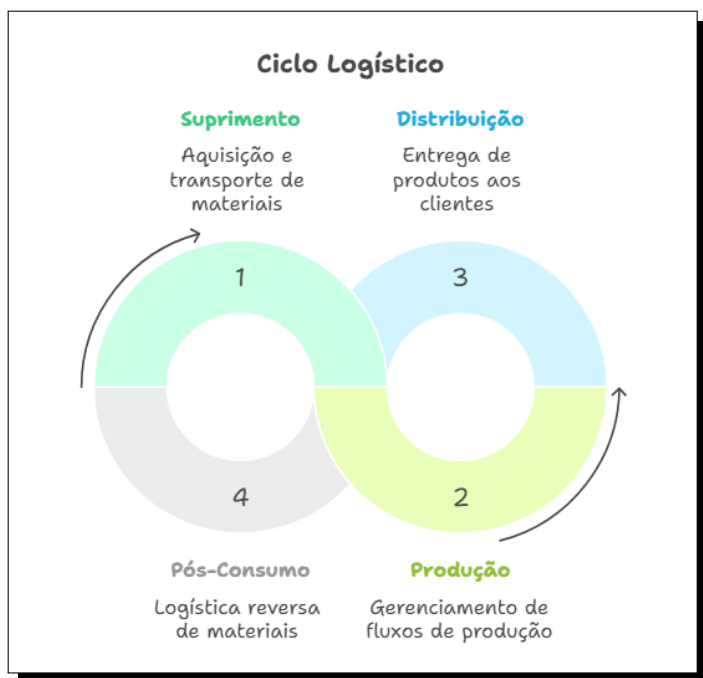


Figura VI.1: Fluxo logístico urbano e seus impactos ambientais. Fonte: Esquema baseado em Ballou (2006) [2]

mobilidade sustentável, promovendo ganhos que ultrapassam o âmbito operacional.

Este capítulo explora a relação entre poluição e qualidade de vida no espaço urbano, destacando como a logística convencional intensifica os problemas ambientais e sociais e como a logística verde pode oferecer soluções. Serão analisados os impactos da poluição nos determinantes da qualidade de vida, as alternativas sustentáveis disponíveis e os benefícios da transição para modelos logísticos mais responsáveis. O percurso do capítulo segue uma progressão lógica: inicia-se com a identificação dos impactos, avança para as estratégias e benefícios da logística verde e conclui com os desafios e perspectivas futuras para a sustentabilidade urbana.

VI.2 POLUIÇÃO E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE DE VIDA

A intensa atividade logística em áreas urbanas — que inclui transporte, estocagem, manuseio e distribuição de mercadorias — gera diferentes formas de poluição: atmosférica, sonora, visual, hídrica e do solo. Esses impactos são particularmente graves em cidades densamente povoadas, onde o tráfego de veículos de carga e a ocupação desordenada do espaço intensificam a degradação ambiental e comprometem a qualidade de vida da população.

A poluição decorrente dos processos logísticos não se limita às emissões atmosféricas. Seus efeitos também comprometem o bem-estar psicológico, a mobilidade e o conforto ambiental, elementos fundamentais para uma vida urbana saudável. A impermeabilização do solo, o calor emitido pelos motores e a carência de áreas verdes, por exemplo, intensificam o fenômeno das ilhas de calor, elevando a temperatura local, gerando desconforto térmico e ampliando a incidência de doenças respiratórias e cardiovasculares. Paralelamente, o estresse associado a ambientes caóticos e ruidosos agrava os impactos sobre a saúde mental e as relações sociais. Nesse contexto, a qualidade do sistema de transporte público de passageiros constitui um indicador relevante da qualidade de vida urbana e, por consequência, do grau de desenvolvimento econômico e social de uma cidade.

Nesse sentido, é importante considerar que os impactos logísticos estão vinculados ao modelo de consumo contemporâneo. Como afirmam Mello e Sathler [19]: “O consumo, por si só, não é algo mau e que deve ser combatido, mas, ao se tornar um fim em si mesmo, seja como objetivo principal dos indivíduos ou como medida fundamental do sucesso individual, transforma-se em ameaça forte e agressiva ao ambiente e, consequentemente, aos seres vivos que dele dependem”.

Essa perspectiva reforça que a degradação ambiental associada à logística não é apenas consequência das operações de transporte e arma-

zenagem, mas também reflexo de padrões de consumo excessivos e insustentáveis.

VI.2.1 IMPACTOS MULTIDIMENSIONAIS DA POLUIÇÃO

Os efeitos da poluição logística são múltiplos, interdependentes e se manifestam em diferentes dimensões da vida urbana. Além da contaminação do ar — que compromete diretamente a saúde respiratória e cardiovascular da população —, destacam-se o comprometimento da paisagem urbana (poluição visual), a intensificação do ruído (poluição sonora), a contaminação de cursos d'água por efluentes industriais e o descarte inadequado de resíduos sólidos. Esses fatores deterioram a qualidade ambiental e ampliam custos sociais e econômicos, seja pelo aumento das despesas com saúde pública, seja pela desvalorização de áreas urbanas afetadas pela degradação ambiental.

A poluição visual, resultante do acúmulo de contêineres, da sinalização excessiva e da ocupação desordenada de espaços logísticos, gera sensação de caos e desorganização, afetando a percepção de bem-estar coletivo. Esse quadro é corroborado por Hassan e Khalil [15], que identificam em elementos como outdoors, resíduos e o desenvolvimento urbano mal planejado importantes fatores de comprometimento da saúde e do bem-estar, com impactos mais severos sobre populações vulneráveis.

De forma complementar, a poluição sonora, provocada pelo tráfego intenso de veículos de carga, pelas operações em centros de distribuição e pela movimentação em áreas portuárias ou industriais, representa um risco significativo à saúde física e psicológica. Entre os efeitos mais recorrentes estão estresse crônico, distúrbios do sono e fadiga mental, que comprometem o desempenho profissional e a qualidade das interações sociais. Münzel, Sørensen e Daiber [20] aprofundam essa análise ao demonstrar que a poluição sonora do transporte constitui fator relevante de risco cardiovascular, associando-se a disfunções vasculares,

processos inflamatórios, hipertensão e à elevação de hormônios ligados ao estresse.

Analisadas em conjunto, a poluição visual e a sonora evidenciam não apenas impactos estéticos e psicológicos, mas também consequências fisiológicas graves, configurando-se como fatores críticos para a construção de ambientes urbanos saudáveis e sustentáveis. No campo ambiental, somam-se ainda a infiltração de óleos, combustíveis e substâncias químicas em cursos d'água — que compromete ecossistemas aquáticos e dificulta o tratamento da água potável — e o descarte inadequado de resíduos sólidos, que pressiona aterros e favorece a proliferação de vetores de doenças. A impermeabilização do solo e o calor emitido por motores e pavimentação também intensificam o fenômeno das ilhas de calor urbanas, elevando a temperatura local e agravando condições de saúde já fragilizadas.

Essa multiplicidade de impactos reforça a necessidade de abordagens sistêmicas e sustentáveis, capazes de articular políticas públicas, inovações tecnológicas e práticas empresariais responsáveis. Nesse sentido, instrumentos como a logística reversa, a economia circular e a transição para frotas menos poluentes representam caminhos viáveis para reduzir externalidades e mitigar danos. Considerar tanto os efeitos diretos sobre a saúde quanto os impactos indiretos sobre a dinâmica urbana é condição essencial para alinhar a atividade logística às metas globais de desenvolvimento sustentável e para a construção de cidades mais resilientes.

VI.2.2 POLUIÇÃO SONORA E VISUAL: EFEITOS NO BEM-ESTAR E NA PAISAGEM URBANA

O ruído constante de caminhões, empilhadeiras, sirenes e demais equipamentos logísticos compromete não apenas a saúde física, mas também o equilíbrio psicológico da população exposta. Entre os efeitos mais recorrentes estão distúrbios do sono, estresse crônico, perda auditiva

progressiva, fadiga mental e redução da capacidade de concentração, fatores que impactam diretamente a produtividade laboral e a qualidade das interações sociais. Evidências científicas demonstram que a exposição prolongada a níveis elevados de ruído urbano está associada ao aumento de casos de hipertensão arterial e doenças cardiovasculares, o que reforça a gravidade do problema para a saúde pública.

Paralelamente, a poluição visual, decorrente do empilhamento de contêineres, da desorganização de galpões, da sinalização caótica e do excesso de publicidade, intensifica a sensação de desordem no espaço urbano. O excesso de estímulos visuais compromete a legibilidade da paisagem, dificulta a orientação espacial e contribui para a percepção de um ambiente hostil e degradado. Estudos recentes apontam que imagens desconfortáveis podem gerar estresse visual, aumentando a ativação cerebral, provocando respostas dispersas e atividade desequilibrada entre diferentes orientações espaciais, o que eleva a suscetibilidade individual ao desconforto [22]. Esses efeitos não se restringem ao campo visual, mas interagem com a dimensão sonora: as percepções audiovisuais influenciam de forma significativa a satisfação geral com o ambiente urbano, sendo a agradabilidade, a intensidade dos eventos e a qualidade global fatores determinantes na avaliação tanto de paisagens sonoras quanto visuais [16].

Assim, a sobrecarga visual e suas repercussões neurológicas, somadas às interações entre sons e imagens urbanas, demonstram que a poluição visual e sonora afeta não apenas a estética das cidades, mas também o bem-estar psicofisiológico e a qualidade de vida da população. Em muitos casos, esse quadro é agravado pela perda de áreas verdes e pela ausência de planejamento estético, fatores que ampliam a percepção de caos e reduzem o bem-estar coletivo.

Essas formas de poluição interferem diretamente na apropriação do espaço urbano, afetando a maneira como os cidadãos se relacionam com o entorno e limitando o potencial de convivência em áreas públicas. Além disso, produzem repercussões econômicas relevantes: bairros ou regiões marcados por ruído excessivo e degradação visual tendem a apre-

sentar desvalorização imobiliária, menor atratividade turística e retração de investimentos privados. Em consequência, estabelece-se um ciclo de exclusão socioespacial, no qual populações mais vulneráveis acabam concentradas em áreas degradadas, ampliando desigualdades socioambientais.

Nesse contexto, a Figura VI.2 ilustra de forma comparativa as principais fontes de ruído logístico em relação aos limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), além de exemplos visuais de áreas logísticas desorganizadas, reforçando a associação entre poluição sonora, degradação visual e seus impactos urbanos.

VI.2.3 CONGESTIONAMENTO URBANO, ILHAS DE CALOR E IMPACTOS CLIMÁTICOS

A movimentação constante de veículos logísticos contribui significativamente para o agravamento dos congestionamentos e para o surgimento das ilhas de calor urbano. O tráfego intenso em corredores viários não apenas amplia o tempo de deslocamento da população, mas também eleva os níveis de emissão de poluentes, resultando em maiores concentrações de material particulado, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono. Paralelamente, a ocupação massiva do espaço por caminhões e veículos de carga intensifica o desgaste da infraestrutura viária, ampliando custos de manutenção urbana e comprometendo a fluidez da mobilidade.

Nas áreas densamente urbanizadas, o predomínio de superfícies artificiais — como asfalto, concreto e telhados metálicos — acentua ainda mais esse quadro. Tais materiais absorvem calor durante o dia e o liberam lentamente à noite, provocando um aumento da temperatura média das cidades [13]. Esse fenômeno das ilhas de calor reduz a qualidade ambiental e compromete o conforto térmico, tornando-se um desafio recorrente para o planejamento urbano sustentável.



Figura VI.2: Fontes de ruído logístico e poluição visual. Fonte: Adaptada usando Microsoft Designer baseada em World Health Organization (1995) [25]

Os efeitos são múltiplos. O aumento das temperaturas intensifica a demanda por sistemas de refrigeração e ventilação, elevando o consumo energético e pressionando a infraestrutura elétrica. Esse ciclo de maior demanda por energia, frequentemente suprida por fontes fósseis, retroalimenta a emissão de gases de efeito estufa, ampliando os impactos das mudanças climáticas em escala global. Além disso, o estresse térmico associado às ilhas de calor está diretamente relacionado ao aumento de

internações hospitalares por doenças respiratórias, cardiovasculares e problemas relacionados à desidratação.

Essas consequências afetam de maneira desigual os diferentes grupos sociais. Crianças, idosos, pessoas com doenças crônicas e populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica são os mais prejudicados, pois possuem menor acesso a habitações climatizadas, áreas arborizadas e serviços de saúde de qualidade. Como resultado, amplia-se o quadro de desigualdades socioambientais, com repercussões sobre a justiça social e sobre a resiliência das cidades.

Nesse contexto, a Figura VI.3 evidencia como o predomínio de superfícies artificiais em áreas urbanas intensifica o aquecimento local, em contraste com regiões arborizadas, permitindo compreender de forma visual a dimensão do problema das ilhas de calor.

VI.3 A LOGÍSTICA VERDE E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE URBANA

Diante dos impactos negativos da logística convencional, cresce a necessidade de modelos mais sustentáveis capazes de conciliar eficiência operacional, preservação ambiental e qualidade de vida urbana. Nesse contexto, a logística verde emerge como uma abordagem que integra tecnologias limpas, otimização de processos e princípios da economia circular, visando reduzir a pegada ecológica das atividades logísticas. Mais do que uma tendência, trata-se de uma transformação estrutural que responde tanto às pressões regulatórias quanto às expectativas sociais por cidades mais saudáveis e resilientes.

A incorporação de inovações tecnológicas e organizacionais constitui um dos eixos centrais dessa abordagem. O uso de veículos elétricos e híbridos, por exemplo, contribui para a redução das emissões atmosféricas e da poluição sonora, ao mesmo tempo em que eleva a eficiência energética. Embora desafios relacionados ao custo inicial e à infraestrutura de



Figura VI.3: Ilhas de calor em áreas densamente asfaltadas. Fonte: Ilustração usando Microsoft Design baseada em Gartland (2011) [13]

recarga ainda limitem sua expansão, políticas públicas e iniciativas empresariais têm avançado nessa direção, demonstrando que a transição é possível.

Nesse sentido, a Figura VI.4 apresenta de forma clara a relação entre a redução das emissões poluentes e os ganhos diretos para a saúde pública, reforçando a importância da logística verde como estratégia para melhorar a qualidade do ar e aumentar a expectativa de vida da população.



Figura VI.4: Redução das emissões e ganhos em saúde pública. Fonte: Ilustração usando Microsoft Design

Outro aspecto fundamental é a otimização da cadeia de suprimentos, voltada à diminuição de deslocamentos desnecessários e ociosos. Ferramentas baseadas em inteligência artificial (IA) e internet das coisas (IoT) possibilitam o planejamento de rotas inteligentes, reduzindo tempo de viagem, consumo de combustíveis fósseis e congestionamentos. A criação de micro-hubs logísticos e armazéns urbanos também aproxima mercadorias do consumidor final, evitando o uso excessivo de veículos de grande porte em áreas centrais.

A logística verde conecta-se ainda às discussões sobre logística urbana sustentável, cujo foco está no equilíbrio entre mobilidade, saúde pública e eficiência das cidades. Experiências como entregas noturnas silenciosas, bicicletas de carga, drones para pequenas distâncias e centros de distribuição urbanos ilustram soluções inovadoras que reduzem externalidades ambientais e sociais sem comprometer a agilidade operacional.

Nesse cenário, a logística reversa se destaca como estratégia essencial da economia circular, ao permitir maior eficiência, conscientização e responsabilidade socioambiental. A gestão do retorno de embalagens, resíduos e produtos obsoletos não apenas diminui o volume de descartes destinados a aterros, mas também reintegra materiais ao ciclo produtivo, reduzindo a extração de recursos naturais e fortalecendo a imagem sustentável das organizações.

Assim, a logística verde deve ser compreendida não apenas como uma estratégia empresarial, mas como uma ferramenta de transformação urbana. Ao mitigar a poluição, reduzir o congestionamento e promover práticas alinhadas ao desenvolvimento sustentável, contribui para a construção de cidades mais inclusivas, equilibradas e preparadas para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos.

VI.4 BENEFÍCIOS DA LOGÍSTICA VERDE PARA A SAÚDE PÚBLICA E O MEIO AMBIENTE

A adoção de práticas sustentáveis na logística não se limita à eficiência operacional. Seus efeitos se estendem diretamente à saúde pública, ao meio ambiente e à qualidade de vida urbana. Ao reduzir poluentes atmosféricos, ruídos, resíduos sólidos e congestionamentos, a logística verde contribui para cidades mais equilibradas e para a diminuição de desigualdades socioambientais.

VI.4.1 REDUÇÃO DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS E CARDIOVASCULARES

As emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) figuram entre os principais fatores de risco para doenças respiratórias e cardiovasculares. A exposição prolongada a esses poluentes compromete a capacidade pulmonar, intensifica processos inflamatórios e eleva a incidência de eventos agudos, como infartos e acidentes vasculares cerebrais. Em áreas urbanas densamente povoadas, caracterizadas por intenso tráfego logístico, tais contaminantes agravam quadros de asma, bronquite crônica e enfermidades cardíacas, resultando em maior número de internações, absenteísmo laboral e custos adicionais aos sistemas públicos de saúde.

Os impactos ultrapassam o nível individual e repercutem sobre toda a coletividade. Crianças, idosos e pessoas com condições pré-existentes apresentam maior vulnerabilidade a episódios de poluição aguda, enfrentando riscos ampliados de agravamento clínico e menor resiliência fisiológica. Além dos efeitos diretos sobre a saúde, a má qualidade do ar reduz a produtividade econômica, aumenta a frequência de faltas escolares e aprofunda desigualdades sociais, uma vez que populações periféricas tendem a viver próximas a corredores logísticos e vias de carga, onde a concentração de poluentes é mais elevada.

Nesse cenário, a logística verde surge como uma estratégia decisiva para reduzir a carga de doenças respiratórias e cardiovasculares. A adoção de frotas elétricas ou híbridas, o uso de combustíveis menos poluentes, a substituição de veículos envelhecidos e a otimização de rotas diminuem de forma significativa a emissão de NO_x e MP — poluentes diretamente associados ao aumento de hospitalizações por crises asmáticas, bronquite crônica, hipertensão e eventos cardiovasculares agudos. Medidas regulatórias como as diferentes fases do PROCONVE, que vêm demonstrando reduções progressivas de HC, CO e NO_x em veículos pesados [7], reforçam a importância de estratégias articuladas entre

setor público e privado. Adicionalmente, políticas como zonas de baixas emissões e restrições de circulação em áreas densamente povoadas contribuem para reduzir de forma direta a exposição da população a poluentes atmosféricos.

Essas ações produzem efeitos imediatos e cumulativos sobre a saúde pública. Ao mitigar os poluentes mais nocivos e frequentes no ambiente urbano associado à logística, a logística verde amplia o potencial de redução de agravos respiratórios e cardiovasculares e promove ambientes com melhor qualidade do ar. Nesse sentido, os dados setoriais demonstram que o modal rodoviário permanece como o principal responsável pelas emissões de gases de efeito estufa, concentrando mais de 81% das emissões totais em 2050 [6], o que reforça a necessidade de priorizar tecnologias mais limpas e mudanças operacionais nesse segmento.

Dessa forma, ao reduzir emissões que afetam diretamente os sistemas respiratório e cardiovascular, a logística verde contribui para cidades mais saudáveis, amplia a expectativa de vida, fortalece a sustentabilidade dos sistemas de saúde e reforça o compromisso com políticas urbanas alinhadas ao desenvolvimento sustentável.

VI.4.2 REDUÇÃO DO ESTRESSE E DOS PROBLEMAS PSICOLÓGICOS

A poluição sonora é um dos efeitos mais persistentes e, paradoxalmente, menos percebidos da logística urbana, sendo frequentemente naturalizada no cotidiano das cidades. O tráfego intenso de caminhões, a movimentação contínua em centros de distribuição e o uso de equipamentos de carga e descarga geram níveis de ruído que ultrapassam os limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde, que estabelece 53 dB como valor máximo para o ruído rodoviário durante o dia e 45 dB durante a noite [24]. A exposição contínua a níveis elevados de ruído compromete a saúde física e mental da população, representando um risco significativo em áreas próximas a corredores logísticos.

Entre os efeitos mais recorrentes destacam-se o estresse crônico, a fadiga, os distúrbios do sono e a perda gradual da capacidade auditiva. Evidências indicam que o ruído ambiental aumenta a produção de cortisol e adrenalina, elevando a pressão arterial e desencadeando reações fisiológicas associadas ao estresse [3]. Esse desequilíbrio também contribui para irritabilidade, ansiedade e maior vulnerabilidade a episódios depressivos. Além disso, estudos demonstram que a exposição prolongada ao ruído urbano está associada a maior incidência de doenças cardiovasculares, como hipertensão e infarto [21], reforçando o caráter sistêmico do impacto ambiental causado pelo som excessivo.

Os efeitos do ruído também acentuam desigualdades socioespaciais. Populações que vivem próximas a centros logísticos, vias de carga ou zonas de armazenamento — frequentemente compostas por grupos socialmente vulneráveis — sofrem de maneira mais intensa com distúrbios do sono, irritabilidade, dificuldade de concentração e problemas de saúde mental, reduzindo a produtividade e piorando a qualidade de vida [24].

Nesse contexto, medidas mitigadoras tornam-se fundamentais. Estratégias como a adoção de veículos elétricos, que reduzem substancialmente o ruído do motor e das frenagens, a reorganização dos fluxos logísticos e a restrição de caminhões em horários de maior circulação de pessoas podem diminuir significativamente os níveis de pressão sonora. A implementação de entregas silenciosas, apoiadas por veículos e equipamentos de baixo impacto sonoro, bem como por adaptações na infraestrutura urbana e nos procedimentos operacionais, tem se mostrado uma estratégia promissora para reduzir os impactos ambientais associados à distribuição urbana de mercadorias. Essas iniciativas contribuem para a diminuição da poluição sonora nas cidades e para a promoção de sistemas logísticos mais sustentáveis e compatíveis com a qualidade de vida urbana [1]. No Brasil, recomendações como as da NBR 10151 e da NBR 10152 reforçam limites aceitáveis e diretrizes para ambientes urbanos e ocupacionais, orientando práticas de mitigação.

Ao minimizar os impactos psicológicos associados ao caos sonoro, tais iniciativas contribuem para ambientes urbanos mais tranquilos e para uma convivência mais saudável. Além disso, reforçam a ideia de que a logística verde não se limita à mitigação dos impactos ambientais tradicionais, como emissões atmosféricas, mas constitui também um instrumento de promoção da saúde pública e de melhoria da qualidade de vida nas cidades.

VI.4.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E PRESERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS

A dependência da matriz fóssil para o transporte de mercadorias compromete seriamente a sustentabilidade global, uma vez que intensifica a emissão de gases de efeito estufa, acelera o esgotamento de recursos não renováveis e perpetua a vulnerabilidade econômica diante das oscilações do preço do petróleo. O modelo de transporte baseado predominantemente em combustíveis fósseis gera impactos cumulativos sobre o clima, a qualidade do ar e a segurança energética dos países, evidenciando a urgência de uma transição para alternativas mais limpas e resilientes. A combustão de combustíveis fósseis contribui diretamente para a poluição atmosférica e para o aquecimento global; entretanto, avanços tecnológicos têm potencial para reduzir significativamente a emissão de diversos poluentes [14]. Nesse contexto, a redução das emissões de CO₂ nas cidades representa uma estratégia central para mitigar os efeitos climáticos e melhorar a qualidade do ar. Contudo, como alertam Commane e Schiferl [9], a eficácia dessas medidas depende da forma como as políticas são implementadas, já que escolhas inadequadas podem tanto degradar quanto aprimorar as condições ambientais urbanas.

Nesse contexto, a adoção de biocombustíveis, a eletrificação de frotas e o incremento da automação de processos emergem como estratégias centrais da logística verde. Os biocombustíveis reduzem a intensidade de carbono das operações e favorecem o aproveitamento de matérias-

primas renováveis, enquanto os veículos elétricos e híbridos diminuem drasticamente as emissões locais e a poluição sonora. Já a automação e a digitalização — apoiadas por tecnologias como inteligência artificial, big data e internet das coisas (IoT) — possibilitam maior precisão no planejamento de rotas, no controle do consumo de energia e na manutenção preventiva de frotas, maximizando a eficiência energética do sistema logístico.

Esse equilíbrio entre inovação tecnológica e responsabilidade ambiental traz benefícios tanto para a economia quanto para o meio ambiente. Do ponto de vista econômico, há redução de custos operacionais, menor dependência de combustíveis importados e ganhos de competitividade em mercados cada vez mais atentos a critérios de sustentabilidade. Do ponto de vista ambiental, diminuem-se as pressões sobre ecossistemas e cadeias de suprimento de energia, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e para o cumprimento das metas globais de descarbonização.

Assim, a transição da matriz fóssil para fontes renováveis e processos mais eficientes não deve ser vista apenas como uma alternativa de curto prazo, mas como um investimento estratégico para garantir a resiliência urbana, a segurança energética e a preservação ambiental em longo prazo.

VI.4.4 MOBILIDADE URBANA E QUALIDADE DE VIDA

O congestionamento viário constitui uma das externalidades mais visíveis da logística tradicional. Caminhões de grande porte circulando em horários de pico comprometem o transporte público, aumentam o tempo de deslocamento da população e elevam o consumo de combustível. A logística verde propõe soluções estruturais, como centros de distribuição urbanos, micro-hubs de redistribuição, entregas em horários alternativos e uso de modais menos poluentes (bicicletas de carga, veículos leves elétricos). Essas iniciativas não apenas reduzem a sobrecarga

viária, mas também fortalecem a integração entre diferentes sistemas de transporte, tornando a mobilidade mais fluida, acessível e sustentável.

Por fim, cabe destacar que “o gerenciamento de cadeias de suprimento consiste na integração dos principais processos de negócio a partir do consumidor final até o fornecedor inicial de produtos, serviços e informações que adicionam valor” [1], sendo, portanto, uma tarefa substancialmente mais complexa do que a gerência logística restrita ao fluxo de produtos e informações do ponto de origem ao consumo.

VI.5 POLÍTICAS PÚBLICAS

A transição para a logística verde não depende apenas da ação isolada das empresas. Ela exige um arranjo institucional coordenado, em que políticas públicas, regulamentações, incentivos econômicos e participação social se alinham às estratégias corporativas. Nesse sentido, governos municipais, estaduais e federais desempenham papel decisivo ao criar condições estruturais para a adoção de práticas logísticas mais sustentáveis.

Além desses aspectos, torna-se relevante incorporar uma análise comparativa dos custos econômicos associados às estratégias de descarbonização. Estudos recentes mostram que a eletrificação de frotas apresenta vantagens econômicas de longo prazo, sobretudo devido ao menor custo por quilômetro rodado e à maior eficiência energética, reduzindo em aproximadamente 40% o custo para percorrer 100 km quando comparada à matriz fóssil. Apesar disso, a eletrificação exige investimento inicial mais elevado, pois os veículos elétricos ainda apresentam preço de aquisição superior aos modelos a combustão. Entretanto, ao longo do ciclo de vida, esse custo é compensado pela menor despesa com manutenção e energia.

No cenário nacional, estudos demonstram que estratégias de descarbonização — como eficiência energética e transição tecnológica — reduzem a dependência do petróleo, diminuem custos operacionais e ampliam os benefícios ambientais [6]. Além disso, análises setoriais re-

forçam que a estimativa de custos de mitigação é essencial para orientar políticas públicas eficazes, evidenciando a importância da avaliação custo-benefício no processo decisório [6].

Da mesma forma, diferentes modelos de governança — consórcios intermunicipais, parcerias público-privadas e estruturas metropolitanas — influenciam diretamente a capacidade de implementação de políticas sustentáveis. Experiências internacionais demonstram que políticas de mobilidade urbana sustentável são mais eficazes quando articuladas por estruturas de governança multinível, como proposto pelas diretrizes de Planejamento Urbano Sustentável da Comissão Europeia, que enfatizam a coordenação entre níveis nacional, regional e local para execução de metas ambientais [8].

As parcerias público-privadas também se destacam como mecanismos estratégicos na descarbonização, especialmente na expansão de infraestrutura de recarga para veículos elétricos, corredores verdes e sistemas inteligentes de transporte. Estudos apontam que, sem incentivos governamentais e modelos de negócio sustentáveis, a eletrificação da mobilidade não alcança escala suficiente para impactos significativos [6].

Assim, a efetividade das políticas de logística verde depende não apenas da existência de regulamentações, mas da forma como são coordenadas entre diferentes atores institucionais. Estruturas de governança articuladas — federais, estaduais, metropolitanas e municipais — ampliam a capacidade de implementação, reduzem assimetrias e asseguram maior coerência às estratégias de descarbonização no longo prazo. Além disso, instrumentos de governança participativa, como consultas públicas, conselhos de mobilidade e plataformas digitais de monitoramento, fortalecem a legitimidade das políticas e ampliam o engajamento social. Ao mesmo tempo, sistemas de *accountability* e métricas de desempenho permitem avaliar o impacto das medidas adotadas, ajudando a corrigir rumos e a priorizar investimentos. Esses modelos de governança asseguram maior estabilidade institucional e reduzem a dependência de ciclos políticos, contribuindo para que estratégias de descarbonização

— como a eletrificação de frotas, o incentivo a combustíveis renováveis e a logística reversa — sejam implementadas de forma contínua e integrada.

Experiências internacionais demonstram que a regulação pode ser um poderoso indutor de transformação. A União Europeia, por exemplo, estabeleceu metas ambiciosas de redução de emissões de gases de efeito estufa no transporte, estimulando o uso de veículos elétricos e biocombustíveis. Cidades como Londres e Paris criaram zonas de baixas emissões, restringindo a circulação de caminhões movidos a diesel em áreas centrais, ao mesmo tempo em que investem em corredores verdes e infraestrutura de recarga elétrica. Esses exemplos ilustram como políticas urbanas bem estruturadas alinham objetivos ambientais, de saúde pública e de mobilidade sustentável.

No Brasil, iniciativas como o Programa Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável e os Planos Diretores de Mobilidade (PlanMob) oferecem diretrizes para integrar transporte, meio ambiente e desenvolvimento urbano. Em São Paulo, por exemplo, o Rodízio Municipal de Veículos e as políticas de restrição de caminhões em determinadas vias centrais são tentativas de reduzir congestionamentos e emissões, ainda que enfrentem desafios de fiscalização e integração com outras modalidades logísticas. Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) fortalece a logística reversa como obrigação legal, estimulando empresas a criar sistemas de recolhimento de embalagens e produtos pós-consumo.

Contudo, o êxito das políticas públicas depende de sua articulação com o setor privado. Incentivos fiscais, linhas de crédito para renovação de frotas e investimentos em pesquisa e desenvolvimento podem reduzir barreiras tecnológicas e econômicas, tornando viável a adoção de soluções limpas. Paralelamente, a implementação de normas de transparência ambiental permite que consumidores exerçam pressão social, escolhendo empresas comprometidas com práticas sustentáveis.

Assim, as políticas públicas devem ser compreendidas não apenas como instrumentos regulatórios, mas como catalisadores de inovação

e mudança cultural. Ao criar ambientes favoráveis, apoiar financeiramente a transição e engajar empresas e cidadãos, o poder público pode acelerar a consolidação da logística verde como eixo estruturante da sustentabilidade urbana.

VI.5.1 CASOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS NA TRANSIÇÃO PARA A LOGÍSTICA DE BAIXO CARBONO

A transição para uma logística de baixo carbono tem sido conduzida por diferentes países por meio de políticas públicas, modelos de governança e estratégias tecnológicas. Os exemplos a seguir — um nacional e dois internacionais — mostram como distintas combinações de instrumentos regulatórios, incentivos econômicos e arranjos institucionais podem contribuir para reduzir emissões, promover eficiência energética e fortalecer a sustentabilidade do transporte de cargas.

BRASIL: MUDANÇA MODAL, ELETRIFICAÇÃO E MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA

O caso brasileiro evidencia o papel central do modal rodoviário no perfil de emissões do setor de transportes. No cenário de referência, o modal rodoviário concentra mais de 81% das emissões totais em 2050, destacando-se como principal fonte de gases de efeito estufa no setor [6].

Os cenários alternativos apresentados no relatório indicam potencial expressivo de mudança logística: no cenário de baixo carbono, o modal ferroviário pode alcançar 42% da atividade total, enquanto o hidrovião chega a 16%, impulsionados pela migração de cargas historicamente transportadas por rodovias. Esta reconfiguração reduz a intensidade de carbono por tonelada-quilômetro e aumenta a eficiência energética da matriz de transportes.

Simultaneamente, o PROCONVE apresenta papel relevante na modernização tecnológica da frota. As diferentes fases do programa resultaram em reduções significativas nos fatores de emissão de poluentes locais, como CO, HC e NO_x em veículos pesados [7], contribuindo para a melhoria da qualidade do ar urbano. A redistribuição da matriz de transportes projetada para 2050 pode ser visualizada na Figura VI.5, que ilustra o aumento da participação dos modais ferroviário e hidroviário no cenário de baixo carbono.

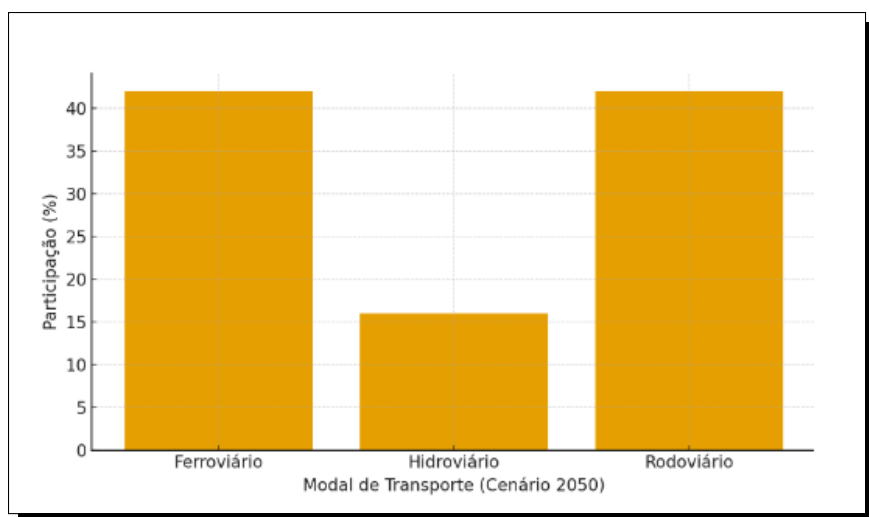


Figura VI.5: Participação modal no cenário de baixo carbono (Brasil, 2050). Fonte: Adaptado de Brasil (2017) [6]

O estudo econômico presente no trabalho de Koniak, Jaskowski e Tomczuk [17] demonstra que veículos elétricos apresentam custo operacional até 40% menor quando comparados a veículos a gasolina, especialmente quando carregados em estações públicas. Esse dado reforça o potencial econômico da eletrificação como estratégia complementar à mudança modal e à modernização da frota nacional.

UNIÃO EUROPEIA: GOVERNANÇA MULTINÍVEL E PLANEJAMENTO INTEGRADO

Na União Europeia, a transição para transportes de baixo carbono é estruturada por mecanismos de governança multinível, que articulam políticas nacionais, regionais e municipais. As diretrizes de Planejamento Urbano Sustentável da Comissão Europeia enfatizam que metas ambientais de longo prazo devem ser desdobradas em políticas locais e regionais, assegurando coerência territorial e efetividade de implementação [8].

Os Planos de Mobilidade Urbana Sustentável (PMUS/SUMP) destacam-se como ferramentas centrais para a integração entre transporte, uso do solo, eficiência energética e redução de emissões. Essa abordagem sistematizada favorece a adoção de medidas como:

- Incentivo a modais de menor impacto ambiental;
- Ampliação da infraestrutura para veículos elétricos;
- Expansão de zonas de baixa emissão;
- Priorização do transporte coletivo e ativo.

Combinadas, essas estratégias têm impulsionado avanços significativos na descarbonização urbana em diferentes cidades europeias.

VI.6 CONCLUSÃO

A análise dos impactos da poluição gerada pela logística convencional evidencia que suas consequências ultrapassam a esfera ambiental, alcançando dimensões sociais, econômicas e de saúde pública. Em áreas urbanas, tais efeitos manifestam-se de forma interconectada, desde o agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares até a intensificação do estresse, da poluição sonora e da degradação paisagística, comprometendo o bem-estar coletivo e pressionando sistemas de saúde e de

mobilidade. Esses impactos recaem de forma mais severa sobre grupos vulneráveis — crianças, idosos e populações periféricas —, ampliando desigualdades socioambientais e reforçando a urgência de soluções sistêmicas.

Nesse cenário, a logística verde se apresenta como uma alternativa estratégica e transformadora, ao incorporar tecnologias limpas, combustíveis alternativos, eletrificação de frotas, inteligência artificial, internet das coisas e práticas de economia circular. Essas medidas não apenas mitigam a poluição, mas também reduzem congestionamentos, promovem eficiência energética e favorecem cidades mais resilientes. Além disso, políticas públicas consistentes, incentivos à inovação e parcerias entre governos, empresas e sociedade civil tornam-se condições indispensáveis para consolidar essa transição.

O debate aqui proposto dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, em especial o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao propor caminhos que conciliam mobilidade urbana, saúde pública e mitigação das mudanças climáticas. Ao integrar essas dimensões, o capítulo contribui para o avanço do campo científico ao evidenciar a logística verde como eixo estruturante da sustentabilidade urbana, destacando sua capacidade de articular soluções ambientais, sociais e econômicas em um contexto de crescente complexidade urbana.

Assim, mais do que uma estratégia operacional, a logística verde deve ser compreendida como um imperativo ético e político para o futuro das cidades. Somente por meio dela será possível alinhar desenvolvimento econômico, preservação ambiental e justiça social, assegurando condições de vida mais dignas e equitativas para as gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALLEN, J. et al. The role of urban consolidation centres in sustainable freight transport. **Transport Reviews**, v. 32, n. 4, p. 473-490, 2012.
- [2] BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: Logística empresarial. 5. ed. Tradução de Raul Rubenich. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p. ISBN 978-85-363-0591-2.
- [3] BASNER, M. et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. **The Lancet**, v. 383, n. 9925, p. 1325-1332, 2014.
- [4] BOWERSOX, Donald J. et al. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. 4. ed. Revisão técnica: Alexandre Pignanelli. Tradução: Luiz Claudio de Queiroz Faria. Porto Alegre: AMGH, 2014. 1 recurso online (dados eletrônicos). ISBN 978-85-8055-318-5.
- [5] BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010.
- [6] BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de transportes**. Brasília: MCTIC, 2017.

- [7] CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões no setor de energia:** Subsetor de transportes. São Paulo: CETESB, 2010. Disponível nos arquivos fornecidos.
- [8] COMISSÃO EUROPEIA. **Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP).** Brussels: European Commission, 2013.
- [9] COMMANE, R.; SCHIFERL, L. Climate mitigation policies for cities must consider air quality impacts. **Chem**, v. 8, n. 5, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2022.02.006>
- [10] CORTEZ, Ana Tereza Caceres; ORTIGOZA, Silvia Aparecida Guarnieri. **Consumo sustentável:** conflitos entre necessidade e desperdício. São Paulo: UNESP, 2007.
- [11] FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (orgs.). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos:** planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. São Paulo: Atlas, 2013.
- [12] FRANCHINI, Massimo; MANNUCCI, Pier M. Air pollution and cardiovascular disease. **Thrombosis Research**, v. 129, n. 3, p. 230–234, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2011.10.030>
- [13] GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- [14] GOLOMB, D. Fossil fuel combustion: air pollution and global warming. **In: Air Pollution and Global Warming.** Boca Raton: CRC Press, 2020. p. 177-190. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781003043461-14>
- [15] HASSAN, N.; KHALIL, S. Visual pollution: causes, health impacts, and mitigation strategies for enhancing environmental

- aesthetics and public well-being – a review. **International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis**, v. 7, n. 11, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.47191/ijmra/v7-i11-11>
- [16] JEON, J.; JO, H. Effects of audio-visual interactions on soundscape and landscape perception and their influence on satisfaction with the urban environment. **Building and Environment**, v. 169, p. 106544, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106544>
- [17] KONIAK, Marcin; JASKOWSKI, Piotr; TOMCZUK, Krzysztof. Review of economic, technical and environmental aspects of electric vehicles. **Sustainability**, Basel, v. 16, n. 9849, p. 1-21, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16229849>
- [18] MCKINNON, Alan; BROWNE, Michael; WHITEING, Anthony (ed.). **Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics**. 2. ed. London: Kogan Page, 2013.
- [19] MELLO, Leonardo Freire de; SATHLER, Douglas. A demografia ambiental e a emergência dos estudos sobre população e consumo. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 2, p. 357-380, 2015.
- [20] MÜNZEL, T.; SØRENSEN, M.; DAIBER, A. Transportation noise pollution and cardiovascular disease. **Nature Reviews Cardiology**, v. 18, p. 619-636, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41569-021-00532-5>
- [21] MÜNZEL, T. et al. Environmental noise and the cardiovascular system. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 71, n. 6, p. 688-697, 2018.

- [22] PENACCHIO, O.; OTAZU, X.; WILKINS, A.; HAIGH, S. A mechanistic account of visual discomfort. **Frontiers in Neuroscience**, v. 17, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1200661>
- [23] ŠULC, Lukáš et al. City-scale assessment of long-term air quality impacts on the respiratory and cardiovascular health. **Frontiers in Public Health**, v. 10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1006536>
- [24] WHO – World Health Organization. **Environmental Noise Guidelines for the European Region**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018.
- [25] WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHOQOL**: Measuring quality of life. Geneva: World Health Organization, 1995.

VII

A TRANSIÇÃO PARA ÔNIBUS VERDES NO BRASIL: TECNOLOGIAS, DESAFIOS E CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE DO TRANSPORTE PÚBLICO

Gabriel Santos Rodrigues – Universidade Paulista – UNIP ¹

João Gilberto Mendes dos Reis – Universidade Estadual de Campinas
– UNICAMP ²

¹Graduado em Logística e Transportes, Pós-Graduado em Especialização em Logística e Operações, Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

²Graduado em Tecnologia em Logística com Ênfase em Transportes e Engenharia Civil, Pós-Graduado com Especialização em Mobilidade Urbana e Sustentável, Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

Acácio Pereira de Macedo Neto - Universidade Paulista - UNIP ³

VII.1 INTRODUÇÃO

Fatores como a crise climática, os impactos da poluição atmosférica e a crescente demanda por cidades sustentáveis têm levado gestores públicos, pesquisadores e organizações internacionais a buscarem novas matrizes energéticas alternativas para descarbonizar o setor de transportes, em particular o transporte público urbano.

No Brasil, todos os dias mais de 34 milhões de passageiros se deslocam pelas cidades, sendo que a maior parte deles (42%) caminha (39%) ou pedala (3%) [22]. Claro que modos ativos são, de fato, mais baratos e sustentáveis, mas a existência de infraestrutura que garanta a segurança é determinante para que as pessoas se desloquem dessa forma [36].

Entretanto, nas cidades brasileiras, as necessidades de deslocamento também podem ser de média ou longa distância, o que dificulta a adoção desses modos, sendo, muitas vezes, necessário utilizar diversos modos de transporte diferentes e complementares para realizar plenamente os deslocamentos no dia a dia. Nesse contexto entram os modos motorizados, que se dividem em dois grandes grupos: os individuais e os coletivos. Os individuais são responsáveis por 30% das viagens no Brasil, sendo que 26% são realizadas utilizando automóvel e 4% pelo uso de motocicletas [22].

É inegável que o uso do transporte individual melhora a acessibilidade das pessoas, principalmente daquelas que moram mais longe do seu local de trabalho ou estudo. Por outro lado, sua utilização gera uma sobrecarga viária insustentável a longo prazo, aumento da poluição, principalmente nos horários de pico, além de custos como estacionamento em via pública, que são pagos indiretamente pela sociedade [42].

³Graduado em Tecnologia em Gestão de Startups e Empreendedorismo Digital e Naturologia, Pós-Graduado MBA em Gestão de Portos, Especialização em Avaliações e Perícias de Engenharia, e Mestre em Engenharia da Produção.

Já o transporte público coletivo é responsável por 28% das viagens realizadas [22]. Alguns fatores colaboram para que o número de usuários de transporte coletivo seja menor do que o de usuários do transporte individual. Um deles é o aumento do custo tarifário acima da inflação, o que tornou o transporte público menos competitivo em relação ao transporte individual [42].

Além do Brasil, essa situação também é comum em outros países latino-americanos e acaba comprometendo a renda e a acessibilidade das famílias de baixa renda [25]. Como consequência, também coloca em risco o financiamento dos sistemas de transporte público, principalmente daqueles que dependem das receitas tarifárias para custear sua operação [8, 25].

Para Vasconcellos [42], os grupos de baixa renda são os mais dependentes do sistema de transporte coletivo, pois geralmente moram mais longe de suas atividades profissionais gastando mais tempo e dinheiro para se deslocar, o que reforça a desigualdade social e o acesso às oportunidades justamente de quem teoricamente mais precisa.

Fazendo uma análise e considerando apenas as viagens realizadas por meio do transporte público coletivo, observa-se que somente 14,3% são realizadas por sistemas de metrô e trens metropolitanos, o que reforça a importância do sistema de ônibus no transporte público brasileiro [22].

Os modos ferroviários, em sua maioria, são movidos a eletricidade e não têm emissão direta de gases poluentes. Por outro lado, ficam restritos a grandes centros urbanos devido ao custo de implementação e operação [3].

Metrô e Trens metropolitanos contribuem para a redução das emissões de gases poluentes. Porém, levando-se em conta que a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) concentra a maior rede metroferroviária do Brasil e que somente 25% das viagens são feitas exclusivamente por trilhos, ressalta-se a importância das integrações modais entre sistemas de transporte para os usuários do transporte coletivo [18].

Os 85,7% restantes são realizados por meio de 107.000 ônibus urbanos, quase todos movidos a óleo diesel [22]. O diesel é um combustível fóssil associado a altos níveis de emissão de poluentes locais e globais que causam danos à vida humana e aos ecossistemas [41].

Seres humanos expostos aos efeitos do diesel podem ter agravamento de doenças cardiovasculares e respiratórias, o que aumenta a demanda por atendimento nos sistemas de saúde e o número de mortes prematuras. Em 2021, cerca de 8 milhões de pessoas morreram no mundo inteiro devido a causas ligadas à poluição do ar [23, 41] .

O uso de diesel também aumenta a presença de ozônio troposférico e de chuva ácida nos ecossistemas, danificando as vegetações e interferindo na cadeia alimentar [41].

As cidades são responsáveis por 70% de todas as emissões de dióxido de carbono CO₂, um dos principais gases de efeito estufa (GEE) do planeta. Estima-se que o deslocamento de pessoas seja responsável por cerca de 12% de todas as emissões de CO₂ do planeta Terra [29].

Sendo assim, é necessário pensar em formas de deslocamento mais sustentáveis. Uma delas é incentivar e priorizar modos coletivos, com emissões por passageiro proporcionalmente menores. Para isso, é imprescindível tornar o sistema de transporte por ônibus mais atraente tanto para quem já utiliza quanto para atrair novos usuários.

As principais críticas feitas por usuários e por pessoas que não utilizam o sistema de transporte são as mesmas: o tempo de espera no ponto, o custo tarifário e a demora no tempo de deslocamento [15]. Por isso, além de pensar em uma transição para modelos de ônibus de baixa emissão, deve-se atrair novos usuários, pois apenas 5% das pessoas afirmam que não utilizariam transporte público de forma alguma [15].

Dessa maneira, a transição para ônibus mais limpos deve estar inserida dentro de um contexto maior de mobilidade urbana sustentável, no qual, além da sustentabilidade ambiental, estejam presentes a sustentabilidade financeira e a justiça social [8].

Neste capítulo serão abordados o contexto histórico do transporte e dos combustíveis alternativos, as novas tecnologias disponíveis e em

desenvolvimento, um modelo de cálculo para comparação de tecnologias, os desafios enfrentados para implementação no contexto brasileiro, além das oportunidades que emergem da operação de uma frota diversificada e limpa.

A análise aqui apresentada visa contribuir com o debate técnico e político sobre a transformação do transporte público brasileiro em direção à sustentabilidade, sem desconsiderar que mudanças estruturais na operação devem ser pensadas em conjunto para que as pessoas percebam vantagem em substituir o transporte individual pelo transporte coletivo.

VII.2 CONTEXTO HISTÓRICO DO TRANSPORTE PÚBLICO E DA UTILIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS NO BRASIL

Nos primórdios, cavalos e burros eram a força motriz dos veículos de transporte. Os bondes tiveram, em seu início, a força animal como matriz energética.

O primeiro bonde tracionado por animais entrou em operação no Brasil em 1859, sendo posteriormente substituído por locomotivas a vapor em 1862. Já os primeiros bondes elétricos entraram em operação no Rio de Janeiro somente trinta anos depois, em 1892 [21].

Os bondes (Figura VII.1) eram veículos simples e confiáveis que operavam em diversas cidades do mundo. Porto Alegre foi a segunda cidade a implementar bondes, em 1864, seguida por Salvador em 1866 e São Paulo em 1872. Nove anos depois, em 1881, os bondes de São Paulo já transportavam um milhão de passageiros por ano [21].

O primeiro bonde elétrico paulistano entrou em operação em 1900, mas a tração animal só foi totalmente abolida em 1908 [21]. Paralela-



Figura VII.1: Bonde com Tração Animal, Fonte: SPTrans (2025) [38]

mente, os ônibus entraram em operação na cidade do Rio de Janeiro e se popularizaram rapidamente. Nas primeiras versões, os ônibus eram movidos a gás e, a partir dos anos 1930, com a chegada dos veículos mo-

vidos a diesel, ganharam mercado suficiente para substituir os bondes [20].

Após a Primeira Guerra Mundial, a fabricação de ônibus (Figura VII.2) aumentou exponencialmente, fazendo com que esses veículos passassem a fazer parte da vida das cidades e da população brasileira [20].



Figura VII.2: Fábrica de Jandira da GM. Fonte: SPTrans (2025) [38]

Já entre 1924 e 1925 houve um aumento da frota de ônibus na cidade de São Paulo, pois, devido a uma seca, o serviço de bondes foi paralisado e a prefeitura concedeu licenças de linhas de ônibus para mitigar os efeitos da falta desse transporte para a população [21].

Durante os anos 1910 e 1920, surgiram os primeiros modelos de ônibus elétricos movidos a bateria, que percorriam o centro do Rio de Janeiro, posteriormente desativados devido à sua baixa autonomia. Também nesse período surgiram os trólebus, ônibus elétricos que trafegam conectados à rede aérea, captando energia instantaneamente [21].

No decorrer dos anos 1930, os bondes ainda eram o principal modo de transporte no Brasil, que até então não possuía projetos de linhas de metrô, conferindo-lhes a função de “transporte de massa”, enquanto os ônibus atendiam localidades até então sem acesso à rede de transporte [21].

Entre 1939 e 1945, o mundo vivenciou a Segunda Guerra Mundial, que mobilizou esforços industriais e resultou na escassez de derivados de petróleo. Como consequência, houve aumento do número de passageiros transportados pelos bondes elétricos e a adoção de combustíveis alternativos. Um exemplo foi a utilização do gasogênio como combustível para os ônibus (Figura VII.3) [21].

O gasogênio foi uma solução emergencial para manter o transporte coletivo urbano em operação, sendo obtido por meio da queima de carvão ou lenha, que gerava um gás combustível utilizado para alimentar motores adaptados.



Figura VII.3: Ônibus movido a gasogênio. Fonte: Folha de Londrina (2022) [12]

Em 1949, em São Paulo, surgiu a primeira linha de trólebus do Brasil, ligando o bairro da Aclimação à Praça João Mendes, no centro da cidade (Figura VII.4). O objetivo era “modernizar” o serviço de bondes, pois, à época, os trólebus eram considerados uma “evolução tecnológica” do bonde, trazendo a flexibilidade que até então não existia no sistema sobre trilhos, sem levar em consideração uma visão de sistema integrado de transporte [34].



Figura VII.4: Trólebus BUT em Operação na Linha 16 - Aclimação.
Fonte: SPTrans (2025) [38]

O pós-guerra também marcou uma expansão rodoviarista em escala mundial. No Brasil, foi nesse período que se implantou a indústria automobilística nacional. Já no fim dos anos 1950, com o desenvolvimento das fábricas de ônibus em território nacional, acelerou-se a utilização desses veículos para o transporte de passageiros [21].

A expansão rodoviarista fez com que a prioridade fosse dada aos veículos automotores e que as soluções rodoviárias fossem implementadas em detrimento dos bondes. Assim, os bondes passaram a sofrer com

a falta de investimentos, o que levou à sua degradação. São Paulo foi a última capital brasileira a desativar seus bondes em nome do “desenvolvimento”, no ano de 1968 (Figura VII.5) [43].

Mais uma vez, uma nova crise do petróleo, agora ocorrida nos anos 1970, mostrou a vulnerabilidade brasileira em relação aos combustíveis, o que levou o Governo Federal a desenvolver o Sistema Nacional de Transportes Urbanos, chamado de Plano SISTRAN. Lançado em 1975, o SISTRAN tinha o objetivo de planejar o sistema de transporte de forma integrada, para reduzir a dependência de combustíveis fósseis importados, antecipando alguns dos debates atuais sobre combustíveis sustentáveis e alternativos [42, 43, 44].

Definiu-se que os trólebus, por serem movidos a energia elétrica (gerada por meio de hidrelétricas), seriam estratégicos e fariam o papel estrutural do sistema de transporte em corredores segregados, como o da Avenida Paes de Barros, na Zona Leste de São Paulo, que foi o protótipo do modelo proposto no SISTRAN (Figura VII.6).

Durante os anos 1980, modelos de ônibus movidos a gás natural (Figura VII.7) entraram em operação em algumas cidades brasileiras. Na cidade de São Paulo, inclusive, houve uma lei que obrigava a substituição total da frota por Gás Natural Veicular (GNV) até 2001. Porém, as dificuldades de abastecimento e de desempenho impediram sua utilização em larga escala.

Já no final dos anos 1990 e início dos anos 2000, discutiu-se novamente a adoção de ônibus menos poluentes. Em 2004, parte da rede de trólebus de São Paulo foi desativada pela prefeitura, que fez uma aposta em modelos de ônibus híbridos diesel-elétricos, inclusive com a conversão de alguns trólebus antigos. Os ônibus híbridos também foram posteriormente desativados devido ao maior custo de aquisição e à complexidade de sua manutenção.

No final da década de 2000, os projetos de substituição do diesel na frota de ônibus continuaram. Em 2007, a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU) e a São Paulo Transportes S/A (SPTrans) testaram ônibus movidos a etanol, que esbarraram no

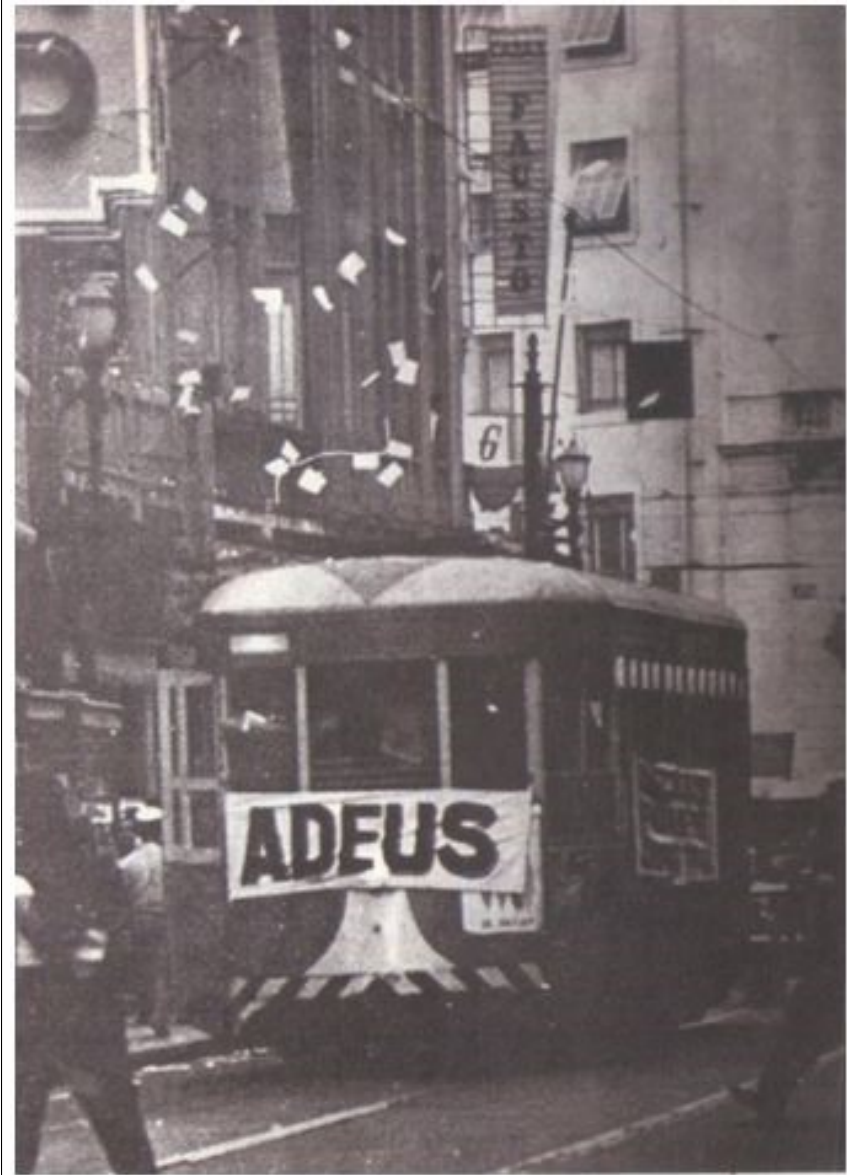


Figura VII.5: Último dia de Operação dos Bondes Elétricos em São Paulo (1968). Fonte: SPTrans (2025) [38]

alto consumo de combustível e no custo do aditivo necessário, o que reduziu a viabilidade de utilização desse biocombustível (Figura VII.8).



Figura VII.6: Avenida Paes de Barros – São Paulo. Fonte: São Paulo Antiga (2018) [32]

A partir da Lei 14.933/2009, foi proposta novamente a utilização de combustíveis menos poluentes para os ônibus do município de São Paulo. Testaram-se biocombustíveis como biodiesel, etanol e diesel de cana-de-açúcar. Além dos biocombustíveis, houve a renovação da frota de trólebus. Esse projeto, chamado “Ecofrota”, também não avançou, e o diesel permaneceu como a matriz energética predominante.

Também em 2009, a EMTU iniciou um projeto de ônibus movido a célula de combustível de hidrogênio, ou Fuel Cell Electric Bus (FCEB) (Figura VII.9), com a construção de um protótipo que chegou a operar comercialmente.

Em 2015, o projeto foi ampliado com a incorporação de três veículos adicionais, que passaram a operar no corredor ABD (São Mateus–Jabaquara). A iniciativa, contudo, foi posteriormente interrompida em razão das dificuldades de obtenção de hidrogênio. Em 2023,



Figura VII.7: Ônibus movido a Gás Natural (GNV). Fonte: SPTrans (2025) [38]

o projeto foi retomado, desta vez utilizando hidrogênio produzido a partir de etanol [6].

Entre 2012 e 2013, tiveram início os estudos para a adoção de Ônibus Elétricos Movidos a Bateria (BEBs). Com autonomia estimada em aproximadamente 250 km, compatível com a quilometragem média diária de operação dos ônibus na cidade de São Paulo, esses veículos passaram a ser considerados uma alternativa promissora para a redução das emissões no transporte público [31].

A operação comercial desse modelo ocorreu somente em 2019, quando 15 novos veículos começaram a operar na Zona Sul de São Paulo. Posteriormente, o número de veículos aumentou para 19, mas até então não houve maior interesse das operadoras em adquirir e operar esse tipo de veículo [31].

Em 2022, foi emitida a Carta Circular nº 035/22, por meio da qual a SPTrans proibiu a incorporação de novos veículos movidos a diesel ao sistema municipal de ônibus de São Paulo. A medida foi concebida



Figura VII.8: Ônibus movido a etanol. Fonte: Menezes (2011)[17]



Figura VII.9: Ônibus movido a hidrogênio. Fonte: Bastos (2023) [5]

como instrumento para acelerar a substituição da frota por ônibus elétricos a bateria (BEBs). Contudo, o avanço do processo de eletrificação passou a enfrentar um obstáculo relevante: a insuficiência da infraestrutura elétrica disponível, fator que contribuiu para retardar a expansão da frota de BEBs na cidade [7].

Diante desse contexto, em 2024 foi apresentado o Projeto de Lei nº 825/24, que autorizou novamente a realização de testes com ônibus movidos a combustíveis alternativos, entre eles o biometano. O biometano é um biocombustível produzido a partir da purificação do biogás gerado pela decomposição de resíduos orgânicos. Compatível com motores originalmente projetados para GNV, o seu uso pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa, além de promover a valorização energética de resíduos.

Além do biometano, há também o HVO (Hydrotreated Vegetable Oil ou Óleo Vegetal Hidrotratado), um biocombustível de segunda geração que está em desenvolvimento e promete reduzir as emissões de CO₂. Essas e outras tecnologias serão discutidas no Tópico 3 — Tecnologias Disponíveis para Ônibus Verdes.

VII.3 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA ÔNIBUS VERDES

VII.3.1 ÔNIBUS DIESEL EURO VI COM HVO

O Óleo Vegetal Hidrotratado (Hydrotreated Vegetable Oil ou HVO) é um biocombustível de segunda geração que possui composição semelhante à do diesel de petróleo, porém é oriundo de matérias-primas renováveis, como óleos vegetais, gorduras animais, microrganismos ou resíduos, que passam por um processo chamado de hidrotratamento, no qual essas matérias-primas reagem com hidrogênio em condições controladas de temperatura e pressão.

Por ser um hidrocarboneto puro, o HVO não possui oxigênio em sua molécula, sendo mais estável e podendo reduzir significativamente as emissões de CO₂ na atmosfera. Além disso, pode reduzir entre 50% e 90% as emissões de gases de efeito estufa (GEE), 33% de material particulado fino (MP_{2,5}), 30% de hidrocarbonetos, 24% de monóxido de carbono (CO) e 9% de óxidos de nitrogênio (NO_x), quando comparado ao diesel de petróleo [10].

O HVO se diferencia do biodiesel tradicional, obtido por meio do método chamado de transesterificação, no qual se misturam óleos ou gorduras com um álcool na presença de um catalisador, gerando o biodiesel e o glicerol como subproduto, um composto de ésteres com características similares às do diesel [14].

Outras vantagens são observadas no HVO quando comparado ao biodiesel, pois sua utilização reduz os danos aos motores (como entupimento de filtros, bombas e bicos injetores) e apresenta maior número de cetano, o que facilita a combustão e elimina a necessidade de mistura com diesel fóssil [14].

Por outro lado, o HVO não é totalmente livre de impactos ambientais, pois necessita de insumos fósseis para ser produzido, pode aumentar o consumo dos veículos e apresenta custo mais elevado quando comparado ao diesel convencional [10].

VII.3.2 ÔNIBUS A BIOMETANO

O biometano é um biocombustível renovável composto majoritariamente por CO₂ (dióxido de carbono) e CH₄ (metano), sendo intercambiável com o gás natural veicular (GNV). O biometano é obtido por meio da purificação do biogás resultante da decomposição biológica de resíduos orgânicos, e seu uso pode reduzir em até 90% as emissões de gases de efeito estufa (GEE) quando comparado ao diesel [33].

O processo de produção (Figura VII.10) começa com a captura de metano que seria liberado na atmosfera como resultado da decomposição de resíduos orgânicos presentes na natureza, em aterros sanitários

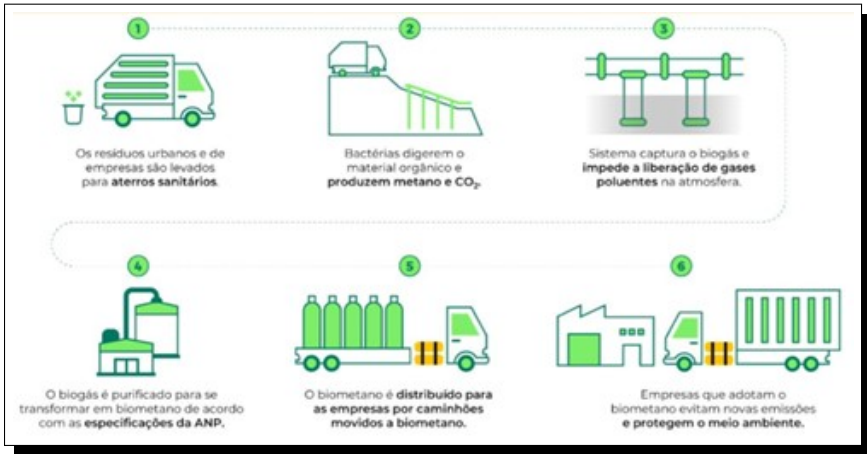


Figura VII.10: Processo Produtivo do Biometano. Fonte: Gás Verde (2024) [13]

ou em resíduos agropecuários. O CH_4 é um gás cerca de 28 vezes mais potente em termos de potencial de aquecimento global do que o CO_2 e, quando utilizado como biocombustível, deixa de ser liberado na atmosfera e passa a ser convertido em energia útil [13].

Esse processo transforma um passivo ambiental em um ativo energético, pois reintegra esse material ao ciclo produtivo, promovendo a economia circular. Além disso, sua intercambialidade com o gás natural faz com que ele seja compatível com os motores movidos a GNV já existentes, facilitando sua utilização [11].

VII.3.3 ÔNIBUS HÍBRIDOS

Ônibus híbridos combinam dois ou mais tipos de motores para a sua propulsão, sendo considerados uma tecnologia de transição entre o modelo de ônibus a combustão e a eletromobilidade total.

A utilização de motores elétricos torna o híbrido até 40% mais eficiente do que um ônibus movido somente por um motor de combustão interna [45].

O modelo mais comum é o diesel-elétrico, que alia um motor a diesel a um motor elétrico. Também já existem testes com modelos que combinam motores movidos a etanol com esse motor elétrico (Figura VII.11). Dessa maneira, os ônibus híbridos reúnem características dos modelos a combustão e dos modelos elétricos.



Figura VII.11: Ônibus Elétrico Híbrido. Fonte: Marcopolo [16]

Existem três modos para combinar o motor a combustão e o motor elétrico em um veículo híbrido: o Híbrido Paralelo, o Híbrido Série e o Híbrido Série-Paralelo, que é a combinação dos dois modelos (Figura VII.12).

No modelo híbrido paralelo, ambos os motores são utilizados para impulsionar o veículo, juntos ou separadamente, com o motor elétrico auxiliando o motor a combustão em momentos de maior demanda, como acelerações e subidas.

No modelo híbrido em série, o motor a combustão não impulsiona as rodas diretamente; ele funciona como um gerador, carregando as bate-

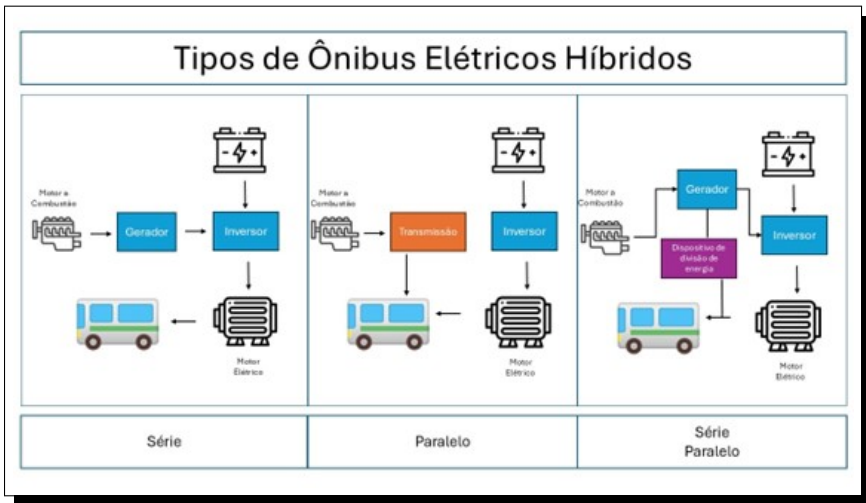


Figura VII.12: Tipos de ônibus Elétricos Híbridos. Fonte: Autores (2026)

rias que alimentam um motor elétrico responsável pela movimentação do ônibus.

O terceiro modelo, chamado de híbrido série-paralelo, combina características dos dois modelos anteriores, o que flexibiliza o gerenciamento de energia.

Os ônibus híbridos reduzem o consumo de combustível e as emissões quando comparados aos ônibus a combustão, principalmente no transporte público urbano. Esses veículos não dependem de infraestrutura de recarga; por outro lado, não são totalmente livres de emissões e, devido à presença de dois motores, sua manutenção é mais complexa e mais cara, exigindo mão de obra especializada [49].

VII.3.4 ÔNIBUS ELÉTRICO A BATERIA (BEB)

Ônibus Elétricos Movidos a Bateria ou Battery Electric Bus (BEB) (Figura VII.13) é um veículo totalmente elétrico que armazena toda a energia necessária para sua locomoção em grandes baterias recarregáveis a bordo.



Figura VII.13: Ônibus elétrico movido a bateria (BEB). Fonte: Pinto (2025) [27]

O carregamento das baterias é feito por meio de uma conexão física, que pode ocorrer em estações de recarga fixas ou em pontos estratégicos, também chamados de recargas de oportunidade. Alguns ônibus também podem possuir um pantógrafo para se conectar aos recarregadores.

Veículos movidos a bateria, principalmente automóveis, eram relativamente comuns até a segunda década do século XX, mas a baixa autonomia e o peso das baterias fizeram com que fossem substituídos por veículos híbridos ou por modelos a combustão [21].

Atualmente, a China é líder na tecnologia de veículos 100% elétricos movidos a bateria, principalmente para atender seu mercado interno, sensível a crises do petróleo, e também para o mercado externo, cada vez mais atraído pela necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Quando se fala em ônibus elétricos no transporte público coletivo, a cidade de Shenzhen, na China, é uma referência, pois eletrificou totalmente sua frota de aproximadamente 17.000 ônibus em 2017 [39].

A autonomia desses veículos varia entre 250 e 280 km, e são necessários mais de 8.000 carregadores distribuídos em 510 pontos de recarga para atender toda essa frota. Estima-se que cerca de 194.000 toneladas de CO₂ deixem de ser emitidas na atmosfera em razão da utilização de ônibus elétricos [46].

As principais limitações estão na autonomia das baterias, no tempo necessário para recarregá-las e na necessidade de uma rede elétrica estável e com capacidade suficiente para sua operação [2].

VII.3.5 TRÓLEBUS

Os Trólebus (Figura VII.14) são ônibus elétricos que trafegam obtendo energia em tempo real através da rede aérea externa de cabos elétricos (também chamados de fios de contato). Os veículos captam energia através das alavancas, uma espécie de pantógrafo, que conecta o ônibus à rede. Essa energia alimenta um motor elétrico que impulsiona as rodas.



Figura VII.14: Trólebus. Fonte: Zanon (2013) [47]

As primeiras linhas de tróibus também surgiram no início do século XX. Entre os anos 1930 e 1950, os tróibus tiveram sua melhor fase; já a partir da segunda metade do século XX, seu uso entrou em declínio.

Atualmente, sistemas de tróibus estão presentes principalmente em países do Leste Europeu e em ex-integrantes da antiga União Soviética, como Lituânia, Estônia e Letônia. Também há tróibus em operação na Polônia e na República Tcheca, países que possuem plantas fabris responsáveis pela produção de tróibus para o mercado europeu. Na América Latina, Cidade do México e São Paulo concentram os maiores quantitativos de tróibus em operação.

Esses veículos não geram emissões locais, operam de forma silenciosa e apresentam vida útil superior à dos ônibus movidos a combustão. Além disso, os tróibus são energeticamente eficientes e caracterizam-se por elevada confiabilidade operacional [37].

O lado negativo é o alto custo de implantação da infraestrutura necessária, razão pela qual sua indicação é mais adequada para corredores com alta demanda, permitindo diluir os custos de implantação [19].

Outros aspectos que desfavorecem o uso de tróibus são o impacto visual da rede aérea nas cidades e a menor flexibilidade operacional. Esses obstáculos podem ser mitigados com a utilização de baterias internas, que permitam manobras e até desvios sem a necessidade da rede.

Essa tecnologia é chamada *In Motion Charging* (IMC) e pode ampliar as possibilidades de operação dos tróibus, tornando-os mais flexíveis. Dessa forma, surge como uma alternativa aos ônibus movidos exclusivamente a bateria, principalmente por possibilitar o carregamento dinâmico e reduzir a necessidade de recargas estáticas.

VII.3.6 ÔNIBUS MOVIDO A HIDROGÊNIO (FCEB)

Os ônibus elétricos movidos a célula de combustível de hidrogênio ou Full Cell Electric Buses (FCEB), geram sua eletricidade a bordo, através de células de combustível, sem a necessidade de recargas externas.

A célula de combustível combina hidrogênio, armazenado nos ônibus, com o oxigênio do ar em uma reação química que gera eletricidade e apenas água como resíduo. Essa eletricidade produzida pela célula de combustível alimenta o motor elétrico que impulsiona o veículo (Figura VII.15).

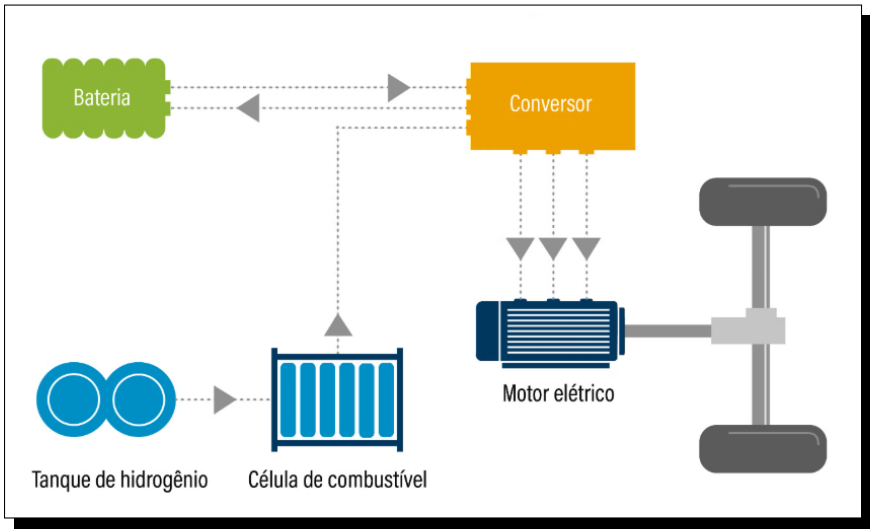


Figura VII.15: Esquema básico de propulsão de um ônibus a hidrogênio.
Fonte: Souza et al. (2021) [35]

Normalmente, além do motor, também existe um pacote de baterias funcionando como um “reservatório”, que armazena a energia excedente da célula de combustível e fornece energia adicional em momentos de alta demanda, como em subidas, por exemplo.

Ônibus a hidrogênio não possuem emissões locais, operam de forma silenciosa, têm tempo de reabastecimento rápido quando comparados aos ônibus movidos a bateria, e sua autonomia é maior do que a dos trólebus e dos BEBs. Por outro lado, suas desvantagens incluem o custo de aquisição — maior que o de um BEB ou de um trólebus — e a falta de disponibilidade de produção em série no mercado nacional.

Outro fator que impacta sua eficiência é a forma como o hidrogênio utilizado no abastecimento é obtido. Para que o FCEB seja energeti-

camente eficiente, o hidrogênio deve ser produzido a partir de fontes renováveis.

VII.3.7 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DAS TECNOLOGIAS

A comparação entre diferentes veículos e combustíveis alternativos não se limita a uma decisão pontual, mas configura uma escolha estratégica que requer do tomador de decisão a realização das seguintes análises:

1. Quais são as características operacionais do contexto em que o veículo será utilizado?
2. É viável a aquisição de um veículo de maior custo inicial? Em caso afirmativo, qual é a perspectiva real de sua manutenção em operação ao longo do tempo?
3. Há infraestrutura disponível capaz de dar suporte adequado a essa operação?
4. Existe possibilidade de subsídio às operações ou o sistema dependerá exclusivamente da receita tarifária?
5. No que se refere ao crédito, existem linhas de financiamento externas disponíveis?

A definição da tecnologia mais adequada não deve se basear exclusivamente no desempenho do veículo, devendo também considerar toda a cadeia de suprimentos necessária para assegurar sua operação.

Essa análise deve abranger a viabilidade financeira da aquisição dos veículos (CAPEX), os custos associados à sua operação (OPEX) e as fontes de receita capazes de sustentar o sistema ao longo do tempo. Em outras palavras, a adoção de uma nova tecnologia não se justifica quando sua substituição não é economicamente sustentável.

O primeiro passo em uma avaliação comparativa consiste na estimativa das despesas de aquisição dos novos ônibus, conhecidas como *Capital Expenditure* (CAPEX). Esse indicador corresponde ao investimento total necessário para viabilizar a entrada da frota em operação, abrangendo tanto o custo de aquisição dos veículos quanto os gastos relacionados à implantação da infraestrutura associada, como carregadores elétricos, sistemas de abastecimento de gás ou instalações para hidrogênio.

Essas despesas de aquisição são definidas pela seguinte fórmula:

$$\text{CAPEX}_{(\text{Total})} = \text{CAPEX}_{(\text{Frota})} + \text{CAPEX}_{(\text{Infraestrutura})} \quad (\text{VII.1})$$

Quando a infraestrutura possui vida útil maior que a dos veículos, ou vice-versa, seu custo deve ser anualizado para uma comparação mais justa, devendo ser feito pela seguinte fórmula:

$$\text{CAPEX}_{(\text{Anual})} = \frac{\text{Custo Total}}{\text{Vida útil}} \quad (\text{VII.2})$$

No passo seguinte serão calculadas as despesas operacionais ou Operational Expenditure - OPEX. O OPEX corresponde aos custos recorrentes necessários para que o sistema funcione diariamente e inclui despesas com energia ou combustível, manutenção, peças, mão de obra e outros serviços operacionais. Que podem ser calculados da seguinte maneira:

$$\text{OPEX}_{(\text{Anual})} = \text{CE} + \text{CM} + \text{CP} + \text{OD} \quad (\text{VII.3})$$

Onde: CE: Custo anual de energia ou combustível CM: Custo anual de manutenção CP: Custo anual de mão de obra (incluindo custos trabalhistas e tributários) OD: Outras despesas anuais

O primeiro item da equação é o custo energético, que nada mais é do que o custo do combustível utilizado por quilômetro rodado, conforme

o tipo de propulsão. O CE pode ser calculado a partir da fórmula a seguir:

$$CE = \text{Consumo/km} \times \text{Preço da Energia} \times \text{km}_{(\text{Anual})} \quad (\text{VII.4})$$

O segundo item é o custo de manutenção, que inclui as despesas de manutenção da frota, dividido pela quilometragem anual, como pode ser visto na seguinte fórmula:

$$CM = \frac{\text{Custo de Manutenção}}{\text{km}_{(\text{anual})}} \quad (\text{VII.5})$$

Com base nos valores de CAPEX e OPEX, pode-se calcular o Custo Total de Propriedade, ou Total Cost of Ownership (TCO). Esse indicador consolida as despesas de aquisição e os custos operacionais ao longo da vida útil dos veículos, permitindo estimar o custo total do ônibus durante todo o seu ciclo de operação, geralmente entre 10 e 15 anos.

Essa métrica é fundamental para a tomada de decisão, pois integra o investimento inicial e os custos operacionais acumulados ao longo da vida útil do veículo. O TCO pode ser estimado por meio da seguinte expressão:

$$TCO = CAPEX_{(\text{Total})} + [OPEX_{(\text{Anual})} \times \text{Vida útil}] \quad (\text{VII.6})$$

A partir daqui as análises são financeiras, passando a incorporar o Fator de Recuperação de Capital (FRC). O FRC é utilizado para avaliar a viabilidade financeira da substituição, pois determina quando o dinheiro investido pode ser recuperado e também determina o valor desse dinheiro investido no futuro. O cálculo do FRC pode ser realizado pela seguinte fórmula

$$FRC = \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (\text{VII.7})$$

Onde: i = taxa de desconto, ou seja, a taxa de juros do dinheiro no tempo n – vida útil $(1 + i)^n$ = fator de ajuste do valor presente dos custos futuros, ou seja, o valor do dinheiro guardado a uma determinada taxa de juros, transformando o CAPEX em parcelas anuais equivalentes

A partir desses parâmetros, é possível estimar o CAPEX anualizado, permitindo determinar o custo do veículo em cada ano de operação. Esse valor pode ser obtido por meio da seguinte expressão:

$$\text{CAPEX}_{(\text{Anual})} = \text{CAPEX} \times \text{CRF} \quad (\text{VII.8})$$

Com base nesse resultado, pode-se estimar o custo total de propriedade anual (TCO), conforme a expressão apresentada a seguir:

$$\text{TCO}_{(\text{Anual})} = \text{CAPEX}_{(\text{Anual})} + \text{OPEX}_{(\text{Anual})} \quad (\text{VII.9})$$

Por fim, a partir do TCO anualizado, podem ser estimados outros indicadores operacionais relevantes para subsidiar a tomada de decisão, tais como:

O TCO por quilômetro rodado anual é:

$$\text{TCO}_{(\text{km})} = \frac{\text{TCO}_{(\text{Anual})}}{\text{km}_{(\text{Anual})}} \quad (\text{VII.10})$$

O TCO por passageiro transportado:

$$\text{TCO}_{(\text{Passageiro})} = \frac{\text{TCO}_{(\text{km})}}{\text{Ocupação Média}} \quad (\text{VII.11})$$

O próximo passo, embora não seja obrigatório, consiste na chamada análise de emissões reais, um procedimento complexo e relevante para avaliar a eficiência energética de um veículo.

É equivocado considerar que as emissões de um veículo correspondem apenas àquelas liberadas pelo escapamento. Para avaliar de forma mais abrangente sua eficiência energética, utiliza-se a análise conhecida como Poço a Roda, ou Well-to-Wheel (WTW), que considera as emis-

sões ao longo de todo o ciclo energético, desde a produção da energia até a operação do veículo.

Os dados envolvidos nessa avaliação são dinâmicos e complexos, pois variam de acordo com fatores como localização, matriz energética e período do ano. Assim, torna-se evidente que não basta investir em um veículo de baixa emissão se ele for abastecido com fontes de energia altamente poluidoras. A Figura VII.16 apresenta, de forma esquemática, o funcionamento dessa metodologia de análise.



Figura VII.16: Poço a Roda – Well to Wheel -WTW. Fonte: Adaptado de Rodrigues & Abreu (2023) [30]

A análise conhecida como Poço à Roda, ou Well-to-Wheel (WTW), divide as emissões em duas etapas.

A primeira etapa é denominada Poço ao Tanque (Well-to-Tank – WTT), que engloba as emissões geradas durante a produção, o processamento e o transporte do combustível ou da energia até o momento do abastecimento. A segunda etapa corresponde ao Tanque à Roda (Tank-to-Wheel – TTW), que inclui as emissões diretamente associadas à operação do veículo.

Como exemplo, considere duas frotas de ônibus elétricos a bateria. Se uma delas for abastecida com eletricidade proveniente de fontes renováveis, como energia hídrica ou solar, e a outra utilizar energia gerada por termelétricas ou geradores a diesel, ambas utilizarão o mesmo tipo de veículo, porém apresentarão níveis distintos de emissões totais. Isso ocorre porque a quantidade de CO₂ emitida na produção de 1 kWh de eletricidade pode variar significativamente conforme a matriz energética utilizada.

Outro aspecto relevante diz respeito à logística de transmissão e distribuição da energia utilizada na operação da frota. No caso de ônibus elétricos, por exemplo, é necessário avaliar se a rede elétrica existente possui capacidade para suportar a operação planejada e, caso contrário, definir de quem é a responsabilidade pela ampliação dessa infraestrutura.

Situação semelhante ocorre na hipótese de implantação de ônibus movidos a biometano. Nesse caso, é fundamental verificar se existem fontes disponíveis de biometano em quantidade suficiente, bem como infraestrutura adequada para seu transporte e abastecimento, incluindo redes de distribuição e sistemas de armazenamento.

Sem o adequado alinhamento dessas condições logísticas e energéticas, a substituição tecnológica tende a não se consolidar como uma solução efetiva, tornando-se apenas um projeto pontual ou uma iniciativa de caráter demonstrativo.

Após essa etapa, deve-se analisar a confiabilidade operacional. Isso inclui, por exemplo, a autonomia real dos veículos, que dependerá das

características operacionais do serviço. Nesse momento, avaliam-se fatores como pontos de recarga, tempo e capacidade de carregamento, disponibilidade de frota reserva para compensar a indisponibilidade dos veículos e os impactos nas tabelas operacionais e nas garagens.

Outro elemento que contribui para a confiabilidade da transição tecnológica é o grau de maturidade da tecnologia adotada. Nesse contexto, é necessário avaliar se a cadeia de suprimentos possui capacidade para manter esses veículos em operação, o que envolve a disponibilidade de peças para manutenção, a existência de mão de obra qualificada e a estrutura necessária para o suporte técnico. Esses fatores são fundamentais para mitigar os riscos associados ao processo de transição.

A partir desse ponto, a transição energética passa a ser analisada sob uma perspectiva estratégica, que também considera seus impactos sociais. Nesse sentido, o tomador de decisão deve refletir sobre questões como o grau de aceitação da população em relação à adoção de tecnologias mais sustentáveis e o nível de apoio dos operadores de transporte ao processo de mudança.

É importante reconhecer, ainda, que toda mudança tecnológica em sistemas de transporte possui também uma dimensão simbólica e política, devendo ser conduzida de forma planejada e institucionalmente articulada.

Por essa razão, a transição energética deve estar integrada a uma estratégia de médio e longo prazo e ser conduzida como uma política de Estado. Isso requer a atuação de uma equipe técnica qualificada para gerenciar o processo de transição, além da garantia de fluxo orçamentário adequado para sustentar os mecanismos institucionais necessários à sua governança.

Para ilustrar os efeitos de processos de transição energética, serão apresentados, a seguir, estudos de caso relacionados à adoção de energias limpas em Bogotá, Londres, Shenzhen e São Paulo, cidades que assumiram esse desafio.

VII.4 ESTUDOS DE CASO DE TRANSIÇÃO PARA ENERGIAS LIMPAS

A primeira cidade apresentada será a capital colombiana Bogotá, que reduziu a poluição ambiental em cerca de 24%, investindo em mobilidade sustentável, aplicando corredores exclusivos de baixa emissão e ampliando áreas verdes [24].

A frota de ônibus incluiu 1500 veículos movidos a biogás e mais 1500 veículos elétricos desde 2022. Como nem tudo é fácil, a cidade também passou por alguns problemas de disponibilidade de rede elétrica solucionados com participação da prefeitura, das operadoras e da concessionária de energia elétrica, inclusive com plano de suporte caso haja algum problema de suprimento [4].

Para abastecer essa frota, a cidade possui 10 garagens, incluindo a maior garagem de ônibus elétricos da América Latina e da Europa, a Green Móvil, com capacidade de 406 veículos abastecidos com energia totalmente obtida de forma renovável. A energia utilizada para reabastecimento dos veículos elétricos seria capaz de abastecer um município com 200.000 pessoas, com isso, deixaram de ser emitidas 94,3 mil toneladas de CO₂ por ano [4].

O segundo exemplo é o de Londres, capital da Inglaterra, que possui aproximadamente 2.500 ônibus de zero emissão, constituindo a maior frota desse tipo na Europa Ocidental. Esse contingente representa cerca de 28% da frota total da cidade e inclui veículos elétricos, alguns equipados com sistemas de recarga de oportunidade, além de ônibus movidos a hidrogênio [40].

A gestão do sistema de transporte é realizada pela *Transport for London* (TfL), autoridade responsável pela operação e regulação do transporte público na cidade. Os veículos operam em conformidade com o padrão de emissões Euro VI, requisito que permite sua circulação nas Zonas de Emissões Ultrabaixas (*Ultra Low Emission Zones* – ULEZ).

Nessas áreas, os veículos devem reduzir as emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) em até 90% [40].

Além da substituição, a TfL quer tornar as viagens mais rápidas e confortáveis através de sistemas de priorização para atrair novos usuários. Há também a pretensão de neutralizar o carbono emitido pela sua frota até 2030 [40].

O terceiro vem da China. Shenzhen é uma cidade conhecida por ser um importante *hub* de tecnologia. A cidade foi a primeira a optar por uma rede de ônibus totalmente elétricos movidos a bateria. Com essa medida que também incluiu os táxis, o ar ficou mais respirável e a cidade mais silenciosa [1].

Essa transformação exigiu muitos anos de planejamento e construção da infraestrutura, porém existem limitações que podem dificultar uma replicação em outros locais tais como restrições nos gastos públicos e obstáculos para a construção de infraestrutura adequada em cidades antigas e superlotadas [1].

De acordo com o Banco Mundial, as emissões do Poço a Roda de um ônibus na cidade são 52% menores quando comparadas às de um ônibus a diesel e poupam 194 mil toneladas de CO₂ por ano, mesmo com energia produzida com matriz elétrica poluente como a de carvão [1].

Por fim, no Brasil, São Paulo é a maior operadora de ônibus elétricos com uma frota de 1009 veículos, que incluem 189 trólebus e 820 BEBs, que de acordo com a prefeitura evitam o consumo de 35 milhões de litros de diesel e reduzem a emissão de 5,2 mil toneladas de CO₂ na atmosfera anualmente [28].

A obtenção desses resultados esteve associada à adoção de decisões políticas estratégicas, como a proibição da incorporação de ônibus movidos a diesel e a concessão de subsídios para a aquisição de veículos de maior custo. Tais medidas foram mantidas mesmo diante de desafios técnicos relevantes, entre eles a necessidade de ampliação da infraestrutura elétrica para sustentar essa transição. No próximo tópico, serão discu-

tidos os principais desafios para a implementação de ônibus verdes no Brasil.

VII.5 DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL

A transição para ônibus de baixa ou zero emissão no Brasil enfrenta desafios estruturais significativos, que vão além da aquisição dos veículos em si. Esses obstáculos estão distribuídos entre as dimensões institucionais, financeiras, técnicas e regulatórias, variando conforme o porte do município e o estágio de desenvolvimento do sistema de transporte público local.

Há fragilidade institucional e ausência de políticas públicas na maioria dos estados brasileiros. Embora existam iniciativas pontuais em alguns municípios, ainda falta uma política nacional robusta e permanente que guie a transição energética nos transportes urbanos.

Essa ausência gera insegurança jurídica e dificulta a coordenação entre os entes federativos, fazendo com que muitos projetos dependam da capacidade política momentânea de governos locais e da obtenção de recursos por meio de editais esporádicos.

O financiamento e a capacidade fiscal dos municípios no Brasil, como se sabe, são limitados. Assim, a substituição de frotas a diesel por veículos mais limpos demanda altos investimentos iniciais de que municípios de pequeno e médio porte não dispõem. Esses municípios concentram grande parte da população brasileira e, muitas vezes, também não possuem capacidade técnica para planejar ou operar essa transição.

A falta de subsídios operacionais, linhas de crédito acessíveis e mecanismos de financiamento estáveis é outro fator que impede a escalabilidade das iniciativas existentes.

Há também barreiras relacionadas à implementação da infraestrutura de apoio e à integração energética requerida para manter veículos elétricos em operação, pois eles dependem de capacidade adequada de

recarga conectada à rede elétrica local. Muitas vezes, isso depende da instalação de subestações e da coordenação com concessionárias de energia, o que torna o desafio ainda maior em regiões que possuem infraestrutura energética precária.

A adoção de novas tecnologias exige a formação e atualização de profissionais das áreas de operação, manutenção e planejamento. No entanto, muitas operadoras ainda não disponibilizam treinamentos sistemáticos ou suporte técnico especializado para seus operadores e veículos.

Outro aspecto relevante é a ausência de um marco regulatório claro que estabeleça metas de descarbonização, cronogramas e responsabilidades entre os diferentes níveis de governo. Esse marco também deveria estar integrado aos Planos de Mobilidade Urbana (PMU) e articulado com políticas de habitação, uso do solo e desenvolvimento urbano.

O Marco Legal do Transporte Público, ainda em fase de tramitação no Congresso, pretende melhorar as formas de planejamento, contratação e operação dos sistemas de transporte público, criando uma rede integrada e fortalecendo o papel do poder público, inclusive no apoio financeiro às pequenas e médias cidades. Quando aprovado, o Marco Legal poderá contribuir para o desenvolvimento das cidades e para a redução das desigualdades.

Como visto, realizar mudanças gera desafios de curto e de longo prazo. De forma geral, os desafios de curto prazo envolvem o fortalecimento institucional, o acesso ao financiamento inicial e a capacitação técnica.

Já no longo prazo, será necessário garantir previsibilidade regulatória, reestruturar o modelo de financiamento do transporte coletivo e consolidar um ecossistema tecnológico e industrial capaz de sustentar a mobilidade sustentável em escala nacional. Superar esses entraves requer ação coordenada e compromisso político de longo prazo, além de investimentos contínuos em inovação, planejamento e justiça social no acesso à mobilidade. No Tópico 6 discute-se com maior profundidade a falta de políticas públicas necessárias para a implantação de ônibus ambientalmente sustentáveis no Brasil.

VII.6 FALTA DE POLÍTICAS PÚBLICAS E INCENTIVOS: DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE ÔNIBUS VERDES NO BRASIL

Políticas públicas são conjuntos de programas, ações e decisões adotadas pelo Estado para enfrentar problemas coletivos e garantir direitos aos cidadãos.

Elas podem ser classificadas em:

1. Políticas de governo, que variam conforme o grupo político que ocupa o poder e refletem suas prioridades;
2. Políticas de Estado, que têm continuidade independentemente do governo atual e geralmente estão previstas na Constituição ou em leis permanentes.

São as políticas públicas que determinam como os recursos e investimentos são alocados para melhorar a qualidade de vida da população, ou seja, afetam diretamente a vida das pessoas. A Política Nacional de Mobilidade Urbana é uma política pública de Estado, amparada pela Lei 12.587/2012, que operacionaliza o inciso XX, o artigo 21 e o artigo 182 da Constituição Federal, no que se refere às diretrizes de desenvolvimento urbano.

Mais recentemente, foi promulgada a Lei 14.933/2024, que ficou conhecida como “Lei do Combustível do Futuro”, que criou diretrizes para utilização de combustíveis mais sustentáveis a médio e longo prazo.

Amparados pelas leis, os biocombustíveis passaram a ser políticas públicas de Estado para tornar o sistema de transporte menos poluidor. Além disso, está tramitando no Congresso Nacional o Projeto de Lei 1.743/2023 que pretende estimular a aquisição de ônibus elétricos, através de subsídios federais e financiamentos.

Atualmente, frotas verdes estão mais atreladas a políticas públicas de governo, pois ainda não há uma lei que impeça que projetos de ônibus verdes já iniciados sejam interrompidos, devido à capacidade financeira dos municípios, que podem não ter condições de arcar com esse investimento.

Em relação a subsídios de sistemas de transportes, apenas 110 sistemas possuem suplementação financeira, atendendo somente 242 dos 2703 municípios que possuem ônibus em operação [22]. Dessa forma, conclui-se que a maioria dos municípios brasileiros dispõe apenas da receita tarifária da operação como forma de financiamento.

Outro fator relevante, frequentemente pouco discutido, é o mercado secundário de ônibus usados, diretamente ligado às operadoras de transporte. Em geral, os veículos são adquiridos novos para operação nas grandes cidades e, ao final do período regulatório permitido, são vendidos ou realocados para empresas do mesmo grupo que atuam em municípios menores. Esse mercado constitui uma importante fonte complementar de receita para os operadores. A transição para tecnologias de baixa emissão, contudo, introduz incertezas quanto à manutenção dessa dinâmica e pode influenciar, no médio prazo, as decisões estratégicas sobre a tecnologia das futuras frotas.

Atualmente, o debate sobre a infraestrutura necessária para a operação de ônibus verdes concentra-se nas grandes cidades, que recebem os veículos novos e possuem maior capacidade institucional para definir padrões tecnológicos e implantar sistemas de suporte adequados. No futuro, entretanto, essa discussão tende a se deslocar para cidades menores, que frequentemente recebem ônibus seminovos provenientes do mercado de repasse. Nessas localidades, a adoção dessas tecnologias pode enfrentar obstáculos adicionais, como restrições orçamentárias para contratos de transporte subsidiados e limitações de infraestrutura que já foram superadas nos grandes centros urbanos.

Um exemplo dessa dificuldade é a cidade de São Paulo, que, mesmo com uma política de governo disposta a implementar mudanças na matriz energética, esbarra em problemas estruturais como a falta de capa-

cidade de infraestrutura elétrica, que vem dificultando a ampliação da frota de BEBs na cidade.

A outra solução proposta pelo poder público é a utilização do biometano, que já é uma nova tentativa de implementação da utilização de motores movidos a gás que enfrentou problemas de infraestrutura e de operação no passado.

Se mesmo na maior cidade do país já são observadas dificuldades na implementação de novas tecnologias de transporte, é plausível supor que, nas cidades menores, esses desafios possam manifestar-se de forma distinta. Por um lado, o intervalo temporal entre a introdução da tecnologia nos grandes centros e sua chegada ao mercado secundário pode permitir que os veículos sejam incorporados quando já estiverem tecnologicamente mais maduros, reduzindo parte das incertezas iniciais da inovação. Por outro lado, limitações institucionais, financeiras e de infraestrutura nessas localidades podem gerar novos obstáculos operacionais. Em cenários mais críticos, essas condições podem resultar na conversão desses veículos para tecnologias convencionais ou até em seu descarte prematuro, o que elevaria os custos operacionais e ampliaria a necessidade de suplementação financeira para a manutenção do serviço de transporte.

Por outro lado, discutir esse assunto abre a possibilidade de criar uma oportunidade de desenvolvimento sustentável para a mobilidade urbana, tema do próximo tópico.

VII.7 OPORTUNIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A transição para ônibus verdes no Brasil apresenta oportunidades de promoção do desenvolvimento sustentável em múltiplas dimensões. Ao adotar veículos de baixa ou zero emissão, os sistemas de transporte público podem reduzir suas emissões e fomentar inovações tecnológicas,

além de dinamizar cadeias produtivas nacionais gerando impactos positivos sobre a saúde pública e a justiça social.

Do ponto de vista ambiental, a substituição progressiva do diesel por fontes renováveis, como a eletricidade e o biometano, contribui significativamente para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e poluentes locais, que afetam diretamente a qualidade do ar nas cidades.

Além da melhoria da qualidade do ar urbano, no plano econômico, a expansão da frota de ônibus sustentáveis pode estimular a geração de empregos verdes em áreas como engenharia elétrica, manutenção de baterias, infraestrutura de recarga e tecnologias digitais para gestão de frotas, sem contar o potencial para fortalecimento da indústria nacional, tanto na produção de veículos e componentes, quanto no desenvolvimento de biocombustíveis avançados que pode posicionar o Brasil como um exportador de soluções em mobilidade sustentável.

Socialmente, a modernização do transporte público pode reduzir desigualdades, e contribuir para um serviço mais confortável, confiável e menos poluente, melhorando as condições de deslocamento para quem depende do transporte coletivo.

Em termos institucionais, a existência de legislações recentes, como a Lei 14.933/2024 (Lei do Combustível do Futuro), é um marco regulatório de longo prazo, que pode ser usado para integrar políticas públicas e estimular investimentos privados, criando um ambiente favorável à inovação na transição energética. Além disso, pode estimular a economia circular no caso do biometano reforçando a sinergia entre mobilidade, gestão de resíduos e políticas climáticas.

Essas oportunidades reforçam que a mobilidade sustentável vai além da tecnologia veicular e é uma estratégia de desenvolvimento urbano, com capacidade de transformar padrões de consumo, dinâmicas produtivas e as relações entre Estado e sociedade.

Então para aproveitar esse momento é necessário planejamento, coordenação intersetorial e investimentos estratégicos, para que os benefícios ambientais, sociais e econômicos se consolidem.

VII.8 CONCLUSÕES

A transição para uma frota de ônibus verdes no Brasil não é apenas uma meta ambiental, mas também uma estratégia para garantir cidades resilientes, inclusivas e sustentáveis. Ao longo deste capítulo, demonstrou-se que o processo de descarbonização do transporte público exige um esforço coordenado entre políticas públicas, inovação tecnológica, participação social e instrumentos de financiamento.

O panorama histórico revela que o Brasil já enfrentou desafios semelhantes, especialmente nas crises energéticas do século XX, e desenvolveu soluções criativas para superar esses problemas. Esse legado demonstra a capacidade brasileira de reagir a contextos de vulnerabilidade com alternativas sustentáveis.

Apesar dos avanços recentes nas tecnologias de baixa e zero emissão, ainda persistem barreiras estruturais e institucionais à sua ampla implementação. Políticas nacionais voltadas à descarbonização do transporte podem enfrentar limitações técnicas e financeiras nos municípios — especialmente nos de pequeno e médio porte — o que dificulta a consolidação de novas matrizes energéticas no transporte público.

Nesse sentido, é fundamental que os entes federativos atuem de forma integrada, promovendo incentivos, linhas de financiamento acessíveis, subsídios operacionais e marcos regulatórios estáveis. Outro ponto necessário é a articulação dessas medidas com as políticas de desenvolvimento urbano e inclusão social. Além dos benefícios ambientais, a renovação da frota de ônibus pode contribuir para a melhoria das condições de vida da população mais vulnerável, frequentemente exposta à má qualidade do ar e a sistemas de transporte precários.

Diante das oportunidades oferecidas por novas tecnologias e marcos legais, como a Lei 14.933/2024, o Brasil pode realizar uma transformação profunda na mobilidade urbana. Para isso, é necessário transformar conhecimento técnico e experiências acumuladas em políticas públicas eficazes, de modo que essa transição ocorra não apenas nos grandes centros, mas também nas cidades de menor porte.

Um transporte público limpo, eficiente e acessível exige decisões arrojadas e visão de longo prazo. Trata-se de um passo fundamental para redefinir a importância do transporte público no desenvolvimento urbano e na construção de um futuro sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AFP. (2023). **Conheça a ‘metrópole silenciosa’, de 18 milhões de habitantes, onde só há ônibus elétricos.** Disponível em: <https://tinyurl.com/msc7p7wy>.
- [2] Ager-Wick Ellingsen, L., Jayne Thorne, R., Wind, J., Figenbaum, E., Romare, M., & Nordelöf, A. (2022). Life cycle assessment of battery electric buses. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 112, 103498. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103498>.
- [3] Amicci, A. G. N., Fernandes, A., Malburg, C. H. R., Santos, D. V., Araldi, F., Souza, F. de O., Di Pierro, L. F., Nakazaki, M., Silva, N. A. A. da, Santana, O., Valente, V. B., Social (Brasil), B. N. de D. E. e, Bankengruppe, K., & Urbana, B. S. N. de T. e da M. (2018). **Guia TPC: Orientações para seleção de tecnologias e implementação de projetos de transporte público coletivo.** Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14921>.
- [4] Barros, A. (2024). **Bogotá dá o exemplo ao conciliar estrutura e eletrificação do transporte público.** AutoData. Disponível em: <https://tinyurl.com/43f7db3w>.

- [5] Bastos, C. (2023). **Cidade Universitária terá a primeira estação de hidrogênio renovável a partir do etanol do mundo.** Jornal da USP. Disponível em: <https://tinyurl.com/56rwh4bc>.
- [6] BAZANI, A. **EMTU e USP anunciam projeto piloto de R\$ 182 milhões com ônibus a hidrogênio a partir do etanol que já rodaram no ABC.** Diário do Transporte, 10 ago. 2023. Disponível em: <https://tinyurl.com/yxxz7uc3>. Acesso em: 8 jun. 2026.
- [7] BAZANI, A. **SPTrans proíbe inclusão de ônibus novos a diesel na cidade de São Paulo a partir de segunda (17). Veja o documento confirmado oficialmente.** Diário do Transporte, 16 out. 2022. Disponível em: <https://tinyurl.com/bdhubypn>. Acesso em: 8 jun. 2026.
- [8] Carvalho, C. (2016). **Mobilidade Urbana Sustentável: Conceitos, tendências e reflexões.** Disponível em: <https://portalantigo.ipea.gov.br>.
- [9] Carvalho, C. H. R. de. (2016). **Mobilidade urbana sustentável: Conceitos, tendências e reflexões.** IPEA. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6637>.
- [10] Centro de Conhecimento em Bioenergia. (2025). **HVO – O diesel verde renovável.** Disponível em: <https://ccbioenergia.ufv.br/hvo-o-diesel-verde-renovavel/>.
- [11] EPE. (2023). **Panorama do Biometano—Setor Sucroenergético.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/panorama-do-biometano-setor-sucroenergetico>.
- [12] Folha de Londrina. (2022). **Lembranças.** Mundiware Elite CS. Disponível em: <https://>

[www.folhadelondrina.com.br/opiniaio/
opiniaio-do-leitor---lembrancas-3219352e.html](http://www.folhadelondrina.com.br/opiniaio/opiniaio-do-leitor---lembrancas-3219352e.html).

- [13] Gás Verde. (2024). **Como o biometano contribui para o meio ambiente?**. Disponível em: <https://gasverde.com.br/como-o-biometano-contribui-para-o-meio-ambiente/>.
- [14] IBP. (2025). **Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás**. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/>.
- [15] IPSOS. (2025). **Pesquisa “Viver nas Cidades – Mobilidade Urbana”**. Ipsos. Disponível em: [https://nossasaopaulo.org.br/wp-content/uploads/2019/02/
Pesquisa-Viver-nas-Cidades-Mobilidade-Urbana_2025.pptx.pdf](https://nossasaopaulo.org.br/wp-content/uploads/2019/02/Pesquisa-Viver-nas-Cidades-Mobilidade-Urbana_2025.pptx.pdf).
- [16] Marcopolo. (2025). **Marcopolo apresenta inédito protótipo de ônibus urbano híbrido etanol na COP30**. Disponível em: <https://tinyurl.com/2ucvfx9c>.
- [17] Menezes, W. (2011). **Scania Brasil**. Scania Brasil. Disponível em: <https://www.scania.com/br/pt/home/>.
- [18] METRÔ. (2025). **Pesquisa Origem Destino 2023—Relatório Síntese**.
- [19] Nespoli, L. C., & et. al. (2023). **Custos Dos Serviços De Transporte Público Por Ônibus Elétrico: Metodologia De Cálculo E Parâmetros**. ANTP.
- [20] NTU. (2017). **NTU 30 anos**. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos.
- [21] NTU. (2019). **Centro de Documentação e Memória Eurico Divon Galhardi** (1st ed.). Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos - NTU.

- [22] NTU. (2025). **Anuário NTU: 2024-2025** (p. 72). Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos.
- [23] ONU. (2024). **Poluição do ar causou 8,1 milhões de mortes em 2021**. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/06/1833321>.
- [24] Pelegi, A. (2025). **Bogotá é premiada no Rio de Janeiro por ação climática que reduziu poluição do ar; ônibus elétricos são destaque da transformação urbana**. Diário do Transporte. Disponível em: <https://tinyurl.com/3rvubr8u>.
- [25] Pereira, R. H. M., Parga, J. P., Saraiva, M., Bazzo, J. P., Tomasiello, D., Silva, L. P., Nadalin, V., & Barbosa, R. (2021). **Forma urbana e mobilidade sustentável: Evidências de cidades brasileiras**. 65.
- [26] Pereira, R. H. M., Warwar, L., Parga, J., Bazzo, J., Braga, C. K. V., Herszenhut, D., & Saraiva, M. (2021). **Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil I: O uso do transporte coletivo e individual**. IPEA. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10713>.
- [27] Pinto, P. (2025, 6 de janeiro). **Tarifa dos ônibus em São Paulo sofreu aumento**. Agência Brasil. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/foto/2025-01/onibus-tarifa-1736181151-3>.
- [28] Prefeitura de São Paulo. (2025). **São Paulo atinge a marca de 1.000 ônibus elétricos e revoluciona a mobilidade urbana no Brasil**. Disponível em: <https://tinyurl.com/2dtecvh3>.
- [29] Ritchie, H. (2020). **Cars, planes, trains: Where do CO₂ emissions from transport come from?**. Our World in Data. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>.

- [30] Rodrigues, L., & Abreu, R. (2023). O papel da bioenergia na Mobilidade sustentável De baixo carbono. **Agroanalysis**, 43(6).
- [31] RODRIGUES, G. S.; REIS, J. G. M. dos; MACHADO, S. T. Panorama of Electromobility in Public Transport in the Metropolitan Area of São Paulo – Brazil. **Mobicities – Journal of Urban Mobility, Logistics and Sustainable Smart Cities**, v. I, n. 1, p. 4–17, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12402278>.
- [32] São Paulo Antiga. (2018). **São Paulo Antiga—Avenida Paes de Barros em 1985**. Disponível em: <https://www.facebook.com/saopauloantiga/photos/a.415416721847984/2098820436840929/>.
- [33] Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. **Renewable Energy**, 129, 457–472. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>.
- [34] Silva, A. C. (1999). 50 anos de trolebus em São Paulo. **Revista Dos Transportes Públicos**, 13.
- [35] Souza, H., Petzhold, G., & Albuquerque, C. (2021). **Ônibus a hidrogênio pode complementar veículos a bateria em transição para transporte limpo**. Disponível em: <https://tinyurl.com/ycxye77y>.
- [36] Souza, I. M. D., Reis, J. G. M. D., Machado, S. T., Formigoni, A., Colalto Junior, E. C., & Queiroz, L. S. D. (2024). Impactos de fatores socioeconômicos na adoção da ciclomobilidade: Um estudo comparativo em cinco capitais brasileiras. **Revista de Gestão e Secretariado**, 15(12), e4563. Disponível em: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i12.4563>.
- [37] SPTrans. (2024). **SPTrans**. In SPTrans. Disponível em: <https://www.sptrans.com.br/sptrans/>.

- [38] SPTrans. (2025). **Museu SPTrans dos Transportes**. Disponível em: <https://www.sptrans.com.br/museu-sptrans-dos-transportes/>.
- [39] Summit Mobilidade Urbana. (2020). **Em Shenzhen, na China, 100% dos ônibus e táxis são elétricos**. In Summit Mobilidade. Disponível em: <https://tinyurl.com/5fhcakdu>.
- [40] Transport for London. (2025). **Improving buses**. Transport for London. Disponível em: <https://www.tfl.gov.uk/modes/buses/improving-buses>.
- [41] US EPA. (2015). **Learn About Impacts of Diesel Exhaust and the Diesel Emissions Reduction Act (DERA)** [Overviews and Factsheets]. Disponível em: <https://tinyurl.com/26husppj>.
- [42] Vasconcellos, E. A. de. (2016). Mobilidade cotidiana, segregação urbana e exclusão. In R. N. O. Balbim, C. Krause, & C. C. Linke (Eds.), **Cidade e Movimento: Mobilidades e interações no desenvolvimento urbano** (pp. 57–79). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) / ITDP. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/ffaadca6-de57-4b30-a994-a807a917dd66/content>.
- [43] Vasconcellos, E. (2000). **Transporte Urbano nos Países em Desenvolvimento**. Annablume.
- [44] Vasconcellos, E. (2001). **Transporte Urbano, Espaço e Equidade. Análise das Políticas Públicas**. Annablume.
- [45] Vaz, L. F. H., Barros, D. C., & Castro, B. H. R. de. (2015). **Veículos híbridos e elétricos: Sugestões de políticas públicas para o segmento**. 50.

- [46] World Bank. (2021). **Electrification of Public Transport A Case Study of the Shenzhen Bus Group.**
- [47] Zanon, M. (2013). **Trólebus.** Disponível em: <https://monicazanon.com.br/>.
- [48] ZAPAROLLI, D. **Infraestrutura na berlinda: os obstáculos dos ônibus elétricos em São Paulo.** Valor Econômico, Revista Energia, 30 maio 2025. Disponível em: <https://tinyurl.com/mr377tny>. Acesso em: 8 jun. 2026.
- [49] Zhou, J., Wang, L., Wang, L., & Zhao, J. (2023). Adaptive energy management strategy of plug-in hybrid electric bus. **Computers and Electrical Engineering**, 112, 108983. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108983>.

VIII

AUTOMAÇÃO DO TRANSPORTE E CARRO ELÉTRICO

Daniele dos Santos Ramos Xavier – Universidade Paulista – UNIP ¹

VIII.1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana está sofrendo uma revolução e os protagonistas são a automação do transporte e o avanço dos veículos elétricos. Com o aumento das inovações tecnológicas, entre elas a inteligência artificial (IA) e de tecnologias sustentáveis, esses automóveis estão se tornando cada vez mais comuns nas cidades do mundo todo.

O presente capítulo apresenta as mais importantes inovações, vantagens e, desvantagens das tecnologias emergentes e como estas moldam o futuro do transporte. A mobilidade urbana e o transporte de pessoas e mercadorias estão entre os setores que vêm passando por profundas mudanças nas últimas décadas. Estas mudanças são impulsionadas pelo progresso técnico e pelo aumento da demanda de soluções inteligentes e sustentáveis. Entre as inovações mais promissoras estão a automação

¹Graduada em Ciências Econômicas, Pós-Graduada em Especialização Gestão Empresarial, Mestra em Economia e Doutoranda em Engenharia de Produção.

e a eletrificação do transporte, que juntas podem transformar a mobilidade e o transporte de mercadorias. A automação do transporte trata dos sistemas que permitem que os veículos funcionem com baixíssima ou nenhuma intervenção humana, utilizando sensores, inteligência artificial e sistemas capazes de tomar decisões em tempo real. Os carros elétricos são aqueles que utilizam energia elétrica e não combustão, reduzindo emissões de poluentes e com potencial para melhorar a eficiência energética.

A junção dessas duas inovações pode dar início a um novo tempo, com mobilidade inteligente, em que os veículos autônomos e elétricos podem trazer maior segurança ao trânsito, redução de poluentes ao ar e aumento da eficiência nas sobre as rodovias e vias urbanas. Essa união é apresentada como uma possível solução para problemas comuns, como os veículos em circulação no mundo, a poluição do ar e os acidentes provenientes do trânsito.

O objetivo deste capítulo é apresentar uma discussão sobre o potencial da automação do transporte, as tecnologias dos veículos elétricos, e os principais desdobramentos sobre o desenvolvimento tecnológico com considerações sobre o cenário atual e perspectiva futura provenientes dessa transformação.

VIII.2 MOBILIDADE E SUA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

As discussões sobre a automação do transporte e dos automóveis elétricos iniciaram-se no início do século XX, com as primeiras tentativas de veículos autônomos e elétricos. Desde então, observamos um crescimento relevante, marcado por inovações tecnológicas e a busca crescente de soluções sustentáveis e eficientes para o transporte.

VIII.2.1 AUTOMAÇÃO NO TRANSPORTE: HISTÓRICO

A automação no transporte surge a partir de uma evolução gradual da tecnologia. Seu início ocorre nos sistemas simples de assistência ao motorista e seguem até os modelos complexos de veículos autônomos que temos hoje. Para compreender essa evolução, é necessário entender o atual estágio dessa tecnologia e os desafios que ainda precisam ser superados.

VIII.2.2 PRIMEIROS SISTEMAS DE ASSISTÊNCIA AO MOTORISTA

No início da década de 2000, os primeiros modelos de sistema de assistência foram instalados em veículos de uso comercial, como a frenagem automática de emergência (AEB) e sistemas de controle de bordo, também conhecidos como controle de cruzeiro adaptativo (ACC). O sistema ACC utiliza sensores de radar para manter uma distância segura do veículo dianteiro, ajustando automaticamente a velocidade do carro. Já o AEB é capaz de detectar e realizar a frenagem do veículo, evitando ou reduzindo os impactos de colisões. O uso dessas tecnologias foi considerado os primeiros passos na direção da automação, mas exigiam que o motorista tivesse total controle sobre o trânsito e especialmente sobre a direção do veículo.

VIII.2.3 NÍVEIS DE AUTOMAÇÃO SEGUNDO A SAE

Com o aumento das tecnologias e com a finalidade de padronizar o desenvolvimento e a classificação dos sistemas autônomos, a SAE International lançou uma escala que define seis níveis de automação. Estes níveis são classificados de zero a cinco. No nível zero, não apresenta automação. O controle de todas as funções é realizado pelo motorista.

Tabela VIII.1: Níveis de Automação

Nível	Descrição	Exemplo de Sistema
0	Sem automação	Veículo convencional
1	Assistência ao motorista	Controle de cruzeiro adaptativo
2	Automação parcial	Auto piloto (Ex: Tesla)
3	Automação condicional	Audi Traffic (Motorista necessário)
4	Alta automação (área específica e limitada)	Áreas Específicas (Ex: Waymo One)
5	Automação total (qualquer condição)	Perspectiva Futura

Nível um: O motorista realiza assistência como controle de direção ou controle de cruzeiro. No nível dois: Existe a automação parcial e o sistema mantém controle sobre aceleração, frenagem e direção simultaneamente ao condutor que deve monitorar o ambiente. No nível três: O veículo pode operar por conta própria em determinadas condições, apresentando automação condicional, mas o motorista deve estar atento e preparado para retomar o controle. No nível quatro: o veículo apresenta um alto nível de automação e o veículo pode operar em ambientes específicos e definidos sem a intervenção humana. No nível cinco de automação: o veículo opera de forma autônoma em qualquer ambiente ou situação. A Tabela 01 apresenta os Níveis de Automação.

VIII.2.4 EMPRESAS PIONEIRAS E MARCOS TECNOLÓGICOS

A partir de 2010, a evolução dos veículos autônomos ganhou impulso com o avanço dos sensores, do processamento de dados e da inteligência artificial. Há 15 anos, algumas empresas, como a Google, com o projeto Waymo, começaram a colocar em testes seus carros autônomos nas ruas, além da experiência com milhões de quilômetros rodados enquanto testavam e melhoravam seus sistemas de percepção e de decisão. A Tesla lançou o sistema de automação parcial conhecido como Autopilot. Este sistema que integrou em seus veículos elétricos trouxe ao usuário a sensação de um assistente avançado de direção. Algumas montadoras tradi-

onais como General Motors, BMW e Mercedes-Benz, estão investindo fortemente em tecnologias autônomas, geralmente em parceria com startups que têm experiência nas tecnologias necessárias. Esses avanços tecnológicos, aliados à crescente demanda por soluções sustentáveis, foram e têm sido os grandes motores da integração entre automação e eletrificação, criando um cenário positivo para a mobilidade.

VIII.3 TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS

A automação do transporte e os veículos elétricos requerem várias tecnologias avançadas, como sensores, algoritmos de inteligência artificial (IA), sistemas de navegação e baterias de alta capacidade, permitindo a operação autônoma dos veículos com menor necessidade de intervenção humana e maior eficiência no transporte.

VIII.3.1 SENSORES E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os sensores constituem a base dos veículos autônomos, fornecendo dados em tempo real sobre o ambiente em torno do veículo. Esses conjuntos de dados são processados para que algoritmos de IA façam decisões sobre como navegar e dirigir o veículo. Consoante - **Falta a referencia**, os veículos autônomos deslocam-se sem condutor humano, pois usam sensores e IA.

VIII.3.2 SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os sistemas de navegação guiam os veículos autônomos com uso de dados do GPS e mapas digitais para determinar o melhor trajeto e rota viável. Esses sistemas estão interconectados com os sensores e IA para realizar uma navegação eficaz e segura.

VIII.3.3 BATERIAS DE ALTA CAPACIDADE

Tratando-se de veículos elétricos, as baterias de grande capacidade são essenciais para o funcionamento dos automóveis, oferecendo a energia necessária para a operação dos veículos. No entanto, com o avanço tecnológico, as baterias estão apresentando maior durabilidade e eficiência, possibilitando maior autonomia e redução do tempo de recarga.

VIII.3.4 INFRAESTRUTURA DE RECARGA E DESAFIOS

O aumento da adoção de carros elétricos depende de muitos fatores, mas essencialmente da disponibilidade de infraestrutura adequada para recarga.

Existem três principais tipos de recarga:

- **Recarga lenta (Nível 1):** Faz uso de tomadas domésticas e comuns, com baixa potência e tempo maior de recarga (Estimado em até 12 horas)
- **Recarga semi-rápida (Nível 2):** Locais públicos ou residenciais com maior potência de recarga. (Tempo estimado de 4 a 6 horas)
- **Recarga rápida (Nível 3):** Pontos de alta potência permitindo recargas de 20 a 40 minutos, facilitando longos percursos.

É notável o progresso em termos de infraestrutura, mas ainda existem carências em muitas regiões, o que pode ser um grande obstáculo para o aumento do uso de veículos elétricos. Além do potencial de sobrecarga nas redes elétricas atuais com possível forte procura, o que exige investimentos em tecnologia e modernização.

VIII.3.5 COMUNICAÇÃO VEÍCULO-INTEGRAÇÃO (V₂I) E VEÍCULO-VEÍCULO (V₂V)

Os veículos Autônomos Elétricos (VAE) também apresentam benefícios, especialmente com a possibilidade de comunicação com a infraestrutura urbana existente e com outros veículos, podendo ser denominada V₂X (*Vehicle-to-Everything*).

As principais categorias do V₂X são:

- **V₂I (*Vehicle-to-Infrastructure*):** Comunicação entre veículos e semáforos, sinalizadores e sensores de trânsito e centros de controle, permitindo alertas sobre condições da via e a otimização do trânsito.
- **V₂V (*Vehicle-to-Vehicle*):** Troca de informações entre veículos próximos, facilitando informações sobre velocidade, direção e frenagem, possibilitando a redução de colisões.

Essa junção é essencial para a mobilidade inteligente, possibilitando sistemas cooperativos que aumentam a segurança e a eficiência do trânsito.

VIII.4 O CARRO ELÉTRICO: FUNCIONAMENTO E IMPACTO

Entre as inovações importantes do setor automotivo nas últimas décadas, podemos destacar os carros elétricos, representando uma alternativa eficiente e limpa para os veículos movidos a combustíveis fósseis. Para compreender a integração da automação desses veículos, é preciso compreender seu funcionamento básico e suas principais tecnologias.

VIII.4.1 MOTOR ELÉTRICO E PRINCÍPIOS BÁSICOS

Os motores elétricos são responsáveis por converter diretamente energia elétrica em movimento rotacional, enquanto motores que queimam combustível para gerar energia mecânica são conhecidos como motores a combustão. Os motores elétricos convertem diretamente energia elétrica em movimento rotacional, enquanto os motores a combustão, que queimam combustível para gerar energia mecânica. O motor elétrico é composto por um rotor, a parte móvel, e o estator (parte fixa), responsável por integrar uns aos outros por meio de campos magnéticos para produzir torque, apresentando uma simplicidade mecânica como um dos aspectos positivos do seu modelo.

VIII.4.2 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA E TIPOS DE BATERIAS

A bateria é o componente mais importante nos veículos elétricos, capaz de armazenar energia elétrica necessária para alimentar o motor. Atualmente, as baterias de lítio se destacam como tecnologia. Apresentam boa durabilidade e peso baixo. Em pesquisas recentes, as baterias dominam como tecnologia devido à alta densidade de energia, boa durabilidade e peso relativamente baixo. Pesquisas recentes indicam que as baterias de estado sólido estão se desenvolvendo, prometendo segurança, maior vida útil e tempo de recarga mais ágeis. No entanto, essas tecnologias estão em desenvolvimento e precisam ser aperfeiçoadas e colocadas no mercado. Alguns sistemas de gerenciamento de baterias podem monitorar inclusive, temperatura, e assim garantir performance e segurança durante a operação.

VIII.4.3 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

Durante a utilização, os veículos elétricos não emitem poluentes; isso favorece a redução da poluição atmosférica, inclusive das grandes cidades. Com a utilização de eletricidade originada de fontes limpas, o impacto ambiental é ainda menor. Embora o custo inicial dos veículos elétricos seja mais alto, o custo de operação é menor, devido à baixa demanda de manutenção e especialmente ao custo da eletricidade que tende a ser menor do que o ao dos combustíveis fósseis. Outras ações têm contribuído cada vez mais para a redução do preço final dos automóveis elétricos, tais como incentivos de governo e questões tecnológicas.

VIII.5 IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS

Os veículos elétricos podem transformar a sociedade através da automação do transporte, pois são capazes de trazer benefícios sociais e ambientais além dos benefícios conhecidos como redução de gases poluentes e emissões; também é possível diminuir a quantidade de tráfego urbano e assim aumentar a segurança. Os veículos elétricos também podem ser uma ótima alternativa limpa e eficiente quando comparados aos veículos movidos a combustão. O motor elétrico é capaz de transformar energia elétrica em movimento com grande eficiência, pois a eficiência dos motores a combustão é inferior, variando entre 10 e 30 % de eficiência se comparada com os veículos elétricos, onde o motor é capaz de transformar em movimento com eficiências superiores aos 90%. São mais simples, tem menor necessidade de manutenção e são duráveis. A bateria quase sempre é de íon lítio. No entanto, para o aumento deste modelo é indispensável a ampliação da infraestrutura e a modernização da rede de eletricidade para atender ao aumento da crescente demanda do setor sem comprometer as demais atividades regionais.

VIII.5.1 REDUÇÃO DE EMISSÕES

Os carros elétricos têm sido apresentados como uma alternativa mais ecológica se comparados aos carros movidos a combustíveis fósseis, pelo fator conhecido de não produzirem gases poluentes durante o seu uso. Inclusive um estudo recente indicou que a adoção de veículos elétricos pode implicar em uma diminuição das emissões de CO₂ nas cidades de forma significativa, significativa, auxiliando inclusive em mudanças climáticas [4].

VIII.5.2 SEGURANÇA NO TRÂNSITO

Além das questões climáticas, a automação do transporte pode aumentar a segurança no trânsito, contribuindo para a redução de acidentes ocorridos por erro humano. A automação e o uso dos sensores podem permitir que os veículos autônomos respondam rapidamente às situações de risco, reduzindo e evitando colisões, protegendo passageiros e pedestres.

Estudos indicam que mais de 90% dos acidentes de trânsito têm como causa erro humano, como distrações, fadiga e decisões erradas [12]. A automação pode reduzir esses riscos, com o uso de sistemas inteligentes que permitem reação rápida e precisa sobre obstáculos, mantendo o veículo dentro dos limites de segurança. Além disso, a integração com veículos elétricos aumenta a segurança, pois os motores elétricos possuem resposta instantânea e controle preciso sobre frenagem, aceleração e manobras de emergência. Os veículos autônomos também poderiam reduzir velocidade nas áreas urbanas e ajustar o modo de condução de acordo com as condições do trânsito, climáticas e das vias, minimizando colisões.

VIII.5.3 BARREIRAS CULTURAIS E ACEITAÇÃO DO USUÁRIO

Embora os avanços tecnológicos aumentem a cada dia, a aceitação dos veículos autônomos e elétricos pela sociedade ainda apresenta resistência. Preocupações com segurança, confiabilidade dos sistemas, a perda do controle sobre o automóvel e a possibilidade de um não condutor, são barreiras comuns. As ações estão sendo realizadas de forma gradual para aumentar a percepção e confiança dos usuários, com testes públicos e experiências de uso progressivo. As regulamentações e legislações específicas também desempenham função importante para garantir a segurança e incentivar o uso.

VIII.6 INTEGRAÇÃO DA AUTOMAÇÃO COM O CARRO ELÉTRICO

A automação integrada aos veículos elétricos tem sido muito importante em termos de avanço tecnológico, contribuindo para a origem e o aperfeiçoamento de carros inteligentes, mais eficientes e seguros. Além de proporcionar redução do impacto ambiental, existe uma ligação entre a automação e a operação autônoma, o que aumenta o conforto e a segurança dos usuários.

VIII.6.1 SENSORES E SISTEMAS

Para que os veículos elétricos possam operar, eles são montados com vários sensores que permitem a percepção e o mapeamento do ambiente ao redor. Entre os sistemas utilizados nos veículos autônomos elétricos estão:

- **Lidar (*Light Detection and Ranging*):** Utiliza o laser para mapear o ambiente em 3D, identificando obstáculos, pedestres e demais veículos com alta precisão.

- **Radar:** Emite ondas de rádio para identificar objetos, medir distância e velocidade, inclusive em situações com baixa visibilidade.
- **Câmeras:** Identificam e capturam imagens para reconhecimento de sinais de trânsito, objetos em movimento ou parados.
- **Ultrassônicos:** Detecta objetos próximos, auxiliando em manobras como de estacionamento.

Os sensores são parte de sistemas embarcados que processam as informações em tempo real e usam algoritmos de inteligência artificial (IA) para tomada de decisões sobre aceleração, desaceleração, direção, entre outros.

VIII.6.2 APRENDIZADO DE MÁQUINA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Nos veículos autônomos, a inteligência artificial (IA) é imprescindível. O sistema compreende um grande conjunto de dados por meio do aprendizado de máquina, conseguindo perceber padrões e assim responder a situações específicas do trânsito tais como: identificar pedestres, prever possíveis decisões dos demais veículos, calcular rota e o tempo entre a sinalização de faróis, entre outras. Com sistemas de IA, o carro também pode aprender com a experiência do caminho anterior que percorreu e ao longo do tempo poderá identificar melhorias, aumentando e melhorando a navegação e a segurança do veículo. A união dos sensores e da IA permite uma condução autônoma, eficiente e segura, em tempo real, com informações fornecidas aos sensores.

VIII.6.3 BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO

A integração da automação com carros elétricos traz benefícios significativos, podemos destacar os itens a seguir:

- **Segurança:** Redução de acidentes causados por erro humano, que representa mais de 90% dos acidentes de trânsito.

- **Eficiência energética:**Condução otimizada que reduz o consumo de energia e aumenta a autonomia das baterias.
- **Sustentabilidade:**Menor emissão de poluentes e menor impacto ambiental.
- **Conforto e conveniência:**Viagens mais suaves, redução do estresse do motorista e possibilidade de uso do tempo para outras atividades.

VIII.7 CONTROLE DE QUALIDADE E SEGURANÇA

O controle de qualidade e a segurança são essenciais para o desenvolvimento e o funcionamento confiáveis dos veículos autônomos elétricos. Para assegurar que esses sistemas operem de forma segura e eficiente, é preciso que sistemas de validação, monitoramento e atualização operem de forma eficiente.

VIII.7.1 TESTES E VALIDAÇÃO DOS SISTEMAS AUTÔNOMOS

Os veículos autônomos passam por vários estágios de testes a fim de validar os seus sistemas, estes testes incluem simulações em ambientes virtuais e testes sob condições controladas nas vias públicas. Além de avaliar a capacidade dos sensores e dos algoritmos, sendo estes capazes de perceber obstáculos, identificar sinais de trânsito, agir em manobras de forma segura. A SAE International, define critérios rígidos de validação para os níveis de automação, exigindo que os veículos dos níveis 4 e 5 comprovem que podem realizar operações seguras sob diferentes cenários e condições climáticas, de tráfego e ambientais. Empresas como a Waymo e a Tesla têm investido muitos bilhões em testes para garantir que seus sistemas atendam a esses padrões.

VIII.7.2 NORMAS E REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS

Um grande entrave ao desenvolvimento e à expansão dos veículos autônomos é a regulamentação da automação veicular. A maioria dos países não apresenta legislação de trânsito que trata das responsabilidades e demais entraves, por isso a regulamentação está em desenvolvimento, com diversos países adotando formas variadas de garantir a segurança e a responsabilidade legal. Organizações internacionais, como a UNECE (Comissão Econômica para a Europa da Nações Unidas), têm escrito as normas para homologação e operação de veículos autônomos. No Brasil, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) e o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) têm acompanhado as discussões no campo, buscando adequar a legislação nacional para permitir a realização de testes e o uso comercial desses veículos, sempre buscando garantir a segurança dos pedestres e demais usuários.

VIII.8 DESEMPENHO E CRESCIMENTO DO SETOR

VIII.8.1 DADOS DE VENDAS NO BRASIL E NO MUNDO

No Brasil e no mundo, as vendas de veículos elétricos têm aumentado. A Tabela [VIII.2](#) apresenta a evolução das vendas de veículos elétricos (EVs) no mundo e no Brasil, durante o período de 2020 a 2023, e demonstra um crescimento bastante expressivo, tanto no nível mundial quanto no nacional. O aumento global das vendas subiu de 3,2 milhões, em 2020, para cerca de 14 milhões, em 2023, o que representa uma aceleração significativa na adoção da mobilidade elétrica, apoiada por inovações tecnológicas, políticas públicas de incentivo e maior oferta de modelos.

Tabela VIII.2: Vendas de Veículos Elétricos (VEs) – Mundo e Brasil (2020-2023).

Ano	Vendas Globais de VEs (milhões)	Vendas de VEs no Brasil (milhares)
2020	3,2	19
2021	6,6	34
2022	10,3	49
2023	14	93

Fonte: Elaboração própria com base em IEA (2024) [1]

Informações recentes mostram que o mercado de veículos elétricos no Brasil, incluindo híbridos e veículos totalmente elétricos, tem crescido a taxas superiores a 100% ao ano, conforme registros de emplacamento registrados, em 2023 e em 2024. Entre eles, os veículos de energia exclusivamente elétrica têm avançado mais rapidamente e já representam parte significativa das vendas gerais tratando-se de transporte elétrico. Esse crescimento, mesmo modesto em termos absolutos, indica um caminho claro em direção à mobilidade sustentável no Brasil, alinhado com as propostas e diretrizes para o meio ambiente e com as exigências locais para o controle das emissões. Espera-se que, aumentando investimentos em infraestrutura, políticas de incentivos e opções de modelos, o Brasil siga a evolução do mercado mundial de eletromobilidade nos próximos anos.

VIII.8.2 REVISÃO DE EFICIÊNCIA E CUSTOS OPERACIONAIS

A revisão do desempenho dos veículos autônomos elétricos é imprescindível para verificar se eles atingem os padrões de segurança, eficiência e conforto e para estudar a viabilidade econômica e ambiental destas tecnologias.

Os veículos elétricos costumam ter um desempenho energético mais eficiente que os veículos movidos à combustão, com aproveitamento

superior a 90% da energia elétrica colocada neles. A automação pode contribuir com melhorias em consumo, por conta da condução suave e do planejamento de rotas que evitam congestionamento e condições desfavoráveis. Mas a autonomia das baterias ainda é um desafio para as longas distâncias. A média dos veículos elétricos é de 300 a 500 km por carga, dependendo do modelo e das condições de utilização. O aprimoramento da recarga rápida já existe, mas a infraestrutura precisa ser ampliada para receber uma frota em crescimento.

VIII.8.3 CUSTOS OPERACIONAIS E MANUTENÇÃO

A manutenção de veículos elétricos costuma ser facilitada por conta da menor quantidade de partes móveis e pela ausência de sistemas complexos de combustão, reduzindo, assim, os custos operacionais comparados com veículos tradicionais. A automação resulta também em diminuição dos custos relacionados a acidentes e falhas humanas e aceitação da manutenção, evitando paradas inesperadas e aumentando a longevidade dos componentes.

VIII.9 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar dos avanços significativos, ainda existem desafios a serem superados para a completa implementação da automação no transporte e do uso dos carros elétricos. Questões regulatórias, infraestrutura e aceitação do público são alguns obstáculos que devem ser tratados. Entretanto, o futuro para a implantação dessas tecnologias é promissor, podendo transformar a mobilidade nas cidades e ajudar um futuro mais sustentável.

Ainda que a automação do transporte e os veículos elétricos signifiquem um grande progresso tecnológico, muitos obstáculos continuam a

ser superados a fim de que esta revolução seja completamente integrada à mobilidade cotidiana.

VIII.9.1 INFRAESTRUTURA E POLÍTICAS PÚBLICAS

A construção da infraestrutura de recarga rápida é fundamental para acompanhar o crescimento da frota elétrica. Isso significa não apenas a construção de estações, mas também o reforço da rede elétrica para evitar sobrecargas e garantir que o fornecimento de energia permaneça estável. Além disso, a infraestrutura urbana precisa ser adaptada para veículos autônomos com sistemas inteligentes de sinalização, comunicação V2X e áreas específicas para testar e operar esses veículos. Políticas públicas, bem como incentivos fiscais, são necessárias para encorajar a adoção dos veículos elétricos e autônomos, através de subsídios, isenção de impostos e regulamentos que promovam a inovação e segurança.

VIII.9.2 SEGURANÇA CIBERNÉTICA E ÉTICA NA AUTOMAÇÃO

As tecnologias de conectividade dos veículos autônomos expõem os sistemas a riscos de ataques cibernéticos, em um aspecto que pode ser uma ameaça à segurança dos passageiros e do trânsito. Por isso, o desenvolvimento de protocolos de segurança digital é considerado uma prioridade. Além disso, as questões éticas sobre tomada de decisão em situações de risco, responsabilidade por acidentes e privacidade dos dados dos usuários são problemas que precisam de regulamentação.

VIII.9.3 TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS E INOVAÇÃO

O futuro da mobilidade aponta para veículos cada vez mais integrados a sistemas inteligentes, com maior autonomia e eficiência. Tecnologias

emergentes, como baterias de estado sólido, inteligência artificial avançada, 5G para comunicação rápida e computação em nuvem, devem acelerar essa transformação. Integração com outras formas de mobilidade, como bicicletas e transporte público, em sistemas multimodais e sustentáveis, também é uma tendência, com foco na criação de cidades mais inteligentes e habitáveis.

VIII.10 CONCLUSÕES

A automação do transporte, assim como a eletrificação de veículos, constitui parte importante das revoluções tecnológicas na mobilidade contemporânea. A combinação destas tecnologias detém o potencial para transformar profundamente a maneira como nos deslocamos, propondo soluções para problemas críticos, como segurança no trânsito, sustentabilidade ambiental e eficiência energética. Veículos elétricos autônomos têm a promessa de redução acentuada de acidentes causados por erro humano, de redução de emissões tóxicas de gases poluentes e de melhoria do uso das vias urbanas e rodoviárias com o uso de sistemas inteligentes de navegação e comunicação. Entretanto, para que essa transformação seja efetiva e segura, a adoção rigorosa de procedimentos de controle de qualidade, monitoramento contínuo e regulamentação se faz necessária fazem necessários. Adicionalmente, a ampliação da infraestrutura de recarga, a segurança cibernética e a aceitação social são desafios que precisam ser resolvidos mediante eficiência por parte das políticas públicas, investimentos em inovação, conscientização e diálogo efetivo com a sociedade.

O futuro da mobilidade está se movendo em direção a veículos cada vez mais conectados, autônomos e sustentáveis, que estão integrados a sistemas inteligentes para criar cidades mais seguras, eficientes e ambientalmente amigáveis. A automação do transporte e o carro elétrico são, por isso, bases fundamentais para o desenvolvimento deste futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Global EV Outlook 2024**. IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>.
- [2] CONTRAN. **Resoluções sobre veículos autônomos**. Gov.br, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transportes/veiculos-autonomos>.
- [3] ESTADÃO MOBILIDADE. **Mobilidade elétrica entra no mundo da inteligência artificial**. Estadão, [s.d.]. Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/mobilidade-eletrica-entra-no-mundo-da-inteligencia-artificial/>.
- [4] FIRMINO, L. C.; SILVA, A. L.; FLORIAN, F. O Futuro da Mobilidade: Desenvolvimento em Inteligência Artificial para Veículos Autônomos. **Revista de Tecnologia**, v. 28, n. 139, p. 31–48, 2024. DOI: <https://doi.org/10.69849/revistaft/csi0202410311948>.
- [5] GREENV. **Carros autônomos e elétricos: Conheça o futuro da mobilidade**. Blog GreenV, [s.d.]. Disponível em: <https://www.greenv.com.br/blog/carros-autonomos-e-eletricos-conheca-o-futuro-da-mobilidade/>.

- [6] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Ocupação no setor de serviços cresce 7,8% e chega ao recorde de 13,4 milhões.** Agência de Notícias IBGE, 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37753-ocupacao-no-setor-de-servicos-cresce-7-8-e-chega-ao-recorde-de-13-4-milhoes>.
- [7] MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation.** McKinsey & Company, 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages>.
- [8] MOREIRA, L. de A.; SANTOS, S. F. dos; OLIVEIRA NETO, R. de; SILVA JUNIOR, L. A. Bibliographic review of the mode of road transportation in Brazil. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 3, e2283728, 2019.
- [9] PETTIGREW, S.; FRITSCHI, L.; NORMAN, R. The potential implications of autonomous vehicles in and around the workplace. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15091876>.
- [10] PINTO, D.; LOUREIRO, C.; SOUSA, F. M.; MOTTE-BAUMVOL, B. The effects of informality on socio-spatial inequalities in accessibility to job opportunities: Evidence from Fortaleza, Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 109, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103577>.
- [11] POMPERMAYER, F. **Law, AI and robotics: Brazil.** 2019.

- [12] Portal ONSV. **90% dos acidentes são causados por falhas humanas, alerta OBSERVATÓRIO**. 2015. Disponível em: . Acesso em: 10/05/2026.
- [13] SAE INTERNATIONAL. **Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems (SAE J3016_202104)**. SAE International, 2021.
- [14] XAVIER, D. S. R.; REIS, J. G. M.; XAVIER, D. L. J.; RODRIGUES, G. S. Autonomous vehicles as a way to mitigate traffic accidents: A literature review of obstacles of its implementation. In: THÜRER, M.; RIEDEL, R.; VON CIEMINSKI, G.; ROMERO, D. (Eds.). **Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Volatile, Uncertain, Complex, and Ambiguous Environments**. APMS 2024.

IX

NA TEORIA SIM, NA
PRÁTICA AINDA NÃO: UM
RELATO TÉCNICO SOBRE A
INVIABILIDADE DA
ELETRIFICAÇÃO DE
FROTAS NA REGIÃO
METROPOLITANA DE SÃO
PAULO

Márcio José Padovan de Antônio – Universidade Paulista – UNIP ¹
Paula Ferreira da Cruz Correia – Centro Paula Souza – CPS ²

¹Graduado em Tecnologia em Processos Gerenciais e Licenciatura em Filosofia, Pós-Graduado em Gestão de Projetos e Psicologia Organizacional, Mestre e Doutorando em Engenharia de Produção.

²Graduada em Tecnologia em Logística e Bacharel e Licenciada em Ciências Biológicas, Mestre e Doutora em Engenharia de Produção

João Gilberto Mendes dos Reis - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP ³

IX.1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre mobilidade urbana sustentável ganhou força nos últimos anos, especialmente diante da urgência em reduzir emissões de gases do efeito estufa, mitigar os impactos ambientais e adotar soluções logísticas mais eficientes. Nesse contexto, a eletrificação de frotas de veículos de serviços surge como uma alternativa promissora. No entanto, por trás dessa tendência estão desafios técnicos, operacionais, financeiros e humanos que muitas vezes passam despercebidos.

Este capítulo nasce da experiência prática de um projeto de avaliação para eletrificação da frota de uma empresa de serviços técnicos na região metropolitana de São Paulo. Há cerca de cinco anos, diante do avanço das tecnologias de veículos elétricos e do apelo ambiental crescente, surgiu a proposta de substituir os veículos a combustão por modelos eletrificados. O objetivo era mensurar, com base em dados, se essa transição era economicamente e operacionalmente viável.

A análise revelou uma série de entraves: custos operacionais elevados, infraestrutura de recarga incipiente e desafios significativos na gestão das equipes envolvidas. Esses fatores, somados à ausência de incentivos adequados à época, levaram à conclusão de que a eletrificação não era viável naquele momento.

Mais do que uma resposta técnica, este capítulo pretende compartilhar os aprendizados obtidos ao longo dessa jornada. Com base em critérios como Custo Total de Propriedade (TCO), Retorno sobre o Investimento (ROI), Eficiência Energética e Estrutura de Apoio, são discutidos os fatores críticos que influenciam a viabilidade da eletrificação de frotas de serviço no Brasil. Ao fazer isso, busca-se contribuir

³Graduado em Tecnologia em Logística com Ênfase em Transportes e Engenharia Civil, Especialização em Mobilidade Urbana e Sustentável e Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

para a formação de um pensamento mais realista e estratégico sobre a transição energética no transporte urbano.

IX.2 ASPECTOS CRÍTICOS PARA A VIABILIDADE DA ELETRIFICAÇÃO

Antes de qualquer decisão sobre a substituição de veículos a combustão por modelos elétricos, é essencial realizar uma análise abrangente dos fatores que influenciam a viabilidade técnica, econômica e operacional dessa transição. Embora o discurso da mobilidade elétrica esteja cada vez mais presente em políticas públicas, eventos empresariais e agendas de sustentabilidade, o sucesso de sua implementação depende de condições específicas que nem sempre estão plenamente desenvolvidas.

Neste contexto, esta seção apresenta os principais aspectos que foram avaliados durante o estudo de viabilidade conduzido. As análises se concentraram em três eixos fundamentais: o custo inicial e os modelos de aquisição disponíveis à época; os custos operacionais relacionados a combustível, manutenção e infraestrutura de suporte; e a avaliação financeira baseada no Custo Total de Propriedade (TCO) e no Retorno sobre o Investimento (ROI). A análise desses indicadores auxiliaram a revelar limitações práticas que subsidiaram à decisão de adiar a eletrificação da frota, Figura [IX.1](#).

IX.2.1 CUSTO INICIAL E MODELOS DE AQUISIÇÃO

No momento em que a proposta de eletrificação da frota foi analisada, o custo inicial de aquisição de veículos elétricos representava um dos principais entraves à viabilidade do projeto. Os modelos disponíveis no mercado nacional eram majoritariamente importados e apresentavam preços significativamente superior aos veículos a combustão equi-



Figura IX.1: Aspectos Críticos para a viabilidade da Eletrificação. Fonte: Autores (2025)

valentes. A diferença de investimento era ampliada pela ausência de incentivos fiscais eficazes e pela limitação de fornecedores e de modelos adaptados ao perfil da operação.

Diante desse cenário, alternativas como o *leasing* operacional foram consideradas, mas também se mostraram pouco acessíveis naquele período. Além de contratos com valores elevados, a oferta de serviços complementares — como manutenção inclusa, substituição de baterias ou garantias estendidas — era restrita, o que dificultava a previsibilidade financeira e aumentava a exposição ao risco.

A ausência de um mercado secundário estruturado e a incerteza quanto ao valor residual dos veículos elétricos ao final do ciclo de uso reforçaram a percepção de insegurança no investimento. Assim, apesar do potencial estratégico da eletrificação, a análise de custos iniciais, associada à baixa maturidade do ecossistema de mobilidade elétrica, indicou que a transição não era viável naquele momento.

CUSTO OPERACIONAIS: COMBUSTÍVEL E MANUTENÇÃO

Durante o estudo de viabilidade, foi possível identificar que, em teoria, os veículos elétricos apresentavam vantagens operacionais significativas em relação aos modelos a combustão, principalmente quanto à efici-

ência energética e à redução da necessidade de manutenção corretiva. Motores elétricos, por possuírem menos componentes móveis e dispensarem óleo de motor e sistemas complexos de transmissão, tendem a exigir menor intervenção técnica ao longo do tempo.

Entretanto, no momento da análise, não havia dados suficientes de custos reais de manutenção de frotas similares no Brasil. A inexistência de histórico técnico e a baixa experiência com oficinas autorizadas em veículos elétricos dificultavam a projeção confiável dos custos ao longo do ciclo de vida da frota. Da mesma forma, não foi possível estimar com precisão os ganhos de economia de energia, pois a empresa não dispunha de estrutura própria de recarga, nem havia definição clara quanto ao modelo de reembolso para recargas realizadas nas residências dos técnicos.

Adicionalmente, os altos custos de substituição de baterias e a ausência de programas estruturados de garantia ou substituição dificultaram a incorporação desses custos em um modelo de previsão robusto. Assim, mesmo com a expectativa de menores custos operacionais, a incerteza quanto à manutenção e ao abastecimento reforçou o entendimento de que o projeto apresentava alto risco naquele momento.

IX.2.2 CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE (TCO) E RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI)

O conceito de Custo Total de Propriedade (TCO) foi uma das principais ferramentas empregadas na tentativa de avaliar a viabilidade econômica da eletrificação da frota. A metodologia previa a análise integrada de diversos fatores, incluindo o custo inicial de aquisição ou de *leasing*, despesas com manutenção, consumo de energia, tributos, valor residual do veículo ao final do ciclo de uso e outros custos diretos e indiretos.

No entanto, a aplicação do TCO enfrentou limitações significativas à época. A indisponibilidade de dados históricos confiáveis sobre veículos elétricos com perfil similar ao da operação avaliada dificultou a

obtenção de estimativas robustas. Informações como o custo real por quilômetro rodado, a frequência de manutenção, a vida útil da bateria, o desempenho sob diferentes regimes de uso e a variabilidade dos custos de recarga estavam ausentes ou inconsistentes no mercado nacional.

Além disso, o Retorno sobre o Investimento (ROI) dependia de premissas altamente sensíveis. Projeções conservadoras indicavam que o investimento em veículos elétricos poderia ser recuperado entre o quinto e o sétimo ano de operação, o que excedia o tempo médio de renovação da frota da empresa, normalmente entre três e quatro anos. Essa disparidade entre o tempo de retorno e o ciclo real de uso reduziu ainda mais a atratividade do projeto sob a ótica financeira.

Apesar de reconhecer o potencial de longo prazo da eletrificação, os indicadores financeiros, especialmente TCO e ROI, quando aplicados ao cenário específico da empresa naquele momento, indicaram um alto grau de incerteza. Por isso, optou-se por adiar a transição e manter o monitoramento contínuo da evolução tecnológica, do mercado de infraestrutura e de políticas públicas que pudessem tornar o projeto mais viável no futuro.

IX.3 INFRAESTRUTURA E GESTÃO OPERACIONAL

A substituição de veículos a combustão por modelos elétricos envolve uma transformação que vai além da simples troca de tecnologia. Trata-se de uma mudança estrutural que impacta diretamente a logística operacional, os processos internos, a gestão de pessoas e a cultura organizacional da empresa. A adoção de uma frota elétrica exige uma nova forma de pensar a mobilidade corporativa, com implicações que vão desde o planejamento de rotas até a infraestrutura das unidades físicas.

No caso analisado, um dos obstáculos mais relevantes identificados durante o estudo de viabilidade foi, justamente, a ausência de uma infraestrutura de recarga adequada. A empresa operava com uma frota

descentralizada, utilizada por técnicos que levavam os veículos para suas residências, o que inviabilizava um modelo de abastecimento centralizado. Além disso, não havia pontos de recarga públicos suficientes na área de atuação, tampouco padrões técnicos definidos que assegurassem segurança e confiabilidade ao processo de recarga doméstica.

Essa limitação impôs à organização a necessidade de repensar seu modelo logístico e de buscar soluções alternativas que, naquele momento, não estavam disponíveis de forma acessível ou escalável. Como consequência, a infraestrutura (Figura IX.2), ou a falta dela, não apenas representou um custo adicional, mas também um fator de risco que comprometeria a previsibilidade e a eficiência da operação caso a eletrificação fosse implementada prematuramente.



Figura IX.2: Infraestrutura de Recarga para Veículos Elétricos. Fonte: Autores (2025).

IX.3.1 RECARGA CENTRALIZADA OU DOMICILIAR: DILEMA OPERACIONAL

No cenário avaliado, os veículos eram utilizados por técnicos, que os levavam para casa após o expediente, o que inviabilizava um modelo de recarga centralizado exclusivamente na sede da empresa. Apesar de oferecer maior controle operacional, a recarga centralizada exigiria deslocamentos diários adicionais em horários de alto tráfego, reduzindo a produtividade dos técnicos e aumentando os custos indiretos por horas improdutivas.

A recarga domiciliar, por outro lado, parecia oferecer uma solução logística mais eficiente, ao permitir que a recarga ocorresse durante a noite, nos próprios domicílios dos colaboradores. Contudo, esse modelo apresentava uma série de limitações. Nem todos os funcionários dispunham de garagem ou de infraestrutura elétrica compatível com os requisitos de segurança para a instalação de carregadores. Além disso, surgiam questões jurídicas e operacionais sobre o reembolso da energia elétrica consumida, a medição do consumo individualizado e a responsabilidade por eventuais danos ou acidentes.

Esse dilema entre os dois modelos, centralizado e domiciliar (Figura IX.3, expôs uma lacuna estrutural que a empresa, naquele momento, não estava preparada para preencher. A falta de padronização e a ausência de políticas internas bem definidas contribuíram para a incerteza operacional.

IX.3.2 AUSÊNCIA DE INFRAESTRUTURA PÚBLICA E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

Outro aspecto relevante foi a baixa disponibilidade de pontos públicos de recarga na área de atuação da empresa. Mesmo nas grandes vias da região metropolitana de São Paulo, a infraestrutura ainda estava em estágio embrionário, com poucos eletropostos e baixa confiabilidade em manutenção, compatibilidade de conectores e tempo de recarga. Isso li-



Figura IX.3: Infraestrutura de Recarga Empresa X Residência. Fonte: Autores (2025) .

mitava drasticamente a autonomia da frota e impunha riscos adicionais à continuidade do atendimento técnico diário.

A empresa chegou a avaliar a instalação de pontos de recarga próprios em suas filiais e em locais estratégicos, como centros de distribuição e estacionamentos conveniados. No entanto, os custos envolvidos com obras civis, licenciamento junto à concessionária de energia, reforço da rede elétrica local e aquisição de equipamentos homologados tornaram essa alternativa inviável no curto prazo. Além disso, a ausência de incentivos ou subsídios específicos para esse tipo de infraestrutura restringia ainda mais a capacidade de execução do projeto.

IX.3.3 DESAFIO DA GESTÃO E DO TREINAMENTO CORPORATIVO

A transição para a frota elétrica também levantava questões relacionadas à gestão de pessoas e à capacitação técnica da equipe. A mudança exigia um novo conjunto de competências tanto operacionais quanto comportamentais, que não estavam plenamente desenvolvidas na organização à época.

Havia, por parte dos colaboradores, uma resistência natural à mudança, alimentada pela falta de conhecimento sobre o funcionamento dos veículos elétricos, inseguranças quanto à confiabilidade e temores relacionados à recarga e à autonomia. Para mitigar esses riscos, seria necessário implementar um programa estruturado de treinamento contínuo, abrangendo desde conceitos básicos de segurança elétrica até o uso adequado da tecnologia embarcada, bem como procedimentos de emergência e de manutenção preventiva.

Adicionalmente, o gerenciamento da frota elétrica demandaria ferramentas de telemetria, controle do consumo de energia, roteirização inteligente e monitoramento em tempo real. A integração desses sistemas ao Planejamento de Recursos Empresariais (ERP) da empresa implicaria investimentos adicionais em tecnologia da informação e adequações nos processos internos.

Do ponto de vista legal e normativo, a empresa também teria de se adequar às exigências previstas nas Normas Regulamentadoras vigentes, em especial à NR 01, que trata do gerenciamento de riscos ocupacionais e da capacitação contínua dos trabalhadores, e à NR 10, que estabelece critérios rigorosos de segurança para atividades que envolvam risco elétrico, ainda que em baixa tensão. Esses requisitos reforçam a necessidade de planejamento, estrutura e política formal de treinamento e segurança antes da adoção definitiva da frota elétrica.

Havia, por parte dos colaboradores, uma resistência natural à mudança, alimentada pela falta de conhecimento sobre o funcionamento dos veículos elétricos, inseguranças quanto à confiabilidade e temores

relacionados à recarga e à autonomia. Para mitigar esses riscos, seria necessário implementar um programa estruturado de treinamento contínuo, abrangendo desde conceitos básicos de segurança elétrica até o uso adequado da tecnologia embarcada, bem como procedimentos de emergência e de manutenção preventiva.

Adicionalmente, o gerenciamento da frota elétrica demandaria ferramentas de telemetria, controle do consumo de energia, roteirização inteligente e monitoramento em tempo real. A integração desses sistemas ao ERP da empresa implicaria investimentos adicionais em tecnologia da informação e adequações nos processos internos.

IX.3.4 BARREIRAS OPERACIONAIS, ESTRUTURAIS E HUMANAS À IMPLEMENTAÇÃO

A transição para uma frota elétrica não se limita à substituição de veículos ou à adoção de uma nova tecnologia, mas exige uma transformação mais ampla nos processos, na cultura e na estrutura organizacional da empresa. No caso analisado, essa mudança esbarrou em barreiras operacionais, estruturais e humanas que, em conjunto, comprometeram a viabilidade da implementação no momento estudado.

Do ponto de vista da gestão de pessoas, a mudança exigiria o desenvolvimento de novas competências, tanto técnicas quanto comportamentais, que ainda não estavam consolidadas na organização. Identificou-se uma resistência natural dos colaboradores, alimentada pela falta de familiaridade com os veículos elétricos, incertezas quanto à sua confiabilidade e temores relacionados à autonomia, ao processo de recarga e à segurança no manuseio dos equipamentos.

Para mitigar esses riscos, seria necessário implantar um programa estruturado de treinamento contínuo, abrangendo desde conceitos básicos de segurança elétrica até a operação segura da frota, o uso adequado da tecnologia embarcada, os procedimentos de emergência e a manutenção preventiva. Essa capacitação, além de estratégica, atenderia a exi-

gências legais previstas em normas como a NR 01, que trata da gestão de riscos ocupacionais e da obrigatoriedade de qualificação dos trabalhadores, e a NR 10, que estabelece diretrizes para atividades que envolvam eletricidade, inclusive em baixa tensão.

No plano operacional, a gestão da frota elétrica exigiria o uso de ferramentas avançadas de telemetria, roteirização inteligente, controle de consumo energético e monitoramento em tempo real. A integração desses sistemas aos processos já existentes, especialmente aos módulos logísticos e de TI do ERP corporativo, implicaria investimentos adicionais, além de ajustes técnicos e treinamento das equipes envolvidas. Dessa forma, a análise revelou que a organização, naquele momento, ainda não dispunha da maturidade organizacional e tecnológica necessária para sustentar uma transição segura, eficiente e contínua para a mobilidade elétrica.

IX.4 ESTUDO DE CASO APLICADO

Para além da análise conceitual e técnica, este capítulo também se apoia em uma experiência prática vivida por uma empresa de serviços técnicos localizada na região metropolitana de São Paulo. O objetivo foi avaliar, com base em dados reais de operação, os desafios e as oportunidades associados à substituição de uma frota de veículos a combustão por veículos elétricos.

A iniciativa surgiu diante do crescente debate sobre mobilidade sustentável e da pressão por soluções ambientalmente responsáveis. A empresa, que operava com uma frota leve utilizada por técnicos de campo, decidiu realizar um estudo aprofundado de viabilidade para entender se a eletrificação traria ganhos efetivos em termos econômicos, operacionais e estratégicos.

Nos subtópicos a seguir, são apresentados os principais elementos do estudo: a caracterização da frota, as alternativas analisadas, a simulação financeira de TCO e ROI, e as conclusões obtidas a partir dos resultados.

IX.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA FROTA

A frota avaliada no estudo era composta por 15 veículos utilitários Fiat Fiorino, utilizados por técnicos de campo responsáveis por atividades de manutenção corretiva e preventiva, instalação de equipamentos e suporte técnico a clientes da região metropolitana de São Paulo. A operação da empresa caracteriza-se por um alto volume de atendimentos diários em áreas urbanas de média e alta densidade, o que exige deslocamentos ágeis, confiáveis e constantes ao longo do dia.

Cada veículo percorria, em média, 1.800 quilômetros por mês, o que equivale a cerca de 60 km por dia útil. Essa quilometragem não se limitava ao trajeto entre a sede e os pontos de atendimento: os veículos também desempenhavam o papel de “oficina móvel”, armazenando ferramentas, peças de reposição, materiais de apoio e, muitas vezes, documentos operacionais. A estrutura física dos veículos mostrava-se ideal para esse fim, combinando compactidade para circular em zonas urbanas com robustez e capacidade de carga útil de cerca de 650 kg.

Um elemento importante da estratégia operacional da empresa era o modelo descentralizado de logística veicular. Os técnicos retiravam os veículos na sede apenas quando necessário, normalmente, os mantinham consigo, estacionados em suas residências ao fim do expediente. Isso otimizava os tempos de deslocamento no início e no fim do dia, permitindo maior capilaridade nos atendimentos. Contudo, esse modelo, vantajoso para uma frota a combustão, apresentou-se como um desafio considerável quando se analisou a possibilidade de migração para veículos elétricos, principalmente devido à necessidade de uma estrutura de recarga domiciliar padronizada, acompanhamento do consumo individual de energia e gestão remota do abastecimento.

Além disso, a empresa havia optado pelo leasing operacional dos veículos, o que significava que o custo mensal já incluía manutenção preventiva e corretiva básica, seguro e documentação. Isso facilitava a previsão orçamentária e garantia maior estabilidade operacional, fator relevante para o tipo de atividade desempenhada, que exige alta dispo-

nibilidade da frota, baixo tempo de parada e previsibilidade de custos fixos.

Portanto, a frota da empresa não era apenas um ativo logístico: era parte estratégica do serviço prestado ao cliente. Qualquer modificação estrutural, como a substituição por modelos elétricos, exigiria uma análise profunda dos impactos no atendimento, na autonomia dos técnicos, nos custos operacionais e na capacidade da organização de manter seu desempenho com um novo tipo de solução veicular.

IX.4.2 ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

Para a realização do estudo de viabilidade, a empresa analisou duas alternativas principais para a renovação de sua frota por meio de contratos de leasing operacional, modalidade que contempla custos com manutenção básica, documentação, seguro e suporte técnico. A escolha pelo leasing foi motivada pelo interesse em manter a previsibilidade financeira e evitar a imobilização de capital em ativos depreciáveis.

As duas opções avaliadas foram:

- Fiat Fiorino (a combustão): R\$ 2.500,00/mês por unidade;
- BYD eT3 (elétrico): R\$ 7.220,00 por unidade por mês.

A Fiat Fiorino, já adotada pela empresa, era conhecida pela robustez, pelo custo acessível, pela manutenção simplificada e pela ampla rede de assistência técnica. Representava a continuidade do modelo operacional vigente, com alta previsibilidade de desempenho e de custos operacionais bem monitorados ao longo dos anos.

Já o BYD eT3, utilitário elétrico de porte similar, foi selecionado por representar uma das poucas opções viáveis no mercado nacional na época do estudo, com autonomia aproximada de 300 km e configuração compatível com o transporte de carga leve. A escolha desse modelo visava avaliar o impacto real da eletrificação, considerando um cenário prático e realista, com base nas ofertas comerciais existentes no Brasil.

Além do valor mensal do *leasing*, a avaliação levou em conta outras variáveis determinantes para a operação logística da empresa, tais como:

- Custos de combustível versus energia elétrica;
- Despesas com manutenção preventiva e corretiva;
- Tributos como IPVA e benefícios fiscais aplicáveis ao veículo elétrico;
- Valor residual ou responsabilidade pelo bem ao término do contrato;
- Capacidade de atendimento técnico local (autorizadas, peças, tempo de reparo);
- Tempo médio de recarga e impacto na jornada dos técnicos.

Esses fatores foram projetados para um horizonte de 5 anos de operação, Figura IX.4, refletindo o ciclo de uso médio da frota e permitindo simular a totalidade dos custos e dos impactos operacionais no longo prazo. A escolha do BYD eT3, apesar de tecnicamente compatível com a função da Fiat Fiorino, exigia novas formas de gestão e de infraestrutura, o que tornava a análise ainda mais criteriosa e sensível aos riscos.

A seguir, a seção 4.3 detalha os resultados da simulação financeira, permitindo uma comparação objetiva entre os dois modelos com base no Custo Total de Propriedade (TCO) e em indicadores econômicos, como ROI e payback.

IX.4.3 SIMULAÇÃO DE CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE (TCO)

Com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da eletrificação da frota, foi realizada uma simulação de Custo Total de Propriedade (TCO) para um horizonte de 5 anos, considerando 15 veículos em regime

Atributos Multicritério do Veículo	Veículo a Combustão	Veículo Elétrico
Modelo	FIAT Fiorino	BYD eT3
Valor do <i>Leasing</i> (por mês)	R\$ 2.550,00 (unidade)	R\$ 7.220,00 (unidade)
Autonomia	≈ 600 km	≈ 300 km
Manutenção	Convencional	Convencional
Combustível	Gasolina	Eletricidade
Tributos	Sim	Isento
Valor Residual	Baixo	Incerto
Infraestrutura	Descentralizada	Centralizada
Assistência Técnica	Alta Disponibilidade	Restrita

Figura IX.4: Comparativo entre Frotas Combustão X Elétrica. Fonte: Autores (2025).

de *leasing*, modelo adotado pela empresa para garantir previsibilidade e diluição dos custos ao longo do tempo.

A simulação levou em conta os seguintes componentes:

- Custo mensal do *leasing*;
- Gasto médio com combustível (gasolina) ou energia elétrica;
- Despesas de manutenção preventiva e corretiva;
- Incidência de IPVA (isenção no caso do veículo elétrico);
- Diferença na infraestrutura de apoio (recarga, suporte técnico, mobilidade logística).

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Com base nesses parâmetros, os valores projetados para o período de 5 anos eram os seguintes:

- TCO unitário Fiat Fiorino (combustão): R\$ 229.100,00

- TCO unitário BYD eT3 (elétrico): R\$ 459.480,00

A diferença de custo por unidade foi de R\$ 230.380,00, o que representa um aumento de aproximadamente 100% na comparação direta.

Extrapolando para a frota de 15 veículos, os resultados foram, Figura IX.5:

Tipo de Veículo	TCO por Unidade	TCO total para 15 Veículos
Fiat Fiorino	R\$ 229.100,00	R\$ 3.436.500,00
BYD eT3 Elétrico	R\$ 459.480,00	R\$ 6.892.200,00

Figura IX.5: Resultado Simulação. Fonte: Autores (2025).

Apesar do BYD eT3 apresentar economia significativa com energia elétrica (redução de cerca de 64% em relação ao gasto mensal com combustível) e isenção de IPVA, o impacto do alto valor do *leasing* e da ausência de infraestrutura própria de recarga superava os benefícios financeiros.

ANÁLISE DE INDICADORES ECONÔMICOS

Além do TCO, foi simulado um cenário com economia operacional mensal de R\$ 1.000,00 por veículo elétrico, considerando possíveis ganhos decorrentes da redução de manutenção e abastecimento.

Mesmo assim, os resultados financeiros permaneceram desfavoráveis:

- Retorno sobre o Investimento (ROI): -74
- Payback estimado: mais de 19 anos

Esses indicadores evidenciam que, mesmo com ganhos operacionais, o custo adicional da eletrificação não seria recuperado em um horizonte razoável. O tempo de retorno previsto estava completamente desalinhado com o ciclo de renovação da frota da empresa, que gira entre 3 e 4 anos, tornando o projeto financeiramente inviável naquele momento.

IX.4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ESTUDO DE CASO

A análise integrada de fatores técnicos, operacionais, econômicos e organizacionais permitiu à empresa concluir que, naquele momento, a eletrificação da frota não era viável sob as condições existentes. O estudo revelou uma série de barreiras práticas, como o alto custo do *leasing*, a falta de infraestrutura de recarga, a necessidade de treinamento especializado e a resistência interna, que comprometiam a previsibilidade e a continuidade operacional do serviço.

Embora houvesse vantagens pontuais, como a economia de energia elétrica e a isenção de tributos, como o IPVA, elas foram insuficientes para compensar os elevados custos totais da operação com veículos elétricos. O retorno sobre o investimento negativo e o longo prazo de payback estimado (acima de 19 anos) reforçaram o desalinhamento com o ciclo de renovação de frota da empresa, de três a quatro anos.

Contudo, longe de ser um insucesso, o estudo serviu como um importante ponto de partida para o amadurecimento institucional. Ele estabeleceu uma base de conhecimento interno e criou uma metodologia própria de avaliação, contribuindo para decisões futuras mais alinhadas à realidade tecnológica, regulatória e financeira da organização.

IX.5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A eletrificação de frotas operacionais tem sido amplamente discutida como um passo natural rumo à sustentabilidade urbana. No entanto, ao transpor essa tendência para o contexto real de empresas prestadoras de serviços, especialmente aquelas que operam em áreas metropolitanas complexas como São Paulo, surge uma série de desafios técnicos, financeiros e organizacionais que precisam ser enfrentados com racionalidade e planejamento estratégico.

Este capítulo apresentou, com base em um estudo de caso real, os fatores que inviabilizaram a transição para veículos elétricos em uma empresa de serviços técnicos. Os principais obstáculos observados foram: o alto custo inicial de aquisição ou *leasing*; a ausência de infraestrutura adequada de recarga; a inexistência de políticas claras para compensação de energia elétrica na recarga domiciliar; e as incertezas quanto ao valor residual dos veículos e à eficiência da operação no novo modelo.

Apesar disso, o estudo também revelou aprendizados valiosos. A análise detalhada de viabilidade proporcionou à empresa uma visão crítica sobre o momento ideal para a inovação, reforçando a importância de alinhar as expectativas tecnológicas à realidade econômica e operacional. Além disso, a experiência serviu de ponto de partida para o desenvolvimento de um *framework* interno de avaliação de novos projetos de mobilidade.

Com base nesse percurso, as seguintes recomendações são sugeridas a empresas e gestores interessados na eletrificação de suas frotas, Figura IX.4:

1. Avaliar o perfil operacional da frota com profundidade, considerando não apenas o consumo e os custos atuais, mas também a logística de abastecimento e a rotina dos colaboradores;
2. Utilizar ferramentas como TCO e ROI com base em dados atualizados, adaptando premissas ao contexto nacional e regional;
3. Mapear os riscos operacionais e elaborar cenários de mitigação, incluindo questões de reembolso de energia, adesão da equipe, infraestrutura residencial e tempo de recarga;
4. Acompanhar a evolução da infraestrutura urbana e dos programas de incentivo, pois mudanças regulatórias e novos investimentos públicos podem alterar drasticamente o cenário de viabilidade;

5. Adotar uma abordagem progressiva, começando com pilotos em áreas com maior maturidade para veículos elétricos e somente depois avançando para uma transição em larga escala.

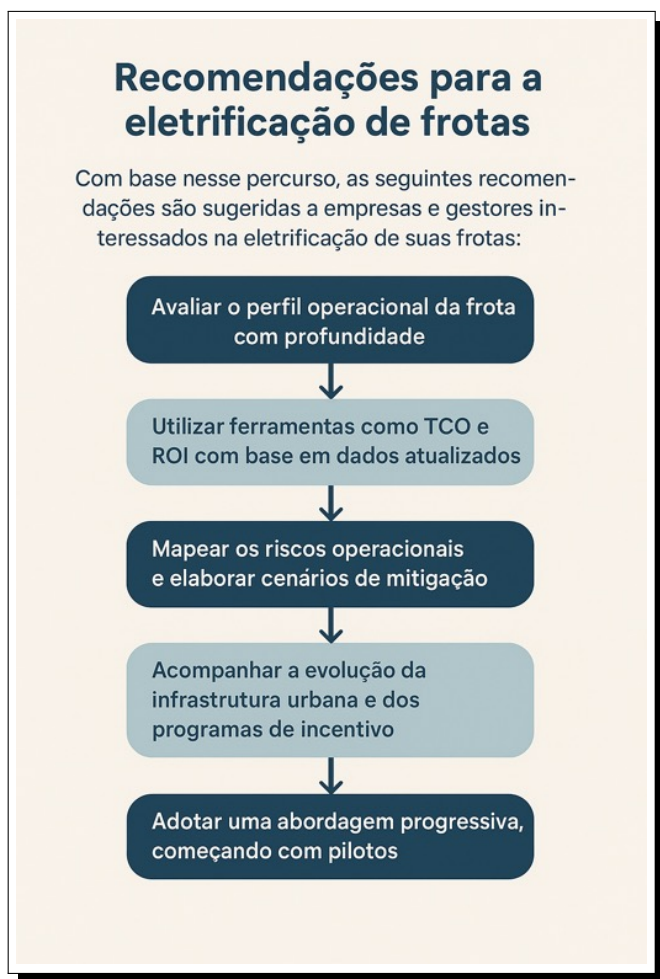


Figura IX.6: Recomendações estratégicas para a eletrificação de frotas.
Fonte: Autores (2025)

Este capítulo reforça a importância de estudos de viabilidade como instrumentos não apenas de decisão, mas também de aprendizado institucional. A eletrificação da frota pode ser uma oportunidade de alinhar

a inovação tecnológica à sustentabilidade e à eficiência operacional — mas somente se realizada no momento certo, com planejamento sólido e baseadas em evidências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2024**. São Paulo: ANFAVEA, 2024. Disponível em: <https://anfavea.com.br> | Acesso em: 24 maio 2025.

- [2] BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Ônibus elétricos no Brasil: desafios, experiências internacionais e propostas**. Rio de Janeiro: BNDES, 2024. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br> | Acesso em: 24 maio 2025.

- [3] BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 4 jan. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades> | Acesso em: 24 maio 2025.

- [4] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-01 – Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais**. Portaria nº 6.730, de 9 de março de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br> | Acesso em: 24 maio 2025.

- [5] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br> |. Acesso em: 24 maio 2025.
- [6] CARVALHO, M. A. Mobilidade urbana sustentável: desafios, inovações e perspectivas. **Revista Vértice**, Bauru, v. 3, n. 1, p. 45–62, 2016.
- [7] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Estudo de caso para a introdução de ônibus elétricos no município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br> |. Acesso em: 24 maio 2025.
- [8] FROTTA, L. H. S. **Gestão de frotas e sustentabilidade**. São Paulo: Saraiva, 2021.
- [9] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022> |. Acesso em: 24 maio 2025.
- [10] KASSAI, J. R.; CASANOVA, S. P. C.; SANTOS, A.; ASSAF NETO, A. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. São Paulo: Atlas, 2015.
- [11] LIMA, L. V. A.; FONTGALLAND, I. L. Mobilidade urbana sustentável para cidades inteligentes. **E-Acadêmica**, v. 3, n. 1, e023180, 2022. Disponível em: <https://eacademica.org/eacademica/article/view/80> |. Acesso em: 24 maio 2025.
- [12] WRI BRASIL. **Mobilidade elétrica no Brasil: desafios e oportunidades**. São Paulo: WRI Brasil, 2020. Disponível em: <https://wribrasil.org.br> |. Acesso em: 24 maio 2025.

X

ELETRIFICAÇÃO E MOBILIDADE SUSTENTÁVEL NAS ZONAS PORTUÁRIAS: UMA ESTRATÉGIA INTEGRADA DE DESCARBONIZAÇÃO URBANA E LOGÍSTICA

Acácio Pereira de Macedo Neto - Universidade Paulista - UNIP ¹

João Gilberto Mendes dos Reis - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP ²

¹Graduado em Tecnologia em Gestão de Startups e Empreendedorismo Digital e Naturologia, Pós-Graduado MBA em Gestão de Portos, Especialização em Avaliações e Perícias de Engenharia, e Mestre em Engenharia da Produção.

²Graduado em Tecnologia em Logística com Ênfase em Transportes e Engenharia Civil, Especialização em Mobilidade Urbana e Sustentável e Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

Paula Ferreira da Cruz Correia – Centro Paula Souza – CPS ³

Gabriel Santos Rodrigues – Universidade Paulista – UNIP ⁴

X.1 INTRODUÇÃO

O enfrentamento da crise climática exige, mais do que nunca, uma reestruturação profunda dos sistemas de transporte e de infraestrutura urbana, pois segundo o Intergovernamental Panel On Climate Change - IPCC [11], o setor de transportes é responsável por cerca de 23% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), sendo que o modal rodoviário é o principal emissor.

Nesse contexto, a mobilidade urbana sustentável emerge como um pilar estratégico para o cumprimento das metas climáticas globais, especialmente em áreas portuárias densamente povoadas. Essas zonas portuárias urbanas ocupam um papel ambivalente no cenário da sustentabilidade e são, ao mesmo tempo, epicentros de atividade econômica e polos intensivos de emissões de carbono e poluição local.

Equipamentos como *Reach Stackers*, RTGs, STS cranes, tratores de terminal e caminhões de transporte intermodal operam majoritariamente com motores a diesel, gerando CO₂, NO_x, SO_x, material particulado (MP_{2.5}) além da intensa poluição sonora, que afeta diretamente a qualidade de vida urbana. Segundo a obra *Ports as Energy Transition Hubs* [22], os portos modernos devem ser compreendidos como plataformas energéticas intermodais, capazes de atuar como vetores de transformação não apenas logística, mas também ambiental e social.

A modernização das funções portuárias exige integração com o tecido urbano, descentralização energética e gestão de externalidades ambientais.” [22]

³Graduada em Tecnologia em Logística e Bacharel e Licenciada em Ciências Biológicas, Mestre e Doutora em Engenharia de Produção

⁴Graduado em Logística e Transportes, Pós-Graduado em Especialização em Logística e Operações, Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

Nesse contexto, o redesenho das relações entre porto e cidade, especialmente sob o paradigma *Ambiental, Social e Governamental* (ESG), tem sido abordado por organismos internacionais como a Associação Internacional Cidades-Portos (AIVP). A Agenda AIVP 2030, reconhecida pela ONU, propõe que os portos devem assumir compromissos concretos com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial:

1. ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura;
2. ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis;
3. ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima.

Essa integração sugere que os portos devem não apenas mitigar seus impactos ambientais, mas atuar como agentes regenerativos do território urbano, por meio de ações como:

1. Eletrificação de equipamentos pesados;
2. Transporte limpo para trabalhadores portuários;
3. Geração e distribuição de energia renovável nos terminais.

A Gestão da Mobilidade Urbana Sustentável enfatiza que a mobilidade urbana deve ser entendida como fenômeno logístico e socioambiental, integrando os fluxos de passageiros, cargas e energias. O caso dos portos é paradigmático, uma vez que trata de áreas que articulam deslocamentos intraurbanos, regionais e globais, exigindo soluções coordenadas de mobilidade elétrica, infraestrutura verde e governança intersetorial.

Adicionalmente, o Guia de Melhores Práticas de Sustentabilidade Portuária [3] propõe a adoção de:

1. Corredores logísticos verdes;
2. Frotas internas 100% elétricas;

3. Sistemas de transporte de trabalhadores com emissão zero;
4. Inventários de GEE e planos portuários de descarbonização.

Tais estratégias contribuem para transformar os portos em zonas especiais de mobilidade sustentável urbana, como defendido por Zhang et al. [24], que apontam que portos com planos de eletrificação integrada podem reduzir suas emissões totais em até 70% no médio prazo.

X.2 OPORTUNIDADE PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL

Portos brasileiros como Santos, Suape, Rio Grande e Pecém estão inseridos em contextos urbanos vulneráveis, onde a presença portuária impacta diretamente na qualidade de vida dos moradores dos bairros residenciais circunvizinhos, e a adoção de políticas de eletromobilidade e digitalização das operações representa uma oportunidade ímpar de alinhar o setor à transição energética global e às demandas locais por qualidade de vida.

Neste sentido Cutrim [7], destaca que a moderna relação porto cidade deve ser compreendida como design social cooperativo, voltado à criação de soluções compartilhadas para problemas históricos como poluição, tráfego, segregação urbana e desigualdades no acesso à infraestrutura.

X.3 OPERAÇÕES PORTUÁRIAS E A PEGADA DE CARBONO URBANA

As zonas portuárias, de modo geral ficam localizadas em áreas urbanas densamente povoadas, e possuem ambientes operacionais de uso intensivos de energia, são responsáveis por volumes consideráveis de emissões

atmosféricas, ruído e consumo de combustíveis fósseis. Essas externalidades impactam a saúde pública, a qualidade do ar e os indicadores climáticos das cidades portuárias. A literatura científica mais recente aponta que até 70% das emissões urbanas diretas relacionadas ao setor logístico em cidades portuárias provêm da movimentação terrestre e portuária de cargas.

Conforme Zhang et al. [24], as emissões de CO₂ nos portos provêm majoritariamente do uso de equipamentos movidos a diesel, como empilhadeiras de grande porte, guindastes sobre pneus (RTGs), guindastes de cais (STS), tratores de terminal e carretas, o estudo ressalta que estratégias como a eletrificação dos equipamentos, uso de energias limpas, digitalização e microgrids inteligentes são os principais caminhos para a descarbonização portuária sustentável.

X.4 CASOS TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

X.4.1 PORTO DE ROTTERDAM: HUB EUROPEU DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

O Porto de Rotterdam, considerado o maior porto da Europa, estabeleceu como objetivo estratégico alcançar a neutralidade climática até 2050. Como meta intermediária, busca reduzir em pelo menos 55% as emissões de gases de efeito estufa até 2030, em comparação aos níveis de 1990, em alinhamento com as metas climáticas dos Países Baixos e da União Europeia. Para atingir esses objetivos, o porto vem investindo em infraestrutura energética sustentável, captura e armazenamento de carbono (CCS), eletrificação de equipamentos, expansão do uso de energias renováveis, desenvolvimento de combustíveis de baixo carbono e digitalização dos fluxos logísticos [18]:

1. Ampliação da infraestrutura de energia renovável, com integração de geração eólica e solar ao complexo portuário;

2. Implementação do Projeto Porthos, destinado ao transporte e armazenamento geológico de CO₂ proveniente das indústrias do complexo portuário de Rotterdam, com previsão de armazenamento de aproximadamente 37 milhões de toneladas de CO₂ em campos de gás esgotados sob o Mar do Norte ao longo de 15 anos [19, 18];
3. Expansão da economia circular, uso de biomassa sustentável, aproveitamento de calor residual industrial e desenvolvimento de soluções energéticas integradas para reduzir a dependência de combustíveis fósseis;
4. Ampliação da eletrificação de equipamentos portuários, utilização de *shore power* para embarcações atracadas, incentivo à produção e distribuição de hidrogênio de baixo carbono e modernização dos *clusters* industriais e logísticos.

Além disso, há o uso extensivo de RTGs elétricos, AGVs autônomos e *shore power* para embarcações atracadas, medidas que reduziram em até 60% as emissões locais diretas na última década.

A adoção de medidas para a eletrificação e uso de tecnologias de baixo carbono nos clusters industriais e logísticos de Rotterdam são exemplos concretos de como a transição energética pode ser conduzida em escala portuária [23].

X.4.2 PORTO DE LOS ANGELES: LIDERANÇA REGULATÓRIA E TÉCNICA

O Porto de Los Angeles, em conjunto com o Porto de Long Beach, desenvolve desde 2006 o *Clean Air Action Plan* (CAAP), que tem como meta eletrificar 100% dos equipamentos de movimentação até 2030, o plano ainda contempla ações que incluem:

1. Substituição de empilhadeiras diesel por modelos 100% elétricos e a hidrogênio;

2. Implantação de microgrids e sistemas de shore power com suporte solar;
3. Testes com top handlers elétricos, caminhões a célula de hidrogênio e guindastes STS elétricos.

A abordagem californiana de inovação portuária combina políticas públicas, incentivos fiscais e exigências ambientais para acelerar a transição energética em terminais urbanos [4], e os resultados dessas ações indicam a possibilidade de reduções em 97% em MP_{2.5}, 87% em NO_x, e em mais de 70% em ruído industrial nas áreas vizinhas.

X.4.3 PORTO DE SINGAPURA: AUTOMAÇÃO, ENERGIA LIMPA E MOBILIDADE INTELIGENTE

O Porto de Singapura, está passando por uma transformação, com o desenvolvimento do Porto de Tuas. O projeto do Porto de Tuas, é ambicioso e inovador, uma vez que busca ser o maior porto de contêineres do mundo, com capacidade para movimentar até 65 milhões de TEUs anualmente, o projeto, após totalmente concluído, além disso, ainda será o maior terminal automatizado e 100% elétrico do mundo, e sua conclusão está prevista para 2040 [21].

As ações no desenvolvimento do Projeto do Porto de Tuas incluem:

1. Uso de AGVs elétricos autônomos, guindastes de cais elétricos e energia solar em telhados;
2. Predição de redução de 60% nas emissões até 2030;
3. Smart grid e sistemas de IA para otimização do consumo e do desempenho operacional.

O porto também avança com infraestrutura para receber frotas de balsas e embarcações elétricas (e-HC), micromobilidade interna com

ônibus e vans autônomos e ainda plataformas digitais para integração com transporte público urbano.

X.5 REFLEXÕES PARA O CENÁRIO BRASILEIRO

Os exemplos internacionais indicam que a eletrificação portuária e a descarbonização logística não são apenas viáveis, mas urgentes e economicamente justificáveis, e os Portos de Santos, Itaguaí e Suape poderiam beneficiar-se enormemente da:

1. Substituição de frotas por veículos e empilhadeiras elétricas;
2. Criação de hubs de energia limpa com painéis solares, baterias e rede shore power;
3. Implementação de transporte coletivo elétrico para trabalhadores portuários, com impacto direto na mobilidade urbana metropolitana.

A adoção coordenada de energias renováveis e automação pode gerar reduções de até 70% nas emissões em 10 anos, mesmo com o aumento da produtividade portuária [24].

X.6 ELETRIFICAÇÃO PORTUÁRIA COMO EIXO DA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

A eletrificação das operações logísticas e de transporte em zonas portuárias representa uma das estratégias mais eficazes para alinhar os portos aos princípios da mobilidade urbana sustentável. Em cidades portuárias como Santos, Suape ou Itaguaí, em que a proximidade física entre as

operações logísticas e áreas residenciais é intensa, a substituição de equipamentos movidos a diesel por alternativas elétricas oferece benefícios diretos à saúde pública, à qualidade do ar e à redução das desigualdades ambientais.

Segundo Zhang et al. [24], a eletrificação portuária pode reduzir entre 25% e 70% das emissões totais de CO₂, especialmente quando combinada com gestão energética digitalizada, fontes renováveis e otimização operacional integrada.

X.6.1 EQUIPAMENTOS-CHAVE PARA A ELETRIFICAÇÃO

Diversos equipamentos portuários já apresentam versões eletrificadas com desempenho comparável ou superior aos modelos a diesel, e entre os principais equipamentos eletrificados destacam-se:

1. *Reach Stackers* elétricos: utilizados para movimentação de contêineres empilhados;
2. RTGs (*Rubber-Tyred Gantry Cranes*): guindastes de pátio com tração elétrica ou híbrida;
3. Guindastes STS (*Ship-to-Shore*): modelos full-electric com regeneração de energia;
4. Empilhadeiras elétricas (*Top Loaders* e *Small Forklifts*);
5. Tratores de Terminal e caminhões intra-portuários (*Yard tractors EV*);
6. AGVs (*Automated Guided Vehicles*): elétricos, autônomos e integrados a redes de carregamento.

A substituição de equipamentos a diesel por elétricos apresenta resultados significativos nas reduções de emissões de gases de efeito estufa e na mitigação de ruídos. O caso do Porto de Los Angeles, é um exemplo

prático que confirma os benefícios alcançados com a substituição de equipamentos a diesel por elétricos, pois foram observadas reduções de mais de 90% em emissões de NOx e material particulado.

X.6.2 INFRAESTRUTURA DE APOIO: ENERGIA, TECNOLOGIA E PLANEJAMENTO

Para garantir a viabilidade operacional da eletrificação, os portos devem investir em:

a) Infraestrutura de Carregamento

1. Carregadores rápidos DC para equipamentos pesados;
2. Estações solares para recarga de empilhadeiras e AGVs;
3. Sistemas shore power para conectar navios à rede elétrica local durante a atracação.

b) Fontes de Energia Renovável Integrada

1. Parques solares fotovoltaicos em telhados logísticos e estacionamentos;
2. *Microgrids* híbridas (solar + baterias) para segurança energética;
3. Aplicação de *green hydrogen* para equipamentos de maior porte ou longa autonomia.

c) Digitalização e Otimização Energética

1. Monitoramento de consumo por equipamento;
2. Algoritmos de priorização de recarga conforme horários de pico;
3. Gêmeos digitais logísticos e sistemas para Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA) aplicados à eficiência energética.

X.6.3 CONTRIBUIÇÕES À MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

A adoção de inovações sustentáveis, como a eletrificação portuária, os benefícios percebidos, não ficam restritos às áreas internas do terminal, mas a toda comunidade circunvizinha, pois ela contribui diretamente com a mobilidade urbana ao:

1. Reduzir emissões urbanas nos corredores logísticos e anéis viários, onde circulam carretas e tratores de terminal;
2. Diminuir o tráfego pesado e o ruído urbano, tornando as vias próximas aos portos mais seguras para pedestres e ciclistas;
3. Viabilizar transporte coletivo limpo para trabalhadores portuários, com micro-ônibus e vans elétricas;
4. Incentivar a multimodalidade sustentável, ao integrar hidrovias, ferrovias e transporte elétrico urbano.

Segundo a Agenda AIVP 2030, a eletrificação portuária é uma das prioridades para que os portos contribuam com os ODS 11 (Cidades Sustentáveis) e 13 (Ação Climática) por meio da criação de “zonas logísticas verdes” e mobilidade urbana limpa integrada.

X.6.4 PROPOSTA PARA O CENÁRIO BRASILEIRO

A adoção de estratégias de inovação e mobilidade urbana sustentável, nos portos públicos e privados brasileiros, elevam eficiência e sustentabilidade nas operações, e podem ser alcançadas adotando algumas medidas, como segue:

1. Elaboração de Planos Diretores de Eletrificação Portuária (PDEP) alinhados ao Plano Nacional de Logística Portuária;

2. Criação de corredores de acesso 100% elétricos, conectando portos às zonas retroportuárias;;
3. Estímulo à formação técnica de operadores e técnicos de manutenção de frotas elétricas;
4. Parcerias com instituições federais para pesquisa em baterias, motores e *microgrids*;
5. Inclusão de indicadores de eletrificação nos relatórios ESG obrigatórios para terminais arrendados.

X.6.5 INDICADORES E IMPACTOS TÉCNICOS DA ELETRIFICAÇÃO PORTUÁRIA

A eletrificação de equipamentos e veículos nos portos vai além de uma solução tecnológica, representa uma política estruturante de mobilidade urbana sustentável, com múltiplos impactos, que podem ser mensurados em aspectos de qualidade de vida e mobilidade nas cidades, no meio ambiente, nas atividades dos trabalhadores e no desempenho econômico das operações.

Essa mensuração é comprovada por meio de estudos internacionais, recentes, e aponta que a adoção de equipamentos portuários eletrificados pode promover transformações significativas na qualidade do ar, nos ruídos, na saúde e bem-estar, na viabilidade econômica e na integração com energias renováveis, como exposto na sequência.

QUALIDADE DO AR E REDUÇÃO DE EMISSÕES

Equipamentos portuários movidos a diesel emitem grandes volumes de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e partículas inaláveis (MP_{2.5}), impactando diretamente a saúde das comunidades vizinhas e os índices de poluição urbana. Zhang et al. [24] estimam que a substituição progressiva por equipamentos

elétricos pode reduzir em até 70% as emissões locais de CO₂ em portos urbanos densos.

No Porto de Los Angeles, após a implementação do Clean Air Action Plan, foi documentada a redução de:

1. 97% em material particulado (MP_{2.5});
2. 87% em óxidos de nitrogênio (NO_x);
3. 15% em CO₂, mesmo com o aumento do volume de cargas.

Esses dados demonstram que a eletrificação tem alto potencial para aliviar a carga poluidora sobre áreas residenciais e escolares localizadas próximas aos portos, especialmente em contextos latino-americanos, como no entorno da zona portuária de Santos.

RUÍDO E CONFORTO URBANO

O ruído industrial gerado por tratores, empilhadeiras e guindastes diesel é uma das principais reclamações da população que vive nas cercanias de zonas portuárias. O Guia de Melhores Práticas de Sustentabilidade Portuária destaca que portos brasileiros estão adotando monitoramento ambiental sonoro e estratégias para mitigar impactos acústicos com a substituição de motores de combustão por elétricos silenciosos.

Além do conforto auditivo, a redução do ruído favorece a preservação da fauna urbana e costeira, como pássaros e mamíferos marinhos, conforme indicado pelos protocolos da IMO e pelo inventário de impactos nos ODS 14 e 15.

SAÚDE E BEM-ESTAR URBANO

A literatura médica reconhece a associação entre a exposição prolongada a NO_x e material particulado (MP_{2.5}) e doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer de pulmão. Segundo a OMS [17], cada aumento de 10 µg/m³ em MP_{2.5} está associado a uma elevação de 15% na taxa de mortalidade por doenças respiratórias em áreas urbanas densas.

Portanto, a eletrificação portuária atua como política pública preventiva de saúde urbana, especialmente benéfica para crianças, idosos e trabalhadores portuários. A ANTAQ recomenda a inclusão de indicadores de saúde pública e qualidade do ar nos relatórios de desempenho ESG dos terminais arrendados.

VIABILIDADE ECONÔMICA E RETORNO SOBRE INVESTIMENTO (ROI)

Embora o custo inicial de aquisição de equipamentos elétricos possa ser até 40% superior ao de modelos a diesel, estudos indicam que essa diferença tende a ser compensada ao longo do ciclo de vida por ganhos de eficiência energética, menor consumo de combustível e redução de manutenção [16, 10]:

1. A vida útil operacional pode ser superior, em razão do menor número de componentes mecânicos sujeitos a desgaste;
2. Os custos de manutenção e energia podem ser significativamente inferiores aos dos equipamentos a combustão, com reduções operacionais que podem alcançar entre 50% e 75% em aplicações intensivas [20];
3. O payback pode ocorrer em médio prazo, especialmente entre 3 e 5 anos, quando há alta intensidade operacional, tarifas energéticas favoráveis, incentivos públicos, créditos de carbono ou financiamento verde [6, 10].

O Porto de Singapura, por exemplo, está adotando um processo de integração e eletrificação por meio de *microgrids*, IA e *digital twin*, que pode reduzir em até 30% os custos operacionais logísticos no Porto de Tuas [8].

Assim, o retorno sobre investimento da eletrificação portuária deve ser avaliado pelo custo total de propriedade, considerando aquisição, energia, manutenção, infraestrutura de carregamento, emissões evitadas, digitalização operacional e competitividade dos terminais.

INTEGRAÇÃO COM ENERGIAS RENOVÁVEIS

A maximização dos impactos positivos da eletrificação ocorre quando ela é associada ao uso de fontes renováveis, e são exemplos dessa integração os Portos de Rotterdam e Suape. Nesses portos foi observado a adoção de:

1. Telhados solares em galpões logísticos;
2. Estações de recarga com baterias de lítio e controle digital;
3. Sistemas híbridos com energia solar, eólica e hidrogênio verde.

Essa infraestrutura reduz o custo da energia no longo prazo e garante resiliência energética frente a apagões ou choques tarifários, como recomendam os ODS 7 e 13.

X.6.6 INDICADORES DE DESEMPENHO RECOMENDADOS

O conjunto de indicadores técnicos fundamentais para o monitoramento da eficácia da eletrificação portuária, com foco na sua contribuição direta à mobilidade urbana sustentável e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), é apresentado na Figura X.1.

Esses indicadores foram selecionados com base em estudos internacionais de alto impacto [24, 8, 3] e refletem tanto variáveis ambientais quanto operacionais.

O objetivo da tabela é fornecer uma base de medição padronizada que permita comparar, auditar e aprimorar os resultados da transição energética em terminais portuários brasileiros e internacionais.

Os indicadores propostos na Tabela 1, estão alinhados e organizados por unidade de medida, seguindo metodologias reconhecidas como o GHG Protocol, Normas ISO 14064, diretrizes da ABNT NBR 10151 e inventários ambientais públicos, como os da CETESB e do Programa Brasileiro GHG Protocol, conforme segue:

Indicador	Unidade	Fonte sugerida
Redução de CO ₂ por tonelada	kg CO ₂ /t	GHG Protocol + ISO 14064
Redução de ruído ambiental	dB(A)	NBR 10151 (ABNT)
Economia operacional pós-eletrificação	R\$/ano	Balanço operacional portuário
Redução de MP2.5 em áreas urbanas	µg/m ³	CETESB / Inventário GEE local
Número de equipamentos eletrificados	unidades	ANTAQ ESG Report
Energia renovável produzida no porto	MWh/mês	Medidores locais + CCEE

Figura X.1: Indicadores de Desempenho. Fonte: Autores (2025)

1. Eficiência ambiental, ao mensurar a redução direta de gases de efeito estufa (GEE), partículas finas e ruído;
2. Viabilidade técnica e econômica, ao estimar o retorno sobre investimento das soluções elétricas adotadas;
3. Integração urbano-portuária, com indicadores voltados à infraestrutura, acesso limpo e impacto em áreas residenciais adjacentes
4. Desempenho ESG portuário, permitindo a construção de relatórios anuais com dados comparáveis e auditáveis.

A adoção sistemática desses indicadores contribui para o aprimoramento da governança ambiental portuária, fortalece a transparência das operações e estimula decisões baseadas em evidências, em consonância com os compromissos da Agenda 2030 e com as políticas nacionais de logística e clima.

X.6.7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise técnica e científica desenvolvida ao longo deste capítulo evidencia que a eletrificação das operações portuárias constitui uma estratégia prioritária e estruturante para a mobilidade urbana sustentável nas cidades portuárias. Sua implementação reduz significativamente as emissões atmosféricas (CO₂, NO_x e MP_{2.5}), contribui para a melhoria da qualidade do ar, do conforto sonoro e da saúde pública urbana, e ainda se revela economicamente viável no médio prazo, com retornos sobre investimento (ROI) em torno de 3 a 5 anos.

As experiências internacionais apresentadas – Porto de Rotterdam, Los Angeles e Singapura (Porto de Tuas) – demonstram que a integração entre infraestrutura portuária eletrificada, gestão energética digitalizada e transporte limpo para trabalhadores gera impactos positivos diretos sobre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo os ODS 9 (infraestrutura resiliente e inovadora), ODS 11 (mobilidade urbana inclusiva e sustentável) e ODS 13 (ação climática com mitigação de GEE).

Além disso, o estudo evidencia que os portos podem atuar como hubs energéticos estratégicos, promovendo a distribuição de energia limpa, conectando modais logísticos de baixa emissão e sendo catalisadores da regeneração urbana sustentável.

RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS E ESTRATÉGICAS

A) Para Autoridades Portuárias e Operadores Logísticos:

1. Elaborar Planos Diretores de Eletrificação Portuária (PDEP) com metas progressivas de substituição da frota diesel por equipamentos elétricos (*Reach Stackers*, RTGs, tratores de terminal etc.);
2. Implantar infraestruturas de carregamento rápido, shore power, e microgrids conectadas a fontes renováveis (solar, eólica, hidrogênio verde);

3. Monitorar e publicar KPIs ambientais, como redução de CO₂ por tonelada movimentada, qualidade do ar e ruído em zonas urbanas adjacentes.

B) Para Gestores Públicos e Municípios:

1. Criar políticas de integração urbano-portuária, promovendo transporte coletivo limpo para trabalhadores, corredores logísticos verdes e requalificação dos acessos viários;
2. Incentivar a implantação de zonas de baixas emissões no entorno portuário, com incentivos fiscais para operadores que adotem tecnologias limpas;
3. Estabelecer comitês porto-cidade com foco em mobilidade, qualidade ambiental e indicadores ODS.

C) Para o Governo Federal e Agências Regulatórias:

1. Integrar os objetivos da eletrificação portuária aos planos nacionais como o Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP), Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Renova-Bio e instrumentos de financiamento climático (ex.: créditos de carbono);
2. Estimular chamadas públicas e concessões com critérios de Governança, Social e Ambiental (ESG) e compromissos de eletrificação;
3. Criar linhas de crédito para modernização elétrica e digital de terminais portuários.

RECOMENDAÇÃO PARA PESQUISA E EDUCAÇÃO

1. Fomentar pesquisas aplicadas sobre viabilidade técnico-econômica da eletrificação em portos brasileiros;

2. Incentivar projetos-piloto com integração entre universidades, operadores e governo;
3. Desenvolver formações técnicas específicas para manutenção, operação e planejamento de frotas elétricas portuárias, promovendo qualificação verde dos trabalhadores do setor.

A eletrificação portuária representa mais do que uma inovação técnica, pois trata-se de um instrumento de transformação urbana e climática, e os portos que estão adotando a mobilidade elétrica, energias renováveis, gestão inteligente e participação comunitária tornam-se protagonistas de uma nova geração de cidades portuárias sustentáveis.

O Brasil possui um enorme potencial para liderar essa agenda na América Latina, articulando políticas públicas, infraestrutura estratégica e justiça ambiental com foco no futuro sustentável das cidades e das operações logísticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [2] AIVP – ASSOCIATION INTERNATIONALE VILLES ET PORTS. *Agenda 2030: 10 Compromissos para Cidades-Porto Sustentáveis*. Le Havre: AIVP, 2022. Disponível em: <https://www.aivp.org/en/aivp-2030-agenda/>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [3] ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. *Guia de Melhores Práticas de Sustentabilidade Portuária*. Brasília: ANTAQ, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antag>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [4] CARB – CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD. *Advanced Clean Fleets Regulation*. Sacramento: CARB, 2022. Disponível em: <https://ww2.arb.ca.gov/>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [5] CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2023*. São Paulo: CETESB, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2025.

- [6] CLARK MATERIAL HANDLING COMPANY. **Shifting gears:** trading gas for electric forklifts. 2024. Disponível em: <https://www.clarkmhc.com/shifting-gears-trading-gas-for-electric-forklifts/>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- [7] CUTRIM, Antonio J. S. Portos, cidades e transição energética: uma abordagem de design cooperativo. In: *Anais do Congresso Nacional de Infraestrutura e Sustentabilidade Urbana*. São Luís: UEMA, 2022.
- [8] GABRULEVICHUTE, Violetta. *Ports in Energy Transition: Case of Port of Rotterdam and Port of Singapore*. 2019. Dissertação (Mestrado) – Erasmus University Rotterdam. Disponível em: <https://thesis.eur.nl/pub/49095/>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [9] GHG PROTOCOL. *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*. World Resources Institute, 2014. Disponível em: <https://ghgprotocol.org>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [10] IDSO, S. K. et al. **Port Electrification Handbook:** a reference to aid U.S. port energy transitions. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory, 2024. PNNL-36016. Disponível em: https://www.pnnl.gov/sites/default/files/media/file/Port_Electrification_Handbook_FINAL.pdf. Acesso em: 11 jun. 2026.
- [11] IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change – Working Group III*. Genebra: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

- [12] LIMA, M. G. B.; ANDRADE, M. F. Green ports in Brazil: ESG indicators and operational sustainability in public terminals. *Journal of Cleaner Production*, v. 389, p. 136807, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.136807>.
- [13] MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (BRASIL). *Plano Nacional de Logística Portuária – PNL*. Brasília: MINFRA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [14] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). *Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNM*. Brasília: MMA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [15] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL). *Renova-Bio – Política Nacional de Biocombustíveis*. Brasília: MME, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [16] OLIVARI, E. et al. Ports Go Green: a cost-energy analysis applied to a case study on evaluating the electrification of yard tractors. **The Open Transportation Journal**, v. 18, 2024. DOI: 10.2174/0126671212308027240430114324. Disponível em: <https://opentransportationjournal.com/VOLUME/18/ELOCATOR/e26671212308027/FULLTEXT/>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- [17] OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Air quality guidelines – Global update 2021: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Genebra: OMS, 2022. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [18] PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY. **Climate transition plan for the port area and the Port of Rotterdam**

- dam Authority.** Rotterdam: Port of Rotterdam Authority, 2026. Disponível em: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2026-02/climate-transition-plan-portofrotterdam.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- [19] PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY. **Porthos.** Rotterdam: Port of Rotterdam Authority, 2026. Disponível em: <https://www.portofrotterdam.com/en/building-port/ongoing-projects/porthos>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- [20] RELILIFT. **Electric Fork Lift vs. Traditional Lift:** a comparison. 2025. Disponível em: <https://www.relilift.com/Electric-Fork-Lift-vs-Traditional-Lift-A-Comparison>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- [21] SINGAPORE – MARITIME AND PORT AUTHORITY. *Tuas Next Generation Port.* Maritime and Port Authority of Singapore, 2024. Disponível em: <https://www.mpa.gov.sg>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [22] SORNN-FRIESE, Henrik et al. *Ports as Energy Transition Hubs: An Exploratory Study.* CBS Maritime, Copenhagen Business School, 2024. Disponível em: <https://research.cbs.dk>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [23] WUPPERTAL INSTITUTE. *Carbon Neutral Ports: Solutions for the Transition to Clean Energy.* Wuppertal, 2018. Disponível em: <https://wupperinst.org>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- [24] ZHANG, Lei; ZENG, Qing; WANG, Lin. How to achieve comprehensive carbon emission reduction in ports? A systematic review. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 12, n. 5, p. 715, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse12050715>.

XI

CAFÉ NA CIDADE: UMA ANÁLISE CRÍTICA DA MOBILIDADE URBANA NAS ENTREGAS DE LAST MILE EM CAFETERIAS DE GRANDES CENTROS

Paula Ferreira da Cruz Correia – Centro Paula Souza – CPS ¹

Márcio José Padovan de Antônio – Universidade Paulista – UNIP ²

Acácio Pereira de Macedo Neto - Universidade Paulista - UNIP ³

¹Graduada em Tecnologia em Logística e Bacharel e Licenciada em Ciências Biológicas, Mestre e Doutora em Engenharia de Produção

²Graduado em Tecnologia em Processos Gerenciais e Licenciatura em Filosofia, Pós-Graduado em Gestão de Projetos e Psicologia Organizacional, Mestre e Doutorando em Engenharia de Produção.

³Graduado em Tecnologia em Gestão de Startups e Empreendedorismo Digital e Naturologia, Pós-Graduado MBA em Gestão de Portos, Especialização em Avaliações e Perícias de Engenharia, e Mestre em Engenharia da Produção.

João Gilberto Mendes dos Reis - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP ⁴

XI.1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é uma das principais questões estruturais enfrentadas pelas grandes cidades contemporâneas. Sua complexidade cresce à medida que as metrópoles se expandem, diversificam suas funções econômicas e aumentam a demanda por transporte de pessoas e bens. Neste contexto, a logística urbana torna-se um fator crítico de desempenho para a dinâmica econômica e social dos centros urbanos. Particularmente, a etapa de entrega conhecida como *Last Mile* — a “última milha” — concentra desafios estratégicos de ordem técnica, ambiental, regulatória e financeira.

A entrega de produtos no ambiente urbano, especialmente nas áreas mais adensadas, é diretamente afetada por problemas estruturais como congestionamentos, ocupação desordenada, limitações viárias, ausência de políticas integradas e déficit de infraestrutura logística de apoio. Segundo o Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), a etapa da última milha representa de 40% a 55% do custo logístico total e é, simultaneamente, a mais volátil e suscetível a fatores urbanos incontrolláveis, como o trânsito e a imprevisibilidade da demanda [9].

A Organização das Nações Unidas (ONU), por meio de suas iniciativas voltadas para cidades sustentáveis (ODS 11), aponta que a reestruturação da mobilidade urbana é essencial para reduzir desigualdades, mitigar impactos ambientais e melhorar a produtividade econômica nas cidades. Estudos do *World Urbanization Prospects* [15] indicam que mais de 68% da população mundial viverá em áreas urbanas até 2050, ampliando significativamente a pressão sobre os sistemas logísticos urbanos.

⁴Graduado em Tecnologia em Logística com Ênfase em Transportes e Engenharia Civil, Especialização em Mobilidade Urbana e Sustentável e Mestre e Doutor em Engenharia de Produção.

Em São Paulo, o maior centro urbano da América do Sul, a situação reflete de forma emblemática os desafios globais. Com mais de 12,3 milhões de habitantes [12], a cidade apresenta uma estrutura territorial marcada por forte concentração econômica na região central e ocupações periféricas de baixa densidade, o que amplia as distâncias médias percorridas nas operações de entrega. Estima-se que o sistema viário da cidade suporte uma frota superior a 9 milhões de veículos [10], agravando os índices de congestionamento que, nos horários de pico, podem ultrapassar 300 km de lentidão simultânea [4].

A Praça da Sé, adotada neste estudo como marco zero da cidade, é mais que um símbolo geográfico. Ela representa a interseção de fluxos comerciais, históricos e logísticos que moldam o comportamento urbano paulistano. Localizada no centro expandido, a Sé articula vias radiais que conectam todas as zonas da capital, além de ser atendida por múltiplos modais de transporte público e serviços comerciais de alta densidade. Contudo, mesmo com essa posição estratégica, a região enfrenta problemas recorrentes de segurança, acessibilidade, zoneamento e circulação de veículos de carga, que limitam sua eficiência como ponto de origem ou transbordo logístico.

No campo das entregas urbanas, há inegáveis avanços a serem considerados. A digitalização de processos, o uso de tecnologias de roteirização com inteligência artificial e a disseminação de sistemas de rastreamento e gestão em tempo real são iniciativas que vêm modernizando o setor. O crescimento de soluções de microdistribuição, como lockers e pequenos hubs logísticos, tem sido testado com êxito em cidades globais e começa a ser implementado no Brasil, especialmente por operadores de comércio eletrônico.

Entretanto, os desafios permanecem significativos. O custo elevado da operação urbana, a baixa previsibilidade dos tempos de deslocamento, as limitações legais para circulação e estacionamento de veículos comerciais e a falta de incentivos estruturantes ao uso de tecnologias limpas são entraves que afetam diretamente a eficiência das entregas. A cidade ainda carece de um sistema logístico urbano integrado ao plane-

jamento territorial, o que compromete sua capacidade de absorver com eficiência o crescimento do consumo e da circulação de mercadorias.

Ao restringir a análise à entrega de café torrado em cafeterias, pode-se observar um microcosmo de todos esses problemas. Embora o café seja um produto leve, não perecível e de fácil manuseio, a sua distribuição urbana envolve custos logísticos consideráveis, que se amplificam em função da distância, do tempo de entrega e da infraestrutura disponível. Cafeterias localizadas em zonas centrais possuem vantagens competitivas quanto à proximidade de centros de distribuição, enquanto estabelecimentos nas zonas periféricas enfrentam custos maiores, prazos mais longos e menor previsibilidade.

Nesse cenário, a mobilidade urbana deixa de ser apenas uma variável operacional e passa a ser um vetor de desigualdade econômica e territorial. A localização geográfica do ponto de venda define não apenas o acesso ao cliente, mas também o custo do produto e a viabilidade da operação. Para muitos estabelecimentos de pequeno porte, como cafeterias artesanais, esses fatores podem comprometer sua sustentabilidade financeira e sua competitividade.

É possível, então, oferecer uma logística urbana eficiente, econômica e sustentável em uma metrópole com as características de São Paulo? A entrega cotidiana de um simples café pode, de fato, escancarar falhas estruturais de planejamento urbano, regulação e investimento público? O que podemos aprender sobre a cidade a partir do trajeto percorrido por uma xícara de café, desde o centro logístico até o balcão de uma cafeteria periférica?

Estas são algumas das perguntas que orientam este capítulo. A partir de uma abordagem crítica e fundamentada, busca-se compreender como a logística de *last mile* afeta a distribuição urbana do café, com ênfase nas entregas realizadas a partir da Praça da Sé para diferentes zonas da cidade. Por meio da análise de dados reais, simulações logísticas e fundamentação técnica, será possível identificar os gargalos, mapear os custos ocultos e propor caminhos para uma logística mais equitativa e sustentável.

Assim, ao analisar a jornada urbana de um produto culturalmente relevante e economicamente expressivo como o café, pretendemos expandir a compreensão sobre os desafios da mobilidade urbana nos grandes centros, propondo uma reflexão ampla sobre as interações entre infraestrutura, território, logística e equidade urbana. O estudo da entrega de café torna-se, portanto, uma lente eficaz para revelar a cidade que temos — e projetar a cidade que queremos.

XI.2 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS E CONTEXTO URBANO

XI.2.1 O QUE É MOBILIDADE URBANA?

A mobilidade urbana pode ser compreendida como a capacidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano com eficiência, segurança, acessibilidade e sustentabilidade. Não se trata apenas do ato de movimentar-se, mas da garantia de acesso aos serviços, às oportunidades econômicas e aos equipamentos públicos, em uma lógica de integração entre território, infraestrutura e política pública. Nesse sentido, a mobilidade urbana transcende o transporte e se vincula diretamente ao direito à cidade, à inclusão social e ao desenvolvimento urbano equilibrado.

De acordo com a Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012), mobilidade é o conjunto de deslocamentos das pessoas e dos bens dentro de um território, sendo a acessibilidade um dos seus princípios fundamentais. A legislação brasileira reforça o papel do transporte como meio — e não como fim — dentro do sistema urbano, estabelecendo que o planejamento da mobilidade deve priorizar modos de transporte não motorizados e coletivos, respeitando a hierarquia de uso do espaço urbano.

A mobilidade urbana é influenciada por múltiplos fatores interdependentes. A infraestrutura viária, por exemplo, define os limites físicos

da circulação: vias expressas, ruas locais, calçadas, ciclovias e corredores de ônibus moldam os caminhos possíveis e seus respectivos níveis de eficiência. Em São Paulo, a malha viária pavimentada ultrapassa 17 mil quilômetros [17], mas sua distribuição é desigual, com maior concentração nas zonas centrais e maior precariedade nas periferias urbanas.

Outro fator essencial é a densidade populacional. A forma como as pessoas se distribuem no território urbano interfere diretamente na demanda por deslocamento. Regiões com maior densidade populacional concentram maior número de viagens por unidade territorial, exigindo mais infraestrutura de transporte e gerando sobrecarga nos sistemas existentes. A zona leste de São Paulo, por exemplo, abriga 4,5 milhões de pessoas — cerca de 36% da população do município —, mas apresenta um déficit significativo de infraestrutura viária e de transporte de carga, o que agrava os problemas de mobilidade [12].

Os modais de transporte disponíveis também impactam a eficiência e a qualidade da mobilidade urbana. A coexistência entre transporte coletivo (ônibus, metrô, trem), individual motorizado (carros e motos), modos não motorizados (bicicletas e caminhadas) e transporte de carga cria um sistema complexo, muitas vezes conflitivo. A sobreposição de demandas em uma mesma infraestrutura — como é o caso das vias mistas utilizadas simultaneamente por automóveis, ônibus e caminhões de entrega — compromete a fluidez e aumenta os custos operacionais de toda a cadeia logística.

O transporte de cargas, embora menos visível no debate público, é parte integrante da mobilidade urbana. A distribuição de mercadorias nos centros urbanos é responsável por parcela significativa da movimentação veicular e do uso do espaço urbano. Em São Paulo, cerca de 45% dos deslocamentos motorizados com finalidade econômica estão relacionados à logística urbana [19]. Isso inclui desde grandes caminhões até motocicletas e veículos leves que realizam entregas porta a porta — como os carros de passeio utilizados na distribuição de café analisada neste estudo.

Além desses fatores tangíveis, elementos institucionais e normativos também influenciam a mobilidade urbana. O regramento de zonas de restrição de circulação de veículos, os horários permitidos para carga e descarga, as políticas tarifárias de estacionamento e os incentivos (ou ausência deles) para o uso de modais sustentáveis afetam diretamente a viabilidade e a eficiência das operações logísticas. No caso da cidade de São Paulo, há regras específicas para circulação de veículos de carga na zona de máxima restrição (ZMRF), que alteram significativamente a dinâmica de entrega no centro expandido.

A tecnologia, embora não seja um fator estruturante por si só, desempenha papel crescente na gestão da mobilidade. Soluções baseadas em geolocalização, roteirização dinâmica com inteligência artificial, monitoramento em tempo real e aplicativos de logística colaborativa têm contribuído para reduzir ineficiências, otimizar rotas e melhorar a previsibilidade das entregas. No entanto, o impacto dessas tecnologias depende da integração com políticas públicas e da adaptação às condições locais de infraestrutura e conectividade.

A acessibilidade — conceito central da mobilidade urbana — deve ser compreendida em sua amplitude: não basta garantir que os veículos circulem; é preciso assegurar que pessoas e mercadorias alcancem seus destinos com segurança, rapidez, conforto e custo razoável. Isso implica em pensar na mobilidade não apenas como deslocamento, mas como direito ao acesso, em especial nas periferias urbanas onde as condições de transporte são mais precárias.

O conceito de mobilidade urbana sustentável amplia ainda mais esse entendimento ao incluir critérios ambientais, sociais e econômicos na avaliação dos sistemas de transporte. A redução das emissões de gases de efeito estufa, a mitigação de impactos ambientais, a inclusão de populações vulneráveis e a promoção de modos ativos e coletivos de transporte são diretrizes fundamentais nesse modelo. No contexto das entregas urbanas, isso implica buscar soluções que aliem eficiência logística a baixa pegada ambiental, como a adoção de veículos elétricos ou híbridos, uso racional das rotas e consolidação de cargas.

Dessa forma, discutir mobilidade urbana envolve mais do que apenas pensar no fluxo de veículos; trata-se de compreender como o território urbano organiza seus fluxos de forma justa, eficiente e integrada. É nesse contexto que se insere o desafio da distribuição urbana de mercadorias — e, em particular, da entrega de café em cafeterias — como um recorte analítico relevante. A partir da Praça da Sé, epicentro da mobilidade paulistana, é possível observar como os elementos que definem a mobilidade urbana influenciam diretamente a eficiência, o custo e a sustentabilidade da logística de última milha.

Portanto, ao explorar o conceito de mobilidade urbana e seus determinantes, este capítulo prepara o terreno para uma análise mais aprofundada sobre como essas variáveis interferem nas operações cotidianas de entrega e moldam o acesso da população aos bens e serviços nas diferentes regiões da cidade.

XI.2.2 CARACTERÍSTICAS DOS GRANDES CENTROS URBANOS

Os grandes centros urbanos contemporâneos são marcados por uma série de características estruturais que influenciam diretamente a mobilidade, o planejamento urbano e a eficiência logística. Entre elas, destacam-se o crescimento desordenado, a desigualdade territorial, a concentração comercial e os desafios logísticos associados a essas dinâmicas. Esses fatores, quando combinados, criam um cenário complexo que dificulta a organização racional dos fluxos urbanos e impõe barreiras significativas ao transporte de mercadorias, especialmente na etapa de last mile.

O crescimento desordenado das metrópoles brasileiras é um dos principais legados do modelo de urbanização acelerado das décadas de 1960 a 1990. Em cidades como São Paulo, a expansão territorial ocorreu de forma horizontal, sem o devido acompanhamento da infraestrutura urbana necessária. A cidade passou de 5,9 milhões de habitantes em 1970 para mais de 12,3 milhões em 2023 [12], com uma ocupação que avançou

sobre áreas ambientalmente frágeis e periferias sem planejamento adequado. Essa expansão descontrolada resultou em territórios extensos, fragmentados e com baixa densidade construtiva em diversas regiões.

Esse padrão de crescimento gerou desigualdades territoriais profundas. A infraestrutura urbana — como pavimentação, transporte público, iluminação, serviços básicos e acessibilidade — encontra-se amplamente concentrada nas áreas centrais e em alguns eixos estruturais. Já nas regiões periféricas, a escassez de equipamentos públicos e a precariedade dos serviços urbanos comprometem a mobilidade e a qualidade de vida. Segundo levantamento do *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), cerca de 25% da população da cidade de São Paulo reside em áreas com infraestrutura insuficiente para atender às necessidades básicas de mobilidade urbana [13].

A desigualdade territorial reflete-se também no acesso às oportunidades econômicas e comerciais. A maior parte dos empregos formais, instituições financeiras, equipamentos culturais e centros de compras está concentrada no centro expandido, especialmente nos distritos de Sé, República, Consolação, Pinheiros, Itaim Bibi e Vila Mariana. Essa concentração cria fluxos pendulares intensos e onerosos, com milhões de pessoas realizando longos deslocamentos diários entre suas residências e os locais de trabalho ou consumo. Esse fenômeno gera um desequilíbrio estrutural na demanda por transporte, sobrecarregando o sistema viário e aumentando os custos logísticos.

A centralidade econômica, por sua vez, estimula a concentração comercial em determinadas regiões da cidade. Grandes avenidas, como a Paulista, a Faria Lima e a Rebouças, tornaram-se polos empresariais e de consumo com alto fluxo diário de pessoas e mercadorias. Enquanto isso, nas periferias, o comércio tende a ser mais fragmentado, informal e com baixa capacidade de atração de investimentos. Esse desequilíbrio geoeconômico impõe dificuldades adicionais à distribuição urbana, que precisa percorrer maiores distâncias para atender às regiões com menor densidade comercial.

As entregas de produtos, especialmente em operações de last mile, são diretamente impactadas por essas assimetrias. A concentração de demanda em zonas de alta densidade econômica exige maior frequência de entregas em espaços reduzidos, sujeitos a restrições de circulação e escassez de áreas de carga e descarga. Ao mesmo tempo, o atendimento a regiões periféricas implica em trajetos mais longos, com menor previsibilidade de trânsito, infraestrutura viária precária e custos operacionais elevados. A logística, nesse sentido, torna-se um reflexo da geografia da desigualdade urbana.

Adicionalmente, os centros urbanos enfrentam sérios problemas relacionados ao congestionamento viário. Em São Paulo, o tempo médio de deslocamento diário da população é de 1h34min, segundo a P , o que compromete não apenas a qualidade de vida dos cidadãos, mas também a eficiência das operações logísticas. O transporte de cargas sofre com atrasos, aumento no consumo de combustível e imprevisibilidade na cadeia de suprimentos, especialmente nas regiões de alta concentração comercial e nos horários de pico.

Outro fator crítico nos grandes centros urbanos é a inadequação da legislação urbana para as necessidades contemporâneas da logística. As zonas de restrição de circulação de veículos de carga, como a ZMRC e ZMRF (ZMRC refere-se à Zona de Máxima Restrição à Circulação de Caminhões, enquanto ZMRF é a Zona de Máxima Restrição de Fretamento) na cidade de São Paulo, visam mitigar o impacto do transporte pesado no trânsito e na poluição, mas muitas vezes acabam gerando externalidades negativas para o setor de entregas de pequeno porte. Veículos leves, utilizados em operações de last mile, também enfrentam restrições de horários e áreas com escassez de infraestrutura de apoio logístico, como áreas de estacionamento rotativo, bolsões de carga e *microhubs*.

A complexidade espacial dos grandes centros também dificulta a roteirização eficiente. A multiplicidade de sentidos das vias, as zonas de tráfego restrito, a falta de padronização na numeração de ruas em alguns bairros e a variação na topografia urbana criam barreiras adicionais para

o planejamento logístico. Mesmo com o uso de tecnologias avançadas, como roteirizadores baseados em inteligência artificial, as margens de erro e as ineficiências operacionais permanecem elevadas em contextos urbanos fragmentados.

Além disso, os centros urbanos são marcados por uma convivência forçada entre múltiplos modais de transporte — carros, ônibus, motocicletas, bicicletas, caminhões e pedestres — em um mesmo espaço viário. Essa sobreposição aumenta o risco de acidentes, reduz a velocidade média dos deslocamentos e gera conflitos operacionais. No caso das entregas urbanas, esse cenário impõe desafios adicionais para o cumprimento de janelas de entrega e manutenção da integridade dos produtos transportados.

O espaço público, historicamente pensado para a circulação de pessoas e veículos privados, não foi projetado para comportar a complexidade das operações logísticas contemporâneas. A falta de áreas destinadas a carga e descarga em muitos bairros, aliada à fiscalização insuficiente, obriga motoristas a improvisarem paradas em locais inadequados, agravando o problema de fluidez do trânsito e expondo os profissionais a riscos de acidentes e penalidades.

Diante desse panorama, a distribuição urbana de mercadorias em grandes centros requer não apenas soluções tecnológicas, mas também uma revisão estrutural do modelo de organização territorial. A equidade no acesso à infraestrutura, a descentralização da atividade econômica e a adaptação do espaço urbano às novas demandas da logística são condições indispensáveis para melhorar a mobilidade e reduzir os custos operacionais das entregas.

No caso específico da entrega de café em cafeterias distribuídas pela cidade de São Paulo, essas características assumem contornos ainda mais evidentes. O trajeto que parte da Praça da Sé em direção às diferentes zonas da cidade carrega consigo não apenas o produto, mas também as marcas da desigualdade, da ineficiência e da sobrecarga estrutural. O estudo dessa jornada é, portanto, uma oportunidade para compreender como as características dos grandes centros urbanos moldam — e

muitas vezes limitam — o potencial de eficiência e sustentabilidade da logística urbana.

XI.2.3 MOBILIDADE URBANA EM SÃO PAULO

A mobilidade urbana na cidade de São Paulo é resultado de um processo histórico de crescimento acelerado, expansão horizontal desordenada e políticas públicas muitas vezes desarticuladas entre si. Desde meados do século XX, a cidade passou por um intenso processo de urbanização, estimulado pela industrialização e pela migração interna. A população, que era de aproximadamente 2,3 milhões de habitantes em 1950, ultrapassou os 12,3 milhões em 2023, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [12]. Esse crescimento demográfico foi acompanhado por uma crescente demanda por transporte, mas não necessariamente por uma evolução proporcional da infraestrutura urbana.

Nos anos 1970 e 1980, o modelo de mobilidade adotado priorizou fortemente o transporte individual motorizado, especialmente o automóvel. Grandes avenidas foram abertas e o espaço urbano foi redesenhado para favorecer o fluxo de veículos, em detrimento dos modos de transporte coletivo e não motorizados. Essa opção reforçou a dependência do carro como principal meio de deslocamento, ampliando os problemas de congestionamento e de uso desigual do espaço urbano. Mesmo o desenvolvimento do sistema metroviário, iniciado em 1974, não foi suficiente para conter os impactos da priorização do transporte privado.

Ao longo das décadas seguintes, a cidade de São Paulo passou a experimentar os efeitos cumulativos desse modelo. O tempo médio de deslocamento passou a figurar entre os mais altos do país. Segundo a Pesquisa Origem e Destino [5], os paulistanos gastam, em média, 1h34min por dia em deslocamentos casa-trabalho-casa. Esse tempo aumenta significativamente nas regiões periféricas, onde há menor oferta de transporte coletivo e maior dependência de múltiplos modais, frequentemente desconectados entre si.

Em resposta a esse cenário, o município de São Paulo elaborou e implementou o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PlanMob/SP), cuja última versão foi aprovada em 2021 pela Prefeitura Municipal. O PlanMob/SP é um instrumento estratégico de planejamento de longo prazo, alinhado à Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012) e aos princípios da sustentabilidade e da inclusão social. O plano propõe diretrizes, metas e ações para o horizonte de 2030, tendo como eixos estruturantes: a prioridade ao transporte coletivo e não motorizado, a redução da emissão de poluentes e a democratização do acesso à cidade.

Entre as metas do PlanMob/SP, destacam-se o aumento da participação do transporte coletivo na matriz de deslocamentos, a ampliação da rede cicloviária, a integração intermodal e a melhoria da qualidade do transporte público. A cidade possui atualmente cerca de 500 km de ciclovias e ciclofaixas, e uma malha metroferroviária com 104,4 km de extensão, operada por diferentes concessionárias [11]. Ainda assim, a rede é insuficiente para atender à totalidade da demanda gerada pela população ativa economicamente e pela crescente necessidade de deslocamentos para serviços, consumo e lazer.

A mobilidade urbana também é impactada por dados operacionais da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET-SP), que indicam um padrão elevado e recorrente de congestionamentos em horários de pico. Em abril de 2023, a cidade registrou picos de lentidão superiores a 330 km no período da manhã e 312 km no fim da tarde [4]. Esses indicadores estão diretamente relacionados ao volume da frota ativa de veículos na cidade, que ultrapassa 9 milhões de unidades, segundo o Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo [10].

A distribuição desigual da infraestrutura de transporte também agrava o problema da mobilidade. Enquanto a região central conta com grande concentração de linhas de metrô, corredores de ônibus e terminais intermodais, as zonas periféricas são, em sua maioria, atendidas apenas por linhas de ônibus convencionais, muitas vezes sobrecarregadas e com baixa frequência. Isso faz com que a distância média percorrida

pelos moradores das regiões mais afastadas seja maior e, consequentemente, o tempo de deslocamento também.

O transporte de mercadorias, embora menos visível no debate público, é parte integral da mobilidade urbana paulistana. A cidade abriga aproximadamente 400 mil estabelecimentos comerciais, industriais e de serviços [17], os quais dependem diariamente da movimentação de cargas para abastecimento. Essa logística urbana é fortemente impactada pelas restrições de circulação impostas às zonas centrais, como a Zona de Máxima Restrição à Circulação de Caminhões (ZMRC) e a Zona de Máxima Restrição à Circulação de Veículos (ZMRV), que limitam horários e trajetos para veículos de carga com o objetivo de reduzir a interferência no tráfego urbano.

No entanto, essas medidas, apesar de importantes para mitigar os impactos do transporte de cargas pesadas, também dificultam a operação logística em setores que dependem de entregas frequentes e em pequenos volumes — como é o caso das cafeterias e outros estabelecimentos alimentícios de médio porte. Veículos de pequeno porte, como automóveis adaptados para transporte de mercadorias, são comumente utilizados como alternativa para driblar as restrições, ainda que enfrentem limitações como ausência de espaços adequados para carga e descarga.

Outro desafio relevante para a mobilidade em São Paulo está ligado à falta de infraestrutura de apoio logístico. A cidade possui poucos espaços formalizados para transbordo, consolidação ou redistribuição de cargas, o que dificulta a implementação de soluções mais modernas, como os *microhubs* logísticos ou os centros de distribuição urbana de pequeno porte. Essas estruturas são fundamentais para otimizar a etapa de last mile, reduzindo o número de veículos nas vias e melhorando a eficiência das entregas.

Embora o PlanMob/SP reconheça a importância da logística urbana e preveja a integração de políticas de mobilidade com a cadeia de suprimentos, ainda há um hiato entre o planejamento e a implementação de ações concretas. A articulação entre os setores público e privado, a adequação da legislação urbana e o investimento em infraestrutura

permanecem como pontos de atenção e potencial de melhoria para os próximos anos.

A mobilidade urbana em São Paulo, portanto, é um sistema complexo, multifacetado e ainda marcado por desigualdades estruturais. Sua evolução depende de uma abordagem integrada, que considere simultaneamente os deslocamentos de pessoas e mercadorias, as especificidades territoriais e as demandas contemporâneas de sustentabilidade. O transporte de café, tema deste estudo, insere-se nesse cenário como um caso ilustrativo das interações entre mobilidade, eficiência logística e estrutura urbana.

Ao adotar a Praça da Sé como ponto de origem para a análise das entregas, este trabalho considera não apenas a localização geográfica central do marco zero paulistano, mas também sua condição simbólica e operacional como ponto de articulação dos fluxos urbanos. A mobilidade que parte da Sé revela, com clareza, os contrastes e contradições da cidade — e fornece uma base concreta para discutir os caminhos possíveis para um modelo de transporte urbano mais inteligente, justo e sustentável.

XI.3 ENTREGAS DE *LAST MILE* EM CONTEXTO URBANO

XI.3.1 O QUE É *LAST MILE*

No campo da logística urbana, a expressão Last mile (ou entrega de última milha) designa a etapa final do processo de distribuição de bens, que ocorre entre o ponto de armazenamento (armazém, centro de distribuição ou ponto de transbordo) e o destinatário final — seja um consumidor individual, um estabelecimento comercial ou uma instituição. Trata-se, portanto, do elo mais próximo do consumidor e, paradoxalmente, também o mais complexo, oneroso e imprevisível de toda a cadeia logística.

Embora essa etapa represente uma fração curta em termos de distância total percorrida pelo produto, ela concentra o maior número de variáveis críticas, como congestionamento urbano, restrições de acesso, janelas de entrega, escalonamento de rotas e custos operacionais. Segundo relatório do *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP), a última milha responde por até 53% dos custos totais de transporte logístico nas operações urbanas [9], o que evidencia seu peso estratégico na estrutura de custos das empresas e na precificação dos produtos.

A importância do *last mile* não se limita ao aspecto econômico. No contexto contemporâneo, em que a experiência do cliente se tornou central nas estratégias empresariais, a qualidade e a eficiência da entrega final são decisivas para a satisfação do consumidor. A pontualidade, a integridade do produto, a flexibilidade nos horários e a rastreabilidade do pedido são atributos cada vez mais exigidos, especialmente no ambiente urbano, onde a competição entre marcas e prestadores de serviço é intensa.

A logística da última milha, entretanto, não pode ser analisada isoladamente. Ela é o ponto terminal de uma cadeia logística mais ampla, que se inicia na origem da produção — no caso do café, nas propriedades rurais produtoras do grão — e passa por diversas etapas intermediárias, como beneficiamento, torrefação, armazenagem, transporte em longa distância, distribuição regional e entrega final. Cada uma dessas etapas influencia diretamente as condições e restrições do last mile, tanto em termos de tempo quanto de custo e eficiência.

No caso do café, a cadeia logística pode ser representada da seguinte forma, Figura [XI.1](#):

Esse fluxo, embora aparentemente linear, envolve decisões logísticas complexas em cada etapa, que variam conforme o volume da carga, o tipo de transporte utilizado, a distância a ser percorrida e os prazos acordados. Na etapa final, especificamente, a escolha do modal e da estratégia de entrega se torna crítica, dado o alto custo por unidade transportada, a dispersão dos pontos de entrega e as limitações do espaço urbano.

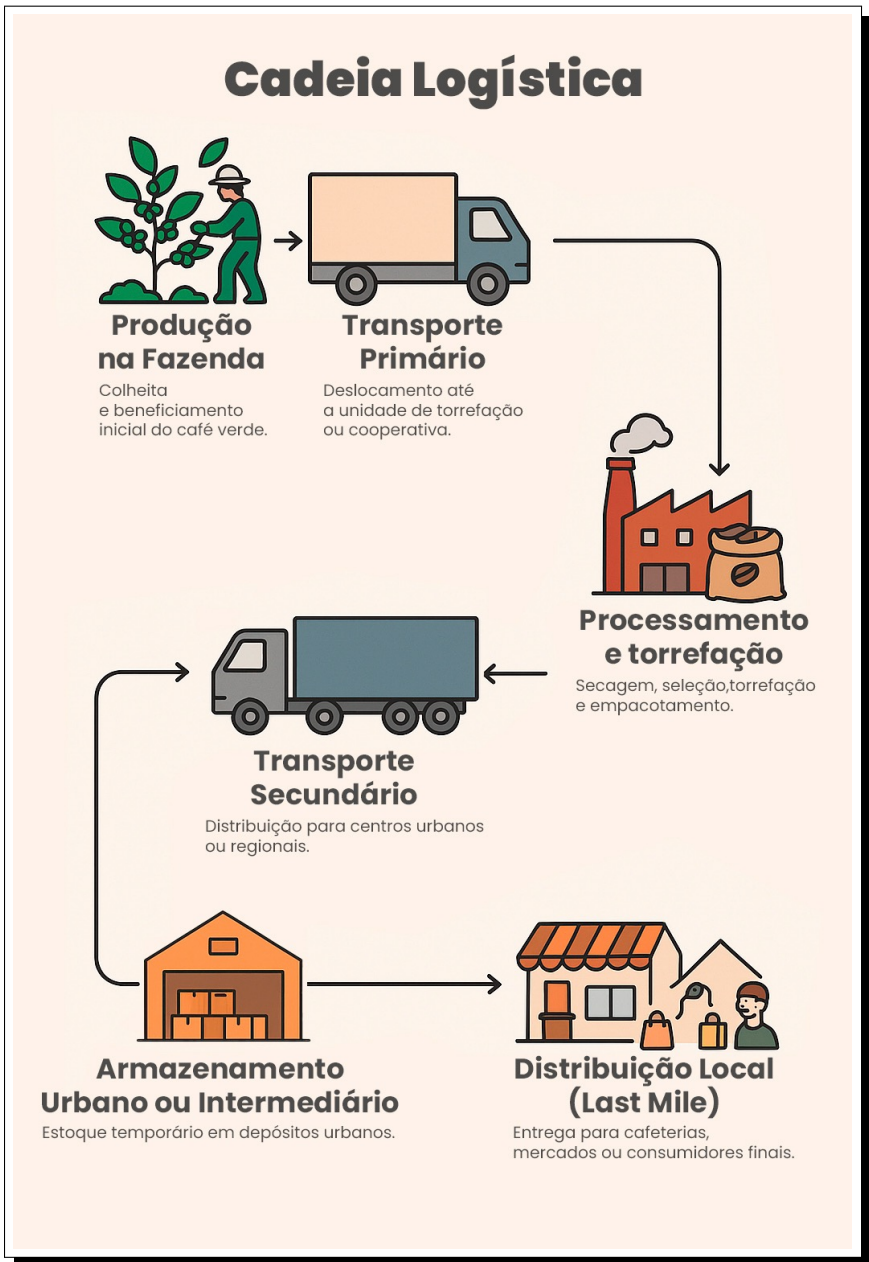


Figura XI.1: Evolução do Perfil Profissional Logístico

As operações de *last mile* em centros urbanos densos, como São Paulo, enfrentam obstáculos recorrentes. A circulação em vias congestionadas, a escassez de áreas para carga e descarga, a fiscalização de trânsito, a insegurança e as limitações legais de circulação são fatores que comprometem a eficiência da entrega. Para driblar essas barreiras, muitas empresas adotam veículos de pequeno porte, como carros de passeio, motocicletas e até bicicletas, buscando maior agilidade e menor exposição às restrições viárias.

Entretanto, essa estratégia impõe limites operacionais importantes. Veículos leves têm menor capacidade de carga, o que exige maior número de viagens ou segmentação de rotas, elevando os custos e as emissões por unidade transportada. Além disso, a roteirização em áreas urbanas depende de variáveis de alta complexidade, como os horários de pico, obras viárias, acidentes e mudanças regulatórias temporárias. O uso de tecnologias baseadas em inteligência artificial tem contribuído para melhorar o planejamento e a adaptação das rotas em tempo real, mas sua aplicação ainda enfrenta desafios em áreas com baixa conectividade ou infraestrutura irregular.

A partir da Praça da Sé — adotada neste estudo como marco geográfico — é possível observar, com maior clareza, como a logística da última milha articula variáveis urbanas, econômicas e operacionais. Localizada no coração da cidade, a Sé é ponto de partida privilegiado para a análise de distribuição, pois dela irradiam-se os principais eixos de circulação que conectam o centro às zonas Norte, Sul, Leste e Oeste. No entanto, mesmo partindo de uma posição central, o tempo, o custo e a eficiência da entrega variam significativamente conforme o destino final, refletindo as disparidades estruturais entre as regiões.

Do ponto de vista do gestor logístico, a entrega de café em cafeterias espalhadas pela cidade exige planejamento preciso e conhecimento aprofundado das dinâmicas locais. É necessário considerar fatores como a demanda do ponto de venda, a frequência de abastecimento, a janela de entrega disponível, a condição das vias, o acesso ao local e a possibilidade de estacionamento seguro. A ausência de infraestrutura adequada

em muitas regiões força os entregadores a improvisarem soluções operacionais que comprometem a previsibilidade e a segurança da operação.

Além disso, a sustentabilidade das operações de última milha tem ganhado relevância crescente no debate urbano. A emissão de gases de efeito estufa, o ruído urbano, o consumo de combustíveis fósseis e o impacto sobre o tráfego local são questões críticas. Segundo dados do Inventário de Emissões Atmosféricas do Transporte Rodoviário de Cargas em SP [6], cerca de 44% das emissões de NOx e 39% das emissões de material particulado (MP) na cidade são provenientes do transporte de carga. Estratégias que buscam a redução desses impactos, como o uso de veículos elétricos ou a consolidação de entregas em microcentros logísticos, ainda são incipientes, mas representam caminhos promissores para o futuro da logística urbana.

Portanto, compreender a entrega de última milha é essencial para quem deseja propor soluções reais para os desafios da mobilidade urbana e da eficiência logística. A análise da cadeia do café — da fazenda à cafeteria — oferece um recorte emblemático desses desafios, ao mesmo tempo em que permite refletir sobre as contradições do modelo atual e as oportunidades de inovação. O *last mile*, longe de ser apenas a etapa final da entrega, é o ponto em que todas as decisões anteriores da cadeia convergem — e onde seus erros e acertos se tornam mais visíveis.

Essa compreensão aprofundada é fundamental para gestores públicos, operadores logísticos e formuladores de políticas urbanas. Afinal, o trajeto percorrido por uma xícara de café em São Paulo carrega consigo não apenas os aromas de um produto nacional emblemático, mas também os sinais de uma cidade em disputa entre eficiência, equidade e sustentabilidade.

XI.3.2 DESAFIOS LOGÍSTICOS NAS ENTREGAS URBANAS

A logística urbana enfrenta um conjunto complexo de desafios operacionais, regulatórios e estruturais que afetam diretamente a eficiência das

entregas, especialmente na etapa da última milha. Em cidades com as dimensões e a densidade populacional de São Paulo, esses desafios são ainda mais evidentes. O ambiente urbano impõe restrições que ultrapassam os aspectos técnicos da distribuição de mercadorias, envolvendo também aspectos territoriais, institucionais e sociais.

Um dos principais obstáculos enfrentados pelas entregas urbanas é o congestionamento viário. São Paulo figura entre as cidades com maior tempo de trânsito do mundo. Segundo a TomTom Traffic Index [18], os motoristas na capital paulista perdem, em média, 101 horas por ano em congestionamentos. Esse cenário compromete a previsibilidade das rotas, eleva os tempos de entrega e aumenta o consumo de combustível, impactando diretamente o custo operacional e a sustentabilidade das operações.

Além do trânsito intenso, as zonas de restrição de circulação representam um fator crítico para a logística urbana. A cidade de São Paulo possui áreas regulamentadas, como a Zona de Máxima Restrição de Circulação de Caminhões (ZMRC) e a Zona de Máxima Restrição de Veículos (ZMRV), que impõem horários e tipos de veículos permitidos em determinadas regiões. Embora essas zonas tenham o objetivo de melhorar a fluidez do tráfego e reduzir a emissão de poluentes, elas afetam significativamente a flexibilidade das entregas urbanas. Operações que não se adaptam às janelas permitidas são forçadas a reprogramar rotas ou utilizar veículos alternativos, geralmente de menor porte e menor capacidade de carga.

O uso de carros de passeio em substituição a veículos comerciais maiores tem se tornado uma prática comum, especialmente em setores que demandam entregas fracionadas, como o de alimentos e bebidas. Contudo, essa estratégia não está isenta de limitações. Veículos leves possuem restrições em relação ao volume transportado, dificultam a consolidação de entregas e, muitas vezes, carecem de estrutura interna adequada para conservação da carga, o que pode comprometer a qualidade do produto entregue.

O custo operacional da última milha é outro aspecto crítico da logística urbana. Considerando os gastos com combustível, manutenção do veículo, mão de obra, taxas urbanas e perdas operacionais, estima-se que essa etapa represente até 30% do custo total do produto, dependendo da complexidade da entrega e da distância percorrida [9]. Em regiões periféricas, onde a densidade de entregas é menor e o deslocamento é mais demorado, esses custos se elevam ainda mais, comprometendo a viabilidade econômica de operações de pequeno e médio porte.

Os prazos curtos exigidos por estabelecimentos comerciais, especialmente em centros urbanos competitivos como São Paulo, também tensionam os processos logísticos. Muitas cafeterias operam com estoques reduzidos e alta rotatividade de produtos, exigindo entregas frequentes e em horários específicos. Essa necessidade impõe um planejamento logístico altamente responsivo, o que nem sempre é possível diante das limitações viárias e da variabilidade do tráfego urbano.

Dentro desse contexto, o processo de roteirização ganha centralidade na busca por eficiência. A roteirização consiste na definição da melhor sequência e trajeto de entregas, considerando variáveis como distância, tempo, tráfego, janelas de entrega e restrições legais. Com o uso de algoritmos avançados e inteligência artificial, é possível gerar rotas otimizadas em tempo real. No entanto, a qualidade dessas soluções depende da atualização constante dos dados e da capacidade da infraestrutura viária em responder às mudanças operacionais.

Outro componente fundamental da logística urbana é a armazenagem intermediária. A presença de centros de distribuição urbanos ou *microhubs* logísticos pode reduzir significativamente o tempo e a distância da última milha. Entretanto, a escassez de terrenos disponíveis, o custo elevado do metro quadrado nas áreas centrais e a ausência de incentivos específicos dificultam a implantação dessas estruturas. Em São Paulo, há poucos exemplos consolidados de *hubs* urbanos de pequeno porte voltados à logística de distribuição de alimentos e bebidas.

O planejamento de carga também se apresenta como um ponto crítico, especialmente quando há necessidade de consolidação de produtos

oriundos de diferentes fornecedores. A operação fragmentada, típica do setor de serviços alimentares, exige elevado grau de coordenação entre produção, armazenagem e transporte. A ausência de plataformas integradas e a informalidade de muitos operadores logísticos agravam essa fragmentação e aumentam o risco de falhas operacionais.

Do ponto de vista regulatório, a multiplicidade de normas municipais, estaduais e federais aplicáveis ao transporte de mercadorias no perímetro urbano cria um ambiente de incerteza para os operadores. Questões como licenciamento, documentação, tributos e fiscalizações variam conforme o tipo de mercadoria, o veículo utilizado e o trajeto percorrido. Essa complexidade regulatória representa custos indiretos relevantes e amplia o risco de penalidades administrativas.

Adicionalmente, a segurança urbana é um fator frequentemente negligenciado nas análises logísticas, mas de grande impacto prático. Entregadores estão sujeitos a riscos de furto, assalto e violência, especialmente em horários noturnos ou em regiões com baixa vigilância pública. Esse fator aumenta o custo do seguro das cargas, eleva a rotatividade de pessoal e compromete a continuidade das operações em determinadas zonas da cidade.

A interação com os clientes também se tornou um elemento relevante na dinâmica da entrega urbana. Exigências por entregas rastreáveis, comunicação em tempo real e personalização da experiência impõem pressões adicionais sobre os operadores logísticos, que precisam investir em tecnologia, treinamento e atendimento ao cliente. No setor de alimentos, em particular, a exigência por entregas rápidas e sem avarias é elevada, dado o impacto direto sobre a qualidade percebida do produto.

No caso da entrega de café, os desafios se intensificam quando se considera a perecibilidade relativa do aroma e da torra, a importância da apresentação do produto e a expectativa de entrega em prazos curtos para reposição em cafeterias de alto giro. Esses fatores exigem processos logísticos de alta confiabilidade, em que cada etapa — do carregamento à entrega — seja executada com precisão.

Portanto, os desafios logísticos da última milha não se limitam a obstáculos físicos de deslocamento. Eles envolvem uma rede de decisões interdependentes, que articulam planejamento, infraestrutura, tecnologia, regulação e relações humanas. Compreender esses desafios em profundidade é essencial para propor soluções eficazes e adaptadas à realidade dos grandes centros urbanos brasileiros. No caso específico de São Paulo, partindo da Praça da Sé como ponto de análise, é possível visualizar de forma clara como essas variáveis se distribuem no território e influenciam, de maneira desigual, a eficiência das entregas em cada região da cidade.

XI.3.3 INOVAÇÕES E TECNOLOGIAS NO APOIO À MOBILIDADE

A crescente complexidade da mobilidade urbana nas grandes cidades tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de inovações tecnológicas voltadas à otimização dos fluxos logísticos, especialmente na etapa de last mile. Entre essas inovações, destaca-se o uso de roteirizadores com inteligência artificial (IA) e plataformas de planejamento dinâmico de rotas, que vêm transformando a forma como as entregas são planejadas, monitoradas e executadas em ambientes urbanos congestionados.

Roteirizadores com IA são sistemas que integram algoritmos de otimização com dados em tempo real sobre o trânsito, restrições viárias, janelas de entrega, perfil dos clientes e geolocalização dos veículos. Essas soluções são capazes de recalcular trajetos automaticamente conforme as condições do tráfego se alteram, priorizando entregas mais urgentes, reduzindo o tempo de deslocamento e otimizando o uso da frota. Em contextos urbanos densos como o de São Paulo, essa tecnologia pode representar um ganho operacional expressivo, reduzindo tanto custos quanto emissões.

A inteligência artificial aplicada à roteirização permite, ainda, a simulação de múltiplos cenários logísticos, com avaliação de diferentes estratégias de entrega. É possível, por exemplo, comparar o desempenho

de rotas fixas com rotas dinâmicas, testar diferentes pontos de partida — como hubs urbanos ou depósitos descentralizados —, ou redistribuir as entregas conforme a performance dos motoristas e as taxas de congestionamento em determinadas áreas. Essas análises contribuem para decisões mais precisas e adaptadas à realidade local.

Na cidade de São Paulo, operadores logísticos que atuam no setor alimentício, incluindo redes de cafeterias e pequenos distribuidores, têm utilizado essas soluções com resultados positivos. Segundo estudo da Associação Brasileira de Logística (ABRALOG), empresas que implementaram roteirizadores com IA em suas operações urbanas conseguiram reduzir em até 18% o tempo médio de entrega e em 12% o consumo de combustível no período de seis meses [1]. Além disso, a taxa de sucesso nas primeiras tentativas de entrega aumentou significativamente, reduzindo retrabalhos e custos com redespacho.

O uso de IA na mobilidade urbana não se restringe à roteirização. Há também aplicações em previsão de demanda, dimensionamento de frotas, escalonamento de entregadores e definição de zonas prioritárias para atendimento. A capacidade de aprender com padrões históricos de comportamento — como picos de demanda em determinados horários ou dias da semana — permite ajustes proativos na operação, o que é essencial para setores de alta rotatividade, como o de alimentos e bebidas.

Contudo, essas tecnologias não estão isentas de limitações. A qualidade das rotas geradas depende fortemente da base de dados utilizada. Em áreas onde a atualização cartográfica é deficiente ou onde há pouca conectividade digital, a performance dos roteirizadores tende a ser inferior. Bairros com ruas estreitas, mudanças frequentes de sentido, obstáculos físicos não mapeados e ausência de sinalização atualizada ainda representam um desafio para os algoritmos, mesmo os mais avançados.

Outro obstáculo é a integração entre diferentes plataformas e sistemas. Muitas pequenas empresas operam com sistemas fragmentados, planilhas manuais ou ferramentas de baixo custo, que não se comunicam adequadamente com soluções de IA. A adoção de tecnologias mais

sofisticadas exige investimento em infraestrutura digital, capacitação de equipes e revisão de processos internos, o que nem sempre é viável para operadores logísticos de pequeno e médio porte.

A resistência cultural também é um fator relevante. A introdução de sistemas automatizados pode gerar insegurança entre motoristas e gestores, que se veem pressionados a abandonar práticas tradicionais de entrega. A confiança nos algoritmos e a adaptação às rotas sugeridas nem sempre ocorrem de forma imediata. É comum que motoristas experientes questionem as orientações da IA, especialmente quando conhecem atalhos ou rotas alternativas não consideradas pelo sistema.

Apesar dessas limitações, os benefícios da adoção de tecnologias inteligentes na logística urbana são inegáveis. Para além da eficiência operacional, essas ferramentas contribuem para a redução da pegada ambiental das entregas, ao minimizar distâncias percorridas, evitar congestionamentos e permitir o uso racional dos recursos. No contexto do *last mile*, essa eficiência é essencial para tornar as entregas mais sustentáveis e financeiramente viáveis.

Com o avanço da computação em nuvem, da internet das coisas (IoT) e da conectividade móvel, as soluções baseadas em IA tendem a se tornar mais acessíveis e robustas. Empresas de tecnologia e *startups* logísticas têm investido em plataformas SaaS (*Software as a Service*) que democratizam o acesso a essas ferramentas, inclusive para pequenos operadores. Isso pode contribuir para reduzir a desigualdade tecnológica entre grandes players e empresas menores no setor logístico.

No caso específico da distribuição de café em São Paulo, a partir da Praça da Sé como ponto central, o uso de roteirizadores inteligentes pode representar um diferencial competitivo relevante. Ao lidar com múltiplos pontos de entrega, prazos curtos e volumes variados, a inteligência artificial pode garantir um equilíbrio entre rapidez, custo e qualidade da entrega. A capacidade de reprogramar rotas em tempo real, diante de eventos imprevistos — como interdições, protestos ou acidentes —, assegura maior resiliência às operações.

Além disso, o mapeamento dos tempos médios de deslocamento entre a Sé e os diferentes bairros da cidade, com base em dados históricos e previsão de tráfego, permite o planejamento de rotas estratégicas por região. Isso é especialmente relevante em cidades como São Paulo, onde o tempo necessário para percorrer 10 km pode variar de 15 minutos a mais de uma hora, dependendo da zona e do horário.

Por fim, é importante destacar que o papel da tecnologia deve ser entendido como instrumento — e não como solução isolada. O êxito na aplicação de roteirizadores com IA e outras inovações depende de um ecossistema favorável, que inclua políticas públicas de incentivo, infraestrutura digital urbana, capacitação profissional e uma cultura de inovação contínua. Em um ambiente urbano em constante transformação, a inteligência artificial pode ser a chave para tornar a logística mais ágil, sustentável e inclusiva — desde que usada de forma crítica, integrada e estratégica.

XI.3.4 SUSTENTABILIDADE NAS ENTREGAS *LAST MILE*

A sustentabilidade tem se tornado uma variável estratégica para a logística urbana, especialmente na etapa de *last mile*, em que os impactos ambientais e sociais são mais concentrados e visíveis. Em cidades de grande porte como São Paulo, onde a densidade urbana, os congestionamentos e a poluição atmosférica coexistem em escala crítica, pensar em soluções sustentáveis para as entregas é mais do que um diferencial competitivo — é uma necessidade sistêmica.

O foco desta seção recai sobre os veículos de pequeno porte, em especial os carros de passeio, amplamente utilizados por micro e pequenos operadores logísticos, prestadores de serviço autônomos e distribuidores de produtos alimentícios, como o café. Embora não sejam concebidos originalmente para a logística, esses veículos têm sido empregados como alternativas viáveis diante das restrições de circulação e da ausência de infraestrutura específica para veículos comerciais leves.

O uso de carros de passeio nas entregas urbanas se justifica, sobretudo, pela flexibilidade de circulação. Esses veículos, ao contrário de caminhões e vans, não estão sujeitos às mesmas limitações impostas pelas zonas de restrição de circulação, como a ZMRC (Zona de Máxima Restrição de Caminhões) ou a ZMRV (Zona de Máxima Restrição de Veículos), vigentes em áreas centrais de São Paulo. Essa liberdade de deslocamento permite maior abrangência e eficiência operacional em horários convencionais, reduzindo o risco de penalidades por descumprimento de regulamentações viárias.

Contudo, essa solução traz implicações importantes em termos de sustentabilidade. O principal deles é a emissão de gases poluentes. Segundo o Inventário de Emissões Atmosféricas do Transporte Rodoviário de Cargas em São Paulo [6], veículos leves com motor a combustão representam cerca de 22% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) do setor de transportes na capital. Considerando que a frota ativa de carros de passeio na cidade ultrapassa 6,5 milhões de unidades [10], o impacto agregado dessa modalidade de entrega é expressivo.

Além do CO₂, esses veículos também emitem óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP), que contribuem para a deterioração da qualidade do ar, especialmente em corredores urbanos densos. Estudos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) apontam que a região central da capital apresenta níveis de poluição atmosférica superiores aos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), com efeitos diretos sobre a saúde pública, particularmente entre populações vulneráveis.

O consumo de combustível é outro aspecto crítico da sustentabilidade das entregas em carros de passeio. Em média, esses veículos consomem 9,5 km/l de gasolina em trajetos urbanos, conforme dados do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Considerando um percurso médio de 12 km entre a Praça da Sé e cafeterias situadas nas zonas periféricas da cidade, cada trajeto consome aproximadamente 1,26 litro de combustível, o que corresponde a uma

emissão de cerca de 2,9 kg de CO₂ por entrega (baseado no fator de emissão de 2,3 kg CO₂/litro de gasolina [8]).

Quando essas entregas são realizadas de forma individualizada, sem consolidação de rotas ou agrupamento de pedidos, a eficiência ambiental da operação se reduz drasticamente. O tempo de deslocamento, influenciado por fatores como horário de pico, obras viárias, semáforos e incidentes, também compromete a sustentabilidade. Um trajeto que deveria durar 20 minutos pode facilmente se estender para mais de 1 hora, aumentando o tempo de motor ligado, o consumo de combustível e as emissões associadas.

Outro ponto relevante é a ociosidade do espaço interno dos veículos de passeio. Frequentemente, esses automóveis circulam com ocupação abaixo da capacidade volumétrica ideal, transportando poucas unidades por viagem. Essa ineficiência logística resulta em maior número de deslocamentos para atender uma mesma demanda, pressionando ainda mais a malha viária e ampliando os impactos ambientais por entrega.

Ainda que apresentem vantagens operacionais pontuais, os veículos de passeio não foram projetados com critérios de sustentabilidade logística. A ausência de compartimentos específicos para acondicionamento de cargas, a limitação para refrigerar ou manter temperatura estável (no caso de alimentos sensíveis), e a ausência de tecnologias embarcadas de gestão ambiental tornam esse modal menos adequado para atender aos critérios de uma logística urbana sustentável.

Por outro lado, algumas medidas podem mitigar os impactos negativos do uso desses veículos. Entre elas, destaca-se a consolidação de entregas por meio de roteirização inteligente, que agrupe pedidos próximos geograficamente, reduzindo deslocamentos redundantes. O uso de combustíveis alternativos, como o etanol, que tem menor pegada de carbono, pode também representar uma alternativa mais sustentável dentro das opções disponíveis no mercado brasileiro.

Além disso, a renovação da frota utilizada para entregas pode trazer benefícios importantes. Modelos mais recentes tendem a ser mais eficientes em termos energéticos e apresentar menores níveis de emissão.

Incentivos públicos para a aquisição de veículos híbridos ou elétricos por entregadores e pequenos operadores logísticos podem contribuir significativamente para esse objetivo, mas ainda são incipientes no Brasil.

Outra possibilidade promissora está na criação de *microhubs* urbanos, que permitam a redistribuição das entregas a partir de pontos intermediários, utilizando modais menos poluentes para o trecho final. Essa estrutura poderia funcionar como um ponto de apoio logístico descentralizado, possibilitando o uso de bicicletas elétricas, triciclos ou mesmo entregas a pé em áreas densamente povoadas.

Por fim, cabe destacar que a sustentabilidade da logística urbana depende de ações coordenadas entre poder público, setor privado e sociedade civil. A entrega de uma simples remessa de café, partindo da Praça da Sé em direção às diversas zonas da cidade, é atravessada por escolhas tecnológicas, operacionais e territoriais que carregam implicações ambientais relevantes. Compreender essas dimensões é o primeiro passo para construir soluções logísticas que aliem eficiência, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental.

Nesse sentido, a sustentabilidade das entregas em carros de passeio não deve ser avaliada de forma isolada, mas sim integrada a um sistema mais amplo de mobilidade urbana, que considere alternativas modais, infraestrutura de apoio, incentivos regulatórios e tecnologias de baixo impacto. A última milha, embora curta, representa o maior desafio — e, ao mesmo tempo, a maior oportunidade — para repensar os paradigmas logísticos das cidades brasileiras.

XI.4 ESTUDO DE CASO: A ENTREGA DO CAFÉ NAS CAFETERIAS DE SÃO PAULO

XI.5 APRESENTAÇÃO DO CASO

A fim de ilustrar, de forma prática, os desafios e variáveis da mobilidade urbana aplicada à logística de *last mile* em grandes centros, este estudo apresenta uma simulação de entregas de café torrado a cafeterias distribuídas nas cinco principais zonas geográficas da cidade de São Paulo: Centro, Norte, Sul, Leste e Oeste. O ponto de partida das entregas é a Praça da Sé, marco zero oficial da cidade, situada no coração do centro histórico e referência simbólica e operacional para os fluxos urbanos paulistanos.

A escolha do café como objeto de análise não é arbitrária. Trata-se de um produto com alta representatividade econômica e cultural no Brasil, cuja cadeia logística envolve desde o produtor rural até o consumidor final, passando por etapas críticas de beneficiamento, torrefação, armazenagem e distribuição. Ao focar na entrega de café torrado para cafeterias, a proposta é evidenciar os gargalos operacionais da logística urbana em um segmento sensível ao tempo de reposição, à qualidade do produto e ao custo da operação.

A simulação foi construída com base em dados reais de densidade populacional, estrutura viária, distância geográfica, tempo médio de deslocamento, consumo de combustível e emissão de CO₂. O cenário considera entregas realizadas por veículos de pequeno porte (carros de passeio), operando em regime diário, com origem na Praça da Sé e destino em cafeterias localizadas em regiões representativas de cada zona. O objetivo é comparar o desempenho logístico entre essas regiões, analisando suas disparidades em termos de eficiência, custo e impacto ambiental.

A metodologia adotada parte de um modelo de cálculo comparativo, que considera trajetos médios determinados por rotas reais de navegação via GPS, compatíveis com os sistemas de roteirização baseados em inteligência artificial. As distâncias foram estimadas a partir de endereços comerciais médios nas seguintes regiões: Santa Cecília (Centro), Santana (Norte), Capão Redondo (Sul), Itaquera (Leste) e Butantã (Oeste). As métricas avaliadas incluem: distância percorrida (em km), tempo estimado de trajeto (em minutos), consumo médio de combustível (em litros), emissão de CO₂ (em kg), custo estimado por viagem (em reais) e densidade populacional da região de destino (em hab/km²).

As premissas técnicas da simulação consideram (Figura [XI.2](#)):

Consumo médio do veículo	9,5 km/l em ciclo urbano
Fator de emissão de CO₂ da gasolina	2,3 kg/l
Custo médio da gasolina em São Paulo	R\$ 5,89/l
Velocidade operacional nas zonas urbanas	18 km/h nos horários intermediários
Capacidade de entrega	20 kg de café por viagem, com múltiplas paradas sendo descartadas para fins de padronização comparativa

Figura XI.2: Premissas da simulação. Fonte: Adaptado de: INMETRO (2023) [[14](#)]; IBAMA (2022) [[8](#)]; ANP (2024) [[3](#)]; CET-SP (2023) [[4](#)]

Com base nesses parâmetros, as distâncias médias em relação à Praça da Sé foram definidas da seguinte forma:

- Centro (Santa Cecília): 2,5 km
- Zona Norte (Santana): 9,8 km
- Zona Sul (Capão Redondo): 16,2 km
- Zona Leste (Itaquera): 14,7 km

- Zona Oeste (Butantã): 10,3 km

O tempo de deslocamento, calculado com base na velocidade média de 18 km/h, resultou em tempos médios estimados de 8 minutos (Centro), 33 minutos (Norte), 54 minutos (Sul), 49 minutos (Leste) e 34 minutos (Oeste). Esses tempos podem ser substancialmente maiores em horários de pico, mas foram padronizados para fins de comparação.

O consumo de combustível para cada rota foi calculado com base na fórmula: distância / rendimento do veículo. A emissão de CO₂ foi estimada multiplicando-se o consumo de combustível pelo fator de emissão da gasolina. A Figura XI.3 apresenta um resumo dos dados calculados para cada rota:

Região	Distância (km)	Tempo (min)	Combustível (L)	Emissão CO ₂ (kg)	Custo (R\$)
Centro	2,5	8	0,26	0,60	1,53
Norte	9,8	33	1,03	2,37	6,06
Sul	16,2	54	1,71	3,93	10,08
Leste	14,7	49	1,55	3,56	9,12
Oeste	10,3	34	1,08	2,48	6,37

Figura XI.3: Dados calculados para cada rota

Complementando os dados operacionais, foram analisadas também as densidades populacionais das regiões de destino, com base nos dados do Censo 2022 [12]:

- Santa Cecília (Centro): 14.200 hab/km²
- Santana (Norte): 9.100 hab/km²
- Capão Redondo (Sul): 12.300 hab/km²
- Itaquera (Leste): 10.500 hab/km²
- Butantã (Oeste): 7.800 hab/km²

A análise comparativa entre esses dados permite refletir sobre o impacto da localização geográfica no custo logístico e ambiental da entrega. A rota para o Capão Redondo, por exemplo, é a mais onerosa em todos os indicadores, com maior tempo, distância, consumo e emissão. Já a entrega no centro apresenta os menores valores, refletindo a proximidade e a maior conectividade da região.

Cabe destacar que as diferenças entre zonas não se resumem à distância linear, mas estão fortemente condicionadas pela estrutura viária, presença de corredores de tráfego, número de semáforos, inclinação das vias e presença de faixas exclusivas. Essas variáveis, embora não detalhadas neste modelo, influenciam fortemente a performance real da entrega.

Com base nesse conjunto de dados, será possível, na próxima seção, discutir as implicações práticas da distribuição urbana de café na cidade de São Paulo, destacando os desafios e oportunidades em cada região, e propondo diretrizes para tornar a logística de última milha mais eficiente, equitativa e sustentável. O estudo de caso cumpre, assim, o papel de revelar, por meio de uma análise empírica, as desigualdades estruturais que permeiam o sistema de mobilidade urbana e a logística de distribuição na maior metrópole brasileira.

XI.5.1 TRAJETÓRIA DO CAFÉ: DO MARCO ZERO ÀS 5 ZONAS DA CIDADE

A Praça da Sé, localizada no centro histórico de São Paulo, é tradicionalmente considerada o marco zero da cidade. Porém, do ponto de vista técnico e histórico, o verdadeiro marco zero se encontra no Pátio do Colégio — local simbólico da fundação da cidade em 1554 pelos padres jesuítas. Trata-se de um ponto estratégico não apenas por sua relevância histórica, mas também pela sua posição geográfica, a partir da qual irradiam-se os principais eixos viários e sistemas modais da capital. Para fins deste estudo, o Pátio do Colégio é adotado como ponto de origem da simulação de entregas de café às cinco grandes zonas administrativas da cidade: Centro, Norte, Sul, Leste e Oeste.

A escolha desse marco como ponto de partida permite observar, com maior clareza, como as características estruturais de cada região afetam a performance logística na última milha. Embora a distância linear entre o Pátio do Colégio e os bairros analisados não seja, à primeira vista, expressiva, a realidade operacional revela diferenças consideráveis quando se leva em conta o tempo de deslocamento, as emissões de carbono e os custos operacionais por quilômetro.

As distâncias médias foram calculadas com base em rotas otimizadas via Google Maps e Waze, considerando tráfego moderado (fora dos horários de pico), com o uso de carros de passeio em operação urbana. As regiões selecionadas como destino foram: Santa Cecília (representando o Centro expandido), Santana (Zona Norte), Capão Redondo (Zona Sul), Itaquera (Zona Leste) e Butantã (Zona Oeste). A Figura XI.4 apresenta os dados consolidados de distância e tempo estimado de deslocamento a partir do Pátio do Colégio:

Região	Bairro Referência	Distância (km)	Tempo estimado (min)
Centro	Santa Cecília	2,5	8
Zona Norte	Santana	9,8	33
Zona Sul	Capão Redondo	16,2	54
Zona Leste	Itaquera	14,7	49
Zona Oeste	Butantã	10,3	34

Figura XI.4: Distância e Tempo de Entrega (Marco Zero até Zonas de SP)

Com base nessas distâncias, foram estimadas as emissões de carbono e o custo de combustível para cada trajeto, utilizando como premissas os seguintes valores, Figura XI.5:

- Consumo médio de veículo urbano: 9,5 km/l [14];
- Fator de emissão de CO₂ da gasolina: 2,3 kg/l [8];
- Custo médio do litro da gasolina em São Paulo: R\$ 5,89 [3].

Região	Combustível (L)	Emissão CO ₂ (kg)	Custo (R\$)
Centro	0,26	0,60	1,53
Zona Norte	1,03	2,37	6,06
Zona Sul	1,71	3,93	10,08
Zona Leste	1,55	3,56	9,12
Zona Oeste	1,08	2,48	6,37

Figura XI.5: Emissão de CO₂ e Custo de Combustível por Entrega

Os dados indicam que, embora a zona sul não seja a mais distante em termos absolutos, é a que apresenta o maior tempo de deslocamento, o maior consumo de combustível e, conseqüentemente, a maior emissão de carbono por entrega. Isso se deve, em grande parte, à configuração viária da região, à menor fluidez das vias principais e à escassez de corredores de tráfego rápido com conexão direta ao centro.

A zona leste, por sua vez, apresenta comportamento semelhante ao da zona sul, com tempo e consumo elevados, ainda que a distância seja levemente inferior. O deslocamento até Itaquera envolve travessia por áreas altamente congestionadas, como os bairros do Brás, Mooca e Tatuapé, que frequentemente registram altos índices de lentidão nos horários comerciais [4].

A zona norte apresenta um desempenho intermediário, com deslocamento mais rápido que o da zona leste e consumo ligeiramente menor. A presença da Marginal Tietê como corredor de acesso favorece a eficiência da rota. Já a zona oeste, representada pelo bairro do Butantã, apresenta um tempo de entrega próximo ao da zona norte, mas com uma distância levemente superior, impactando mais o consumo.

O centro, como esperado, possui os menores valores em todos os indicadores, evidenciando as vantagens operacionais da proximidade geográfica e da infraestrutura consolidada. Contudo, isso não significa ausência de desafios. A escassez de áreas de carga e descarga, as limitações de estacionamento e o alto fluxo de pedestres são fatores que impactam a fluidez da entrega, mesmo em percursos curtos.

Com base nos valores apresentados, é possível calcular o custo por quilômetro rodado (Figura XI.6) para cada trajeto, dividindo o custo total do combustível pela distância percorrida:

Região	Combustível (L)	Emissão CO ₂ (kg)	Custo (R\$)
Centro	0,26	0,60	1,53
Zona Norte	1,03	2,37	6,06
Zona Sul	1,71	3,93	10,08
Zona Leste	1,55	3,56	9,12
Zona Oeste	1,08	2,48	6,37

Figura XI.6: Custo por Quilômetro Rodado

A Figura XI.7 apresenta um comparativo através das diferenças entre as zonas urbanas em termos de distância, tempo, consumo de combustível, emissão de CO₂ e custo por entrega, com base na simulação originada na Praça da Sé.

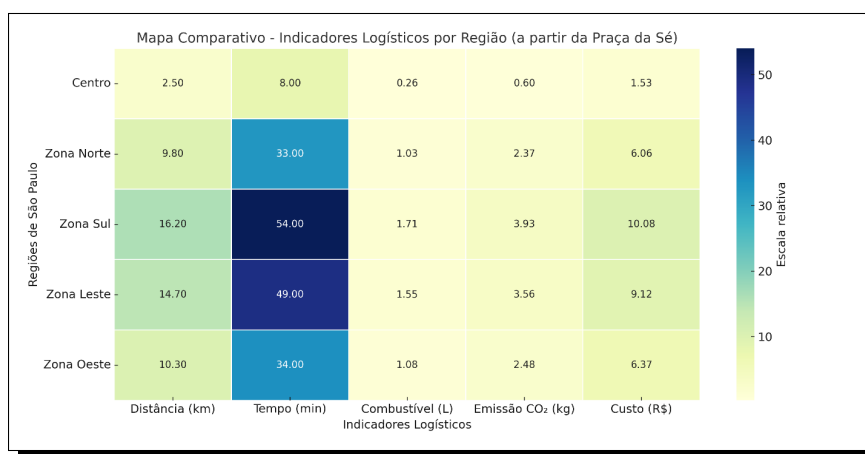


Figura XI.7: Mapa comparativo dos principais indicadores logísticos das entregas de café, por região da cidade de São Paulo

A Figura XI.8 ilustra os trajetos percorridos, na simulação, nas 5 regiões da cidade de São Paulo, tendo como ponto inicial o marco zero da cidade

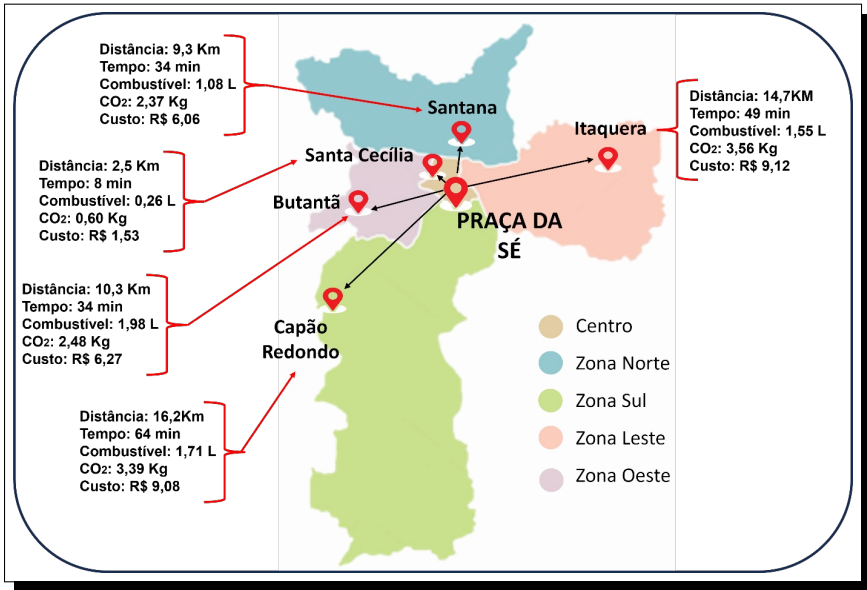


Figura XI.8: Trajetos Simulados de Entrega de Café a Partir do Centro de São Paulo

Observa-se uma consistência nos custos por quilômetro rodado, com leve variação decorrente de arredondamentos no cálculo do consumo. Essa regularidade reforça que o impacto financeiro da entrega está mais relacionado à distância percorrida e ao tempo de permanência no trânsito do que a variações significativas de eficiência veicular entre rotas.

A trajetória do café, quando mapeada em função do marco zero, revela não apenas diferenças logísticas, mas também desigualdades estruturais no território urbano. As zonas mais afastadas enfrentam custos operacionais significativamente superiores, que se refletem no preço final do produto, no tempo de reposição e na qualidade do serviço prestado. Essa assimetria afeta diretamente a competitividade de cafeterias localizadas em regiões periféricas, que muitas vezes operam com margens menores e menor volume de vendas.

Ao analisar a logística da entrega urbana sob a ótica da mobilidade, o estudo evidencia a necessidade de soluções que promovam maior equidade operacional entre as zonas da cidade. O uso de pontos de trans-

bordo intermediários, incentivos à adoção de tecnologias limpas e investimentos em infraestrutura logística descentralizada são caminhos possíveis para reduzir os impactos negativos identificados.

Em síntese, a trajetória do café a partir da Praça da Sé para os diversos territórios paulistanos é mais do que um simples deslocamento de produto: trata-se de uma jornada que evidencia as distâncias operacionais impostas pela geografia urbana, pela infraestrutura desigual e pelos modelos de mobilidade ainda centrados no transporte individual e na lógica centralizada da distribuição. Compreender essas trajetórias é essencial para construir sistemas logísticos mais resilientes, acessíveis e sustentáveis.

XI.5.2 ANÁLISE CRÍTICA

A entrega de café torrado em cafeterias espalhadas pelas zonas da cidade de São Paulo revela, de forma concreta, as disparidades operacionais e territoriais que marcam a mobilidade urbana e a logística de última milha. Quando se considera que o custo da logística influencia diretamente o valor final de um produto, torna-se inevitável reconhecer que o preço de uma xícara de café carrega, embutido em sua estrutura, os efeitos da geografia urbana e da desigualdade de infraestrutura entre as regiões da cidade.

Ao analisar os dados da simulação proposta, nota-se que o custo logístico da entrega varia de R\$ 1,53 por entrega na região central a mais de R\$ 10,08 na zona sul da cidade. Mesmo considerando uma média de 20 kg de café transportados por viagem, e assumindo um rendimento de aproximadamente 135 xícaras por quilo de café [2], o impacto financeiro da entrega por xícara não é desprezível. Na região central, o custo logístico unitário é de aproximadamente R\$ 0,006, enquanto na zona sul chega a R\$ 0,037 por xícara — um aumento superior a 500% apenas pela diferença de localização.

Embora tais valores pareçam pequenos quando observados isoladamente, sua importância aumenta quando se considera a margem de

lucro das cafeterias e os custos agregados da operação (energia, insumos, mão de obra, aluguel, tributos). Para pequenos empreendimentos, localizados em regiões periféricas com menor fluxo de clientes e maior dependência de entregas, a diferença no custo logístico pode representar um fator crítico na viabilidade do negócio.

A variação do custo operacional por zona reflete não apenas a distância, mas também o tempo de deslocamento, as condições do tráfego, a qualidade da malha viária e a presença (ou ausência) de corredores logísticos eficientes. A zona sul, por exemplo, não é a mais distante do marco zero, mas possui o maior tempo médio de trajeto e o maior custo por entrega. A ausência de vias expressas diretas e a predominância de ruas locais congestionadas contribuem para o aumento do consumo de combustível e para o tempo de operação.

Do ponto de vista logístico, essa ineficiência impacta a produtividade do entregador, reduzindo o número de entregas possíveis por turno e elevando o custo de oportunidade. Além disso, o tempo maior de trajeto amplia a exposição do produto às condições externas (temperatura, vibração, umidade), o que pode afetar a qualidade percebida do café em estabelecimentos que prezam por torra fresca e padrão sensorial elevado.

Outro fator de relevância é a densidade populacional das regiões de destino. Zonas com alta densidade, como Santa Cecília (Centro), com 14.200 hab/km² [12], tendem a concentrar maior número de cafeterias em área reduzida, o que permite maior consolidação de entregas e melhor aproveitamento logístico. Já regiões como o Butantã (Oeste), com 7.800 hab/km², ou mesmo Capão Redondo (Sul), com 12.300 hab/km², apresentam uma distribuição mais dispersa dos pontos de consumo, o que reduz a eficiência da roteirização e aumenta o custo por ponto atendido.

Essa relação entre densidade urbana e eficiência logística evidencia a interdependência entre planejamento territorial e mobilidade de mercadorias. Regiões com alta densidade e infraestrutura consolidada oferecem condições mais favoráveis para a logística urbana, com menor

custo por unidade entregue. Por outro lado, áreas com baixa densidade, malha viária deficitária e tráfego intenso representam desafios logísticos que se traduzem em custos mais altos — e que, inevitavelmente, são repassados ao consumidor final.

A desigualdade logística, portanto, amplia a desigualdade de acesso. Uma xícara de café servida no centro de São Paulo custa menos para ser entregue do que a mesma xícara servida em uma cafeteria da zona sul ou leste. Isso não apenas em termos absolutos de frete, mas também considerando tempo de reposição, confiabilidade da entrega e custo ambiental associado à operação. Trata-se de uma externalidade pouco percebida pelo consumidor, mas que compromete a equidade territorial e a competitividade dos estabelecimentos localizados fora do eixo central.

Essa constatação suscita uma pergunta provocadora: quanto custa, de fato, uma xícara de café na cidade de São Paulo? A resposta não está apenas no preço de venda ao consumidor, mas nos custos invisíveis embutidos na sua cadeia logística — custos que variam conforme o território e revelam as assimetrias da mobilidade urbana. A logística não é neutra; ela reproduz, intensifica ou atenua desigualdades já existentes no tecido urbano.

Do ponto de vista da sustentabilidade, essas desigualdades também geram impactos significativos. A emissão de carbono para entregar o mesmo produto em diferentes zonas da cidade varia de 0,60 kg de CO₂ (Centro) a 3,93 kg (Sul), conforme estimativas apresentadas anteriormente. Em um contexto de aquecimento global e metas climáticas internacionais, essa diferença não pode ser ignorada. Entregas mais longas, com menor densidade de atendimento, são menos eficientes e mais poluentes — e a adoção de veículos de pequeno porte, embora útil em termos operacionais, não elimina essa externalidade ambiental.

Adicionalmente, a análise da trajetória do café permite identificar oportunidades para reestruturação dos fluxos logísticos. A criação de *microhubs* regionais, por exemplo, permitiria consolidar entregas e reduzir trajetos de longa distância. O uso de modais alternativos em trechos

finais, como bicicletas elétricas ou triciclos, poderia melhorar a eficiência em regiões densas, reduzindo as emissões e o custo por quilômetro.

Outro caminho possível seria o incentivo à cooperação entre pequenos operadores logísticos e cafeterias da mesma região. A logística compartilhada, ainda incipiente no Brasil, poderia trazer ganhos de escala, especialmente em bairros mais afastados, onde o custo de operação individualizada é proibitivo. Iniciativas desse tipo, porém, dependem de articulação entre o setor privado e políticas públicas de incentivo à inovação urbana.

Em síntese, a entrega do café a partir do marco zero paulistano para as diversas regiões da cidade revela, em números concretos, a desigualdade estrutural da logística urbana. A análise crítica dos dados apresentados não apenas confirma as hipóteses iniciais do estudo, mas amplia a compreensão sobre como o território, a infraestrutura e as escolhas operacionais interferem na precificação, no acesso e na sustentabilidade dos produtos que circulam nas cidades. A xícara de café, neste contexto, transforma-se em lente analítica para observar — e questionar — os fundamentos da mobilidade e da justiça urbana em São Paulo.

XI.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E OPORTUNIDADES DE MELHORIA

XI.6.1 CONCLUSÕES DO ESTUDO DE CASO

O estudo desenvolvido ao longo deste capítulo evidenciou, com base em uma simulação realista de entregas de café a partir da Praça da Sé, o impacto que a localização geográfica, a infraestrutura urbana e os modelos de mobilidade exercem sobre a eficiência logística e o custo operacional da última milha em São Paulo. A entrega de um produto cotidiano, como o café, revelou-se um instrumento valioso para a compreensão de

problemas mais amplos relacionados à mobilidade urbana e à desigualdade territorial.

A principal lição extraída do estudo é a constatação de que o território urbano não é neutro: ele impõe condições distintas de operação logística conforme sua localização, conectividade, densidade e infraestrutura. Regiões mais próximas ao marco zero, como Santa Cecília, apresentaram os menores tempos de deslocamento, menores emissões de carbono e menor custo por entrega. Já bairros mais afastados, como Capão Redondo e Itaquera, impuseram custos logísticos significativamente superiores, mesmo quando a distância linear não parecia justificar tais diferenças.

Essa assimetria territorial reforça a tese de que há uma correlação direta entre desigualdade urbana e desigualdade logística. Bairros com menor infraestrutura viária, menor densidade comercial e conectividade limitada não apenas recebem menos serviços — recebem-nos com menor qualidade, menor frequência e maior custo. O impacto desse desequilíbrio sobre pequenos empreendedores, como donos de cafeterias localizadas fora do centro expandido, é real e tangível.

Outro aprendizado fundamental está na centralidade da mobilidade como vetor transversal da eficiência urbana. A logística de última milha, embora trate da etapa final da entrega, é profundamente influenciada por variáveis externas, como trânsito, regulamentações, infraestrutura de apoio e políticas públicas de transporte. Isso reforça a necessidade de políticas de mobilidade que integrem o transporte de mercadorias à matriz urbana de planejamento, e não o tratem como um apêndice invisível ao fluxo de pessoas.

Do ponto de vista ambiental, os dados de emissão de CO₂ por entrega demonstraram que a sustentabilidade das operações logísticas está fortemente condicionada à distância e ao tempo de deslocamento. Entregas em regiões mais afastadas do centro geram, em média, 6,5 vezes mais emissões do que aquelas realizadas no perímetro central. Essa diferença revela a urgência de integrar critérios ambientais à tomada de decisão logística, tanto por parte do setor público quanto do privado.

A análise das rotas e dos custos operacionais permitiu verificar que os veículos de pequeno porte, como carros de passeio, embora sejam ágeis e flexíveis, apresentam limitações estruturais para a logística urbana, especialmente no que diz respeito à eficiência ambiental e ao uso racional do espaço. A falta de consolidação de cargas e a baixa taxa de ocupação comprometem a sustentabilidade financeira e ambiental dessas operações.

Outro ponto importante refere-se à ausência de infraestrutura logística de apoio nos bairros mais afastados. A inexistência de *microhubs* logísticos ou centros de consolidação regionalizados obriga que todas as entregas sejam feitas a partir de centros distantes, elevando os custos de transporte e o tempo de entrega. A criação de uma malha descentralizada de apoio logístico, com base em dados de demanda e viabilidade técnica, surge como uma necessidade estratégica.

A simulação também evidenciou o papel decisivo da densidade populacional e comercial na viabilidade das operações. Zonas de alta densidade permitem maior concentração de entregas por rota, melhorando a produtividade e reduzindo o custo por unidade entregue. Já regiões com baixa densidade impõem desafios operacionais que exigem modelos logísticos diferenciados e, muitas vezes, subsídio pública ou soluções cooperativas.

O caso analisado confirma, portanto, que a mobilidade urbana deve ser pensada como um sistema integrado, em que a logística de cargas e a mobilidade de pessoas compartilham os mesmos espaços, desafios e oportunidades. Políticas de transporte que não considerem os fluxos de mercadorias tenderão a reproduzir os mesmos erros do passado, comprometendo a eficiência urbana e a justiça territorial.

Para além da constatação dos problemas, o estudo indica caminhos possíveis de melhoria. O primeiro deles é a adoção de soluções de roteirização inteligente com base em inteligência artificial, já amplamente discutidas neste capítulo, que permitem otimizar trajetos, consolidar entregas e reduzir custos operacionais e emissões. A democratização dessas

tecnologias para pequenos operadores logísticos é um passo importante rumo à maior equidade logística.

Outra proposta relevante é o incentivo à criação de *microhubs* urbanos e pontos de transbordo logístico descentralizados, integrados à malha viária e aos polos de consumo. Esses equipamentos devem ser planejados com base em estudos de demanda, localização estratégica e acessibilidade modal, permitindo entregas de curta distância com veículos de menor impacto ambiental.

Do ponto de vista institucional, recomenda-se a inclusão formal da logística urbana nos Planos Diretores e Planos de Mobilidade das cidades. É necessário reconhecer o transporte de mercadorias como parte essencial do funcionamento da cidade, o que exige normativas específicas, infraestrutura dedicada e interlocução permanente entre governo, setor privado e sociedade civil.

Além disso, mecanismos de incentivos fiscais e subsídios para a renovação da frota utilizada em operações de última milha — com foco em veículos híbridos, elétricos ou de baixíssimo consumo — podem acelerar a transição para uma logística mais sustentável. Programas de financiamento público ou parcerias com instituições financeiras poderiam viabilizar essa mudança, especialmente para pequenos operadores.

Por fim, destaca-se a importância da educação logística e da capacitação técnica dos profissionais envolvidos no setor. Motoristas, roteirizadores, gestores operacionais e pequenos empreendedores precisam estar preparados para lidar com um ambiente urbano em constante transformação, com múltiplas restrições e alta complexidade operacional.

A cidade de São Paulo, com sua escala, diversidade e desafios, oferece um campo fértil para a inovação em mobilidade urbana e logística. A entrega de café, embora aparentemente simples, revelou-se um experimento eficaz para mapear desigualdades, testar hipóteses e propor soluções. Que essa xícara de café, em seu trajeto entre a Praça da Sé e as diferentes zonas da cidade, sirva também como ponto de partida para políticas públicas mais inteligentes, negócios mais resilientes e cidades mais justas.

XI.7 OPORTUNIDADES DE MELHORIAS

A partir das evidências levantadas no estudo de caso e das análises críticas conduzidas neste capítulo, é possível estruturar um conjunto de propostas que visam mitigar os desafios logísticos enfrentados nas entregas de última milha em centros urbanos densos como São Paulo. Essas propostas estão organizadas em quatro frentes principais — tecnológica, operacional, institucional e econômica — e reconhecem a necessidade de articulação entre o setor público, o setor privado e a sociedade civil para promover um modelo logístico mais eficiente, justo e sustentável.

XI.7.1 TECNOLÓGICAS: ROTEIRIZADORES COM PARÂMETROS AMBIENTAIS

A primeira linha de ação diz respeito à incorporação de critérios ambientais nos sistemas de roteirização logística. Hoje, a maior parte dos roteirizadores prioriza critérios como tempo de trajeto ou distância total percorrida. No entanto, essas variáveis nem sempre correspondem à rota mais sustentável. Propõe-se, portanto, o desenvolvimento e a adoção de algoritmos de roteirização que considerem também fatores como emissão estimada de CO₂, consumo energético, densidade viária e concentração de poluentes atmosféricos.

Essa abordagem permitiria, por exemplo, evitar rotas congestionadas que implicam maior tempo com motor ligado e menor eficiência energética, ou mesmo priorizar vias com melhor fluidez, ainda que ligeiramente mais longas. Com o avanço dos sensores veiculares e da Internet das Coisas (IoT), essas informações podem ser coletadas em tempo real e retroalimentar os sistemas de roteirização com dados cada vez mais precisos. A integração com plataformas abertas de dados urbanos, como o Mobilab da Prefeitura de São Paulo, pode ampliar ainda mais a eficácia dessa estratégia.

XI.7.2 OPERACIONAIS: USO MAIS ESTRATÉGICO DE *HUBS* LOGÍSTICOS

Do ponto de vista operacional, uma das principais propostas é o uso mais estratégico e descentralizado de *hubs* logísticos urbanos. A cidade de São Paulo carece de uma rede estruturada de microcentros logísticos que permita a desconcentração das operações de distribuição. Tais espaços, se implantados em pontos estratégicos — com base em dados de demanda, acessibilidade e conectividade — poderiam atuar como pontos intermediários para a consolidação e redistribuição de cargas com veículos leves ou não motorizados.

Esses *hubs* devem ser planejados com infraestrutura mínima adequada: áreas de carga e descarga seguras, conexão com transporte público, pontos de recarga elétrica, segurança patrimonial e sistemas de gestão digital. Seu uso compartilhado por diferentes operadores logísticos pode reduzir custos e otimizar recursos. A lógica de funcionamento pode seguir o modelo de *urban consolidation centers* adotado em cidades como Londres e Paris, com resultados comprovados na redução de emissões e do tráfego de caminhões no centro expandido.

XI.7.3 INSTITUCIONAIS: POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ENTREGAS SUSTENTÁVEIS

A terceira dimensão das propostas envolve a formulação de políticas públicas voltadas à logística urbana sustentável. É necessário que os Planos Diretores Municipais e os Planos de Mobilidade Urbana passem a incorporar, de forma estruturada, diretrizes específicas para o transporte de mercadorias. Hoje, a maior parte dessas políticas foca exclusivamente no deslocamento de pessoas, ignorando a complexidade dos fluxos de carga urbana.

Entre as ações institucionais recomendadas estão: a regulamentação de zonas logísticas prioritárias; a criação de faixas exclusivas para veícu-

los de entrega em horários específicos; o licenciamento facilitado para operações em *microhubs*; e a integração dos dados logísticos ao planejamento urbano. A adoção de indicadores de desempenho logístico urbano (KPIs) no âmbito da gestão pública pode facilitar o monitoramento e a avaliação das ações implementadas, criando um ciclo virtuoso de melhoria contínua.

XI.7.4 ECONÔMICAS: INCENTIVO FISCAL PARA VEÍCULOS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

No campo econômico, propõe-se a criação de incentivos fiscais voltados à renovação da frota urbana de entregas. A substituição de veículos antigos e ineficientes por modelos híbridos, elétricos ou com menor consumo de combustível pode gerar benefícios diretos em termos de redução de emissões e melhoria da qualidade do ar. Para viabilizar essa transição, é necessário que o poder público atue por meio de subsídios, linhas de crédito específicas e isenção de tributos sobre veículos limpos.

A isenção de IPVA, por exemplo, já é praticada em alguns estados brasileiros para veículos elétricos, mas ainda não foi estendida à categoria de veículos comerciais de pequeno porte. Outra medida viável seria a criação de programas de *leasing* verde, em que o governo atua como garantidor de financiamentos destinados à aquisição de veículos logísticos sustentáveis por pequenos e médios empreendedores. Parcerias com montadoras e cooperativas de crédito podem ampliar o alcance e a efetividade desses programas.

XI.7.5 INTEGRAÇÃO ENTRE FRENTES DE AÇÃO

Mais do que ações isoladas, o impacto real dessas propostas depende da capacidade de articulação entre as quatro frentes apresentadas. O uso de roteirizadores ambientais, por exemplo, é potencializado pela

existência de *hubs* logísticos descentralizados, que, por sua vez, só se tornam viáveis com políticas públicas adequadas e incentivos econômicos que estimulem a adesão de operadores logísticos. Essa integração é fundamental para garantir escalabilidade, eficiência e permanência das soluções propostas.

XI.7.6 DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO PILOTO MUNICIPAL

Como recomendação prática, sugere-se o desenvolvimento de um plano piloto de logística urbana sustentável na região central de São Paulo, com a Praça da Sé como referência geográfica. O piloto pode incluir a instalação de um *hub* logístico em prédio público subutilizado, a testagem de um sistema de roteirização com parâmetros ambientais para pequenas entregas e a utilização de frota elétrica compartilhada. O acompanhamento dos indicadores de desempenho — como tempo médio de entrega, emissões evitadas, custo operacional por quilômetro e satisfação dos usuários — poderá oferecer evidências concretas para a replicação da iniciativa em outras regiões.

XI.7.7 PARTICIPAÇÃO SOCIAL E TRANSPARÊNCIA

Todas as propostas devem ser acompanhadas de mecanismos de participação social e transparência. A logística urbana afeta diretamente os moradores, os consumidores, os trabalhadores e os empreendedores da cidade. Consultas públicas, plataformas digitais de escuta ativa e conselhos gestores regionais são ferramentas que podem aumentar a legitimidade das ações e garantir que as soluções propostas atendam, de fato, às necessidades reais dos territórios.

XI.7.8 EDUCAÇÃO E CAPACITAÇÃO TÉCNICA

Por fim, destaca-se a importância de ações educativas e de capacitação técnica. A formação de profissionais em logística urbana sustentável deve ser estimulada por meio de programas técnicos, cursos livres, parcerias com universidades e plataformas de ensino a distância. A disseminação de boas práticas e o fortalecimento de redes colaborativas entre entregadores, empreendedores e gestores públicos pode contribuir para a consolidação de uma cultura logística voltada à sustentabilidade e à inovação.

Em síntese, a superação dos desafios da última milha não será alcançada por soluções únicas, mas por um ecossistema de ações articuladas, embasadas em dados, adaptadas à realidade local e comprometidas com os princípios da equidade urbana e da sustentabilidade ambiental. As propostas aqui apresentadas buscam oferecer um ponto de partida para essa transformação — com base na ciência, na prática e na experiência real de uma cidade em movimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LOGÍSTICA – ABRALOG. *Estudo sobre o uso de inteligência artificial na roteirização logística urbana no Brasil*. São Paulo: ABRALOG, 2022.
- [2] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO CAFÉ – ABIC. *Manual de qualidade do café*. São Paulo: ABIC, 2023. Disponível em: <https://abic.com.br>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. *Preços médios de combustíveis – abril 2024*. Brasília: ANP, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- [4] BRASIL. *Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012*. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 4 jan. 2012.
- [5] Companhia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ . **Relatório-Síntese OD 2017**. São Paulo: Metrô, 2019. Disponível em: <https://transparencia.metrosp.com.br/dataset/pesquisa-origem-e-destino/resource/b3d93105-f91e-43c6-b4c0-8d9c617a27fc>. Acesso em: 9 jun. 2026.

- [6] CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Inventário de emissões atmosféricas do transporte rodoviário de cargas na Região Metropolitana de São Paulo – 2022*. São Paulo: CETESB, 2023.
- [7] COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO – CET-SP. *Relatório mensal de lentidão do trânsito em São Paulo – abril de 2023*. São Paulo: CET-SP, 2023. Disponível em: <https://www.cetesp.com.br>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- [8] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – IBAMA. *Fatores médios de emissão de CO₂ por combustível*. Brasília: IBAMA, 2022. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- [9] COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS – CSCMP. *State of Logistics Report 2022*. Oak Brook: CSCMP, 2022. Disponível em: <https://cscmp.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- [10] DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DE SÃO PAULO – DETRAN-SP. *Frota de veículos no município de São Paulo – 2023*. São Paulo: DETRAN-SP, 2024. Disponível em: <https://www.detran.sp.gov.br>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- [11] GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO – GESP. *Rede metroferroviária de São Paulo: extensão e desempenho – 2023*. São Paulo: Secretaria dos Transportes Metropolitanos, 2023. Disponível em: <https://www.stm.sp.gov.br>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- [12] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo Demográfico 2022: população e densidade por sector censitário no município de São Paulo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 mar. 2025.

- [I3] INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. *Atlas da infraestrutura urbana no Brasil: transporte e mobilidade*. Brasília: IPEA, 2022.
- [I4] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. *Tabela de consumo energético veicular – ciclo urbano*. Rio de Janeiro: INMETRO, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro>. Acesso em: 16 mar. 2025.
- [I5] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. *World Urbanization Prospects – 2018 Revision*. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup>. Acesso em: 11 mar. 2025.
- [I6] ONU-HABITAT. *Relatório Global sobre Assentamentos Humanos: Mobilidade Urbana Sustentável*. Nairobi: UN-Habitat, 2020. Disponível em: <https://unhabitat.org>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- [I7] PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. *Plano de Mobilidade Urbana de São Paulo – PlanMob/SP 2021*. São Paulo: Prefeitura Municipal, 2021. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- [I8] TOMTOM. *TomTom Traffic Index – São Paulo*. Amsterdã: TomTom International B.V., 2023. Disponível em: <https://www.tomtom.com>. Acesso em: 19 mar. 2025.
- [I9] WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI BRASIL. *Logística urbana no Brasil: desafios e oportunidades para a última milha*. São Paulo: WRI Brasil, 2021. Disponível em: <https://wribrasil.org.br>. Acesso em: 13 mar. 2025.

XII

TRABALHO LOGÍSTICO E SOFRIMENTO PSÍQUICO: A DIMENSÃO HUMANA NAS OPERAÇÕES EM TEMPO REAL

Dircelene Teixeira do Nascimento ¹

Mírian Cristina de Moura Garrido ²

“As organizações que ignoram o bem-estar das pessoas sacrificam, a longo prazo, sua própria capacidade de sobreviver.”

Adaptado de Jeffrey Pfeffer

¹Psicóloga, Pedagoga e Mestre em Desenvolvimento Humano pela UNITAU

²Pós-doutora em História pela Universidade Federal de São Paulo

XII.1 INTRODUÇÃO

As transformações recentes nos sistemas produtivos e logísticos têm demandado das organizações uma reconfiguração profunda em seus modelos operacionais, com foco na digitalização, na eficiência em tempo real e na integração global das cadeias de suprimentos. No cerne desse processo, encontra-se a intensificação do trabalho logístico, caracterizada pela exigência de decisões ágeis, conectividade constante e controle sobre múltiplos fluxos de dados e materiais. Essa nova configuração, embora promissora em termos de desempenho e produtividade, impõe aos trabalhadores um ritmo acelerado e pressões crescentes, o que tem gerado impactos significativos sobre sua saúde mental e bem-estar psicológico.

Paralelamente ao avanço tecnológico e à adoção de sistemas inteligentes, cresce o reconhecimento de que os fatores psicossociais desempenham um papel determinante na sustentabilidade das operações logísticas. O estresse ocupacional, o presenteísmo, a ambiguidade de papéis³, e a sobrecarga de demandas são fenômenos cada vez mais frequentes no cotidiano dos profissionais da área, influenciando diretamente sua qualidade de vida e, por consequência, a eficiência das organizações.

De acordo com Miraglia e Johns [31] o presenteísmo é definido como o comportamento de trabalhar apesar da doença, em que o indivíduo se mantém em suas atividades laborais mesmo diante de uma condição de saúde que requer o afastamento para a sua recuperação. Esse comportamento pode ser desencadeado por diferentes pressões organizacionais e subjetivas, como medo de faltar, receio de perder o emprego, políticas internas rígidas, sobrecarga de tarefas, estresse elevado, ausên-

³Ridjal e Muhammadin [39], evidenciam que a ambiguidade de papéis aumenta o estresse e a intenção de demissão, mesmo quando o ambiente de trabalho é positivo, pois o estresse intensifica os efeitos negativos da indefinição de funções e reduz o impacto protetivo do clima organizacional. De forma convergente, Tucker, Jimmieson e Jamieson [48] demonstram que a ambiguidade e o conflito de papéis também contribuem para distúrbios do sono, insatisfação e maior intenção de desligamento, ainda que a carga horária não seja excessiva.

cia de apoio no ambiente de trabalho e condições de saúde já existentes. O estudo conduzido pelos referidos autores, envolvendo 175.965 participantes, evidencia que esses fatores ajudam a compreender por que muitos trabalhadores optam por comparecer ao trabalho mesmo adoecidos, um fenômeno que tende a ser mais recorrente e complexo do que as ausências propriamente ditas.

Complementando essa perspectiva, Demerouti et al. [12] ressaltam que o presenteísmo vai além das motivações que levam o trabalhador a permanecer em atividade: a presença de colaboradores adoecidos no trabalho constitui um desafio significativo, pois tende a comprometer a produtividade e a qualidade do desempenho, resultando em elevação dos riscos de acidentes de trabalho e aumento dos custos financeiros para a organização.

Conforme demonstrado por Yoo, Song e Kim [50], o tema exige uma reflexão mais aprofundada em contextos laborais de alta intensidade física e forte pressão por resultados. Investigando trabalhadores de centros logísticos, expostos a prazos rígidos, esforço repetitivo e riscos musculoesqueléticos, os autores identificaram, em uma amostra de 353 participantes, que jornadas extensas, contratos temporários, exigência física elevada e privação de sono aumentam significativamente a probabilidade de comparecimento ao trabalho mesmo diante de problemas de saúde. Esses fatores, por sua vez, elevam quase ao dobro o risco de depressão e ansiedade. Para os pesquisadores, a escassez de estudos específicos na área evidencia a necessidade urgente de estratégias organizacionais capazes de identificar, monitorar e mitigar o presenteísmo, sobretudo em setores onde as demandas operacionais favorecem seu agravamento.

Em síntese, ao integrar essas perspectivas, observa-se que o presenteísmo não pode ser compreendido como um simples ato de “estar presente”, mas como um fenômeno multifacetado que atravessa condições de saúde, pressões organizacionais, riscos de acidentes e impactos psicossociais. Essa compreensão amplia o olhar sobre a gestão do trabalho contemporâneo e reforça a necessidade de políticas de saúde ocupacional que reconheçam o presenteísmo como um indicador crítico do bem-

estar e do adoecimento no ambiente laboral. Nesse contexto, torna-se essencial que a gestão logística amplie seu escopo de atuação, articulando o desempenho técnico-operacional com estratégias de cuidado, prevenção e promoção da saúde, de modo a criar ambientes de trabalho mais seguros, sustentáveis e humanizados.

Este capítulo tem como objetivo analisar as inter-relações entre a gestão de pessoas e a saúde mental no contexto das operações logísticas. Essa análise é conduzida sob uma perspectiva interdisciplinar, integrando aportes da Logística e da Psicologia Organizacional, para evidenciar a importância estratégica do fator humano na sustentabilidade das cadeias de suprimentos.

Ao final deste capítulo, espera-se que o leitor seja capaz de:

- Discutir criticamente as novas competências exigidas pela transformação tecnológica dos processos logísticos.
- Mapear os principais fatores de estresse associados às práticas logísticas.
- Examinar os impactos do estresse ocupacional sobre a saúde mental e a produtividade dos profissionais da área.
- Identificar estratégias organizacionais que conciliem a promoção do bem-estar no ambiente de trabalho, com a busca pela eficiência operacional.

XII.2 A INTENSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS NA CONTEMPORANEIDADE

A busca contínua por maior eficiência e a necessidade de atender às expectativas dinâmicas dos consumidores têm exigido das empresas respostas cada vez mais ágeis às mudanças do mercado. Essa exigência re-

flete a intensificação dos processos produtivos, um fator que se associa, paradoxalmente, à busca pela melhoria do padrão de vida geral. O paradoxo reside no fato de que, embora promova a eficiência e a disponibilidade de bens de consumo que teoricamente elevam o padrão da sociedade, a intensificação impõe um ritmo de trabalho acelerado, pressão constante por resultados e sobrecarga mental ao trabalhador. Dessa forma, a melhoria é alcançada mediante o sacrifício do bem-estar e da saúde física e mental dos indivíduos responsáveis pela manutenção dessa alta produtividade.

Nesse cenário de crescente complexidade, a logística assume um papel estratégico, como observa Chertykovtsev [7] ao coordenar de maneira eficiente os fluxos de materiais e informações. Para o autor, o processo logístico é composto por etapas interligadas, sendo desde o uso de recursos naturais, extração e reciclagem, até a armazenagem, distribuição e transporte, cada uma desempenhando função específica: os recursos alimentam a cadeia, a reciclagem transforma insumos, o transporte representa perdas por gerar custos (tempo e recursos) sem agregar valor ao produto, a armazenagem introduz pausas no fluxo e a distribuição concentra os custos comerciais.

A Figura XII.1 sintetiza graficamente essas fases, destacando a lógica sequencial que organiza o fluxo de operações. Essa representação facilita a percepção das interdependências entre etapas, evidenciando como cada uma contribui para o desempenho global da cadeia logística e para a intensificação do trabalho nas organizações.

A visualização dessas etapas permite compreender de que maneira o processo logístico se articula como um sistema contínuo, no qual falhas, pausas ou pressões em um ponto repercutem em toda a cadeia. Além disso, reforça-se a dualidade entre eficiência operacional e intensificação do trabalho: quanto mais complexa e integrada é a estrutura logística, maior a demanda sobre os trabalhadores responsáveis por mantê-la em funcionamento.



Figura XII.1: Sequência Operacional do Processo Logístico. Fonte: Adaptado de Chertykovtsev (2021) [7]

A partir dessa leitura integrada das etapas, torna-se possível avançar para a compreensão dos fluxos internos que sustentam o funcionamento da cadeia.

Com base nessa estrutura, observa-se que as operações logísticas nas empresas envolvem dois fluxos principais: o de materiais, que abrange suprimento, transporte, armazenagem, produção e vendas; e o de informações, que inclui coleta, armazenamento, processamento e transmissão de dados. A complexidade desses processos está diretamente relacionada às particularidades da atividade empresarial e ao tipo de tecnologia empregada. Com a incorporação crescente de tecnologias digitais, o processo logístico tende a evoluir cada vez mais, tornando-se mais automatizado, eficiente e ajustado às demandas operacionais [43].

Nesse cenário de crescente complexidade e transformação tecnológica, destaca-se o papel estratégico da gestão logística. Para Melnykova

[30], a gestão logística integra-se de forma estratégica ao sistema de gestão empresarial, estabelecendo vínculos estreitos com setores como finanças, operações, tecnologia da informação e marketing. A eficiência dos processos logísticos impacta diretamente a competitividade organizacional, tornando essencial uma compreensão ampla e sistêmica desses processos. Nesse contexto, a gestão logística deve ser reconhecida como um eixo central para a condução eficaz das atividades logísticas, realizadas dentro das empresas e ao longo das cadeias de suprimentos.

Além da importância estratégica da gestão logística, estudos recentes sinalizam para a relevância prática da otimização de processos nas empresas. Tokarski e Łuczak [47] demonstraram que iniciativas voltadas à melhoria contínua, ao fortalecimento da maturidade dos processos e à incorporação de tecnologias da informação contribuem diretamente para o aumento da eficiência e da competitividade. A adoção dessas medidas, segundo os autores, depende da atuação consciente dos gestores, que devem liderar as transformações para enfrentar um mercado em constante mudança e obter vantagem sobre os concorrentes.

Em síntese, a intensificação dos processos logísticos é uma resposta inevitável às exigências de um mercado que busca eficiência e agilidade, culminando na crescente automação dos fluxos de materiais e informações. Contudo, essa complexidade estrutural e a necessidade de otimização contínua, embora fundamentais para a competitividade [30, 47], impõem um custo paradoxal de sobrecarga mental e física aos colaboradores. Portanto, a compreensão dos modelos e fluxos logísticos é incompleta sem a análise do fator humano, que se torna o elo mais vulnerável e estratégico dessa cadeia.

Assim, diante desse panorama de intensificação estrutural e pressões crescentes, torna-se indispensável compreender como tais transformações repercutem diretamente no trabalho cotidiano. É nesse ponto que emergem as competências e condições de trabalho na logística contemporânea, as quais podem ser sintetizadas em quatro eixos centrais que dialogam com as novas exigências do setor. Esses eixos abrangem tanto o perfil profissional ampliado pelas demandas tecnológicas quanto as

mudanças promovidas pela Indústria 4.0 e, sobretudo, seus efeitos sobre a saúde do trabalhador. Essa articulação conceitual abre caminho para analisar como, no contexto da logística em tempo real, tais dinâmicas intensificam o estresse ocupacional e afetam o bem-estar psicológico dos profissionais.

XII.3 TRANSFORMAÇÃO LOGÍSTICA EM TEMPO REAL E ESTRESSE OCUPACIONAL: EXIGÊNCIAS ATUAIS E IMPACTOS NA SAÚDE MENTAL DO TRABALHADOR

A logística em tempo real representa um avanço significativo nas práticas de gestão da cadeia de suprimentos, ao permitir monitoramento contínuo e decisões ágeis fundamentadas em dados integrados. O uso de sistemas de rastreamento, roteirização, gestão de transportes e estoques, aliado a plataformas digitais, ampliou a eficiência e melhorou a comunicação entre os diferentes elos logísticos.

Entretanto, essa modernização também redefiniu as competências e condições de trabalho no setor. Como introduzido anteriormente, as competências e exigências profissionais na logística atual se organizam em quatro eixos centrais, que envolvem a ampliação do perfil profissional, a incorporação das tecnologias da Indústria 4.0, a necessidade de domínio técnico e digital, e, sobretudo, as repercussões diretas dessas transformações sobre a saúde do trabalhador. Esse enquadramento permite compreender como a lógica da operação em tempo real produz pressões objetivas que se conectam aos riscos psicossociais emergentes.

Nesse contexto mais amplo, o perfil do profissional logístico também passou por mudanças expressivas. Se antes sua atuação dependia de rotinas relativamente estáveis, hoje exige-se domínio de fluxos contínuos de informação, capacidade de resolver problemas sob pressão e maior

resiliência emocional. A pandemia de COVID-19 acentuou ainda mais essas exigências, acelerando a adoção de tecnologias digitais e ampliando a demanda por novas competências. Conforme analisam Koh e Yuen [20], as habilidades necessárias à logística 4.0 distribuem-se em quatro domínios, negócios, logística, digital e pessoal, refletindo o caráter interconectado do trabalho contemporâneo.

A Figura XII.2 sintetiza essa evolução, evidenciando as transições entre modelos tradicionais de trabalho e as demandas contemporâneas da logística conectada, rápida e orientada por dados.

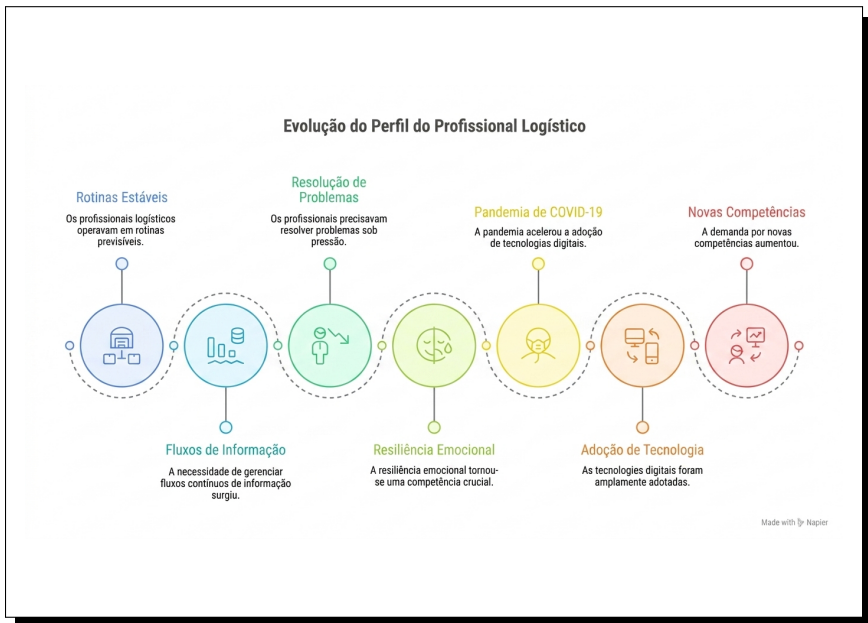


Figura XII.2: Evolução do Perfil Profissional Logístico

A Figura XII.2 evidencia que o novo perfil profissional logístico combina competências técnicas e comportamentais. Além do domínio tecnológico, os trabalhadores precisam atuar de forma colaborativa, interpretar dados e adaptar-se rapidamente a situações imprevistas. Competências como comunicação, pensamento crítico e resiliência tornam-se essenciais. Compreender essa evolução orienta ações de formação e gestão alinhadas às exigências atuais do setor.

Nesse movimento, cresce a demanda por profissionais com qualificações atualizadas, capazes de aliar domínio técnico, flexibilidade e inteligência emocional. Em tal cenário, instituições de ensino e programas de formação profissional tornam-se estratégicos na preparação de trabalhadores aptos a enfrentar desafios operacionais, tecnológicos e humanos cada vez mais complexos [46, 34]. Ainda assim, os impactos dessa intensificação sobre a saúde mental permanecem pouco explorados, especialmente diante de evidências que apontam maior prevalência de estresse crônico, *burnout*, queda na performance cognitiva e aumento do absenteísmo.

Contudo, essa modernização ampliou as exigências sobre os profissionais. Em ambientes altamente dinâmicos, a necessidade de respostas rápidas, o fluxo contínuo de informações e a vigilância constante de indicadores intensificam o esforço mental e a sobrecarga cognitiva. Metas de desempenho e redução de custos, muitas vezes distantes das condições reais, ampliam a pressão diária e favorecem quadros de fadiga extrema.

A multiplicidade de tarefas e a conectividade ininterrupta dificultam a desconexão fora do expediente, comprometendo descanso e equilíbrio emocional. A crescente mediação tecnológica nas interações reduz o contato direto entre os trabalhadores, enfraquecendo vínculos coletivos e contribuindo para experiências de isolamento.

Assim, o estresse ocupacional emerge quando as demandas do trabalho ultrapassam a capacidade de adaptação do indivíduo, gerando fadiga persistente, distúrbios do sono, dores musculares, irritabilidade, ansiedade, desmotivação e dificuldades de concentração. No comportamento, tornam-se mais frequentes o aumento de erros, retraimento social, uso de estimulantes e maior absenteísmo, quadro que, quando prolongado, intensifica o sofrimento psíquico e abre espaço para o desenvolvimento da Síndrome de *Burnout*, forma crônica e agravada de exaustão relacionada ao trabalho.

Prosseguindo na análise, Vieira e Russo [49] destacam que o *burnout*, entendido como resposta à exposição prolongada ao estresse laboral, tem sido reconhecido como um problema de saúde pública, devido

aos seus impactos emocionais, como relação com quadros depressivos e aos efeitos socioeconômicos, incluindo aumento do absenteísmo, da rotatividade e dos custos previdenciários. As autoras observam que, embora alguns países já o classifiquem como transtorno psiquiátrico, seu reconhecimento institucional ainda é desigual. No Brasil, apesar de legalmente associado ao trabalho desde 1999, seu acolhimento prático permanece limitado e atravessado por disputas entre pesquisadores, sindicatos e empregadores.

Na continuidade conceitual, Jodas e Haddad [17] reforçam a importância de distinguir o estresse da Síndrome de *Burnout*. Enquanto o estresse corresponde a reações fisiológicas e emocionais provocadas por fatores diversos, o *burnout* constitui uma resposta mais intensa e prolongada ao estresse ocupacional crônico, marcada por alterações negativas de atitude e comportamento no ambiente de trabalho. Segundo os autores, tais alterações comprometem o desempenho, as relações interpessoais e a qualidade das atividades realizadas, sobretudo quando as estratégias de enfrentamento se mostram insuficientes.

Nesse entendimento, a Organização Mundial da Saúde - OMS [35] esclarece, no CID-II, que o *burnout* não é considerado transtorno mental, mas sim um fenômeno ocupacional decorrente de estresse crônico no trabalho que não foi adequadamente administrado. É caracterizado por exaustão intensa, distanciamento mental ou negativismo em relação ao trabalho e redução da eficácia profissional, sendo restrito exclusivamente ao contexto laboral.

Ao analisar esse fenômeno no campo da logística, Zorzeto e Nascimento [52] indicam que os profissionais do setor estão expostos a condições que favorecem o adoecimento mental, tendo o *burnout* como manifestação central. Para os autores, jornadas extensas, pressões constantes por desempenho e ambientes competitivos impulsionam o esgotamento emocional, agravado pela falta de suporte psicológico oferecido pelas organizações.

Por fim, ampliando o olhar para diretrizes internacionais, a OMS e a Organização Internacional do Trabalho [36] enfatizam que ambientes

laborais adoecedores, marcados por cargas excessivas, comportamentos negativos, *bullying* e violência psicológica, são determinantes para o sofrimento psíquico. As entidades alertam que 15% dos adultos empregados apresentam algum transtorno mental e que depressão e ansiedade resultam anualmente na perda de 12 bilhões de dias de trabalho. As diretrizes recomendam que empresas e governos fortaleçam políticas de prevenção de riscos psicossociais, implementem suporte psicológico efetivo e promovam ambientes inclusivos.

XII.4 BEM-ESTAR PSICOLÓGICO E GESTÃO ORGANIZACIONAL

Dentro das organizações contemporâneas coexistem trajetórias e modos singulares de perceber o mundo do trabalho, assim cada colaborador traz consigo uma história feita de expectativas, vulnerabilidades, potências e modos próprios de significar suas experiências. Nesse cenário, o bem-estar psicológico emerge não apenas como uma dimensão subjetiva, mas como um componente estruturante da vida organizacional, capaz de influenciar relações, processos e resultados.

Compreender o bem-estar, implica reconhecer que o trabalho pode assumir múltiplas funções: fonte de realização, espaço de pertencimento e aprendizagem, mas também campo de tensões, sobrecargas e conflitos. Quando a gestão se orienta pela escuta, pelo cuidado e pelo respeito às necessidades humanas, ela reorganiza práticas e redesenha processos. Assim, o tema do bem-estar psicológico articula-se com um horizonte mais amplo: o da construção de culturas organizacionais que valorizem pessoas tanto quanto desempenho, e que compreendam a saúde mental como condição para inovação, criatividade e sustentabilidade social.

Nesta seção, são analisados os modos pelos quais fatores como ambiente de trabalho, práticas de liderança, comunicação e cultura interna influenciam o bem-estar, bem como as formas pelas quais a gestão pode atuar para promovê-lo de maneira consistente e humanizada.

Hijazi e Amili [16] registram que as recentes transformações nas cadeias de suprimentos *just-in-time*, associadas à pressão por produtividade e à necessidade de flexibilidade frente às variações da demanda, têm afetado diretamente a saúde física e psicológica dos trabalhadores. A intensificação das exigências reforça a urgência de revisar e aprimorar as medidas de saúde e segurança adotadas pelo setor logístico.

Como já discutido na seção anterior, o estresse ocupacional possui múltiplas formas de expressão e pode conduzir tanto ao absenteísmo quanto ao presenteísmo. Aqui, aprofunda-se essa distinção no plano prático, examinando como diferentes intensidades de sofrimento, influenciam a resposta do trabalhador.

Sob essa ótica, quando o estresse atinge intensidade elevada e gera um comprometimento profundo da saúde psíquica, como episódios de esgotamento, crises de ansiedade, síndrome do pânico, *burnout* ou depressão, tende-se a observar o absenteísmo, compreendido como impossibilidade concreta de manter o desempenho laboral. Trata-se, nesse contexto, de uma resposta de limite: o corpo ou a mente já não sustentam as demandas impostas pela organização.

Por outro lado, quando o sofrimento é moderado, mas ocorre em ambientes que desencorajam a ausência, seja por medo de punições, vigilância constante, competição interna ou culturas tóxicas de desempenho, emerge com maior intensidade o presenteísmo, como forma de defesa individual e coletiva para manter o lugar no grupo e evitar sanções simbólicas ou reais.

Para melhor compreensão, na Figura XII.3 apresenta-se a relação entre a situação enfrentada pelo trabalhador e seus efeitos predominantes:

A relação entre intensidade do estresse, sofrimento e presenteísmo tem sido confirmada por estudos recentes. A dinâmica entre estresse laboral, sofrimento e formas de presença no trabalho tem sido amplamente documentada na literatura recente. Yoo, Song e Kim [50], ao analisarem trabalhadores de centros logísticos submetidos a rotinas intensas, prazos rigorosos e exigências físicas permanentes, identificaram que essas condições favorecem o presenteísmo, caracterizado pela per-



Figura XII.3: Manifestações de Absenteísmo e Presenteísmo, segundo a Intensidade do Estresse e as Respostas Laborais.

manência no trabalho mesmo diante de limitações físicas ou emocionais. Segundo os autores, essa prática está associada ao agravamento de sintomas de ansiedade e depressão, configurando um padrão de adoecimento silencioso que se prolonga no tempo.

Resultados convergentes são apresentados por Moubarak e Omar [33], que, ao revisarem evidências sobre penosidade no trabalho logístico, identificaram fatores como pressão elevada, demandas físicas e mentais intensas e exposição contínua a agentes nocivos. Tais condições favorecem o aumento do estresse, da fadiga e da incidência de acidentes. Com base nesses achados, os autores formularam hipóteses re-

lacionando exigências físicas, jornadas atípicas e ambientes hostis ao comprometimento da saúde ocupacional, destacando ainda que a deterioração das condições de trabalho pode comprometer o desempenho logístico, gerando falhas operacionais, atrasos e custos adicionais.

A aproximação entre os resultados dessas pesquisas evidencia que ambientes marcados por sobrecarga, pressão e exigências constantes tendem a produzir não apenas elevação dos níveis de estresse, mas também variações de suas manifestações, que podem resultar seja em presenteísmo, seja em absenteísmo, conforme a intensidade do adoecimento. Esse conjunto de evidências reforça a necessidade de políticas organizacionais que promovam estratégias de monitoramento, acolhimento e prevenção, atuando simultaneamente sobre as condições de trabalho e sobre a preservação da saúde dos profissionais.

Essa compreensão dialoga com análises clássicas de Dejours [10] e Seligmann-Silva [42], para quem os impactos do sofrimento laboral não se restringem ao indivíduo, mas expressam uma lógica organizacional que tende a subordinar o bem-estar humano às pressões da produtividade. Assim, repensar a forma como o trabalho logístico é concebido e organizado torna-se fundamental para a construção de ambientes mais humanos e sustentáveis, em que saúde, segurança e eficiência possam coexistir de maneira equilibrada.

Nesse mesmo movimento de reconhecer que o adoecimento não decorre apenas de fatores individuais, mas também das condições organizacionais do trabalho, A Portaria do Ministério do Trabalho e Emprego nº 1.419/2024 determina que, a partir de 26 de maio de 2026, a Norma Regulamentadora nº 1 incluirá explicitamente os fatores de risco psicossociais no Gerenciamento de Riscos Ocupacionais, incorporando-os ao inventário de riscos ao lado dos riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes. A medida reconhece que a forma como o trabalho é organizado, planejado e executado pode afetar a saúde física, mental e social dos trabalhadores. Essa diretriz é detalhada no Guia de Informações sobre Fatores de Risco Psicossociais Relacionados ao Trabalho, que orienta a identificação, avaliação e controle desses fatores,

destacando situações como metas inatingíveis, sobrecarga, assédio moral, comunicação deficiente, isolamento e desequilíbrio entre esforço e recompensa como riscos organizacionais que demandam ações preventivas específicas.

Essas evidências normativas e organizacionais convergem com achados empíricos que mostram como as condições de trabalho influenciam diretamente o bem-estar psicológico dos profissionais da área logística. No contexto universitário, Liang-Hu [23] avaliou a saúde mental de funcionários do setor de logística de uma universidade chinesa e identificou que, embora a maioria apresentasse níveis de sofrimento psicológico abaixo da média nacional, grupos específicos, sobretudo profissionais da linha de frente, com maior escolaridade e entre 40 e 49 anos, demonstraram sintomas moderados, indicando vulnerabilidade a fatores psicossociais do ambiente laboral. De forma complementar, Fruscione et al. [15] analisaram 413 trabalhadores de logística e distribuição e demonstraram que baixos níveis de suporte no trabalho, entendidos como ausência de apoio emocional, social ou organizacional, associam-se a maior risco cardiovascular e menor bem-estar psicológico. O estudo também identificou que comportamentos como sedentarismo, consumo de álcool e baixa escolaridade agravam esses riscos, ao passo que funções mais ativas tendem a favorecer maior percepção de bem-estar.

Em conjunto, as evidências discutidas ao longo deste capítulo mostram que o bem-estar psicológico no trabalho resulta de uma articulação contínua entre condições organizacionais, demandas emocionais e práticas de gestão. Ambientes marcados por pressão excessiva, funções indefinidas, baixo suporte e sobrecarga tendem a intensificar o estresse e favorecer tanto o presentismo quanto o absenteísmo, repercutindo na saúde dos trabalhadores e no desempenho das operações. A incorporação dos fatores de risco psicossociais ao Gerenciamento de Riscos Ocupacionais, estabelecida pela Portaria MTE nº 1.419/2024, reforça esse entendimento ao reconhecer que a organização do trabalho é determinante para a proteção da saúde física e mental. Assim, promover ambientes mais humanos, claros e sustentáveis deixa de ser apenas uma

diretriz normativa e se afirma como condição essencial para a continuidade, a segurança e a eficiência das atividades laborais.

XII.5 CORPO, MENTE E TRABALHO: CAMINHOS QUE LEVAM DO SOFRIMENTO AO ADOECIMENTO

A relação entre corpo, mente e trabalho constitui um dos eixos centrais para compreender o adoecimento nas organizações contemporâneas. Muito além de um conjunto de tarefas, o trabalho é um espaço onde se cruzam exigências produtivas, vínculos subjetivos, conflitos simbólicos e afetos que moldam a experiência cotidiana dos trabalhadores. Quando há equilíbrio entre o que se exige e o que se pode oferecer, a atividade pode gerar sentido, pertencimento e bem-estar. Contudo, quando a organização do trabalho impõe ritmos incompatíveis com a capacidade humana, restringe a autonomia ou mina o reconhecimento, abre-se um caminho que progressivamente conduz do sofrimento à doença.

Esse processo é analisado à luz da psicodinâmica do trabalho, destacando-se as contribuições de Dejours [10], para quem o sofrimento laboral assume múltiplas formas, variando conforme a organização e a natureza das atividades desenvolvidas. Atividades repetitivas, por exemplo, geram uma insatisfação que transcende o mero desconforto, podendo desencadear tanto doenças psíquicas quanto físicas. Isso ocorre porque corpo e mente operam de forma integrada: o desequilíbrio de um afeta imediatamente o outro, comprometendo o bem-estar geral do trabalhador. De acordo com Dejours [10]:

o trabalho repetitivo cria uma insatisfação [...] que se abre para as descompensações mentais ou doenças somáticas”, uma vez que a vida psíquica funciona como eixo de inte-

gração dos órgãos, e sua ruptura repercute amplamente sobre a saúde física e mental.

Em contextos de frustrações recorrentes ou pressões organizacionais intensas, esse equilíbrio torna-se ainda mais frágil. Trabalhadores podem recorrer ao uso de álcool ou psicotrópicos como forma de aliviar a pressão interna, expressando, conforme registra Dejours [10] mecanismos silenciosos de sobrevivência subjetiva diante do sofrimento psíquico.

Esse percurso do sofrimento em direção ao adoecimento não é linear. Ele se desenrola em camadas que começam na insatisfação sutil, avançam para a tensão persistente e, diante da exposição prolongada a fatores adversos, podem alcançar níveis de exaustão capazes de comprometer tanto o funcionamento psíquico quanto o fisiológico. É nesse ponto que o diálogo com os modelos de estresse se torna necessário. Lipp [25] conceitua o estresse como uma resposta fisiológica a situações que demandam esforços adaptativos, envolvendo alterações destinadas a restaurar o equilíbrio interno, desencadeadas tanto por fatores externos quanto por interpretações subjetivas de ameaça. Em alinhamento teórico, Sely [41] propôs o modelo trifásico da Síndrome Geral de Adaptação, no qual o organismo passa pelas fases de alerta, resistência e exaustão, esta última marcada pela deterioração dos sistemas fisiológicos diante da persistência do estressor. A partir dessa formulação, Lipp [26, 27] e Lipp [28] introduziram a fase de quase-exaustão, que representa o limiar entre adaptação e adoecimento e evidencia a limitação da capacidade adaptativa humana.

A Figura XII.4, apresenta-se a progressão clássica do estresse crônico, composta por quatro fases que descrevem como o organismo reage, se adapta e, posteriormente, entra em declínio quando a exposição às demandas se mantém sem recuperação adequada.

A Figura XII.4 sintetiza visualmente esse processo, evidenciando como o organismo percorre, de forma progressiva, o caminho que vai do estado de alerta inicial ao esgotamento dos recursos físicos e emocionais, culminando na manifestação de riscos psicossomáticos. Essa

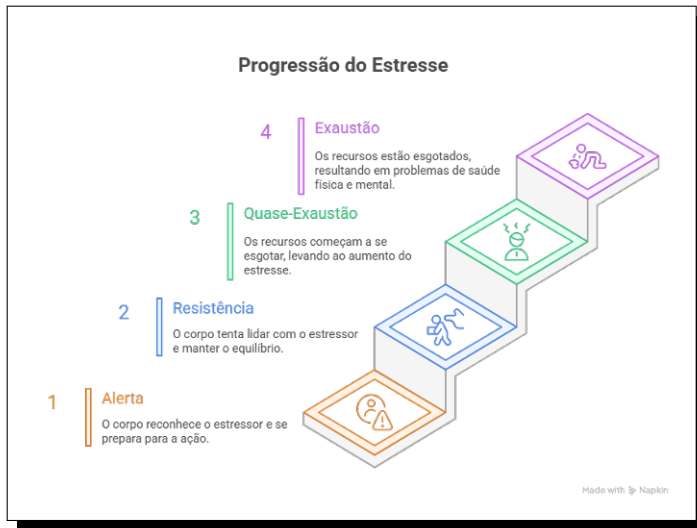


Figura XII.4: Etapas da Progressão do Estresse Crônico no Organismo.
Fonte: Adaptado de Sely [41] e Lipp [25]

representação contribui para uma compreensão integrada das respostas fisiológicas e subjetivas que estruturam o adoecimento relacionado ao trabalho, permitindo visualizar com clareza o impacto cumulativo das demandas prolongadas.

Tais mecanismos encontram amplo respaldo na literatura biomédica contemporânea. Pesquisas têm demonstrado que a manutenção do estresse crônico não apenas intensifica a vulnerabilidade psicossocial, mas também participa diretamente da etiologia de múltiplas condições clínicas, incluindo transtornos psiquiátricos (como depressão, ansiedade e TEPT), doenças neurodegenerativas (Alzheimer e Parkinson) e enfermidades metabólicas e cardiovasculares, como diabetes e hipertensão [11]. Assim, a progressão ilustrada na figura dialoga estreitamente com achados científicos que evidenciam os efeitos sistêmicos do estresse prolongado sobre a saúde.

No campo cognitivo, afeta funções como memória, aprendizagem e tomada de decisão, ao mesmo tempo em que compromete o equilíbrio entre vida pessoal e profissional, favorecendo isolamento social e

perda da qualidade de vida. No plano fisiológico, pode desencadear distúrbios do sono, dores musculares, doenças dermatológicas, distúrbios gastrointestinais e agravar condições autoimunes, além de estar associado a processos neoplásicos, conforme demonstram Buscemi et al. [4], Dai et al. [9], Rei et al. [38], Prabha [37], Schure, Christopher e Christopher [40], Sobel e Markov [44] e Terehov e Yakovlev [45]. Em especial, Dai et al. [9] evidenciam que o comprometimento das funções imunológicas e inflamatórias causado pelo estresse prolongado, pode inclusive favorecer o desenvolvimento de câncer.

Essas constatações fortalecem o diálogo com a medicina psicossomática, que há décadas destaca a interação entre fatores biológicos, emocionais e sociais na gênese das doenças [13, 18, 14]. Dessa articulação surge a psicossociossomática de Mello Filho [29], que enfatiza o cuidado integral, considerando corpo, mente e contexto social como dimensões inseparáveis na promoção da saúde. No plano organizacional, essa perspectiva evidencia a urgência de estratégias de suporte que incluam programas de apoio psicológico, redes coletivas de cuidado e ações de promoção do autocuidado, especialmente em setores de alta pressão, como a logística.

Apesar dos avanços tecnológicos e do monitoramento em tempo real, ainda são incipientes as políticas corporativas que reconhecem o bem-estar psicossocial como elemento estratégico para o desempenho. A pressão contínua por resultados e a necessidade de respostas imediatas consolidam cenários que favorecem o surgimento de riscos psicossociais e comprometem o equilíbrio físico e emocional dos trabalhadores. Torna-se, portanto, fundamental que as organizações invistam em acolhimento psicológico, suporte social interno e práticas estruturadas de saúde no trabalho, capazes de mitigar o desgaste decorrente do estresse crônico e fortalecer a resiliência organizacional, viabilizando contextos laborais que conciliem desempenho, dignidade e proteção à saúde.

XII.6 FUNDAMENTOS DO CUIDADO E ESTRATÉGIAS DE SAÚDE MENTAL NO TRABALHO LOGÍSTICO

Este capítulo apresenta os fundamentos que orientam as políticas institucionais de cuidado no trabalho logístico, tomando como referência perspectivas contemporâneas que entendem o trabalho como atividade complexa, marcada por exigências emocionais, cognitivas e relacionais. A partir dessa base conceitual, discute-se como intervenções planejadas podem promover condições mais saudáveis, fortalecer a participação dos trabalhadores e reduzir impactos negativos associados à organização do trabalho.

A compreensão do sofrimento psíquico como expressão legítima das adversidades laborais constitui um princípio ético fundamental. Conforme observa Seligmann-Silva [42], o sofrimento no trabalho não é um fenômeno isolado ou individual, mas está vinculado às práticas de gestão, às exigências produtivas e às dinâmicas institucionais que estruturam a vida laboral. Quando essas dimensões são ignoradas, intensificam-se efeitos como exaustão, tensão emocional, insegurança e desgaste subjetivo, favorecendo situações de adoecimento físico e mental.

Promover saúde mental no contexto logístico demanda intervenções que considerem simultaneamente a organização das tarefas, a experiência subjetiva dos trabalhadores e as relações coletivas. No plano organizacional, essa promoção envolve analisar ritmos, cargas, metas e exigências que compõem o trabalho real, reconhecendo a variabilidade das situações enfrentadas cotidianamente. No plano subjetivo, requer compreender como os trabalhadores atribuem sentido às suas atividades, percebem reconhecimento e constroem identidade profissional. No plano relacional, torna-se necessária a criação de espaços de diálogo, co-

operação e apoio, que possibilitem elaborar tensões e transformar o sofrimento em experiência compartilhada.

Com base nesses referenciais, apresenta-se um conjunto de estratégias de intervenção psicossocial reunidas na Figura XII.5. Essas ações articulam contribuições de diferentes abordagens teórico-metodológicas e propõem caminhos para prevenir o adoecimento, reduzir fatores de risco e fortalecer a participação dos trabalhadores na análise e transformação das condições de trabalho.

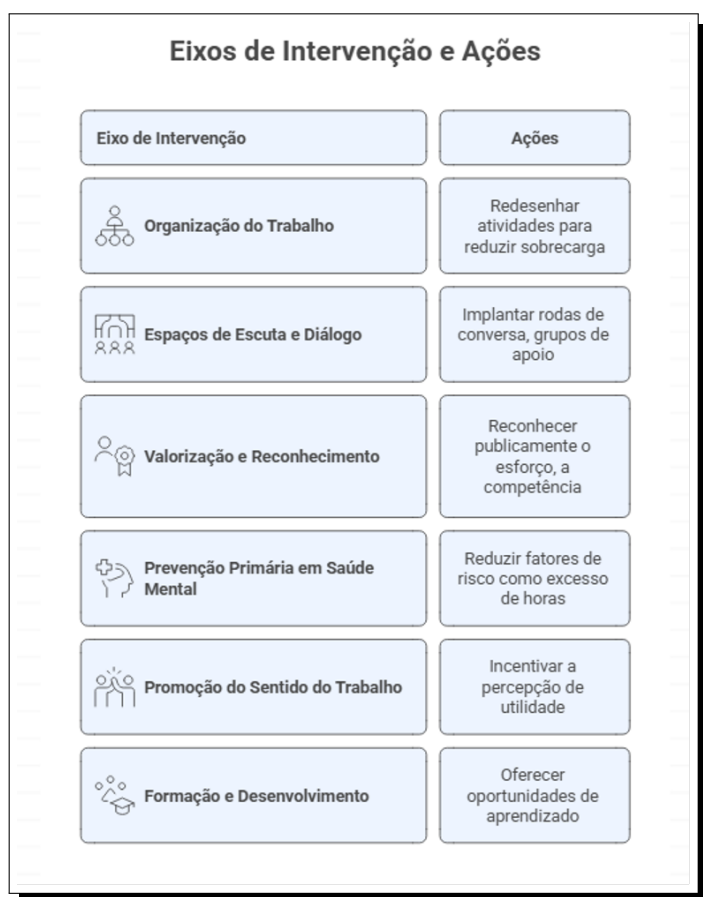


Figura XII.5: Estratégias de Intervenção Psicossocial no Ambiente de Trabalho

As iniciativas reunidas no quadro indicam que políticas de cuidado efetivas exigem ações integradas, capazes de alinhar revisão das condições de trabalho, práticas permanentes de escuta, valorização profissional e medidas preventivas. Quando adotadas de forma consistente, essas estratégias favorecem ambientes mais equilibrados, ampliam a sensação de suporte organizacional e promovem relações de trabalho pautadas por confiança e corresponsabilidade. A sistematização dessas ações também facilita o monitoramento das práticas institucionais, permitindo ajustes contínuos de acordo com as necessidades dos trabalhadores e as especificidades das operações logísticas.

Em síntese, consolidar políticas de cuidado no trabalho logístico implica reconhecer o sofrimento como indicador das condições laborais e desenvolver intervenções coerentes com essa compreensão. A conjugação entre apoio institucional, adequação das demandas de trabalho e abertura de espaços dialógicos constitui um caminho para construir ambientes mais saudáveis, capazes de prevenir o adoecimento e sustentar um desempenho organizacional comprometido com a dignidade humana.

XII.7 DO CHÃO DE ARMAZÉM À GESTÃO: PRÁTICAS APLICADAS E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS PARA O BEM-ESTAR PSICOLÓGICO NA LOGÍSTICA

A logística contemporânea não pode mais ser compreendida apenas como uma engrenagem de fluxos materiais, algoritmos de previsão e métricas de desempenho. Em cada etapa, da triagem ao *picking* (separação de pedidos), da roteirização ao transporte, da operação de armazéns à tomada de decisão em tempo real, atuam trabalhadores submetidos a pressões intensas, demandas cognitivas contínuas e exigências emocio-

nais que atravessam toda a jornada. Nesse contexto, práticas inovadoras e evidências empíricas têm demonstrado que proteger a saúde mental é tão estratégico quanto otimizar processos, especialmente em um setor marcado pela urgência, pela variabilidade e pela necessidade constante de precisão.

A literatura demonstra que o bem-estar psicológico depende de fatores como suporte emocional, clareza nas metas, autonomia e relações interpessoais estáveis, conforme discutido por Kelloway e Nielsen [19]. Em ambientes logísticos, onde a instabilidade operacional e o ritmo acelerado são parte do cotidiano, esses elementos tornam-se determinantes para regular o estresse e sustentar o engajamento. A gestão humanizada, quando fundamentada em diálogo, *feedback* contínuo e flexibilidade, reduz tensões e fortalece o senso de pertencimento, como mostram os achados de Cooper, Quick e Schabracq [8], que evidenciaram os efeitos positivos de políticas institucionais voltadas à saúde emocional.

Avanços tecnológicos recentes reforçam essa perspectiva. Aloini et al. [1] demonstraram, utilizando tecnologias vestíveis aplicadas diretamente em operações logísticas, que emoções, interações sociais e variáveis ambientais como temperatura, influenciam de forma significativa o conforto e o desempenho dos trabalhadores. A coleta de dados em tempo real possibilitou identificar sinais precoces de desgaste e orientar intervenções preventivas, revelando que dispositivos tecnológicos podem funcionar como instrumentos de cuidado, e não apenas de controle.

Práticas de autorregulação emocional também possuem efeitos importantes nesse contexto. Montero-Marín et al. [32] avaliaram um programa de *mindfulness*⁴ adaptado ao ambiente logístico, mostrando re-

⁴Conforme apresentado por Larrubia Ansón [21] *mindfulness* pode ser compreendido como uma prática de atenção intencional ao presente, marcada por uma postura de abertura e não julgamento frente às experiências internas e externas. Esse modo de presença favorece a percepção clara de pensamentos, emoções e sensações à medida que surgem, permitindo que o indivíduo observe sua própria experiência sem reagir de forma automática. Ao desenvolver essa qualidade de consciência, ampliam-se as capacidades de autorregulação emocional e de gestão da atenção, o que contribui de

duções significativas nos níveis de estresse imediatamente após a intervenção, com manutenção dos ganhos no médio prazo. A pesquisa destaca o papel do apoio institucional e de materiais complementares no engajamento, indicando que trabalhadores expostos a demandas intensas podem desenvolver estratégias mais eficazes de enfrentamento, quando práticas estruturadas de atenção plena são incorporadas à rotina.

Além disso, transformações na organização do tempo de trabalho vêm se consolidando como alternativas promissoras. O estudo conduzido por Lewis et al. [22] através do UK Autonomy Institute, avaliou a implementação de semanas de trabalho de quatro dias sem redução salarial, demonstrou diminuição do estresse, melhora no humor, maior envolvimento com as atividades e ausência de redução de produtividade. Ainda, no contexto de entregadores por plataforma, Chen et al. [5] as-sinalaram que a intensidade de trabalho (labour intensity) e as horas extensas mediadas por pressões operacionais estão relacionadas à deterioração da saúde física e mental, o que reforça a urgência de intervenções ergonômicas, pausas reguladas e políticas de limitação de jornada.

Em setores como a logística, intensivos em tempo e fisicamente/mentalmente exigentes, esses resultados sugerem que intervenções estruturais podem ampliar a sustentabilidade humana das operações.

A adoção equilibrada de automação e inteligência artificial também apresenta impactos positivos no bem-estar psicológico. Ao reduzir tarefas repetitivas, minimizar atividades de alto volume cognitivo e oferecer previsões mais precisas, os sistemas inteligentes diminuem o desgaste mental e ampliam a capacidade de concentração dos trabalhadores.

Segundo Zorzeto e Nascimento c iniciativas de bem-estar e suporte psicológico, aliadas a práticas organizacionais mais humanas, favorecem um ambiente logístico sustentável e valorizam a saúde mental dos trabalhadores. Os autores destacam que essa transformação depende de ação conjunta entre empresas e políticas públicas, a fim de fortalecer condi-

maneira significativa para o fortalecimento do bem-estar e para uma atuação mais equilibrada no cotidiano.

ções seguras e apoiar uma logística mais produtiva, resiliente e alinhada às necessidades dos profissionais.

Estudos recentes reforçam que as próprias condições operacionais da logística impactam a saúde mental dos trabalhadores. Lin [24] identificou que prazos rígidos e incertezas intensificam ansiedade e tensão entre entregadores expressos. De modo complementar, Yoo [51] observou que a pressão contínua por desempenho reduz a efetividade das folgas e favorece comportamentos de presenteísmo, contribuindo para o desgaste emocional. Em conjunto, os achados mostram que ritmo acelerado, exigência de precisão e fragilidade das políticas de descanso constituem fatores estruturais de risco psicossocial no setor.

O conjunto dessas evidências mostra que a saúde mental no setor logístico depende da articulação entre tecnologias aplicadas de forma ética, políticas organizacionais atentas às necessidades humanas, programas de desenvolvimento emocional e uma reorganização consistente das condições de trabalho. Essa perspectiva dialoga com Seligmann-Silva [42], para quem o sofrimento psíquico no trabalho só pode ser compreendido a partir de uma abordagem interdisciplinar que articula dimensões sociológicas, ergonômicas, antropológicas, epidemiológicas e psicológicas. Nessa direção, o adoecimento deixa de ser entendido como um fenômeno individual para ser reconhecido como produto das dinâmicas organizacionais e dos contextos sociais que moldam as experiências laborais.

Para tornar essa articulação mais visível ao leitor, apresenta-se a seguir a Figura XII.6 sintetiza os principais contributos de cada área e seus objetos de estudo, evidenciando como esses referenciais se complementam na interpretação das vivências de trabalho.

A Figura XII.6 sintetiza essa perspectiva ao reunir os campos interdisciplinares que fundamentam a compreensão dos processos psicossociais no trabalho. Essa integração conceitual reforça o que se observa nas evidências apresentadas: o futuro da logística depende da articulação entre tecnologia, organização do trabalho e as experiências emocionais que atravessam o cotidiano operativo.



Figura XII.6: Campos Interdisciplinares que Sustentam a Análise das Dinâmicas de Saúde Mental no Trabalho. Fonte: Adaptado de Seligmann-Silva (2011)

Ao final deste percurso, torna-se evidente que o futuro da logística passa pela capacidade de integrar tecnologia, organização do trabalho e compreensão das experiências psicológicas que sustentam a cadeia de suprimentos. As evidências analisadas, dos sensores corporais utilizados por Aloini et al. [1] às práticas de mindfulness avaliadas por Montero-Marín et al., passando pela reorganização do tempo laboral estudada pelo UK Autonomy Institute com Lewis [22], mostram que eficiência operacional e saúde mental não apenas coexistem, mas se reforçam mutuamente.

A logística do futuro será aquela que compreender que nenhum processo se realiza sem o corpo que o executa e sem a mente que o orienta. Investir em bem-estar psicológico significa assegurar inteligência operacional, continuidade produtiva e capacidade de adaptação em um setor que exige precisão, agilidade e resiliência. Essa constatação contribui para redefinir o modo de conceber o trabalho, articulando uma logística tecnicamente sofisticada e, ao mesmo tempo, profundamente humana.

XII.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reflexões desenvolvidas ao longo deste capítulo evidenciam que a logística contemporânea, embora sustentada por sistemas robustos, tecnologias avançadas e métricas de alta precisão, permanece profundamente dependente das dimensões humanas que estruturam o trabalho. A produtividade que move as cadeias de suprimentos não se realiza sem o corpo que executa e sem a mente que interpreta, filtra riscos, toma decisões e mantém a operação em movimento. É nesse ponto que se revela a necessidade de revisar paradigmas historicamente centrados na eficiência a qualquer custo.

As evidências apresentadas demonstram que modelos de gestão excessivamente rígidos, fragmentados e orientados apenas por metas comprometem a saúde integral dos trabalhadores e fragilizam a continuidade operacional. A naturalização da sobrecarga, da conectividade ininterrupta e dos fluxos incessantes produz efeitos cumulativos que se manifestam em frustração, esgotamento, despersonalização e desengajamento. Esses fenômenos não se restringem à esfera individual: reverberam sobre equipes, processos e resultados.

Diante disso, torna-se inadiável reposicionar o bem-estar psicológico como ativo estratégico das organizações logísticas. A negligência desse aspecto enfraquece a resiliência das equipes, aumenta vulnerabilidades e compromete a segurança e a qualidade das operações. Ao contrário, quando cuidado, prevenção e suporte são incorporados como diretri-

zes institucionais, observa-se maior estabilidade emocional, fluidez nos processos decisórios e fortalecimento dos vínculos coletivos.

O desafio atual consiste em articular, de modo sistêmico, gestão de pessoas e gestão logística, reconhecendo indicadores de saúde ocupacional como tão relevantes quanto produtividade e custo. Ambientes equilibrados tendem a favorecer profissionais mais atentos, concentrados e preparados para lidar com imprevistos, garantindo agilidade sem sacrificar saúde.

Assim, ao integrar análises interdisciplinares, evidências empíricas e práticas inovadoras, este capítulo reafirma que a sustentabilidade logística depende de modelos que conciliem desempenho e cuidado, técnica e subjetividade, inovação e humanidade. Em um setor marcado pela velocidade e pela interdependência, são as organizações capazes de preservar a saúde psíquica de seus trabalhadores que construirão operações mais resilientes, seguras e eticamente comprometidas. A logística do futuro, portanto, será aquela que reconhecer que nenhum avanço tecnológico substitui a necessidade essencial de proteger as pessoas que fazem o sistema existir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALOINI, D. et al. Enhancing operations management through smart sensors: measuring and improving well-being, interaction and performance of logistics workers. *ArXiv*, [s.l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2021-0195>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- [2] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Guia de Informações sobre Fatores de Risco Psicossociais Relacionados ao Trabalho*. Brasília, DF: MTE, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>. Acesso em: 19 nov. 2025.
- [3] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria MTE nº 1.419, de 27 de agosto de 2024. Altera a Norma Regulamentadora nº 1 – Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 28 ago. 2024.
- [4] BUSCEMI, V. et al. The role of perceived stress and life stressors in the development of chronic musculoskeletal pain disorders: a systematic review. *The Journal of Pain*, v. 20, n. 10, p. 1127-1139, 2019. DOI: 10.1016/j.jpain.2019.02.008.
- [5] CHEN, Tianxue; TIAN, Dazhou; DENG, Peihua; ZHOU, Enye; HUANG, Jinjin. Study on instant delivery service riders' safety and health by the effects of labour intensity in China: A mediation

- analysis. *Frontiers in Public Health*, v. 10, e907474, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.907474>. Acesso em: 22 nov. 2025.
- [6] CHIAVENATO, Idalberto. *Recursos Humanos: Edição Compacta*. São Paulo: Atlas, 1994. p.119.
- [7] CHERTYKOVTSSEV, V. Intensity of logistics processes of production. *Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18287/2542-0461-2021-12-3-192-199>. Acesso em: 13 abr. 2025.
- [8] COOPER, C. L.; QUICK, J. C. (orgs.). *The Handbook of Stress and Health: A Guide to Research and Practice*. Chichester: Wiley, 2017.
- [9] DAI, S. et al. Chronic stress promotes cancer development. *Frontiers in Oncology*, v. 10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.01492>. Acesso em: 25 dez. 2024.
- [10] DEJOURS, Christophe. *A loucura do trabalho: estudo de psicopatologia do trabalho*. 5. ed. São Paulo: Cortez-Oboré, 1992.
- [11] DEAK, T. et al. Neuroimmune mechanisms of stress: sex differences, developmental plasticity, and implications for pharmacotherapy of stress-related disease. *Stress*, [S.l.], v. 18, n. 4, p. 367–380, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3109/10253890.2015.1053451>.
- [12] DEMEROUTI, E.; BLANC, P.; BAKKER, A.; SCHAUFELI, W.; HOX, J. Present but sick: a three-wave study on job demands, presenteeism and burnout. *Career Development International*, v. 14, p. 50-68, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/13620430910933574>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- [13] FAVA, G.; SONINO, N. Psychosomatic medicine. *International Journal of Clinical Practice*, v. 64, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-1821.2010.02411.x>.

[//doi.org/10.1111/j.17421241.2009.02266.x](https://doi.org/10.1111/j.17421241.2009.02266.x). Acesso em: set. 2024.

- [14] FRITZSCHE, K. What is psychosomatic medicine? In: FRITZSCHE, K.; MCDANIEL, S.; WIRSCHING, M. (Eds.). *Psychosomatic medicine*. New York, NY: Springer, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1022-5_1. Acesso em: set. 2024.
- [15] FRUSCIONE, S. et al. Correlation among job-induced stress, overall well-being, and cardiovascular risk in Italian workers of logistics and distribution. *Frontiers in Public Health*, v. 12, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1358212>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- [16] HIJAZI, M.; AMILI, O. Supply chain performance and occupational health and safety: the prevention of professional risks in the logistic professions. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOGISTICS OPERATIONS MANAGEMENT (GOL)*, 5., 2020. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–6. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/GOL49479.2020.9314762>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- [17] JODAS, D.A.; HADDAD, M.C.L. Síndrome de Burnout em trabalhadores de enfermagem de um pronto socorro de hospital universitário. *Acta Paul Enfermagem*, v. 22, n. 2, p. 192-7, 2009.
- [18] KELLNER, R. Psychosomatic syndromes, somatization and somatoform disorders. *Psychotherapy and Psychosomatics*, v. 61, n. 1-2, p. 4–24, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1159/000288868>. Acesso em: set. 2024.
- [19] KELLOWAY, E. K.; NIELSEN, K.; DIMOFF, J. K. (orgs.). *Leading to Occupational Health and Safety: How Leadership Behaviours Impact Organizational Safety and Well-Being*. Chichester: Wiley, 2017.

- [20] KOH, L.; YUEN, K. Emerging competencies for logistics professionals in the digital era: A literature review. *Frontiers in Psychology*, v. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.965748>. Acesso em: 16 abr. 2025.
- [21] LARRUBIA ANSÓN, Ángela. MBI (Mindfulness Based Intervention). Desarrollo profesional y salud laboral. *RIECS – Revista de Investigación y Educación en Ciencias de la Salud*, v. 4, supl. 1, p. 1–24, 2019. Disponível em: </mnt/data/122-ArtículoCompleto-632-1-10-20190128.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- [22] LEWIS, Kyle; STRONGE, Will; KELLAM, Jack; KELLY, Orla; et al. The results are in: The UK’s four-day week pilot. *Autonomy Institute*, 2023. Disponível em: <https://autonomy.work/portfolio/uk4dwpilotresults/>. Acesso em: 22 nov. 2025.
- [23] LIANG-HU, L. A survey of mental health among employees in university’s logistics. *Zhejiang Journal of Preventive Medicine*, [S.l.], 2012.
- [24] LIN, Meishun. Psychological health correlation of express delivery workers’ occupational stress in the information logistics environment. *Frontiers in Psychology*, v. 13, e975387, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.975387>. Acesso em: 22 nov. 2025.
- [25] LIPP, M. E. N. *Pesquisas sobre stress no Brasil: saúde, ocupações e grupo de riscos*. 2. ed. Campinas, SP: Papirus, 1996.
- [26] LIPP, Marilda Emmanuel Novaes. *Manual do Inventário de Sintomas de Stress para adultos de Lipp (ISSL)*. [S.l.], 2000. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86454325>. Acesso em: 23 mar. 2025.

- [27] LIPP, Marilda Emmanuel Novaes. *O stress no Brasil: pesquisas avançadas*. Campinas, SP: Papyrus, 2004.
- [28] LIPP, Marilda Emmanuel Novaes. Stress in Brazil. *International Journal of Psychiatry Research*, [S.l.], SciVision Publishers LLC, 2020. Disponível em: <https://scivisionpub.com/pdfs/stress-in-brazil-1201.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2025.
- [29] MELLO FILHO, J. *Concepção psicossomática: visão atual*. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2002.
- [30] MELNYKOVA, K. Logistics management as a basis for managing the efficiency of logistics processes. *Business Inform*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-11-317-322>. Acesso em: 13 abr. 2025.
- [31] MIRAGLIA, M.; JOHNS, G. Going to work ill: a meta-analysis of the correlates of presenteeism and a dual-path model. *Journal of Occupational Health Psychology*, v. 21, n. 3, p. 261-283, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/ocp0000015>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- [32] MONTERO-MARÍN, J. et al. Feasibility and effectiveness of a workplace-adapted mindfulness-based programme to reduce stress in workers at a private sector logistics company: an exploratory mixed methods study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph17051643>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- [33] MOUBARAK, E.; OMAR, E. Management logistique et Santé Sécurité au Travail : Identification des risques professionnels dans uma chaîne logistique. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3897477>. Acesso em: 17 abr. 2025.

- [34] OLENA, V.; OLEKSANDR, T. Analysis of professional requirements for a modern logistician. *Electronic Scientific Journal Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*, n. 1, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.46783/smart-scm/2021-7\(8\)-2](https://doi.org/10.46783/smart-scm/2021-7(8)-2). Acesso em: 16 abr. 2025.
- [35] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Burn-out an occupational phenomenon: International Classification of Diseases, CID-11*. 2019. Disponível em: <https://icd.who.int/en>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- [36] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE; ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. *OMS e OIT publicam novas diretrizes sobre saúde mental no trabalho*. 29 set. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/201450-oms-e-oit-publicam-novas-diretrizes-sobre-sa%C3%BAdede-mental-no-trabalho>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- [37] PRABHA, Y. (2023). Stress as a Topic of Concern in Gut Health: A Review. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*. <https://doi.org/10.56557/upjz/2023/v44i123527>.
- [38] REI, D. et al. (2015). Basolateral amygdala bidirectionally modulates stress-induced hippocampal learning and memory deficits through a p25/Cdk5-dependent pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112, 7291 - 7296. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415845112>.
- [39] RIDJAL, S.; MUHAMMADIN, A. Role ambiguity and work environment on turnover intention with work stress as moderation: case study at Bank Rakyat Indonesia. *International Journal of Scientific Research and Management*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.18535/ijserm/v11i06.em04>. Acesso em: 26 abr. 2025.

- [40] SCHURE, M.; CHRISTOPHER, J.; CHRISTOPHER, S. Mind-body medicine and the art of self-care: Teaching mindfulness to counseling students through yoga, meditation, and Qi-gong. *Journal of Counseling and Development*, v. 86, p. 47-56, 2008. DOI: 10.1002/J.1556-6678.2008.TB00625.X.
- [41] SELY, H. *The stress of life*. New York: McGraw-Hill, 1956.
- [42] SELIGMANN-SILVA, Edith. *Trabalho e desgaste mental: o direito de ser dono de si mesmo*. São Paulo: Cortez, 2011.
- [43] SHATSKA, Z.; STUZHNYI, O. The logistics process and its role in the activities of modern enterprises. *Management*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.30857/2415-3206.2024.1.1>. Acesso em: 13 abr. 2025.
- [44] SOBEL, R.; MARKOV, D. The impact of anxiety and mood disorders on physical disease: The worried not-so-well. *Current Psychiatry Reports*, v. 7, p. 206-212, 2005. DOI: 10.1007/S11920-005-0055-Y.
- [45] TEREHOV, A.; YAKOVLEV, M. Mathematical modeling of the risks of stress-related diseases: A review. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-4-159-166>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- [46] THAI, V. V. Competency requirements for professionals in logistics and supply chain management. *International Journal of Logistics Research and Applications*, v. 15, p. 109-126, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13675567.2012.694859>. Acesso em: 16 abr. 2025.
- [47] TOKARSKI, D.; ŁUCZAK, Ł. Optimization of logistics processes in the sustainable development of manufacturing enterprises.

Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.178.37>. Acesso em: 13 abr. 2025.

- [48] TUCKER, M.; JIMMIESON, N.; JAMIESON, J. Role stressors in Australian transport and logistics workers: Psychosocial implications. *Safety Science*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2018.05.007>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- [49] VIEIRA, Isabela; RUSSO, Jane Araujo. Burnout e estresse: entre medicalização e psicologização. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, v. 29, n. 2, e290206, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-73312019290206>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- [50] YOO, Hyunseok; SONG, J.; KIM, H. Association between presenteeism and mental health among logistic center workers. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, v. 34, e39, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.35371/aoem.2022.34.e39>. Acesso em: 17 abr. 2025.
- [51] YOO, Hyunseok. Association between presenteeism and mental health of workers of one logistic center. *Journal of Korean Academy of Community Health Nursing*, v. 33, n. 4, p. 535-545, 2022. Disponível em: <https://www.koreascience.kr/article/JAK0202226461559337.page>. Acesso em: 22 nov. 2025.
- [52] ZORZETO, Ryan Filipe Savar; NASCIMENTO, Ana Julia Bianchi do. Desafios psicossociais na gestão logística: impactos da ineficiência operacional em decorrência da saúde mental dos colaboradores. [S.l.: s.n.], [2024?].

ESTE LIVRO É UM PRIMEIRO VOLUME DE UMA COLEÇÃO PLANEJADA PARA REFLETIR, DISCUTIR E PROPOR SOLUÇÕES EM MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL. DE MODO A AMPLIAR OS HORIZONTES E TRAZER PERSPECTIVAS DIFERENTES DE PESQUISADORES SOBRE O TEMA EM DIVERSAS ÁREAS DO CONHECIMENTO, ESTE LIVRO FOI PENSADO EM CAPÍTULOS. A LEITURA DO LIVRO PERMITIRÁ AO LEITOR UMA NOVA COMPREENSÃO SOBRE O AMBIENTE DE MOBILIDADE URBANA NAS CIDADES.

