Universidade do Minho

Escola de Economia, Gestão e Ciência Política

Helena de Jesus Santos

Desenvolvimento de um Modelo de Simulação para a Logística de Última Milha: Aplicação à cidade de Braga

abril de 2026

Desenvolvimento de um Modelo de Simulação para a Logística de Última Milha: Aplicação à cidade de Braga

Helena de Jesus Santos

UMinho | 2026

Universidade do Minho

Escola de Economia, Gestão e Ciência Política

Helena de Jesus Santos

Desenvolvimento de um Modelo de Simulação para a Logística de Última Milha: Aplicação à cidade de Braga

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Gestão

Gestão Geral

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor José António Almeida Crispim

abril 2026

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.
Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.
Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.
Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

DECLARAÇÃO DE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri a qualquer forma de utilização indevida de ferramentas de Inteligência Artificial (IA), nem à falsificação ou omissão de informações, fontes, dados, resultados ou processos em nenhuma das etapas conducentes à sua elaboração.
Declaro ainda que qualquer utilização de ferramentas de IA foi feita de forma transparente e responsável encontrando-se devidamente assinalada/descrita no trabalho, e que procedi à verificação crítica da exatidão do conteúdo produzido com o seu apoio, assumindo integralmente a responsabilidade pelo que submeto.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho, bem como as normas aplicáveis de integridade académica e de proteção de dados.

Resumo

A crescente complexidade da logística de última milha em contexto urbano tem evidenciado a necessidade de desenvolver ferramentas que apoiem a tomada de decisão na gestão de sistemas de distribuição. Neste contexto, a presente dissertação tem como objetivo analisar diferentes configurações operacionais aplicadas à cidade de Braga, através de um modelo de simulação computacional.

O modelo baseia-se numa abordagem de modelação e simulação, inspirado no problema de Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW), permitindo reproduzir operações de entrega com restrições temporais e operacionais. Foram considerados diversos cenários que combinam diferentes tipologias de veículos (vans, e-bikes e scooters), infraestruturas logísticas (microhubs), soluções de entrega fora do domicílio (PUP e lockers) e políticas de inclusão. A avaliação do desempenho foi realizada com base em indicadores organizados em cinco dimensões: operacional, otimização, qualidade de serviço, sustentabilidade e económica.

Os resultados obtidos permitem apoiar a definição de estratégias de logística urbana mais eficientes e sustentáveis, evidenciando que a escolha da configuração operacional deve estar alinhada com as prioridades estratégicas das entidades responsáveis pela gestão urbana, nomeadamente no equilíbrio entre eficiência económica, impacto ambiental e pressão sobre o espaço urbano.

Palavras-chave: Distribuição urbana; Logística de última milha; Simulação computacional; Sustentabilidade logística; Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW).

Abstract

The increasing complexity of last-mile logistics in urban environments has highlighted the need to develop tools that support decision-making in the management of distribution systems. In this context, this dissertation aims to analyse different operational configurations applied to the city of Braga through a computational simulation model.

The model is based on a modelling and simulation approach inspired by the Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW), enabling the representation of delivery operations under temporal and operational constraints. Several scenarios were considered, combining different vehicle types (vans, electric bicycles, and scooters), logistical infrastructures (microhubs), out-of-home delivery solutions (PUP and parcel lockers), and inclusion policies. Performance evaluation was conducted using a set of indicators organised into five dimensions: operational, optimisation, service quality, sustainability, and costs.

The results support the definition of more efficient and sustainable urban logistics strategies, demonstrating that the selection of operational configurations should be aligned with the strategic priorities of urban management authorities, particularly in balancing economic efficiency, environmental impact, and pressure on urban space.

Keywords: Urban distribution; Last-mile logistics; Computational simulation; Sustainable logistics; Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW).

Índice

Resumo ..... *iv*

Abstract ..... *v*

Lista de Figuras ..... *x*

Lista de Tabelas ..... *x*

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos ..... *xii*

Nota sobre a terminologia e nomenclatura ..... *xiii*

1. Introdução *1*

1.1 Questão de Investigação **2**

2. Revisão da literatura *3*

2.1Desafios da logística de última milha **3**

2.2 Soluções logísticas e estratégias **4**

2.3 Limitações e necessidade de novas abordagens **5**

2.4 Simulação e abordagens avançadas **5**

2.5 Sustentabilidade e contexto urbano **6**

2.6 Indicadores de desempenho KPI´s **7**

3. Metodologia *10*

3.1 Explicação nomenclatura dos cenários **10**

3.2 Dados introduzidos na simulação **11**

3.3 Análise e Estrutura dos Resultados da Simulação **13**

4. Análise de Resultados *17*

4.1 Operacional **19**

4.1.1 Veículos utilizados 19

4.1.2 Número de paragens 21

4.1.3 Síntese Dimensão Operacional 24

4.2 Otimização **25**

4.2.1 Quilómetros totais 25

4.2.2 Horas totais de serviço 28

4.2.3 Síntese Dimensão da Otimização 30

4.3 Serviço 31

4.3.1 Taxa entrega no prazo da janela temporal 31

4.3.2 Taxa de falha de encomendas 35

4.3.3 Síntese Dimensão de serviço 37

4.4 Sustentabilidade 38

4.4.1 CO2_total_kg 38

4.4.2 KWh totais 40

4.4.3 Índice total poluição visual 43

4.4.4 Síntese Dimensão Sustentabilidade 46

4.5 Dimensão Económica 47

5. Discussão de Resultados 49

5.1 Limitações e Trabalhos Futuros 54

6. Conclusão 57

7. Referências Bibliográficas 58

Apêndice I - Código Pyhton 60

Apêndice II - Dados de entrada na simulação Parâmetros gerais 97

Apêndice III - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Inclusão 98

Apêndice IV - Dados de entrada na simulação Parâmetros de volume e procura 99

Apêndice V - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Canais de entrega 100

Apêndice VI - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Infraestrutura - Lockers 101

Apêndice VII - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Infraestrutura – PUP´s 102

Apêndice VIII - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Infraestrutura – Microhubs 103

Apêndice X - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Veículo – e-bike 105

Apêndice XII - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Veículo – Trunk 107

Apêndice XIII- Dados de entrada na simulação Parâmetros de Meta (resultados intermédios) 108

Apêndice XIV- Dados de entrada na simulação de Percentagens efetivas 109

Apêndice XV- Resultados código Python do CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_INCLUSION, CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION, CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS e CENARIO_1_VANS_WITH_PUP 112

Apêndice XVI- Resultados código Python do CENARIO_2_EBIKES_HOME_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_2_EBIKES_HOME_INCLUSION_NOHUB 113

Apêndice XVII- Resultados código Python dos cenários CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB 114

Apêndice XVIII- Resultados código Python dos cenários CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_MICROHUB e CENARIO_2_EBIKES_HOME_MICROHUB 115
Apêndice XIX Resultados código Python dos CENARIO_2_EBIKES_HOME_NOHUB, CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_NOHUB e CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_INCLUSION_NOHUB 116
Apêndice XX - Resultados código Python dos cenários CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB 117
Apêndice XXI - Resultados código Python do CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB..... 118
Apêndice XXII - Resultados código Python do CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_MICROHUB e CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB 119
Apêndice XXIII - Resultados código Python do CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB e CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB..... 120
Apêndice XXIV - Resultados código Python do CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB 121
Apêndice XXV - Resultados código Python do CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_MICROHUB, CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_INCLUSION_NOHUB e CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_NOHUB . 122
Apêndice XXVI - Resultados código Python do CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_MICROHUB e CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB 123
Apêndice XXVII - Resultados código Python do CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_NOHUB, CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_INCLUSION_NOHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB 124
Apêndice XXVIII- Resultados código Python do CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB, CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP__NOHUB 125
Apêndice XXIX - Resultados código Python do CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB 126
Apêndice XXX - Resultados código Python do CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_MICROHUB 127
Apêndice XXXI - Resultados código Python do CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_INCLUSION_NOHUB..... 128
Apêndice XXXII - Resultados código Python do CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB 129
Apêndice XXXIII - Resultados código Python do CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_MICROHUB e CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_NOHUB 130
Apêndice XXXIV - Resultados código Python do CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_INCLUSION_NOHUB..... 131

Apêndice XXXV - Resultados código Python do
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_INCLUSION_MICROHUB 132
Apêndice XXXVI - Resultados código Python do
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB e
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB 133
Apêndice XXXVII - Resultados código Python do
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB 134
Apêndice XXXVIII - Resultados código Python do CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP _MICROHUB e
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_NOHUB 135
Apêndice XXXIX - Comparação do melhor cenário na dimensão otimização 136
Apêndice XL - Comparação do melhor cenário na dimensão serviço 137
Apêndice XLI - Comparação do melhor cenário na dimensão sustentabilidade 138

Lista de Figuras

Figura 1 - Cenários com menos veículos utilizados 21
Figura 2 - Cenários com menor número de paragens e menor número de quilómetros percorridos 24
Figura 3 - Comparação da distância percorrida nos cenários com e sem inclusão 27
Figura 4 - Comparação encomendas com janela temporal 33
Figura 5 - Comparação dos melhores cenários na taxa de falha de encomendas com e sem Inclusão 37
Figura 6 - Impacto da variável inclusão nas emissões de CO_2 nos Cenários 2 e 3 40
Figura 7 - Consumo energético (Kwh) pelos 5 melhores cenários 41
Figura 8 - Km percorridos nos Cenários 7 com e sem Lockers 42
Figura 9- Número de paragens nos Cenários 7 com e sem Lockers 43

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resultados código Python do CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_INCLUSION, CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_LOCKERS_INCLUSION, CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_LOCKERS e CENARIO_0_BASE_VANS_HOME 18
Tabela 2 - Indicadores utilizados para avaliação do sistema de distribuição 19
Tabela 3 - Ranking de cenários com número menor de veículos utilizados 20
Tabela 4 - Ranking de cenários com menor número de paragens 22
Tabela 5 - Ranking de cenários com menor número de paragens ordenados pela menor distância percorrida 22
Tabela 6 - Tabela resumo dimensão operacional 24
Tabela 7 - Ranking de cenários menor distância percorrida 25
Tabela 8 - Ranking de cenários com menor volume de horas totais de serviço 28
Tabela 9 - Ranking de cenários com menor volume de horas totais e de custos totais 28
Tabela 10 - Tabela resumo dimensão da otimização 30
Tabela 11 - Ranking dos cenários com melhor desempenho na taxa de cumprimento das janelas temporais 32
Tabela 12 - Ranking dos cenários com melhor desempenho na taxa de cumprimento das janelas temporais com custos totais 34
Tabela 13 - Ranking de cenários com menor taxa de falhas de encomendas 35
Tabela 14 - Tabela resumo dimensão serviço 37
Tabela 15 - Ranking de cenários com menor emissão de CO2 em kg 38

Tabela 16 - Ranking de cenários com menor emissão de CO2 39
Tabela 17 - Ranking de cenários com menor consumo energético 41
Tabela 18 - Fatores de impacto visual 44
Tabela 19 – Horas totais de ocupação da berma nos Cenários 6 e 7 44
Tabela 20 - Ranking de cenários com menor índice de poluição visual 45
Tabela 21 - Tabela resumo da dimensão sustentabilidade 46
Tabela 22 - Ranking de cenários com menores custos 47
Tabela 23 - Tabela resumo trade-offs das dimensões 53

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

CO_2 – Dióxido de carbono

EBIKES – Bicicletas elétricas utilizadas na distribuição de última milha

IA – Inteligência Artificial

KPI´S (*Key Performance Indicators*) – indicadores de desempenho

LMD (*Last-Mile Delivery*) – Logística de última milha

MICROHUB – Centro de consolidação urbana de pequena escala para redistribuição de mercadorias

OOHD *(Out-of-Home Delivery)* – Entrega fora do domicílio

PUP *(Pick-Up Point)* – Ponto de recolha de encomendas

VRP *(Vehicle Routing Problem)* – Problema de roteamento de veículos

VRPTW *(Vehicle Routing Problem with Time Windows)* – Problema de roteamento de veículos com janelas temporais

Nota sobre a terminologia e nomenclatura

Ao longo da presente dissertação, optou-se pela utilização de termos em língua inglesa em contextos específicos, de modo a assegurar a coerência com o modelo computacional desenvolvido em Python, assim como com a terminologia adotada na literatura científica na área da logística. Estes termos foram mantidos na sua forma original por constituírem nomenclatura consolidada e amplamente utilizada na investigação internacional.

As variáveis apresentadas na análise correspondem diretamente às variáveis implementadas no modelo computacional, tendo sido adaptadas para nomenclatura em língua portuguesa (sem acentuação) para garantir consistência técnica e compatibilidade com o sistema de simulação.

1. Introdução

Desde a pandemia que o hábito de compras online tem sido impulsionado, consolidando-se como uma preferência duradoura entre os consumidores. Este crescimento do comércio eletrónico tem vindo a redefinir os sistemas logísticos urbanos, intensificando significativamente a complexidade associada às operações de entrega de última milha. Este segmento, responsável pela distribuição final das encomendas até ao consumidor, constitui uma das componentes mais críticas e dispendiosas da cadeia de abastecimento, sendo particularmente sensível às restrições inerentes aos contextos urbanos, como o congestionamento, a limitação de espaço público e as crescentes exigências regulatórias (Süß et al., 2025).

Paralelamente, a evolução das preferências dos consumidores, acentuada no período pós-pandemia, tem evidenciado a procura por serviços de entrega rápidos, flexíveis e personalizados, aumentando a pressão sobre os operadores logísticos e exigindo níveis elevados de eficiência operacional (Tiwari & Sharma, 2023). Neste enquadramento, a logística de última milha emerge como um domínio central na transição para sistemas de transporte urbano mais sustentáveis, implicando a adoção de soluções inovadoras, como a utilização de pontos de recolha (PUP), cacifos automáticos (lockers), veículos de micromobilidade (e-bikes e scooters) e centros de consolidação urbana (microhubs). Contudo, a avaliação do desempenho de soluções de logística de última milha revela-se complexa e permanece limitada na literatura, particularmente em contextos dinâmicos e estocásticos, onde a variabilidade da procura, as condições de tráfego e o comportamento dos consumidores introduzem elevados níveis de incerteza, dificultando a análise integrada de múltiplos cenários operacionais (Pahwa & Jaller, 2025).

Neste sentido, torna-se necessária a adoção de abordagens analíticas capazes de integrar múltiplas dimensões de desempenho. Com isto, é adotada uma abordagem de avaliação baseada em indicadores de desempenho, estruturados de acordo com diferentes dimensões do sistema logístico, permitindo uma análise integrada dos trade-offs existentes entre eficiência, sustentabilidade e nível de serviço.

Face a esta complexidade, o desenvolvimento de ferramentas avançadas de apoio à decisão, nomeadamente através de modelos de simulação baseados em inteligência artificial, revela-se particularmente relevante, permitindo representar a variabilidade inerente ao sistema e apoiar a definição de configurações operacionais mais eficientes (Süß et al., 2025).

Assim, o presente estudo tem como objetivo desenvolver e aplicar um modelo de simulação estocástica para a análise da logística de última milha em contexto urbano, mais especificamente na cidade de Braga. Através da simulação de múltiplos cenários operacionais, pretende-se avaliar o desempenho do sistema ao nível da eficiência operacional, da qualidade de serviço, dos custos e dos impactos ambientais. Deste modo, o estudo

contribui para a literatura ao incluir uma simulação estocástica e análise de desempenho multicritério na avaliação de sistemas de logística de última milha.

Nesse contexto, o planeamento baseado em simulação, aliado com princípios de sustentabilidade e inclusão, oferece um caminho para sistemas de entrega mais eficientes, equitativos e ambientalmente responsáveis (Süß et al., 2025).

1.1 Questão de Investigação

A motivação central desta dissertação prende-se com a necessidade de compreender de que forma diferentes configurações de logística de última milha influenciam o desempenho das operações de distribuição em contexto urbano da cidade de Braga. O aumento da complexidade das cidades, das exigências dos consumidores e das preocupações ambientais torna relevante analisar soluções alternativas, como diferentes tipos de frota, PUP, lockers, microhubs e políticas de inclusão. Uma configuração pode apresentar bons resultados em termos de custo, mas revelar limitações em termos ambientais, operacionais ou de qualidade de serviço. Por este motivo, a análise comparativa de cenários torna-se essencial para compreender os principais trade-offs associados às decisões logísticas.

Neste contexto, a presente dissertação procura responder à seguinte questão de investigação:

- De que forma diferentes configurações de logística de última milha influenciam o desempenho operacional, económico, ambiental e de qualidade de serviço num contexto urbano, tendo como caso de aplicação a cidade de Braga?

Para responder a esta questão, foi desenvolvido um modelo de simulação computacional em Python, aplicado à cidade de Braga, que permite comparar diferentes cenários logísticos através de um conjunto de indicadores de desempenho.

2. Revisão da literatura

2.1 Desafios da logística de última milha

O crescimento do comércio eletrónico intensificou os desafios na entrega de última milha, que representa um segmento crítico e dispendioso da cadeia de abastecimento onde normalmente ocorre dentro de áreas urbanas (Süß et al., 2025).

Em particular, a pandemia alterou significativamente as expectativas e o comportamento dos consumidores, que passaram a preferir a entrega ao domicílio de produtos comprados online em detrimento das compras em lojas físicas. Com isto, esta mudança nas preferências dos consumidores tende a reforçar o crescimento contínuo do setor do retalho (Tiwari & Sharma, 2023).

A crescente procura por soluções de fornecimento integrativas e sustentáveis destaca a necessidade de abordagens que equilibrem as dimensões ambientais, sociais e económicas da entrega de última milha. Este crescimento impõe desafios operacionais complexos, especialmente ao nível do planeamento de rotas como uma variante do Vehicle Routing Problem (VRP), um dos problemas de otimização combinatória mais estudados (Tiwari & Sharma, 2023). Contudo, este trabalho será baseado no Vehicle Routing Problem With Time Windows(VRPTW), que consiste num problema de otimização que visa minimizar a distância total de viagem enquanto satisfaz as janelas de tempo especificadas (Leelertkij et al., 2025).

A necessidade de otimização no LMD decorre de um conjunto de desafios que incluem a complexidade e o crescimento das áreas metropolitanas, maior pressão para reduzir os prazos de entrega e os custos operacionais que são elevados para as empresas de logística.

Os métodos tradicionais de entrega como frotas de veículos pesados atingem gargalos devido ao congestionamento nas cidades, regulamentos ambientais e aumentos nos preços dos combustíveis (Shuaibu et al., 2025). Adicionalmente, os elevados custos de mão de obra e os investimentos necessários para manter níveis de serviço elevados tornam a viabilidade financeira da LMD particularmente desafiante (Simoni et al., 2020).

Além disso, as crescentes preocupações ambientais e o impulso global por modelos logísticos mais sustentáveis têm motivado a adoção de meios de transporte alternativos, como veículos elétricos e bicicletas de carga elétricas (e-bikes). O planeamento das rotas torna-se mais exigente devido à crescente pressão dos consumidores por entregas rápidas e flexíveis, exigindo abordagens de otimização mais eficientes e adaptáveis para a logística de última milha (Shuaibu et al., 2025).

Neste contexto, as empresas procuram soluções mais eficientes, recorrendo a talento especializado para o desenvolvimento de sistemas capazes de reduzir custos operacionais e respeitar restrições de capacidade que assegurem que todos os clientes sejam atendidos (Tiwari & Sharma, 2023).

2.2 Soluções logísticas e estratégias

A consolidação de pedidos e o aumento do número de estafetas de entrega permitem às empresas beneficiar das economias de escala, sendo por isso frequentemente adotado um modelo de entrega de última milha personalizado devido ao aumento da complexidade logística (Tiwari & Sharma, 2023).

O planeamento baseado em simulação, combinado com design inclusivo e transporte sustentável, oferece um caminho para sistemas de entrega mais equitativos e ambientalmente responsáveis (Süß et al., 2025).

Sendo, por isso, um caminho promissor para o aumento da eficiência das operações de logística de última milha, a adoção de serviços de entrega fora de casa (Out-of-Home Delivery – OOHD).

A OOHD oferece várias vantagens, incluindo a consolidação de clientes num único local de entrega, uma redução no número de tentativas de entrega fracassadas e a otimização do tempo de serviço, que inclui o estacionamento, o descarregamento e a entrega do(s) pacote(s) no local de entrega. Estas caraterísticas assumem especial relevância para armários de encomendas como lockers e pontos de recolha (PUP´s) já que cada pacote é armazenado individualmente fazendo com que o tempo de serviço total dependa do número de pacotes a serem entregues (Janinhoff et al., 2024).

Para melhorar a sustentabilidade, as cidades estão a se esforçar para desenvolver medidas para reduzir os impactos ambientais e sociais negativos da logística de última milha (Sobrino et al., 2026).

Os centros de consolidação urbana, sendo infraestruturas logísticas localizadas próximas das áreas de entrega, permitem concentrar e reorganizar os fluxos de mercadorias antes da distribuição final. Esta abordagem possibilita a redução do número de veículos em circulação, o aumento da taxa de carga e a otimização das rotas, contribuindo simultaneamente para a diminuição do congestionamento, das emissões e dos impactos urbanos associados ao transporte de mercadorias.

Estes são essenciais no processo de entrega de última milha para racionalizar os fluxos das frotas e maximizar os fatores de carga do veículo enquanto otimizam as rotas de entrega (Sobrino et al., 2026).

2.3 Limitações e necessidade de novas abordagens

A literatura existente tem analisado diferentes estratégias de distribuição sob cenários de planeamento distintos, contudo, o seu desempenho em contextos dinâmicos e estocásticos, característicos dos serviços de LMD, permanece insuficientemente compreendido (Pahwa & Jaller, 2025).

Ao contrário da estratégia convencional baseada em camiões a combustível para entregas ao domicílio, a literatura tem explorado estratégias alternativas, como a utilização de frotas de entrega flexíveis (crowdsourcing)[1], a veículos de entrega leves para distribuição em vários escalões, com centros de consolidação e o recurso a PUP e lockers.

Contudo, estas soluções baseadas em PUP´s apresentam vulnerabilidades associadas à incerteza do comportamento dos clientes, nomeadamente no que respeita à sua disponibilidade e preferência para levantar encomendas, o que pode comprometer a eficiência do sistema (Pahwa & Jaller, 2025).

No entanto, a diversidade desses desafios reforça a necessidade de avaliar sistematicamente essas abordagens através de simulação em múltiplos cenários, de modo a analisar a robustez e a conceptualização das soluções propostas para a logística de última milha (Shuaibu et al., 2025).

Neste sentido, a presente investigação recorre a um modelo de simulação estocástica de modo a avaliar diferentes configurações operacionais no contexto urbano, permitindo analisar o impacto de várias estratégias de distribuição no desempenho do sistema de última milha.

2.4 Simulação e abordagens avançadas

Neste contexto, a simulação estocástica surge como uma abordagem particularmente adequada, na medida em que permite incorporar a variabilidade operacional e avaliar o desempenho do sistema sob diferentes condições. Através de modelos de simulação, é possível analisar diferentes estratégias em múltiplos cenários operacionais hipotéticos, sem necessidade de implementação real.

Ao nível tático, estes modelos permitem configurar o sistema de modo a responder eficientemente à procura diária, otimizando o uso da frota de entrega, o fluxo de mercadorias e veículos e a alocação de rotas do cliente caracterizada por uma componente estática assim como uma componente estocástica (Pahwa & Jaller, 2025).

[1] *Crowdsourcing refere-se à externalização de tarefas ou serviços para um conjunto alargado de indivíduos, geralmente através de plataformas digitais.*

As abordagens baseadas em sistemas de inteligência artificial têm contribuído para a otimização das operações de última milha, permitindo ajustes dinâmicos no planeamento de rotas e na alocação de recursos. A análise de grandes volumes de dados possibilita uma melhor adaptação à variabilidade da procura e às condições operacionais, reforçando a eficiência do sistema logístico (Shuaibu et al., 2025).

Esses elementos operacionais estão alinhados aos quatro níveis de tomada de decisão no transporte: estratégico, tático, operacional e de execução conforme identificado por McKinnon & Woodburn, (1996, como citado em González-Romero et al., 2025). Neste sentido, o transporte e a entrega constituem os componentes diretamente vinculados à gestão logística e aos fluxos de distribuição.

Chu et al. (2023) propuseram uma estrutura baseada em dados para a gestão da entrega de última milha em plataformas de entrega de alimentos, integrando modelos de otimização e técnicas de machine learning, bem como o comportamento dos motoristas. Contudo, essa abordagem apresenta limitações ao não considerar aspetos críticos, como a componente de recolha (PUP) e a necessidade de ter algoritmos mais rápidos e eficazes para lidar em contextos operacionais complexos e incertos.

Estas limitações reforçam a necessidade de abordagens mais abrangentes e adaptáveis no estudo da logística LMD. Neste sentido, a utilização de modelos de simulação revela-se particularmente adequada, dado que permite representar a variabilidade do sistema e avaliar o impacto de diferentes configurações operacionais em múltiplos cenários.

2.5 Sustentabilidade e contexto urbano

Os modelos de simulação permitem avaliar diferentes configurações considerando preferências e restrições espaciais variadas, possibilitando uma análise baseada em dados dos trade-offs existentes (Süß et al., 2025).

As decisões dos consumidores relativamente aos pontos de entrega preferidos (home, lockers ou PUP´s) têm um impacto significativo no desempenho sustentável global da última milha. Estas preferências influenciam o grau de sustentabilidade ambiental, acessibilidade social e eficiência económica das redes de distribuição (Süß et al., 2025) .

Caso determinados grupos de consumidores não tenham acesso a pontos de entrega centralizados, devido a limitações de mobilidade ou barreiras digitais, o sistema de última milha pode comprometer a sua função social. Neste sentido, a infraestrutura de entrega deve ser concebida de forma adaptada às necessidades locais, garantindo acessibilidade e inclusão (Süß et al., 2025).

Os custos operacionais associados à última milha, que representam uma proporção significativa do custo total de distribuição, são agravados pela elevada dispersão geográfica dos pontos de entrega e pelas condições de congestionamento urbano. Em simultâneo, o aumento do volume de entregas intensifica as preocupações ambientais e a exigência por soluções mais sustentáveis, enquanto a procura por entregas rápidas e flexíveis aumenta a pressão sobre o planeamento logístico (Süß et al., 2025).

A implementação de soluções de LMD enfrenta desafios como restrições de infraestrutura, diferentes necessidades regionais e prioridades distintas desde a equidade, acessibilidade, custos e a eficiência. As ferramentas de simulação ajudam a atingir estes objetivos ao testar localizações de infraestruturas, estratégias de otimização e diferentes modos de entrega em condições realistas. Estas ferramentas permitem aos stakeholders avaliar impactos, reduzir riscos de implementação e tomar decisões baseadas em dados, adaptadas a cada contexto específico (Süß et al., 2025).

Do ponto de vista ambiental, as escolhas dos consumidores e as configurações de entrega são determinantes. Modos de transporte sustentáveis, como bicicletas elétrcias (e-bikes) ou carrinhas elétricas, são mais eficazes quando as entregas são agrupadas e previsíveis.

A implementação de lockers permite reduzir o número de paragens e as emissões associadas a cada encomenda, promovendo a consolidação das entregas. Ainda assim, a eficiência operacional das rotas é condicionada por fatores urbanos, nomeadamente restrições de espaço, disponibilidade de estacionamento e variabilidade das condições de tráfego.

Nesse sentido, a localização otimizada destes pontos, em articulação com as preferências dos consumidores, pode contribuir para uma redução significativa do impacto ambiental das operações de última milha (Süß et al., 2025).

2.6 Indicadores de desempenho KPI´s

Uma abordagem frequentemente utilizada na avaliação da sustentabilidade de sistemas de logística de última milha consiste na aplicação de métodos multicritério de apoio à decisão, que permitem integrar simultaneamente indicadores quantitativos e qualitativos. Esta abordagem considera especificidades do contexto agregando objetivos potencialmente conflitantes, nomeadamente de natureza económica, ambiental e social (Sobrino et al., 2026).

A definição dos indicadores de desempenho é suportada pela estrutura conceptual adotada, que estabelece os critérios de sustentabilidade e orienta a construção dos KPI´s, os quais são posteriormente descritos em detalhe quanto ao seu significado, unidade de medida e sinal de efeito (Sobrino et al., 2026).

Cada métrica fornece informações sobre um aspeto diferente da eficiência do frete urbano. Ao aplicá-las em avaliações de desempenho, os gestores podem avaliar de forma integrada as soluções de entrega. já que estas permitem identificar ineficiências e orientar melhorias na frota urbana (Galkin et al., 2026).

As principais métricas utilizadas na avaliação de sistemas de logística de última milha incluem indicadores como a velocidade de entrega, distância percorrida, utilização da capacidade do veículo, cumprimento das janelas temporais, consumo de combustível, tempo total de viagem, número de paragens, procura atendida e número de veículos utilizados. Ou seja, otimizar o número de veículos implantados minimiza o excesso de quilometragem e o tempo de viagem, melhorando assim a eficiência de combustível e os níveis de serviço (Galkin et al., 2026).

Neste contexto, uma abordagem holística à logística de última milha deve considerar os três pilares interligados da sustentabilidade: responsabilidade ecológica, inclusão social e viabilidade económica. (Süß et al., 2025).

Assim, a avaliação do desempenho dos diferentes cenários simulados foi estruturada de forma a refletir estas dimensões, através da definição de um conjunto de indicadores que permitem uma análise integrada do sistema logístico, sendo estes indicadores fundamentados na literatura de desempenho logístico e sustentabilidade.

Em particular, foram considerados indicadores de desempenho operacional, qualidade de serviço, económicos, ambientais bem como de otimização, assegurando uma avaliação alinhada com os princípios da sustentabilidade. Neste sentido, os indicadores adotados neste estudo correspondem a uma operacionalização das métricas identificadas na literatura, sendo selecionados de forma a refletir as principais dimensões de desempenho dos sistemas de logística de última milha.

Com base neste enquadramento, foram selecionados indicadores que refletem diferentes dimensões do desempenho do sistema, incluindo a utilização de recursos (veículos utilizados e número de paragens), a eficiência operacional (quilómetros totais e horas totais de serviço), a qualidade de serviço (taxa de entrega no prazo na janela temporal e encomendas falhadas), bem como os impactos ambientais e económicos (emissões de CO_2, consumo energético e custo total). Esta seleção permite uma análise integrada dos trade-offs entre eficiência, sustentabilidade e nível de serviço, assegurando uma avaliação robusta das diferentes configurações operacionais.

Deste modo, o presente estudo aplica um modelo de simulação estocástica na avaliação comparativa de múltiplos cenários de logística de última milha, incorporando simultaneamente dimensões operacionais, económicas e ambientais.

Em síntese, a literatura evidencia que a complexidade crescente da logística de última milha exige abordagens integradas que permitam analisar simultaneamente múltiplas dimensões de desempenho. Neste contexto, a utilização de modelos de simulação estocástica, aliada à definição de indicadores fundamentados na literatura, permite avaliar de forma sistemática diferentes configurações operacionais. Esta abordagem possibilita a análise dos trade-offs entre eficiência, qualidade de serviço e sustentabilidade, constituindo uma base robusta para apoiar a tomada de decisão no contexto urbano.

3. Metodologia

3.1 Explicação nomenclatura dos cenários

A nomenclatura dos cenários segue uma estrutura padronizada que permite identificar, de forma sistemática, as principais características operacionais de cada configuração. Cada cenário é definido por um conjunto de componentes que refletem o tipo de veículo utilizado (vans, scooters, e-bikes), a existência de pontos de entrega fora do domicílio (PUP e lockers), a utilização de microhubs e a ativação de políticas de inclusão.

Deste modo, a designação de cada cenário é composta por diferentes elementos, organizados de forma sequencial, permitindo uma leitura direta das suas características operacionais.

De forma geral, a nomenclatura segue o seguinte formato:

CENARIO_X_[TIPO_DE_VEÍCULO] [CONFIGURAÇÃO_DE_ENTREGA] [INFRAESTRUTURA]_[POLÍTICAS]

Onde:

- CENARIO_X: identifica o grupo ou família de cenários;
- TIPO_DE_VEÍCULO: indica o meio de transporte utilizado (por exemplo, VANS, EBIKES, SCOOTERS ou soluções híbridas);
- CONFIGURAÇÃO_DE_ENTREGA: especifica o tipo de entrega (por exemplo, HOME, PUP, LOCKERS);
- INFRAESTRUTURA: indica a utilização de estruturas de apoio, como MICROHUB ou NOHUB;
- POLÍTICAS: refere à ativação de condições específicas, como INCLUSION.

O CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB corresponde a uma configuração operacional híbrida, que combina diferentes modos de transporte e soluções logísticas.

Neste cenário, a distribuição é realizada através de uma frota híbrida composta por vans e e-bikes, permitindo a articulação entre transporte de maior capacidade e soluções de micromobilidade para a distribuição final.

A entrega das encomendas é realizada através de PUP e lockers, promovendo a consolidação das entregas e reduzindo a necessidade de entregas ao domicílio.

Este cenário agrega a utilização de microhubs, que funcionam como ponto intermédio de consolidação e redistribuição das mercadorias, permitindo otimizar os fluxos logísticos e reduzir a circulação de veículos em zonas urbanas densas.

Por fim, encontra-se ativa a política de inclusão, que introduz critérios adicionais na alocação de recursos, assegurando a integração de dimensões sociais no funcionamento do sistema logístico.

3.2 Dados introduzidos na simulação

O trabalho desenvolvido tem o propósito de disponibilizar um modelo de simulação computacional desenvolvido em Python (Ver Apêndice I) para o sistema de transporte urbano da cidade de Braga. O objetivo desta simulação consiste em analisar o impacto de diferentes configurações operacionais através da tomada de decisão na gestão do sistema. Assim, assume-se uma aproximação de 200 000 habitantes, valor compatível com estatísticas demográficas recentes, onde esta dimensão enquadra-se na tipologia de cidade média europeia frequentemente utilizada na literatura sobre logística urbana e de LMD, permitindo garantir a relevância e comparabilidade dos resultados obtidos.

No âmbito do modelo desenvolvido, a população não é utilizada diretamente como variável de cálculo da procura. A população é utilizada exclusivamente como variável de base para a estimação da procura diária de encomendas, sendo que é através deste valor que se estima o número de entregas a realizar, o número de paragens, e a dimensão da infraestrutura logística necessária. Em função do cenário, poderão ser considerados diferentes padrões de consumo e comportamentos de encomenda, que influenciam diretamente a previsão da procura (Ver Apêndice II a XIV). A procura diária é definida através de um número fixo de novas encomendas (n_encomendas_novas), representando um nível de atividade compatível com a dimensão urbana considerada. Neste contexto, o valor adotado para a procura deve refletir uma intensidade plausível com evidência empírica reportada na literatura para cidades de dimensão semelhante. Ainda assim, a referência à população permite contextualizar a escala do sistema logístico e justificar a ordem de grandeza dos fluxos analisados. É considerado um depósito localizado no concelho com diferentes configurações logísticas de distribuição de última milha.

A distribuição de última milha é modelada de forma flexível, já que o modelo considera diferentes configurações operacionais de distribuição de última milha, permitindo avaliar o desempenho de múltiplos cenários logísticos. Embora o modelo utilize um período de amortização de 90 dias (caracterizado pela

variável dias_amortizacao), que é utilizado para a distribuição de determinados custos ao longo do tempo, a operação logística simulada resulta numa base diária, correspondendo a um turno de 10 horas.

A procura é definida no modelo por um número fixo de novas encomendas diárias, ao qual se pode associar encomendas em atraso (backlog) estimadas com base na taxa de falha efetiva do sistema. A distribuição de última milha é modelada de forma flexível, podendo envolver veículos motorizados, ou seja, vans, scooters, e-bikes ou combinações híbridas destes meios.

No cenário de referência, a operação é assegurada exclusivamente por veículos motorizados, enquanto os cenários alternativos exploram configurações baseadas em micromobilidade e soluções híbridas, permitindo analisar diferentes trade-offs entre eficiência operacional, logística, económica e impacto ambiental. A geração da procura incorpora a possibilidade de existência de janelas temporais de entrega, atribuídas a uma fração das encomendas, refletindo restrições típicas de contextos urbanos.

As entregas podem ser realizadas ao domicílio (home), em PUP ou em lockers. No caso das entregas domiciliárias, cada paragem corresponde, tipicamente, a uma única encomenda, enquanto nos canais PUP e LOCKER as encomendas são agregadas por ponto de entrega, originando paragens consolidadas com tempos de serviço dependentes do número de volumes processados. Cada paragem possui localização geográfica, tempo de serviço associado e, em parte dos casos, uma janela temporal de entrega.

O modelo incorpora restrições operacionais, designadamente a capacidade dos veículos expressa no número de paragens e a duração máxima do turno diário. As janelas temporais são tidas em conta no planeamento das rotas e na avaliação do desempenho do serviço. A construção das rotas é realizada através de um algoritmo heurístico que combina uma ordenação inicial por proximidade espacial com um ajustamento sensível às janelas temporais, penalizando situações de espera excessiva e incumprimento dos prazos. Adicionalmente, o modelo integra falhas de entrega de natureza probabilística, diferenciadas por canal de entrega (taxa_falha_domicilio, taxa_falha_ponto_recolha e taxa_falha_locker), contribuindo para a formação de encomendas em atraso e para o aumento dos custos operacionais.

No que respeita às políticas organizacionais, o sistema permite ativar ou desativar uma componente de inclusão social através das variáveis inclusao_ativa e partilha_inclusao. Quando ativada, esta política introduz um custo adicional associado ao recrutamento, integração e formação de trabalhadores, calculado com base nos parâmetros (custo_recrutamento_por_trabalhador, custo_integracao_por_trabalhador e custo_formacao_por_trabalhador) amortizados ao longo do horizonte temporal definido. Este mecanismo permite avaliar o impacto económico de estratégias com componente social.

O modelo integra ainda parâmetros de custo operacional, incluindo custos por tentativa de entrega (custo_por_tentativas), custos de devolução associados a falhas (custo_devolucao_por_encomenda) e custos energéticos dependentes do tipo de veículo utilizado. Para veículos elétricos, um custo por unidade de energia consumida (custo_energia_eletrica_por_kWh) e, para veículos a combustão, um custo por unidade de combustível (custo_combustivel_por_litro). Acrescem ainda os custos diários de amortização da frota.

A rede logística pode incluir infraestruturas de suporte como lockers e pontos de recolha. No modelo, são considerados 36 lockers distribuídos na área de operação e 10 de pontos de recolha. Estes elementos permitem a consolidação das entregas, reduzindo o número de paragens e contribuindo para ganhos de eficiência. Embora o código contemple a possibilidade de integração de microhubs, esta funcionalidade não se encontra plenamente operacionalizada no fluxo principal da simulação considerado neste trabalho.

Com isto, o desempenho do sistema é avaliado através de um conjunto abrangente de indicadores ambientais, económicos e operacionais que incluí o número de veículos utilizados (veículos_utilizados), o número de paragens (numero_paragens), o volume de encomendas processadas (encomendas_processadas), a taxa de falhas (taxa_falha), a percentagem encomendas entregues na janela temporal (taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal), a distância total percorrida (quilometros_totais), o tempo total de operação (horas_totais_serviço), os custos totais (custo_total), o consumo energético (energia_custo_total) e as emissões de CO_2 (emissoes_co2_total). São ainda analisados fluxos entre canais de entrega, nomeadamente o encaminhamento de encomendas para pontos de recolha (fluxo_para_pup_amanha_encomendas), permitindo uma avaliação detalhada do funcionamento do sistema.

Por fim, importa evidenciar que os parâmetros citados representam valores de referência, podendo ser corrigidos, calibrados ou atualizados em função do cenário específico em análise. Nem todos os parâmetros se aplicam necessariamente a todos os contextos.

3.3 Análise e Estrutura dos Resultados da Simulação

A avaliação do desempenho do sistema logístico estabelece uma análise integrada dos resultados operacionais, táticos e globais. Assim, através do registo detalhado de eventos, foi possível monitorizar o comportamento microscópico de cada rota em Braga.

No plano operacional, está contemplado o registo detalhado de cada evento operacional, incluindo deslocações, paragens, entregas, tempos, custos e impactos associados. Esta componente permite compreender o comportamento microscópico do sistema, permitindo monitorizar a eficiência de cada rota e o cumprimento dos requisitos de serviço.

Cada linha descreve uma paragem ou um movimento específico de um veículo, fornecendo detalhes sobre métricas essenciais, como tempo de chegada (tempo_chegada), o tempo de espera (tempo_espera_s) e o tempo de serviço efetivo (tempo_serviço_s). Esta composição é fundamental para identificar situações de congestão operacional, tempos de espera elevados e pressão sobre o espaço público. A título de exemplo, o modelo regista se uma entrega foi realizada dentro do intervalo previsto (entrega_no_prazo), permitindo correlacionar atrasos com a distância do percurso (distancia_km_troço) ou com a intensidade do tráfego local.

Simultaneamente, os eventos podem estar associados a entregas ao domicílio, PUP´s, lockers e, em variantes específicas, pode incorporar diferentes pontos logísticos intermédios, consoante o cenário.

É atribuído a cada paragem um custo direto (custo_troco_toral_eur) e um impacto específico no carbono (co2e_kg_troco). Isto permite verificar e comparar com detalhe o desempenho operacional e ambiental das e-bikes face aos veículos motorizados em Braga. Ao analisar os eventos destas frotas, observa-se que os custos energéticos por paragem (custo_energetico_troço_eur) são residuais face aos veículos motorizados (van), e que o fator de bloqueio de via (tempo_ocupacao_via_s) é significativamente inferior em zonas urbanas densas ou sensíveis. Esta diferença decorre dos parâmetros energéticos e operacionais atribuídos a cada tipo de veículo no cenário, que associam às e-bikes consumos residuais e tempos de ocupação reduzidos.

O registo de eventos permite monitorizar a utilização da infraestrutura fixa, como os PUP´s e os microhubs, detalhando o volume de encomendas processadas em cada ponto, assim como o tempo consumido no reabastecimento. Esta base de dados funciona como uma ferramenta de auditoria que permite não só validar o cenário atual, como também fornecer evidências para a calibração e comparação dos restantes cenários garantindo que as previsões estratégicas estão alinhadas com a realidade operacional, tanto no espaço como no tempo.

No plano tático, a análise por frota admite uma análise comparativa e segmentada entre os diferentes modos de transporte utilizados na operação. Ao contrário da visão global, esta componente detalha a eficiência tática de cada grupo de veículos, sendo fundamental para validar a estratégia adotada e os custos por frota.

Neste contexto, foi escolhido para análise o CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB ser um dos cenários mais completos da simulação.

No cenário em análise, a frota integra veículos_utilizados distribuídos por diferentes tipos_de_veículo (VAN, VAN_TRUNK e E_CARGO_BIKE), organizados por identificador_da_frota, operando a partir de diferentes pontos da rede logística.

A operação envolveu número_de_paragens totais equivalente a 1399, evidenciando elevada intensidade logística. No que respeita à eficácia operacional, foram registadas 872 encomendas_tentadas, das quais 799 encomendas_entregues e número de encomendas não entregues fixou-se em 73 encomendas_falhadas, correspondendo a uma taxa_de_falha_encomendas de 8,22%.

Das encomendas totais, 401 encomendas_com_janela_temporal foram sujeitas a restrições temporais, tendo-se registado uma taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal de 94,84 % evidenciando um elevado nível de cumprimento dos prazos. Por outro lado, as e-bikes operando a partir dos microhubs, demonstraram uma eficiência notável em percursos de curta distância e alta densidade com um impacto ambiental praticamente nulo e custos energéticos marginais.

Em termos de desempenho operacional, o sistema percorreu 2812,96 quilometros_totais, concentrou aproximadamente 115,48 horas_totais_condução, 41,19 horas_totais_serviço e 67,68 horas_totais_espera, refletindo a influência das janelas temporais e da estrutura da rota.

No que respeita ao impacto no sistema urbano, não se verificaram acréscimos diretos de operação nos quilometros_adicionados_veículo = 0, mas existe um elevado número total de horas_adicionadas_veiculo = 2812,95). A mobilidade urbana é avaliada pela distância adicional percorrida onde o sistema gerou quilometros_tráfego_equivalente_PCE = 115,48 e horas_tráfego_equivalente_PCE = 106,26, bem como horas_atraso_tráfego = 2646,53, distância adicional percorrida de 0 km (quilometros_adicionais_veículos) e 115,48 horas de condução (horas_condução_adicionais) evidenciando efeitos indiretos relevantes na circulação urbana.

Assim, no que respeita ao plano estratégico, este sintetiza o desempenho global do sistema logístico, permitindo analisar indicadores de sustentabilidade e viabilidade financeira através de métricas transversais a qualquer cenário, custo total da operação (custo_total) ascendeu a 5395,88 €, valor que integra as tentativas de entrega (3912 € em um total de custo_tentativas), devoluções (182,5 € em total de

custo_devoluções), custos energéticos (683 € em custo_energético_total) e a amortização de infraestruturas e veículos (832 € em custo_amortização_total).

Do ponto de vista energético, o sistema apresenta tipo_de_energia: “combustível” e “elétrico”, 260,21 litros_totais e sem consumo elétrico agregado (kWh_totais de 4,08 neste segmento principal da operação).

No plano ambiental, foram gerados 698,18 kg CO_2 (CO2_total_kg). O índice_total_poluição_visual registou valores reduzidos no segmento principal, embora com contribuições localizadas associadas a operações específicas.

Relativamente à dinâmica do sistema, não se verificou acumulação de encomendas (backlog_domicílio_amanhã_encomendas = 0, backlog_locker_amanhã_encomendas = 0, backlog_PUP_amanhã_encomendas = 0), evidenciando capacidade de resposta integral. Contudo, registou-se um fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas = 73, refletindo a continuidade da operação e a utilização de pontos de entrega.

Por fim, no que respeita à componente social, a política de inclusão encontra-se ativa (inclusão_ativa = verdadeiro), com total custo_diário_inclusão_eur = 640 € e um total de trabalhadores_inclusão_estimados = 72, evidenciando a integração de critérios sociais na configuração logística.

Todos os indicadores apresentados resultam da parametrização específica deste cenário, sendo as fórmulas de cálculo aplicáveis a diferentes cenários mediante a atualização das variáveis.

4. Análise de Resultados

Através desta análise pretende-se identificar qual o cenário mais adequado para diferentes contextos operacionais. Nesse sentido, ao nível de objetivos específicos procura-se analisar um conjunto alargado de indicadores operacionais, de otimização, de serviço, económicos e de sustentabilidade. A Tabela 1 demonstra os resultados obtidos através da simulação para os Cenários 0 (para os restantes cenários, ver Apêndice XV a Apêndice XXXVIII).

Tabela 1 - Resultados código Python do CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_INCLUSION, CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_LOCKERS_INCLUSION, CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_LOCKERS e CENARIO_0_BASE_VANS_HOME

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_INCLUSION	CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_LOCKERS_INCLUSION	CENARIO_0_BASE_VANS_HOME_LOCKERS	CENARIO_0_BASE_VANS_HOME
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	38	29	29	38
	tipo_de_veículo	VAN	VAN	VAN	VAN
	identificador_da_frota	VAN	VAN	VAN	VAN
	número_de_paragens	3334	2557	2557	3334
Entregas	encomendas_tentadas	1102	864	864	1102
	encomendas_entregues	973	763	763	973
	encomendas_falhadas	129	101	101	129
	taxa_de_falha_encomendas	0,117059891	0,116898148	0,116898148	0,117059891
	encomendas_com_janela_temporal	966	741	741	966
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,765893037	0,771353482	0,771353482	0,765893037
Distância e Tempo	quilómetros_totais	7065,498263	5350,430362	5350,430362	7065,498263
	horas_totais_condução	282,4666667	213,8997222	213,8997222	282,4666667
	horas_totais_serviço	73,46666667	56,58916667	56,58916667	73,46666667
	horas_totais_espera	29,01277778	23,58722222	23,58722222	29,01277778
	quilómetros_adicionados_veículo	7065,498263	5350,430362	5350,430362	7065,498263
	horas_adicionadas_veículo	282,4666667	213,8997222	213,8997222	282,4666667
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	7065,498263	5350,430362	5350,430362	7065,498263
	horas_atraso_tráfego	0	213,8997222	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	282,4666667	213,8997222	213,8997222	282,4666667
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	102,4794444	80,17638889	80,17638889	102,4794444
	horas_ocupação_berma_turística	1,842777778	0,6	0,6	1,842777778
	índice_total_poluição_visual	327,616	119,56	119,56	327,616
	CO2_total_kg	1893,553534	1433,915337	1433,915337	1893,553534
	litros_totais	706,5498263	535,0430362	535,0430362	706,5498263
	kWh_totais	0	0	0	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	1893,553534	963,0774652	963,0774652	1271,789687
	custo_total_tentativas	6612	5184	5184	6612
	custo_total_devoluções	322,5	252,5	252,5	322,5
	custo_total_amortização	1330	1015	1015	1330
	custo_total	10158,05353	7414,577465	7414,577465	9536,289687
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	129	101	101	129
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	115,5555556	115,5555556	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0,321666635	0,419067379	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	13	13	0	0

Estes indicadores foram selecionados pelos mais relevantes de modo a permitir uma comparação direta e fundamentada entre os cenários analisados (Ver Tabela 2).

Deste modo, nas secções seguintes será exposto de forma mais concreta e específica o método de análise de cada um dos indicadores, por forma a proporcionar uma melhor perceção do trabalho desenvolvido e dos resultados obtidos.

Tabela 2 - Indicadores utilizados para avaliação do sistema de distribuição

Dimensão	Indicador selecionado
Operacional	veiculos_utilizados
	numero_de_paragens
Otimização	quilometros_totais
	horas_totais_servico
Serviço	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal
	taxa_de_falha_encomendas
Sustentabilidade	CO2_total_kg
	kWh_totais
	indice_total_poluicao_visual
Económica	custo_total

4.1 Operacional

4.1.1 Veículos utilizados

A análise do indicador veículo_utilizados permite avaliar a dimensão da frota necessária para assegurar o bom funcionamento da rede logística. Uma menor necessidade de veículos traduz-se numa utilização mais eficiente dos recursos logísticos e numa menor pressão sobre o espaço urbano. Nesse sentido, a Tabela 3 apresenta os cenários com melhor desempenho nos quais a otimização de rotas desempenha um papel

determinante na redução da frota, contrastando com cenários menos eficientes. Estes resultados revelam uma maior eficiência na consolidação das entregas e na organização de rotas.

Tabela 3 - Ranking de cenários com número menor de veículos utilizados

Posição	Cenário	Inclusão	Nº de veículos utilizados
1º	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Não	16
	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Sim	16
2º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	20
	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	20
3º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	22
	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	22
4º	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP	Não	24
	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP	Sim	24
5º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	25
	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	25

A análise dos cenários com menor número de veículos evidencia que todas as configurações com melhor desempenho operacional integram mecanismos de consolidação das entregas, nomeadamente através da utilização de PUP´s e, em alguns cenários, da utilização complementar de lockers. Esta configuração reduz a fragmentação das rotas e aumenta o número médio de encomendas servidas por veículo. Consequentemente, verifica-se uma utilização mais eficiente da frota e uma menor necessidade de veículos para assegurar o mesmo volume de entregas.

Entre os cenários analisados, o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS com e sem inclusão é o que apresenta menor número de veículos, pelo facto da sua estrutura operacional combinar a capacidade de transporte por vans com a presença simultânea de dois mecanismos de consolidação das entregas (PUP e lockers). Estas configurações têm um papel determinante na redução da dimensão da frota, disputando com cenários menos eficientes que podem atingir até 93 veículos (número máximo de veículos utilizados). Desta forma, a redução do número de veículos está mais associada ao nível de consolidação das entregas do que à tecnologia de transporte utilizada.

Por outro lado, os microhubs não figuram entre os cenários com melhor desempenho, neste indicador, dado que a sua utilização exige a decomposição do sistema de entrega em duas etapas (transporte principal e última milha) o que tende a aumentar o número total de veículos em circulação.

Verificou-se que diversos cenários com e sem política de inclusão apresentam exatamente o mesmo número de veículos utilizados. Este resultado indica que a introdução da política de inclusão não altera a dimensão da frota necessária, não afetando diretamente a intensidade operacional do sistema, que depende sobretudo da organização das rotas, da tecnologia de transporte e dos mecanismos de consolidação das entregas. Assim, optou-se por apresentar todos os cenários com desempenho idêntico na inclusão, neste indicador, evidenciando que a introdução da política de inclusão não altera a intensidade operacional do sistema nem a dimensão da frota necessária.

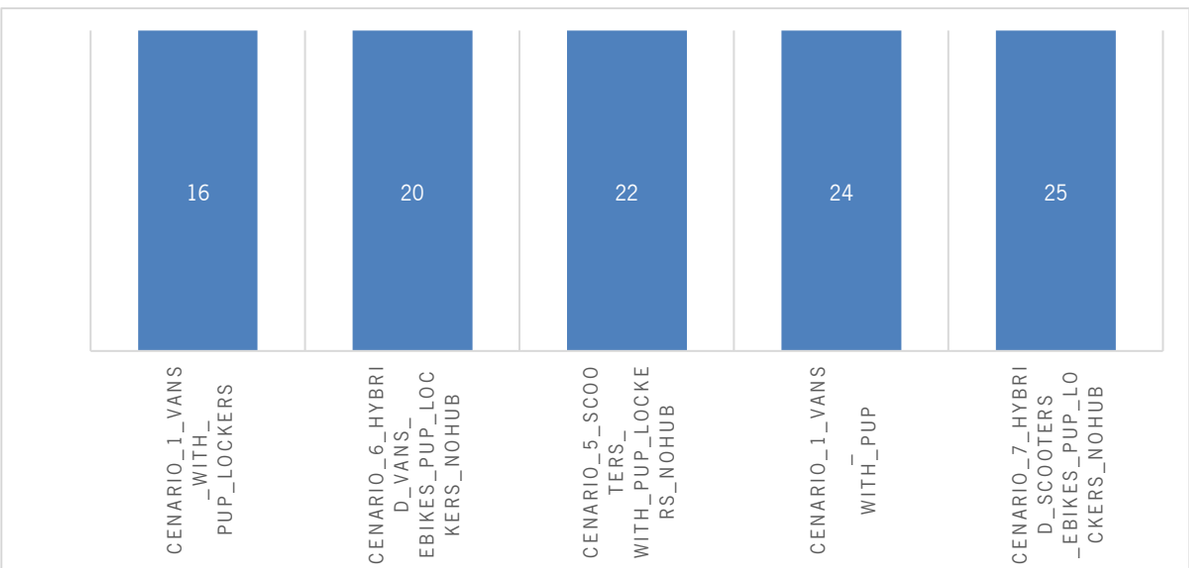


Figura 1 - Cenários com menos veículos utilizados

4.1.2 Número de paragens

O indicador numero_de _paragens mede o grau de fragmentação da rede de distribuição. Um menor número de paragens indica maior consolidação das entregas e maior eficiência das rotas, reduzindo o número de interrupções necessárias para completar a distribuição.

À semelhança do observado no indicador número de veiculos_utilizados, verificou-se que, nestes cenários com e sem política de inclusão o número de paragens é exatamente o mesmo. Este resultado sugere que a introdução da política de inclusão não tem impacto significativo na estrutura das rotas, nem na intensidade operacional das entregas.

Este indicador apresenta um elevado número de cenários com desempenho idêntico de 1393 paragens, o que não permite discriminar de forma significativa entre as soluções analisadas. Esta situação indica que diferentes configurações logísticas conseguem operar com a mesma dimensão de frota. Para efeitos de comparação, as seleções dos cinco cenários com melhor desempenho foram posteriormente diferenciadas através do indicador operacional complementar, nomeadamente a quilometros_totais (Ver Tabela 4).

Tabela 4 - Ranking de cenários com menor número de paragens

Cenário	numero_de_paragens
CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION	1393
CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	
CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB	
CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	
CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB	
CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	
CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB	
CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB	
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	

Desta forma, o ranking dos cenários considerando simultaneamente o número de paragens e a distância total percorrida é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Ranking de cenários com menor número de paragens ordenados pela menor distância percorrida

Posição	Cenário	Inclusão	Nº de paragens	quilometros_totais(km)
1º	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Não	1393	2828,77 km
	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Sim		2828,77 km
2º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não		2941,81 km

	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim		2941,81 km
3º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não		3272,02 km
	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim		3272,02 km
4º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não		3401,07 km
	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim		3401,07 km
5º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não		3647,35 km
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim		3647,35 km

Os resultados indicam que que CENAIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS com e sem inclusão apresenta o melhor desempenho, registando a menor distância total percorrida de 2828,77 km.

As configurações híbridas sem hub (CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB e CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB) apresentam percursos de 2941,81 km e 3272,02 km. Estes valores evidenciam que a combinação de diferentes tipologias de veículo pode contribuir para reduzir a distância total percorrida quando comparada com soluções baseadas exclusivamente num único tipo de veículo.

Por outro lado, os cenários baseados exclusivamente em scooters e e-bikes apresentam valores de distâncias percorridas superiores, o que sugere uma menor eficiência espacial das rotas, quando comparados com soluções baseadas em vans ou configurações híbridas. Esta disparidade justifica-se pela capacidade de carga inferior de veículos de micromobilidade, obrigando à realização de mais percursos para completar o serviço de distribuição.

Contudo, verifica-se que a variável inclusão não produz alterações no número de paragens nem na distância total percorrida para os cenários analisados, indicando que, neste conjunto de simulações, a sua introdução não teve impacto direto na estrutura das rotas.

Deste modo, os resultados obtidos indicam que, para o conjunto de cenários analisados, as soluções operacionais sem microhub conseguem atingir o mesmo nível de cobertura das entregas sem aumentar o número de paragens, mantendo simultaneamente menores distâncias totais percorridas nos cenários com melhor desempenho.

Em suma, apesar de vários cenários apresentarem o mesmo número de paragens, a análise da distância total percorrida permite diferenciar o desempenho das diferentes configurações logísticas, destacando-se as soluções baseadas em vans e configurações híbridas como as mais eficientes em termos de quilómetros percorridos.

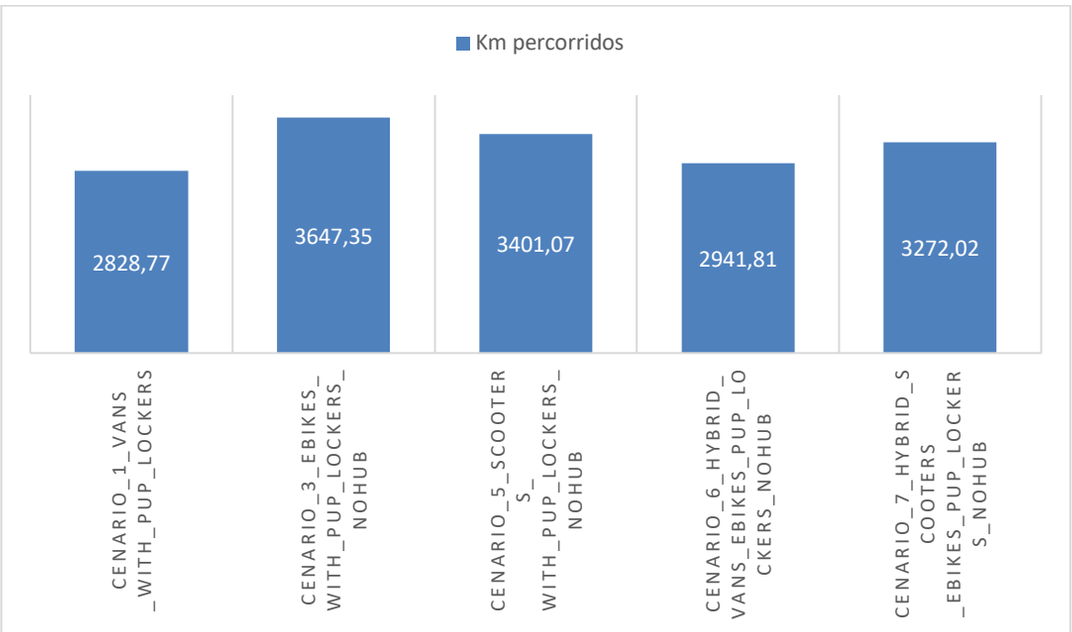


Figura 2 - Cenários com menor número de paragens e menor número de quilómetros percorridos

4.1.3 Síntese Dimensão Operacional

A análise sintética da dimensão operacional (Ver Tabela 6) evidencia que o número de veículos constitui o principal fator diferenciador entre cenários, ao contrário do número de paragens, que apresenta reduzido poder discriminatório.

Tabela 6 - Tabela resumo dimensão operacional

Indicador	Melhor cenário	Valor	Observações principais
Veículos utilizados	CENARIO_1_VANS_WITH _PUP_LOCKERS (com e sem inclusão)	16 veículos	A utilização de PUP e lockers permite reduzir a necessidade de veículos, evidenciando o efeito positivo da consolidação das entregas na eficiência operacional.
Número de paragens	Múltiplos cenários com e sem inclusão: CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	1393 paragens	O número de paragens apresenta reduzido poder discriminatório entre cenários, sendo necessário recorrer a um indicador complementar para uma avaliação mais robusta.

	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB		
Quilómetros totais percorridos	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão)	2828,77 km	Os quilómetros totais percorridos permitem diferenciar cenários com igual número de paragens, constituindo um indicador determinante para avaliar a eficiência espacial das rotas.

4.2 Otimização

4.2.1 Quilómetros totais

De modo a complementar a análise da dimensão da frota necessária, a eficiência operacional de um sistema de distribuição pode ser avaliada através da distância total percorrida. Este indicador permite analisar de que forma as diferentes configurações logísticas influenciam a extensão dos percursos realizados no processo de distribuição assim como possíveis trade-offs entre a redução do número de veículos utilizados e a extensão total dos percursos realizados.

Desta forma, o ranking dos cenários com a menor distância percorrida (quilometros_totais) é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Ranking de cenários menor distância percorrida

Posição	Cenário	Distância percorrida (km)
1º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	1939,03 km

2º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB	2192,59 km
3º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB	2268,25 km
4º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB	2426,51 km
5º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB	2623,97 km

A métrica da distância total percorrida evidencia que os cenários de maior eficiência espacial são, de forma consistente, aqueles que combinam microhubs com veículos de flexibilidade operacional superior, nomeadamente e-bikes e scooters. O cenário com melhor desempenho corresponde ao CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB, com um total de 1939,03 km, seguido do CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB, com 2192,59 km.

De seguida, surgem as versões destes cenários com a política de inclusão ativa: CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB, com 2268,25 km e 2426,51 km, respetivamente. Na última posição encontra-se o CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB, com 2623,97 km.

Estes resultados indicam que a combinação de microhubs com veículos de menor dimensão contribui para reduzir a distância total percorrida no sistema de distribuição. Devido à sua dimensão reduzida, as e-bikes e scooters apresentam maior adequação a percursos urbanos curtos, o que favorece a definição de rotas mais compactas. Esta configuração permite maior flexibilidade na circulação no meio urbano e pode aumentar a eficiência das rotas, sobretudo quando existe infraestrutura de suporte, como os microhubs, que permitem a consolidação intermédia das encomendas. Assim, a proximidade espacial criada pelos microhubs é o principal mecanismo que torna a distância percorrida menor.

Em ambas as tecnologias, a capacidade de carga e a autonomia influenciam a organização das rotas, podendo exigir um maior número de viagens ou veículos com maior autonomia assim como um planeamento mais cuidado das operações de distribuição.

Nos cenários em que a política de inclusão é ativada, observa-se que a distância total percorrida aumenta ligeiramente. A introdução da política de inclusão na atribuição das entregas pode reduzir a flexibilidade na definição das rotas, levando a soluções de roteamento potencialmente menos eficientes e, consequentemente, a percursos mais extensos. Esta diferença é particularmente visível nos CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB, nos quais a introdução da inclusão conduz a um acréscimo de quilómetros percorridos face às configurações equivalentes sem essa política.

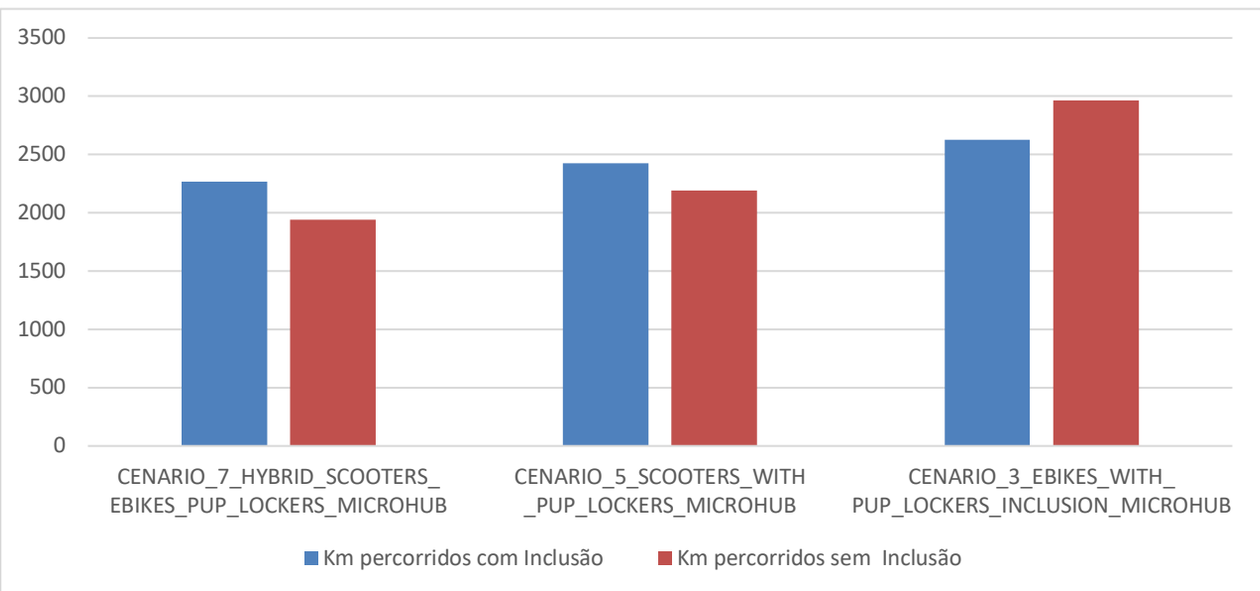


Figura 3 - Comparação da distância percorrida nos cenários com e sem inclusão

A tendência nos CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB, evidenciava que a inclusão implicaria uma distância total percorrida superior à configuração sem inclusão. Contudo, esta comparação entre cenários com e sem política de inclusão evidencia um comportamento distinto no CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB. Neste caso, a versão com inclusão apresenta uma distância total percorrida inferior à configuração sem inclusão. Este fenómeno poderá estar relacionado com a estrutura operacional do cenário, baseado exclusivamente em e-bikes, em que as restrições introduzidas pela política de inclusão podem conduzir a uma maior eficiência espacial na organização das rotas.

4.2.2 Horas totais de serviço

As horas_totais_servico representam o tempo total de operação de todos os veículos envolvidos num dado cenário durante um dia de serviço. A Tabela 8 apresenta o ranking dos cenários com melhor desempenho.

Tabela 8 - Ranking de cenários com menor volume de horas totais de serviço

Posição	Cenário	Inclusão	horas_totais_ servico (h)
1º	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Não	31,66 h
	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Sim	
2º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	39,32 h
	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	
3º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Sim	41,19 h
4º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Não	41,39 h
5º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	41,51 h
	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	

De modo a analisar a eficiência operacional, para além de saber os cinco cenários com menor número de horas totais, importa analisar também um indicador complementar: custos_totais. Após a identificação dos cenários com menor número de horas_totais_servico, procedeu-se à análise dos custos totais para os mesmos cenários, com o objetivo de avaliar a eficiência do serviço. Esta abordagem permite identificar o cenário ideal medindo o impacto direto na minimização das horas de serviço e na redução de custos na eficiência global do sistema (Ver Tabela 9).

Tabela 9 - Ranking de cenários com menor volume de horas totais e de custos totais

Posição	Cenário	Inclusão	custos_totais (€)	horas_totais _servico (h)
1º	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Não	4174,18 €	31,66 h
	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Sim		

2º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	5001,13 €	39,32 h
	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim		
3º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Sim	5395,90 €	41,19 h
4º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Não	5410,38 €	41,39 h
5º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	6700,66 €	41,51 h
	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim		

Assim, conclui-se que a seleção do cenário mais adequado deve considerar a minimização das horas de serviço, com custos reduzidos, cujo objetivo consiste em avaliar o impacto da redução do esforço operacional no nível de serviço.

O cenário CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS com e sem inclusão destaca-se como o mais eficiente, apresentando simultaneamente o menor volume de horas totais de serviço e pelo menor custo total.

Os restantes cenários apresentam valores superiores tanto ao nível do esforço operacional como dos custos totais. Nomeadamente, os cenários baseados em soluções híbridas como o CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão, assim como o CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB com e sem inclusão, e cenários baseados em scooters: CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão, evidenciam um aumento significativo dos custos.

Assim, a análise integrada dos indicadores horas_totais_servico e custos_totais permite concluir que o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS é o mais eficiente a nível operacional e económico.

Este cenário demonstra uma redução significativa do esforço operacional, associada ao menor custo total, não sendo observado qualquer outro cenário que apresente simultaneamente melhorias nestes dois indicadores. Este cenário configura-se como a solução mais favorável entre as alternativas analisadas.

Importa destacar que esta análise se foca estritamente em indicadores operacionais e económicos, nomeadamente as horas_totais_servico e os custos_totais, não considerando métricas de nível de serviço. O objetivo desta escolha tem vista a identificar soluções eficientes do ponto de vista da utilização de recursos.

No entanto, reconhece-se que a inclusão de indicadores de qualidade de serviço poderia influenciar a seleção do cenário mais adequado, podendo alterar a hierarquia das soluções, especialmente em contextos onde a satisfação do consumidor e o cumprimento de prazos assumem maior relevância.

4.2.3 Síntese Dimensão da Otimização

A análise integrada da dimensão de otimização (Ver Tabela 10) evidencia a existência de um trade-off entre eficiência espacial e eficiência operacional.

Tabela 10 - Tabela resumo dimensão da otimização

Indicador	Melhor cenário	Valor	Observações principais
quilometros_totais	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_ EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	1939,03 km	A utilização de microhubs combinada com soluções de micromobilidade permite reduzir a distância total percorrida, evidenciando vantagens significativas de eficiência espacial na distribuição.
horas_totais_serviço	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS com e sem inclusão	31,66 h	A utilização de vans associada a mecanismos de consolidação das entregas permite minimizar o tempo total de operação, refletindo uma maior eficiência operacional do sistema. O número de horas totais de serviço apresenta um reduzido poder discriminatório entre cenários, sendo necessário recorrer a um indicador complementar (custos_totais) para uma avaliação mais robusta.

custos_totais	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS com e sem inclusão	4174,18 €	Os custos totais permitem identificar o cenário ideal, constituindo um indicador determinante para avaliar a eficiência do serviço, uma vez que mede o impacto direto na minimização das horas de serviço e na redução de custos.

4.3 Serviço

4.3.1 Taxa entrega no prazo da janela temporal

O indicador taxa_de_entrega_no_prazo_janela_temporal é utilizado para medir a qualidade de serviço, uma vez que avalia o desempenho do sistema, especificamente no cumprimento das restrições temporais impostas, focando-se apenas nas entregas em que existe uma janela temporal definida.

Este representa a proporção de encomendas com janela temporal definida cujo serviço se iniciou dentro do intervalo temporal estabelecido. Dessa forma, valores mais elevados traduzem uma maior capacidade do sistema em cumprir os prazos estabelecidos, fator que se torna crítico em contextos onde a pontualidade constitui o principal diferencial de desempenho.

A taxa de entrega no prazo é dada por:

$$\textbf{Taxa de entrega no prazo} = \frac{\textbf{encomendas entregues dentro da janela temporal}}{\textbf{total encomendas com janela temporal}}$$

Onde:

- encomendas entregues dentro da janela temporal: quantidade de encomendas em que o início do serviço ocorreu dentro da janela temporal definida;
- Total de encomendas com janela temporal: número total de encomendas sujeitas a restrição temporal.

Este indicador corresponde ao quociente entre o número de encomendas entregues dentro da janela temporal e o total de encomendas sujeitas a restrição temporal, ou seja, ao número de encomendas em que o início do serviço ocorreu até ao limite superior da respetiva janela temporal.

Nos cenários com múltiplos veículos, a taxa_de_entrega_no_prazo_janela_temporal foi calculada de forma agregada, considerando o total de encomendas entregues dentro da janela temporal e o total de encomendas com janela temporal de todos os veículos envolvidos. Esta abordagem permite obter uma medida representativa do desempenho global de cada cenário.

Verificou-se que, entre os cinco melhores cenários com melhor desempenho no indicador, quatro deles apresentam o mesmo valor neste indicador. Devido à carência de distinção entre os melhores cenários, analisaram-se os casos subsequentes para verificar se a ausência de diferenciação era um padrão persistente. A análise permitiu identificar dois níveis de desempenho distintos, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Ranking dos cenários com melhor desempenho na taxa de cumprimento das janelas temporais

Posição	Cenário	Inclusão	taxa_de_entrega_no _prazo_janela_temporal (%)
1º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	Sim	99,25%
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	Não	
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_MICROHUB	Sim	
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_MICROHUB	Não	
2º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Sim	99,16%
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Não	
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	

Este comportamento evidencia uma limitada capacidade discriminatória do indicador para os cenários de melhor desempenho.

Através da análise da tabela, é possível verificar que os cenários baseados em e-bikes com recurso a PUP apresentam taxas superiores a 99%, evidenciando uma elevada capacidade do sistema em cumprir restrições temporais. Este desempenho resulta da simplificação das rotas e da redução da incerteza operacional, uma vez que a utilização de PUP elimina tentativas de entrega domiciliária e as e-bikes apresentam maior previsibilidade em contexto urbano.

Verifica-se que os números de encomendas com janela temporal tiveram um valor elevado em ambos os grupos. Não obstante, a diferença entre o número de encomendas com janela temporal e as encomendas_entregues dentro do prazo é residual.

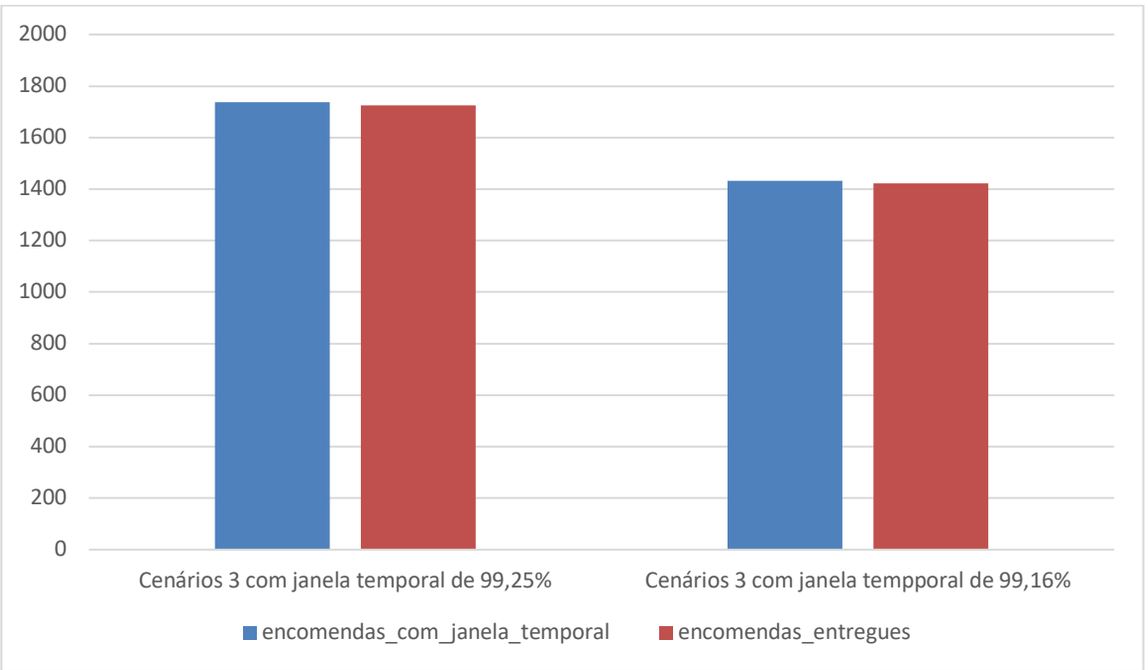


Figura 4 - Comparação encomendas com janela temporal

Contudo, este indicador apresenta baixa variabilidade entre cenários. Em todos os cenários, a configuração logística é composta por ebikes e PUP´s. Operacionalmente, a introdução dos PUP´s reduz a pressão logística já que não existem tentativas domiciliárias. As ebikes têm rotas mais simples, pois devido ao menor congestionamento, torna-se mais fácil fazer previsões de chegada. Assim, existem menos paragens críticas na janela temporal o que faz com que quase nenhuma encomenda falhe a janela temporal. A introdução de microhubs não demonstra impacto significativo neste contexto.

De modo a analisar a qualidade do serviço prestado, para além da identificação dos cenários com maior taxa de cumprimento das janelas temporais, importa considerar também um indicador complementar: os custos_totais. Dado que vários cenários apresentam níveis elevados e idênticos de cumprimento das janelas temporais, torna-se imprescindível recorrer a este indicador adicional para diferenciar o desempenho operacional.

Após a seleção dos cenários com melhor desempenho ao nível das janelas temporais, procedeu-se à análise dos custos totais uma vez que este indicador é variável em cada cenário, integra componentes associadas

ao consumo energético, tentativas de entrega, falhas e amortização. Assim a Tabela 12 demonstra o ranking que permite avaliar a eficiência económica das soluções.

Tabela 12 - Ranking dos cenários com melhor desempenho na taxa de cumprimento das janelas temporais com custos totais

Posição	Cenário	taxa_de_entrega_no_prazo_janela_temporal (%)	custos_totais (€)
1º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	99,25%	9251,26€
2º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_INCLUSION_NOHUB	99,25%	9255,26€
3º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_MICROHUB	99,25%	13992,28€
4º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_INCLUSION_MICROHUB	99,25%	1682,94€
5º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	99,16%	8449,74€
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB		

Deste modo, conclui-se que a seleção do cenário com melhor serviço e desempenho operacional deve considerar a maximização do cumprimento da janela temporal e da minimização dos custos operacionais.

O CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB demonstra o melhor desempenho global, aliando altos níveis de serviço a um baixo custo operacional. A introdução de inclusão, neste cenário, e nos subsequentes, conduz a um ligeiro aumento dos custos, sem impacto no desempenho operacional.

Em contrapartida, a introdução de microhubs não demonstra impacto significativo neste indicador, sem proporcionar melhorias na taxa de cumprimento das janelas temporais, o que sugere que, para este tipo de operação, a proximidade proporcionada por estas infraestruturas não constitui um fator determinante para o cumprimento das janelas temporais.

A introdução de lockers potencializa a redução de custos totais no cenário sem microhubs, mantendo níveis de serviço elevados, evidenciando-se como uma solução eficiente. Dessa forma, os cenários baseados em e-bikes com recurso a PUP, sem microhubs, (CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB com e sem inclusão) apresentam a melhor relação entre nível de serviço e custo operacional.

4.3.2 Taxa de falha de encomendas

A taxa_de_falha_encomendas representa a proporção de encomendas não entregues em cada cenário. Este indicador permite avaliar diretamente a qualidade do serviço prestado.

Esta é calculada pelo total de encomendas falhadas a dividir pelo total de encomendas tentadas.

Nos cenários com múltiplos tipos de veículos, a taxa de falha das encomendas foi calculada de forma agregada, considerando o total de encomendas falhadas e o total de encomendas tentadas.

A taxa de falha de encomendas é dada por:

$$\textbf{Taxa de Falha de encomendas} = \frac{\textbf{Pacotes Falhados}}{\textbf{Total tentativas}}$$

Onde:

- Encomendas falhadas: correspondem ao número de entregas não realizadas com sucesso;
- Encomendas tentadas: correspondem ao número total de entregas processadas pelo sistema sendo imperativamente diferente de 0.

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos para os diferentes cenários analisados.

Tabela 13 - Ranking de cenários com menor taxa de falhas de encomendas

Posição	Cenário	taxa_de_falha_ encomendas (%)
1º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB	1,91 %
2º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_ MICROHUB	2,14 %
3º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB	2,21 %
4º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB	2,22 %
5º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	2,29 %

Através da análise da Tabela 13 é possível constatar que todos os cenários apresentam níveis de fiabilidade elevados, com valores inferiores a 3%, indicando um desempenho global positivo, evidenciando uma elevada capacidade de resposta do sistema. O CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB é o cenário mais eficiente ao nível da fiabilidade do sistema, apresentando a menor taxa de falha de 1,91%. Este resultado indica uma elevada capacidade de cumprimento das entregas e um bom desempenho operacional no contexto analisado.

As diferenças entre os cenários são ínfimas, variando entre aproximadamente 1,91% e 2,29%. Esta proximidade de valores indica que, do ponto de vista da fiabilidade, os cenários apresentam desempenhos semelhantes.

A análise detalhada dos dados evidencia que o desempenho global dos cenários é influenciado pela combinação de diferentes tipos de veículos, nomeadamente pela articulação entre veículos principais (van) e veículos de distribuição de última milha, como scooters e e-bikes. Esta combinação permite equilibrar capacidade de carga e flexibilidade operacional, contribuindo para a redução das falhas. Essa sinergia sugere que este tipo de estrutura promove uma maior eficiência na execução de entregas promovendo a melhoria do desempenho ao nível da qualidade de serviço.

Importa destacar que a variação reduzida entre os cenários sugere que a escolha da solução mais adequada deverá considerar também outros indicadores, nomeadamente operacionais e económicos, de modo a garantir uma avaliação mais ampla do sistema.

Contudo, foi possível identificar um padrão na ordenação dos cenários com menor taxa_de_falha_encomendas, verificando-se que, para a mesma configuração logística, o cenário sem inclusão apresenta um desempenho ligeiramente inferior, surgindo posteriormente. Em particular, verifica-se que o cenário subsequente corresponde ao CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB, confirmando a consistência deste comportamento.

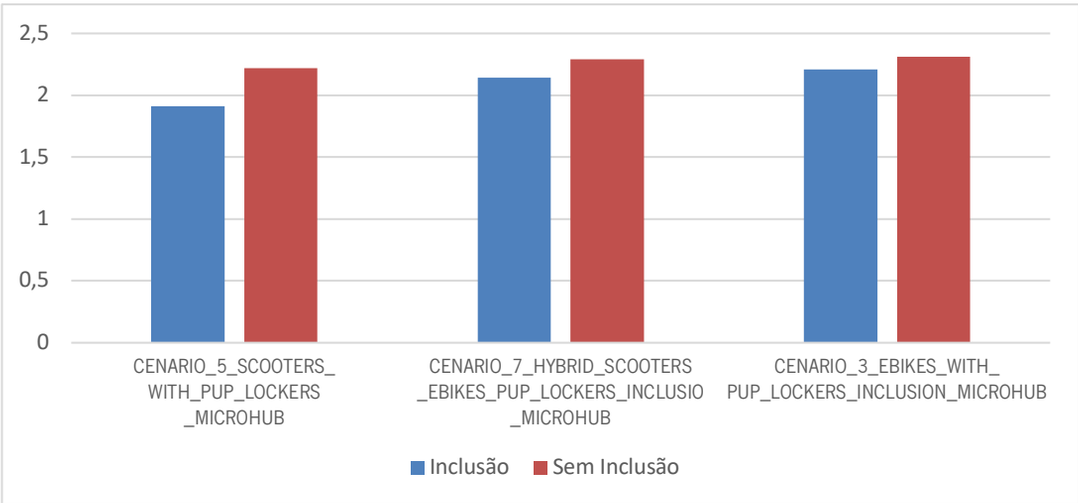


Figura 5 - Comparação dos melhores cenários na taxa de falha de encomendas com e sem Inclusão

4.3.3 Síntese Dimensão de serviço

A análise da dimensão de serviço (Ver Tabela 14) evidencia que os cenários apresentam níveis de desempenho globalmente elevados e muito próximos entre si, tanto ao nível da taxa_de_entrega_no_prazo_janela_temporal como da taxa_de_falha. Desempenho elevado e homogéneo entre cenários.

Tabela 14 - Tabela resumo dimensão serviço

Indicador	Melhor cenário	Valor	Observações principais
taxa_de_entrega_no_prazo_janela_temporal	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	99,25%	Este cenário apresenta o melhor desempenho, contudo, a reduzida variabilidade entre cenários indica que este indicador possui baixo poder discriminatório, sendo necessário recorrer a um indicador complementar para suportar a decisão.
custos_totais	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	9251,26€	Os custos totais são o indicador complementar da taxa de entrega no prazo da janela temporal que demonstra o melhor desempenho global, com níveis altos de serviço e um baixo custo operacional.
taxa_de_falha_encomendas	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB	1,91%	O cenário apresenta a menor taxa de falha, porém as diferenças entre cenários são reduzidas, evidenciando um desempenho globalmente homogéneo e limitado contributo deste indicador para a diferenciação entre alternativas.

4.4 Sustentabilidade

4.4.1 CO2_total_kg

A nível da sustentabilidade, serão considerados 3 indicadores: CO2_total_kg, Kwh_totais e indice_total_poluicao_visual.

O indicador CO2_total_kg mede a quantidade total de dióxido de carbono emitido, expressa em quilogramas (kg) associado a um dia de trabalho.

O ranking dos cenários com menor emissão de CO_2 em kg é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Ranking de cenários com menor emissão de CO2 em kg

Posição	Cenário	Inclusão	CO2_total_kg ($kgCO_2$)
1º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	14,59 $kgCO_2$
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	14,59 $kgCO_2$
2º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	Não	22,60 $kgCO_2$
	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	Sim	22,60 $kgCO_2$
3º	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Sim	24,38 $kgCO_2$
4º	CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_NOHUB	Não	27,42 $kgCO_2$
	CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_NOHUB	Sim	27,42 $kgCO_2$
5º	CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_MICROHUB	Não	38,83 $kgCO_2$

Através da análise dos resultados, é possível constatar que todos os cenários mais eficientes possuem e-bikes. Esta substituição resulta numa transformação estrutural do sistema logístico através da redução potencial do impacto ambiental, alteração da estrutura de custos energéticos e menor dependência de combustíveis fósseis.

O cenário mais sustentável em termos de emissões é o CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão, com 14,59 $kgCO_2$. Este valor mantém-se inalterado independentemente de a variável de inclusão estar ativa ou inativa, indicando que essa dimensão não tem impacto direto nas emissões estimadas neste modelo. No entanto, os resultados também mostram que a presença de lockers, por si só, não garante melhor sustentabilidade, uma vez que outras variáveis operacionais, como a utilização de microhubs, também influenciam as emissões totais.

Na segunda posição surge o cenário CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB com e sem inclusão com 22,60 $kgCO_2$, seguido do cenário CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB, que apresenta 24,38 $kgCO_2$. Comparativamente ao primeiro cenário, estes resultados indicam um aumento das emissões, sugerindo que determinadas configurações operacionais podem implicar maiores distâncias percorridas ou menor eficiência na consolidação das entregas. Assim, a introdução de PUP contribui não apenas para a eficiência económica, mas também para uma melhoria indireta do desempenho ambiental do sistema, sem a necessidade de alteração tecnológica.

Por outro lado, o CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão apresenta 27,42 $kgCO_2$, e CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_MICROHUB 38,83 $kgCO_2$. Estes resultados indicam que esta configuração operacional é a menos eficiente do ponto de vista ambiental entre as alternativas analisadas.

Nos cenários observa-se que a configuração logística com e sem inclusão não altera a distância total percorrida (Ver Tabela 16), nem influencia o cálculo das emissões de CO_2 no modelo considerado.

Tabela 16 - Ranking de cenários com menor emissão de CO2

Cenário	Inclusão	quilometros_totais (km)	C02_total_kg ($kgCO_2$)
CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	3647,35 km	14,59 $kgCO_2$
CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	3647,35 km	14,59 $kgCO_2$
CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	Não	5652,55 km	22,60 $kgCO_2$
CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	Sim	5651,55 km	22,60 $kgCO_2$
CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_NOHUB	Não	8980,21 km	27,42 $kgCO_2$
CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_NOHUB	Sim	8980,21 km	27,42 $kgCO_2$

Apesar de, nos cenários anteriormente analisados, a variável inclusão não ter impacto nos resultados do modelo, esta tendência não se verifica em nos cenários subsequentes, como é possível verificar na Figura 6.

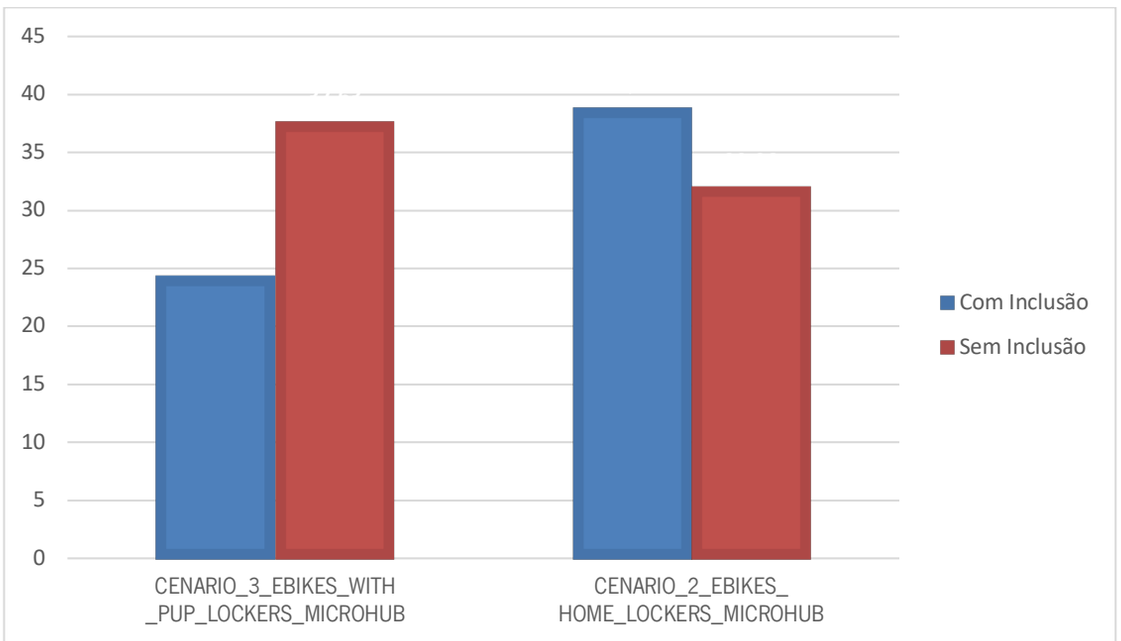


Figura 6 - Impacto da variável inclusão nas emissões de CO_2 nos Cenários 2 e 3

O indicador de emissões de CO_2 avalia o impacto climático das operações de distribuição (incidindo sobre veículos dependentes de combustíveis fósseis). De forma geral, os resultados evidenciam diferenças significativas entre os cenários avaliados, indicando que a escolha da configuração logística tem um impacto relevante no desempenho ambiental do sistema de distribuição. Quando a inclusão está ativa, o cenário que tem menos emissões de CO2 é CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB por outro lado, quando esta não se encontra ativa, o CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_MICROHUB tem menos emissões de CO_2 do que a sua configuração sem inclusão. Isto justifica-se pelo facto de as diferentes configurações logísticas influenciarem diretamente a eficiência das rotas, o grau de consolidação das entregas e o tipo de veículo utilizado. As soluções que integram microhubs e lockers permitem reduzir distâncias percorridas por veículos mais poluentes e aumentar a utilização de modos de transporte de emissões inferiores, como e-bikes, conduzindo a menores emissões totais de CO_2. Por outro lado, na ausência de inclusão, os resultados são diferentes, dado que a distribuição direta ou com menor grau de consolidação pode tornar-se mais eficiente em termos de emissões, dependendo de como as rotas e entregas são planeadas.

4.4.2 KWh totais

O indicador kWh_totais representa o consumo total de energia elétrica associado à operação do sistema de distribuição, expresso em quilowatt-hora (kWh). Este indicador permite avaliar a eficiência energética dos

diferentes cenários analisados, complementando a análise ambiental baseada nas emissões de CO_2. Posto isto, nesta análise foram considerados apenas os cenários com consumo energético superior a zero, uma vez que os restantes não apresentam consumo elétrico associado no modelo, logo não são comparáveis em termos de eficiência energética.

A Tabela 17 apresenta o ranking dos cinco cenários com menor consumo energético.

Tabela 17 - Ranking de cenários com menor consumo energético

Posição	Cenário
1º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB
2º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB
3º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB
4º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB
5º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_MICROHUB

A Figura 7 apresenta o consumo energético total (kWh) associado aos cenários considerados no ranking.

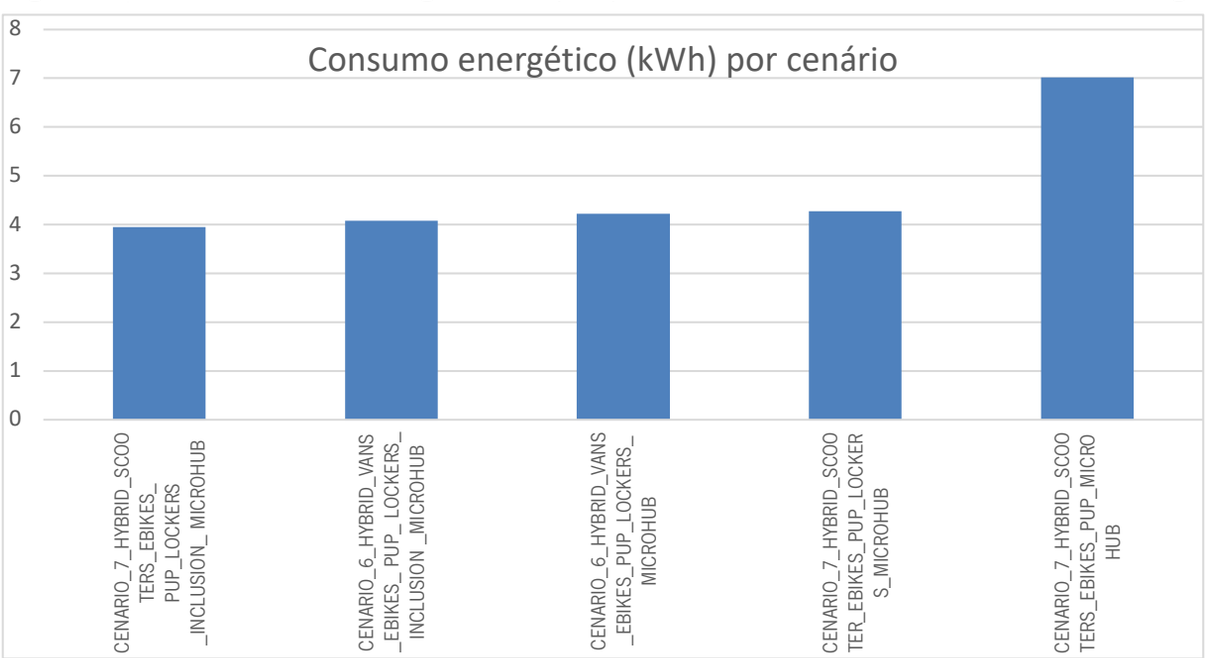


Figura 7 - Consumo energético (Kwh) pelos 5 melhores cenários

O CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB apresenta o melhor desempenho energético dado que as combinações logísticas presentes neste cenário contribuem para uma distribuição mais equilibrada das entregas entre os diferentes tipos de veículos e para uma maior eficiência na organização das rotas.

Nas posições seguintes encontram-se cenários cuja configuração híbrida é baseada em e-bikes e vans (CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB). A proximidade entre os resultados destes cenários indica que a variável inclusão tem um impacto limitado no consumo energético total, sendo fatores como o tipo de veículos utilizados e a configuração logística os elementos com mais impacto.

Por fim, o CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB e o CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_MICROHUB, ocupam a quarta e quinta posições respetivamente, apresentando igualmente configurações baseadas na combinação de scooters e e-bikes. No entanto, a ausência de lockers num dos cenários pode levar a um aumento das deslocações necessárias para completar as entregas, refletindo-se num número de paragens superior e num consumo energético ligeiramente superior. Assim, o cenário sem lockers (CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_MICROHUB) apresenta maior distância total percorrida e um número superior de paragens, fatores que contribuem para o aumento do esforço operacional e, consequentemente, do consumo energético total. Esta tendência é visível nas Figura 8 e Figura 9.

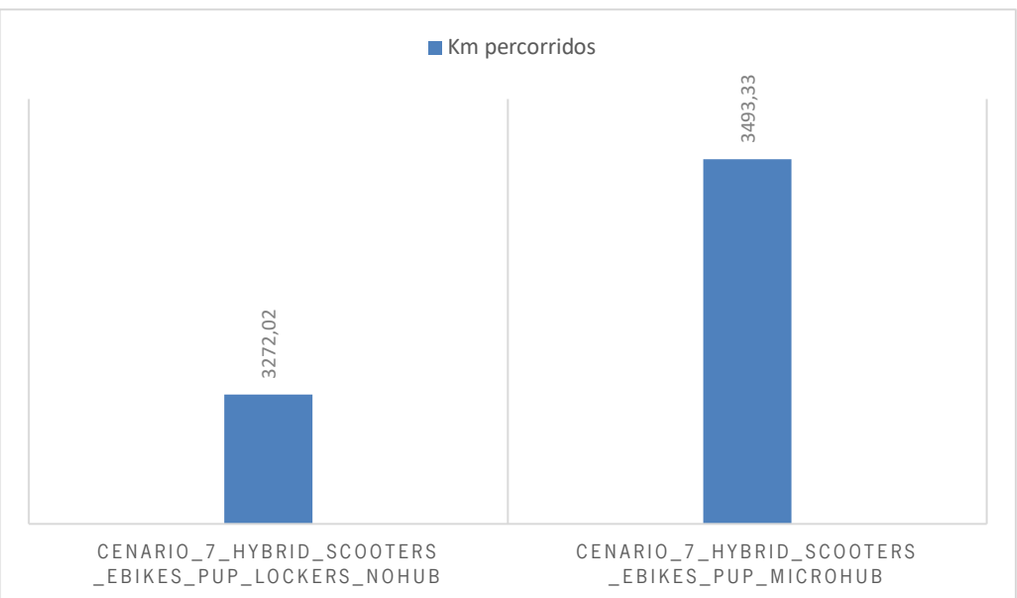


Figura 8 - Km percorridos nos Cenários 7 com e sem Lockers

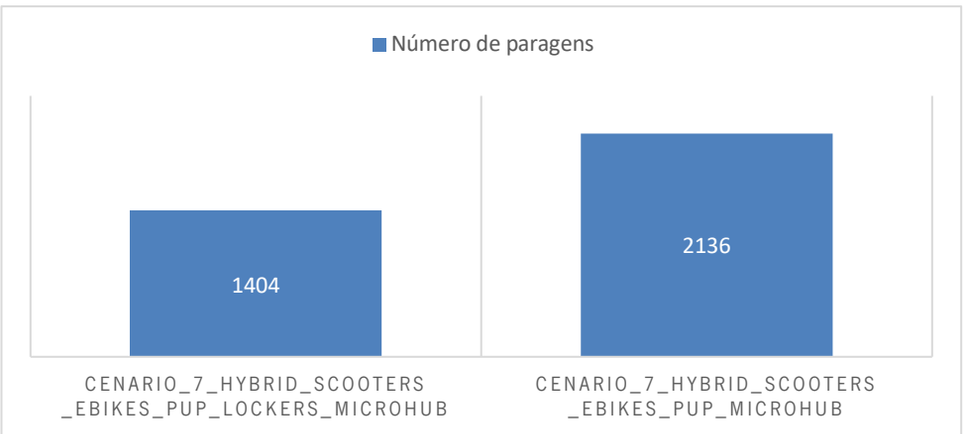


Figura 9- Número de paragens nos Cenários 7 com e sem Lockers

Assim, o indicador kWh_totais permite analisar a eficiência energética associada às diferentes configurações logísticas (focando-se na conversão de energia de origem elétrica).

De forma geral, os resultados indicam que configurações logísticas híbridas que combinam diferentes tipos de veículos elétricos ou de baixo consumo energético, associadas à utilização de microhubs e PUP lockers, tendem a apresentar melhor desempenho energético. A distribuição das entregas entre diversos veículos e a utilização de PUP´s contribuem para uma maior eficiência operacional e redução do consumo energético total das operações de distribuição.

4.4.3 Índice total poluição visual

O índice é calculado através da seguinte expressão:

$$\text{índice}_{\text{total}_{\text{poluição}_{\text{visual}}}} = \text{peso}_{\text{zona}} * \text{fator horário} * \frac{\text{tempo ocupação passeio em segundos}}{60} * \text{fator_visual}$$

onde:

- peso zona: peso associado à zona turística, representando a sua relevância turística;
- fator horário: peso horário, determinado pela função peso_horario_para_o_turismo, que reflete a intensidade da atividade turística ao longo do dia;
- tempo de ocupação passeio em segundos: tempo de ocupação do espaço público em minutos, incluindo o tempo de espera e o tempo de serviço durante a entrega;
- fator visual: fator de impacto visual associado ao tipo de veículo utilizado.

Os fatores de impacto visual considerados são:

Tabela 18 - Fatores de impacto visual

Tipo de veículo	Fator visual
VAN	1.00
SCOOTER	0.70
EBIKE	0.50

Este indicador mede o impacto visual acumulado das paragens de veículos em zonas turísticas, ponderado pela importância da zona turística, hora do dia (pressão turística), tempo que o veículo fica parado na rua e tipo de veículo utilizado.

O índice aumenta quando ocorrem mais paragens em zonas turísticas, maior tempo de ocupação do espaço público, mais entregas durante períodos de maior atividade turística e a utilização de veículos com maior impacto visual.

Consequentemente, valores mais baixos do índice indicam menor impacto visual das operações logísticas nas zonas turísticas. A variável de inclusão social não influencia o índice de poluição visual, uma vez que não altera os parâmetros utilizados no cálculo do indicador.

Este índice apresenta dois pares de cenários com desempenho idêntico. Esta situação indica que diferentes configurações logísticas conseguem operar obtendo o mesmo índice de poluição visual. Para efeitos de comparação, e como o intuito é apresentar um ranking, estes dois pares de cenários foram posteriormente diferenciados através do indicador operacional complementar, nomeadamente, horas_totais_ocupação_berma. Desta forma, o ranking dos cenários considerando simultaneamente o índice_total_poluição_visual e horas_totais_ocupação_berma é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Horas totais de ocupação da berma nos Cenários 6 e 7

Cenário	indice_total_poluicao_visual	horas_totais_ocupação_berma (h)
CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB		63,46 h

CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB	63,828	63,46 h
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB		84,22 h
CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB		84,22 h

O indicador escolhido, neste desempate, não é sensível ao fator social "Inclusão" já que horas_totais_ocupacao_berma representa o tempo real de ocupação do espaço público. Como o CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão ocupa 63,46h e o CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB ocupa 84,22h (ocupa a berma cerca de 21 horas adicionais). Assim, embora estes cenários tenham o mesmo impacto visual, as scooters ocupam por maior tempo o espaço urbano, o que pode estar associado à sua capacidade de carga inferior, maior número de paragens e consequentemente maior tempo total de operação. Assim, apesar das scooters (CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão) apresentarem um fator de impacto visual inferior ao das vans (CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão) tendo um diferencial de 0.3, o maior tempo total de ocupação da berma observado nos cenários com scooters equilibra essa vantagem. Assim, no modelo, o menor fator de impacto visual das scooters é compensado pelo maior tempo total de ocupação da berma, levando a valores idênticos do índice total de poluição visual nestes cenários.

Tabela 20 - Ranking de cenários com menor índice de poluição visual

Posição	Cenário	Inclusão	indice_total_poluicao_visual
1º	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Não	63,53
2º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	63,83
	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	
3º	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	63,83
	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	
4º	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Sim	64,68
	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Não	

5º	CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_NOHUB	Não	75,33
	CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_NOHUB	Sim	

Os resultados sugerem que cenários que combinam microhubs, PUP´s e lockers podem contribuir para reduzir o impacto visual das operações logísticas uma vez que estas infraestruturas permitem consolidar as entregas e reduzir o tempo de ocupação do espaço público durante a última milha, possibilitando o equilíbrio, eficiência operacional e a minimização do impacto urbano.

De forma geral, os resultados indicam que estratégias logísticas baseadas em infraestruturas de consolidação (microhubs, PUP e lockers) e na utilização de veículos de menor impacto visual (scooters e ebikes) contribuem para uma a poluição visual inferior associada às operações de última milha em zonas turísticas.

4.4.4 Síntese Dimensão Sustentabilidade

A análise da dimensão de sustentabilidade (Ver Tabela 21) evidencia que diferentes configurações logísticas se destacam consoante o indicador considerado, não existindo um cenário dominante em todos os critérios.

Estes resultados demonstram a existência de trade-offs entre diferentes dimensões da sustentabilidade, sendo que a minimização do impacto climático, energético e visual não é simultaneamente otimizada por uma única solução logística.

Assim, é possível obter uma perspetiva mais completa do desempenho ambiental dos cenários analisados.

Tabela 21 - Tabela resumo da dimensão sustentabilidade

Indicador	Melhor cenário	Valor	Observações principais
C02_total_kg	CENARIO_3_EBIKES_WITH _PUP_LOCKERS_NOHUB	14,59 $kgCO_2$	Este cenário reflete o impacto positivo da utilização exclusiva de veículos elétricos leves na redução das emissões diretas.
kWh_totais	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS _EBIKES_PUP_LOCKERS_ INCLUSION_MICROHUB	3,9 kWh	Soluções híbridas, quando combinadas com microhubs e mecanismos de consolidação, permitem uma utilização mais eficiente da energia.
indice_total_ poluicao_visual	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH _PUP_LOCKERS_MICROHUB	63,53	A utilização de veículos de menor dimensão, aliada a estratégias de consolidação das entregas, contribui para uma menor ocupação do espaço público em zonas urbanas.

4.5 Dimensão Económica

Os custos totais correspondem à soma do custo_total_energia, custo_total_entativas, custo_total_devolucoes e custo_total_amortizacao. Um custo total menor, significa que o cenário atingiu o nível máximo de eficiência operacional, ou seja, gastou o mínimo possível sem comprometer o prazo de entrega.

O ranking dos cenários com o menor valor nos custos totais é apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 - Ranking de cenários com menores custos

Posição	Cenário	Inclusão	custos_totais (€)
1º	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Não	4174,18 €
	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	Sim	4174,18 €
2º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Não	5001,13 €
	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	Sim	5001,13 €
3º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Sim	5395,90 €
4º	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Não	5410,38 €
5º	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_INCLUSION	Sim	6170,96 €
	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP	Não	6170,96 €

Os resultados indicam que CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS com e sem inclusão apresenta o melhor custo, registando um total de custos de 4174,18 euros.

As configurações híbridas sem hub (CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão) apresentam custos de 5001,13 euros. Por outro lado, as configurações híbridas com microhubs (CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB com e sem inclusão) apresentam valores distintos dependendo se a inclusão está ativa ou não. Quando esta é ativada, o seu valor corresponde a 5395,90 euros, contudo quando a inclusão está inativa, os valores ascendem para os 5410,38 euros. Este aumento dos custos deve-se ao investimento feito para a inclusão dos trabalhadores com vista a ter benefícios fiscais.

Estes valores evidenciam que as combinações de diferentes tipologias de veículo podem contribuir para reduzir os custos totais. Por fim, o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP com e sem inclusão obtém os mesmos custos de 6170,96 euros independentemente de a inclusão estar ativa ou não.

Embora as VANS (CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS com e sem inclusão) apresentem custos totais inferiores beneficiando de uma estrutura logística consolidada e maior capacidade de carga por unidade, a transição para modelos híbridos com e-bikes (CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB com e sem inclusão) altera significativamente a estrutura de custos. Nestes modelos, a eliminação de combustíveis fósseis e a redução do custo energético unitário através da eletricidade, são equilibradas pela necessidade de um maior número de unidades e pela introdução de microhubs, o que aumenta o investimento operacional.

Os dados indicam que os custos operacionais estão fortemente interrelacionados à intensidade da atividade logística. Os benefícios económicos da eletrificação e da reorganização da rede (como o uso de PUP e lockers) dependem diretamente da intensidade da atividade e da eficiência na última milha. Nestes casos, a redução do esforço operacional reflete-se diretamente nos custos totais do sistema onde os benefícios económicos resultam da reorganização da rede.

.

5. Discussão de Resultados

A seleção da configuração operacional mais adequada, em função dos indicadores de desempenho prioritários pela Câmara Municipal de Braga, assenta na avaliação de cinco dimensões: operacional, otimização, serviço, sustentabilidade e económica.

Na dimensão operacional, os indicadores analisados permitem avaliar a intensidade dos recursos necessários para suportar a operação logística, nomeadamente ao nível da dimensão da frota. O número de veículos em circulação e o número de paragens refletem a pressão exercida sobre a infraestrutura urbana, evidenciando uma relação direta entre a intensidade da operação logística e a ocupação do espaço público.

Neste contexto, a análise conjunta destes indicadores evidencia que a consolidação das entregas atua simultaneamente na redução da dimensão da frota e na diminuição da fragmentação das rotas, reforçando a eficiência global do sistema. Esta dinâmica permite assegurar o mesmo volume de entregas com menor utilização de recursos, mantendo o nível de serviço.

Assim, caso o objetivo seja minimizar o número de veículos em circulação e reduzir o número de veículos e o número de paragens, os resultados indicam que devem ser privilegiados cenários que integrem mecanismos de consolidação das entregas, nomeadamente através da utilização de PUP e lockers, destacando-se o cenário CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão) como a solução mais eficiente nesta dimensão (Ver Tabela 5 e Figura 1).

Esta configuração revela-se particularmente adequada em períodos de maior intensidade de tráfego urbano, como horas de ponta, constituindo uma opção relevante para a definição de políticas de gestão da logística urbana.

Observa-se que nenhum dos cenários com melhor desempenho no indicador numero_de_paragens inclui a utilização de microhubs. Este resultado sugere que, no contexto da simulação realizada, a introdução de microhubs não contribuiu para reduzir a fragmentação da rede de distribuição. Uma possível explicação prende-se com o facto de que a utilização de microhubs tende a introduzir etapas adicionais de consolidação e transferência de carga, o que pode aumentar o número de pontos intermédios na rede logística. Neste enquadramento, verifica-se que o impacto da utilização de microhubs não é unidimensional. A utilização de microhubs evidencia comportamentos distintos consoante o indicador analisado, podendo penalizar a dimensão da frota, mas potencialmente contribuir para melhorias noutras dimensões, o que reforça a necessidade de uma abordagem baseada em prioridades estratégicas.

A redução do número de paragens indica menor fragmentação das rotas, permitindo que um maior número de encomendas seja servido em cada ponto de entrega. Consequentemente, verifica-se também uma redução da distância total percorrida e do tempo acumulado de operação, traduzindo-se numa utilização mais eficiente da frota disponível.

Para objetivos associados à otimização da distância percorrida, os resultados indicam que os cenários que combinam microhubs com veículos de micromobilidade apresentam melhor desempenho, evidenciando uma maior eficiência espacial das rotas. Por outro lado, quando o objetivo incide na redução do tempo total de operação e dos custos, os cenários baseados em veículos de maior capacidade tendem a apresentar melhores resultados, refletindo uma utilização mais eficiente dos recursos operacionais.

Assim, a análise conjunta dos indicadores evidencia que diferentes configurações logísticas apresentam desempenhos distintos consoante a métrica considerada. Enquanto os cenários com microhubs e veículos de micromobilidade revelam maior eficiência ao nível da distância percorrida, onde se destaca o CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB. Por outro lado, os cenários baseados em veículos de maior capacidade como o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão) destacam-se pela redução das horas totais de serviço e dos custos operacionais, não sendo observado qualquer outro cenário que apresente simultaneamente melhorias nestes dois indicadores. Contudo, quando fazemos uma análise agregada (Ver Apêndice XXXIX) o melhor cenário entre os dois cenários é o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão) uma vez que faz cerca de 25.02 km/h, valor superior aos quilómetros por hora do CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB (24,86km/h).

No que respeita à qualidade de serviço, os resultados evidenciam níveis de desempenho muito elevados em todos os cenários.

Dado que o indicador taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal apresenta reduzida capacidade de diferenciação entre cenários, a escolha da solução mais adequada considerou critérios complementares, nomeadamente os custos operacionais. Neste contexto, destaca-se o CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB (99,25%), como o mais eficiente, refletindo uma elevada capacidade de resposta em termos de pontualidade, combinando elevados níveis de serviço com menor custo. A introdução da política de inclusão, neste cenário, não altera o desempenho ao nível do serviço, conduzindo apenas a um ligeiro aumento dos custos.

Relativamente à taxa_de_falha, verifica-se igualmente uma reduzida variabilidade entre cenários, sendo o CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB mais eficiente nesta dimensão, apresentando a menor taxa de falha (1,91%), sugerindo que a combinação de diferentes tecnologias de transporte, nomeadamente veículos de maior capacidade para transporte principal e soluções de micromobilidade para a última milha, contribuem para uma maior robustez operacional, reduzindo a probabilidade de falhas. Neste caso, a política de inclusão tende a melhorar ligeiramente o desempenho no indicador, possivelmente devido a uma distribuição mais equilibrada das entregas.

A escolha do cenário mais adequado depende da prioridade estratégica: caso o objetivo seja maximizar o cumprimento de janelas temporais, o CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB revela-se como a solução mais eficiente, no entanto, se a prioridade da Câmara Municipal de Braga for minimizar falhas no serviço, o CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB apresenta melhor desempenho. Globalmente, considerando a maior criticidade da pontualidade em contextos urbanos de última milha que são cada vez mais exigentes (Ver Apêndice XL), o CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB tende a se assumir como a opção mais equilibrada ao nível da qualidade de serviço

No que respeita à sustentabilidade, os resultados demonstram que cenários baseados em micromobilidade e soluções elétricas revelam melhor desempenho, nomeadamente ao nível da redução de emissões e consumo energético. No entanto, verifica-se que estas configurações podem, em alguns casos, apresentar menor eficiência operacional, evidenciando um trade-off entre desempenho ambiental e eficiência logística.

Com isto, caso a Câmara Municipal de Braga pretenda privilegiar a minimização do impacto ambiental, devem ser selecionados cenários baseados em micromobilidade, destacando-se o CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB (onde a política de inclusão é irrelevante) bem como soluções híbridas com microhub, como o CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB e o CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB. Devem ser privilegiadas soluções baseadas em veículos elétricos de pequena dimensão, privilegiando cenários com menores níveis de emissões de CO_2 (Ver Apêndice XLI). Contudo, é natural que os CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB e CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB, não tendo e-bikes ou tendo poucas e-bikes respetivamente, apresentem valores muito ínfimos nos kwh. Embora o CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB apresente um impacto visual ligeiramente superior ao do CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB, este valor permanece significativamente inferior ao observado no

CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB que não introduz uma degradação significativa do desempenho global.

Posto isto, o CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB destaca-se por apresentar os menores níveis de emissões de CO_2, configurando-se como a solução mais eficiente do ponto de vista ambiental.

No que respeita aos custos totais, a análise dos resultados evidencia que os cenários que combinam mecanismos de consolidação das entregas com veículos de maior capacidade tendem a apresentar melhor desempenho económico, permitindo reduzir o número de viagens necessárias e otimizar a utilização dos recursos disponíveis.

Neste contexto, destaca-se o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão) o cenário mais eficiente do ponto de vista económico, apresentando o menor custo total entre as soluções analisadas (Ver Tabela 22).

Assim, caso o objetivo da Câmara Municipal de Braga seja minimizar os custos operacionais do sistema logístico, devem ser privilegiados cenários baseados em veículos de maior capacidade aliados a mecanismos de consolidação, como PUP e lockers.

Por outro lado, verifica-se que cenários baseados em micromobilidade e microhubs tendem a apresentar custos superiores, apesar de, em alguns casos, oferecerem vantagens noutras dimensões, como a sustentabilidade ambiental. Este comportamento evidencia a existência de um trade-off entre eficiência operacional e desempenho ambiental, devendo a escolha da solução mais adequada ser orientada pelos objetivos estratégicos definidos.

Caso a Câmara Municipal de Braga pretenda dar prioridade à inclusão social, os resultados evidenciam que, embora não se verifique a existência de um cenário dominante em todas as dimensões analisadas, o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION destaca-se como a solução mais eficiente do ponto de vista global. Este cenário apresenta o melhor desempenho nos principais indicadores operacionais e económicos, nomeadamente ao nível dos custos totais, das horas de serviço e da dimensão da frota, não se observando qualquer penalização relevante ao nível da qualidade de serviço.

A implementação desta política não exige alterações estruturais nem compromete a eficiência operacional, evidenciando a sua compatibilidade com modelos de distribuição otimizados. Neste sentido, esta configuração revela-se particularmente robusta para contextos em que a inclusão social constitui um objetivo estratégico, não comprometendo o desempenho global nas restantes dimensões.

Acresce que o menor custo total associado a este cenário reforça a sua viabilidade do ponto de vista da decisão pública, ao reduzir o esforço financeiro necessário à sua implementação. Paralelamente, a menor necessidade de veículos contribui para uma pressão urbana menor, havendo menos constrangimentos.

Deste modo, a seleção da configuração logística mais adequada deverá ser orientada pelas prioridades estratégicas da Câmara Municipal de Braga, evidenciando a importância de uma abordagem flexível e adaptativa na gestão da distribuição urbana.

A análise integrada das diferentes dimensões evidencia a inexistência de um cenário dominante, verificando-se a presença de trade-offs estruturais entre eficiência operacional, otimização, qualidade de serviço, sustentabilidade e custos. Neste contexto, na Tabela 23 está presente uma síntese dos principais trade-offs identificados, evidenciando os cenários com melhor desempenho relativo em cada dimensão e as respetivas implicações para a tomada de decisão.

Tabela 23 - Tabela resumo trade-offs das dimensões

Trade-off	Cenário mais forte	Cenário alternativo	Leitura
Eficiência operacional vs ambiental	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão)	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB (com e sem inclusão)	A maior eficiência operacional está associada a soluções menos sustentáveis.
Distância percorrida vs custo	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão)	A redução da distância percorrida não implica menor custo total.
Tempo vs distância percorrida	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão)	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB	Soluções mais rápidas não são necessariamente as mais eficientes em termos espaciais.
Pontualidade vs taxa de falha	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB	O melhor cumprimento de prazos não coincide com a menor taxa de falha.

Microhub vs simplicidade operacional	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB / CENARIO_5_SCOOTERS _WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS (com e sem inclusão)	Ganhos de eficiência espacial implicam maior complexidade e custo operacional.
Inclusão vs custo	Cenários com inclusão	Cenários sem inclusão	A inclusão apresenta impacto económico reduzido, não alterando significativamente o desempenho global.

A avaliação global dos resultados permite identificar soluções que, pela sua consistência interdimensional e capacidade de equilibrar diferentes objetivos, destacam-se no conjunto das alternativas analisadas. Neste contexto, o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS emerge como o cenário com melhor desempenho global, ao apresentar resultados superiores nos indicadores estruturais do sistema como custos totais, horas de serviço e dimensão da frota.

No contexto da gestão pública, onde a viabilidade financeira e a eficiência na utilização de recursos assumem um papel central, este cenário consolida-se como a solução mais adequada para implementação generalizada na cidade de Braga.

A sua capacidade de integrar políticas como a inclusão social, sem prejudicar o desempenho operacional, reforça a sua adequação a gestão de território. Este cenário demonstra que, a simplicidade e robustez é o caminho estratégico para uma gestão de território mais eficaz.

5.1 Limitações e Trabalhos Futuros

A realização do presente estudo apresenta diversas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Estas limitações decorrem, em grande medida, de decisões metodológicas adotadas com o objetivo de assegurar a viabilidade computacional do modelo e a comparabilidade entre cenários.

Em primeiro lugar, o modelo desenvolvido baseia-se numa abordagem heurística para o VRPTW, o que não garante soluções ótimas globais. A construção das rotas é realizada através de uma heurística baseada em proximidade espacial e penalização de janelas temporais que, embora eficiente computacionalmente, pode não refletir a solução ótima do problema.

Adicionalmente, o modelo recorre a simplificações no cálculo de distâncias e tempos de viagem, não incorporando explicitamente restrições reais como semáforos, interseções complexas ou eventos de congestionamento dinâmico. Estas simplificações podem limitar a representação real do ambiente urbano.

No que respeita à procura, esta foi modelada como um valor fixo, não incorporando variações temporais ao longo do dia ou padrões sazonais. Embora esta abordagem permita uma análise controlada dos cenários, limita a capacidade do modelo em representar flutuações reais da procura. De forma semelhante, os padrões de encomendas e as taxas de falha foram definidos com base em pressupostos parametrizados, podendo divergir do comportamento real dos consumidores.

Paralelamente, o modelo assume probabilidades fixas para a escolha de canais de entrega (ao domicílio, PUP, lockers), não considerando comportamentos adaptativos ou decisões dinâmicas dos consumidores.

Do ponto de vista operacional, o modelo assume janelas temporais e períodos de operação fixos, não admitindo mecanismos de replaneamento dinâmico face a eventos imprevistos.

Relativamente à infraestrutura, embora o modelo contemple a possibilidade de integração de microhubs, esta funcionalidade não se encontra totalmente operacionalizada no fluxo principal da simulação, limitando a avaliação completa do seu impacto.

Além disso, o estudo foca-se exclusivamente em cenários específicos de Braga, o que pode condicionar a generalização dos resultados noutros contextos geográficos com características distintas.

Verificou-se ainda que alguns indicadores apresentam reduzida capacidade discriminatória entre cenários, o que limita o valor analítico do estudo.

Posto isto, em futuros estudos, é recomendada a integração de dados reais de tráfego e de operações logísticas, de modo a aumentar o realismo do modelo. A integração de algoritmos de otimização mais avançados, incluindo metaheurísticas ou abordagens baseadas em aprendizagem automática, poderá melhorar a qualidade das soluções obtidas. Recomenda-se, ainda, a integração de métricas de nível de serviço na análise multicritério, permitindo uma avaliação mais abrangente.

Sugere-se, ainda, o desenvolvimento de mecanismos de replaneamento dinâmico e de modelação explícita da incerteza, constituindo extensões relevantes. A inclusão de novas dimensões através de novos indicadores,

nomeadamente ao nível social e urbano, bem como a aplicação do modelo em diversos contextos geográficos, permitirá reforçar a robustez e a aplicabilidade dos resultados.

Apesar das limitações identificadas, o modelo apresenta validade externa ao nível estrutural, permitindo analisar relações entre variáveis operacionais, como a consolidação de entregas, a tipologia de frota e o impacto ambiental. Assim, os resultados devem ser interpretados como indicativos de tendências e trade-offs, e não como valores absolutos diretamente generalizáveis para outros contextos urbanos.

6. Conclusão

O principal objetivo desta dissertação consistiu no desenvolvimento e aplicação de um modelo de simulação computacional, com vista à análise e identificação do cenário mais adequado para cada dimensão, apoiando a Câmara Municipal de Braga na seleção da configuração operacional mais adequada em função dos indicadores de desempenho prioritários.

Os resultados evidenciam que a configuração operacional do sistema tem um impacto significativo no desempenho logístico, nomeadamente ao nível da eficiência operacional, otimização, serviço, custos e sustentabilidade.

A introdução de soluções como PUP´s e lockers permitiu reduzir o número de paragens e aumentar a eficiência das rotas, enquanto as soluções baseadas em micromobilidade demonstraram maior vantagem em contextos urbanos densos, sobretudo na redução de emissões de CO_2 e na diminuição da ocupação do espaço público. No entanto, a introdução de microhubs não contribuiu para reduzir a fragmentação da rede de distribuição.

Os cenários híbridos revelaram-se particularmente relevantes, permitindo equilibrar eficiência operacional e impacto ambiental. Contudo, verifica-se que os indicadores de qualidade de serviço apresentam reduzido poder discriminatório, não influenciando de forma significativa a seleção do cenário mais adequado, mesmo em contextos onde a satisfação do utilizador e o cumprimento de prazos assumem maior relevância.

De forma geral, os resultados obtidos reforçam a ideia de que não existe uma solução única ótima para a logística urbana, verificando-se a presença de trade-offs estruturais entre eficiência operacional, otimização, qualidade de serviço, sustentabilidade e custos. Nesse contexto, torna-se necessário alinhar a configuração operacional com os objetivos estratégicos da Câmara Municipal de Braga, nomeadamente no equilíbrio entre custo, nível de serviço e sustentabilidade. Contudo, o CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS destaca-se como a solução com melhor desempenho global, particularmente em contextos onde a eficiência económica e a gestão do espaço urbano assumem um papel prioritário. Este cenário apresenta resultados melhores nos indicadores estruturais do sistema, nomeadamente ao nível dos custos totais, das horas de serviço e da dimensão da frota, sem comprometer a qualidade de serviço.

Não obstante, importa salientar que os resultados obtidos dependem dos parâmetros considerados no modelo de simulação, podendo variar em função dos contextos operacionais, níveis de procura ou condições reais de tráfego, pelo que a sua aplicação deve ser enquadrada numa perspetiva adaptativa e contextualizada.

7. Referências Bibliográficas

Galkin, A., Gajewska, T., Olkhova, M., & Beckers, J. (2026). Urban spatial attributes and sustainability: Operational efficiency in urban freight delivery. *Transport Policy*, *176*, 103917. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.103917

González-Romero, I., Ortiz-Bas, Á., & Prado-Prado, J. C. (2025). Last-mile strategies in e-commerce. Identifying barriers to sustainability from online retailers' perspectives. *Research in Transportation Business & Management*, *60*, 101367. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101367

Janinhoff, L., Klein, R., Sailer, D., & Schoppa, J. M. (2024). Out-of-home delivery in last-mile logistics: A review. *Computers & Operations Research*, *168*, 106686. https://doi.org/10.1016/j.cor.2024.106686

Leelertkij, T., Buddhakulsomsiri, J., & Huynh, V.-N. (2025). A multi-thread simulated annealing for multi-objective vehicle routing problem with time windows and demand priority. *Computers & Industrial Engineering*, *207*, 111253. https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111253

Pahwa, A., & Jaller, M. (2025). Assessing the sustainability of last-mile distribution strategies to manage expedited shipping with dynamic and stochastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *201*, 104273. https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104273

Shuaibu, A. S., Mahmoud, A. S., & Sheltami, T. R. (2025). A Review of Last-Mile Delivery Optimization: Strategies, Technologies, Drone Integration, and Future Trends. *Drones*, *9*(3), 158. https://doi.org/10.3390/drones9030158

Simoni, M. D., Kutanoglu, E., & Claudel, C. G. (2020). Optimization and analysis of a robot-assisted last mile delivery system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *142*, 102049. https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102049

Sobrino, N., Gonzalez, J. N., Garrido, L., & Vassallo, J. M. (2026). Assessing the sustainability of urban logistics solutions: Conceptual framework applied to an urban consolidation center in Madrid. *Cities*, *172*, 106844. https://doi.org/10.1016/j.cities.2026.106844

Süß, V., Ludwig, A., Franczyk, B., & Gaunitz, B. (2025). Last-Mile Simulation Approaches for Sustainable Delivery in Urban Outskirts: A Review. *Procedia Computer Science*, *270*, 1968–1977. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.09.317

Tiwari, K. V., & Sharma, S. K. (2023). An optimization model for vehicle routing problem in last-mile delivery. *Expert Systems with Applications*, *222*, 119789. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119789

```python
import os
import math
import time
import random
from dataclasses import dataclass
from datetime import datetime, timedelta
from pathlib import Path

try:
    from zoneinfo import ZoneInfo
except Exception:
    ZoneInfo = None

import googlemaps
from datetime import datetime


from openpyxl import Workbook
from openpyxl.styles import Font
from openpyxl.utils import get_column_letter
from dotenv import load_dotenv

load_dotenv()


# ============================================================
# Helpers
# ============================================================
def autosize(ws, min_col=1, max_col=10):
    for col in range(min_col, max_col + 1):
        letter = get_column_letter(col)
        max_len = 0
        for cell in ws[letter]:
            if cell.value is None:
                continue
            max_len = max(max_len, len(str(cell.value)))
        ws.column_dimensions[letter].width = max(12, min(95, max_len + 2))


def safe_cell_value(v):
    # openpyxl/Excel não suporta datetimes com timezone (tz-aware)
    if v is None:
        return None

    if isinstance(v, datetime):
        if v.tzinfo is not None:
            # mantém o relógio local e remove tzinfo
            return v.replace(tzinfo=None)
        return v
```

```
    if isinstance(v, (bool, int, float, str)):
        return v

    return str(v)


def haversine_km(lat1, lon1, lat2, lon2):
    r = 6371.0
    p1 = math.radians(lat1)
    p2 = math.radians(lat2)
    dp = math.radians(lat2 - lat1)
    dl = math.radians(lon2 - lon1)
    a = math.sin(dp / 2) ** 2 + math.cos(p1) * math.cos(p2) * math.sin(dl / 2) ** 2
    c = 2 * math.atan2(math.sqrt(a), math.sqrt(1 - a))
    return r * c


def time_bucket(dt, minutes=15):
    discard = timedelta(minutes=dt.minute % minutes, seconds=dt.second,
microseconds=dt.microsecond)
    return dt - discard


def hour_weight_for_tourism(dt_local):
    h = dt_local.hour + dt_local.minute / 60.0
    if 8 <= h < 10:
        return 0.6
    if 10 <= h < 13:
        return 1.2
    if 13 <= h < 17:
        return 1.5
    if 17 <= h < 20:
        return 1.0
    return 0.3


def sample_binomial(n, p, rng):
    if n <= 0:
        return 0
    if p <= 0:
        return 0
    if p >= 1:
        return n
    if n <= 2000:
        c = 0
        for _ in range(n):
            if rng.random() < p:
                c += 1
        return c
    mu = n * p
    var = n * p * (1 - p)
    z = rng.gauss(mu, math.sqrt(var))
    return int(min(n, max(0, round(z))))
```

```python
def nearest_node(lat, lon, nodes):
    best = None
    best_d = None
    for n in nodes:
        d = haversine_km(lat, lon, n["lat"], n["lon"])
        if best_d is None or d < best_d:
            best_d = d
            best = n
    return best


def add_cfg_to_inputs(inputs, cfg, prefix):
    """
    Add scalar config keys to inputs with prefix, to export into INPUTS sheet.
    Skips nested dict/list and sensitive keys.
    """
    if cfg is None:
        return
    deny = {"api_key", "key", "GOOGLE_MAPS_API_KEY"}
    for k, v in cfg.items():
        if k in deny:
            continue
        if isinstance(v, (dict, list, tuple, set)):
            continue
        inputs[f"{prefix}.{k}"] = v


# ============================================================
# Data structures
# ============================================================
@dataclass
class Stop:
    stop_id: str
    stop_type: str         # "HOME" | "PUP" | "LOCKER"
    lat: float
    lon: float
    tw_start: datetime
    tw_end: datetime
    service_min: float
    package_count: int
    source_mix: str        # "NOVA", "BACKLOG", "MIX"


@dataclass
class Hub:
    hub_id: str
    lat: float
    lon: float


# ============================================================
```

```python
# Tourism zones (example) — adjust to your city
# ============================================================
TOURIST_ZONES = [
    ("Historic_Center_Example", 41.5500, -8.4260, 600.0, 2.5),
    ("Monument_Example_A", 41.5515, -8.4245, 250.0, 3.0),
    ("Monument_Example_B", 41.5485, -8.4290, 250.0, 2.8),
]


def tourist_zone_for_point(lat, lon, zones):
    best_name = None
    best_w = 0.0
    for name, zlat, zlon, radius_m, w in zones:
        dist_km = haversine_km(lat, lon, zlat, zlon)
        if dist_km * 1000.0 <= radius_m:
            if float(w) > best_w:
                best_name = name
                best_w = float(w)
    return best_name, best_w


# ============================================================
# Google Maps wrapper (cached)
# ============================================================
class MapsRouter:
    def __init__(self, api_key, mode="driving", use_traffic=True, bucket_minutes=15,
retries=3):
        self.gmaps = googlemaps.Client(key=api_key)
        self.mode = mode
        self.use_traffic = use_traffic
        self.bucket_minutes = bucket_minutes
        self.retries = retries
        self.cache = {}  # key -> (dist_km, dur_s, dur_free_s_or_none)

    def leg(self, o_lat, o_lon, d_lat, d_lon, depart_dt):
        bdt = time_bucket(depart_dt, self.bucket_minutes)
        key = (
            round(o_lat, 6),
            round(o_lon, 6),
            round(d_lat, 6),
            round(d_lon, 6),
            bdt.isoformat(),
            self.mode,
            self.use_traffic,
        )
        if key in self.cache:
            return self.cache[key]

        origin = f"{o_lat},{o_lon}"
        dest = f"{d_lat},{d_lon}"
        params = {"origins": origin, "destinations": dest, "mode": self.mode}

        if self.use_traffic and self.mode == "driving":
```

```
            params["departure_time"] = bdt
            params["traffic_model"] = "best_guess"

        last_err = None
        for _ in range(self.retries):
            try:
                res = self.gmaps.distance_matrix(**params)
                el = res["rows"][0]["elements"][0]
                if el.get("status") != "OK":
                    raise RuntimeError(f"DistanceMatrix element
status={el.get('status')}")

                dist_km = el["distance"]["value"] / 1000.0
                dur_free_s = int(el["duration"]["value"])

                if self.use_traffic and self.mode == "driving" and
"duration_in_traffic" in el:
                    dur_s = int(el["duration_in_traffic"]["value"])
                    out = (dist_km, dur_s, dur_free_s)
                else:
                    dur_s = int(el["duration"]["value"])
                    out = (dist_km, dur_s, None)

                self.cache[key] = out
                return out
            except Exception as e:
                last_err = e
                time.sleep(0.5)

        raise last_err


# ============================================================
# Consolidation for PUP/LOCKER
# ============================================================
def consolidate_packages_to_stops(packages, nodes, day_start, day_end, stop_type,
base_service_min, per_package_min):
    by_node = {}
    sources = {}
    for pkg in packages:
        nid = pkg["node_id"]
        by_node[nid] = by_node.get(nid, 0) + 1
        sources.setdefault(nid, set()).add(pkg["source"])

    stops = []
    for n in nodes:
        nid = n["id"]
        cnt = by_node.get(nid, 0)
        if cnt <= 0:
            continue

        tw_start = n.get("tw_start", day_start)
        tw_end = n.get("tw_end", day_end)
```

```
        service_min = float(base_service_min) + float(per_package_min) * int(cnt)

        srcs = sources.get(nid, set())
        src_mix = list(srcs)[0] if len(srcs) == 1 else "MIX"

        stops.append(
            Stop(
                stop_id=f"{stop_type}:{nid}",
                stop_type=stop_type,
                lat=float(n["lat"]),
                lon=float(n["lon"]),
                tw_start=tw_start,
                tw_end=tw_end,
                service_min=service_min,
                package_count=int(cnt),
                source_mix=src_mix,
            )
        )
    return stops


# ============================================================
# Lockers generator
# ============================================================
def generate_lockers(n_lockers, depot_lat, depot_lon, radius_km, day_start, day_end,
seed=2026):
    rng = random.Random(seed)
    lockers = []
    for i in range(n_lockers):
        ang = (2 * math.pi) * (i / n_lockers)
        ring = 0.55 if (i % 2 == 0) else 0.85
        r = radius_km * ring * (0.9 + 0.2 * rng.random())

        dlat = (r / 111.0) * math.cos(ang)
        dlon = (r / (111.0 * math.cos(math.radians(depot_lat)))) * math.sin(ang)

        lockers.append(
            {
                "id": f"L{i+1:02d}",
                "lat": depot_lat + dlat,
                "lon": depot_lon + dlon,
                "tw_start": day_start,
                "tw_end": day_end,
            }
        )
    return lockers


# ============================================================
# PUPS generator
# ============================================================
def generate_pups(n_pups, depot_lat, depot_lon, radius_km, day_start, day_end,
seed=2030):
```

```
    rng = random.Random(seed)
    pups = []
    for i in range(n_pups):
        ang = (2 * math.pi) * (i / n_pups)
        r = radius_km * 0.6 * (0.9 + 0.2 * rng.random())

        dlat = (r / 111.0) * math.cos(ang)
        dlon = (r / (111.0 * math.cos(math.radians(depot_lat)))) * math.sin(ang)

        pups.append(
            {
                "id": f"PUP{i+1:02d}",
                "lat": depot_lat + dlat,
                "lon": depot_lon + dlon,
                "tw_start": day_start + timedelta(hours=2),
                "tw_end": day_end,
            }
        )
    return pups


# ============================================================
# Demand generation
# ============================================================
def generate_stops(
    use_pup,
    use_lockers,
    n_new,
    pct_time_windows,
    pct_direct_to_pup,
    pct_direct_to_locker,
    tz_name,
    day_start_local,
    depot_lat,
    depot_lon,
    radius_km,
    service_home_min,
    pups,
    lockers,
    p_fail_home,
    p_fail_pup,
    p_fail_locker,
    pup_base_service_min,
    pup_per_package_min,
    locker_base_service_min,
    locker_per_package_min,
    seed=12345,
):
    rng = random.Random(seed)

    if ZoneInfo is None:
        tz = None
    else:
```

```
        tz = ZoneInfo(tz_name)

    day_start = day_start_local.replace(tzinfo=tz)
    day_end = day_start + timedelta(hours=10)

    pp = float(pct_direct_to_pup) if use_pup else 0.0
    pl = float(pct_direct_to_locker) if use_lockers else 0.0
    pp = max(0.0, min(1.0, pp))
    pl = max(0.0, min(1.0, pl))
    if pp + pl > 1.0:
        s = pp + pl
        pp /= s
        pl /= s

    # backlog sizing (steady-state approximation)
    eff_fail = (1 - pp - pl) * float(p_fail_home) + pp * float(p_fail_pup) + pl *
float(p_fail_locker)
    eff_fail = min(0.99, max(0.0, eff_fail))
    attempts_plan = math.ceil(n_new / (1 - eff_fail)) if n_new else 0
    backlog_in_total = attempts_plan - n_new

    def jitter_point():
        ang = rng.random() * 2 * math.pi
        r = radius_km * math.sqrt(rng.random())
        dlat = (r / 111.0) * math.cos(ang)
        dlon = (r / (111.0 * math.cos(math.radians(depot_lat)))) * math.sin(ang)
        return depot_lat + dlat, depot_lon + dlon

    def make_tw():
        latest_start = day_end - timedelta(hours=2)
        span_min = int((latest_start - day_start).total_seconds() // 60)
        start_offset = rng.randint(0, max(0, span_min))
        a = day_start + timedelta(minutes=start_offset)
        b = a + timedelta(hours=2)
        return a, b

    home_stops = []
    pup_packages = []
    locker_packages = []

    # backlog: if use_pup -> PUP else HOME
    for i in range(1, backlog_in_total + 1):
        lat, lon = jitter_point()
        if rng.random() < pct_time_windows:
            a, b = make_tw()
        else:
            a, b = day_start, day_end

        if use_pup:
            p = nearest_node(lat, lon, pups)
            pup_packages.append({"node_id": p["id"], "source": "BACKLOG"})
        else:
            home_stops.append(
```

```
            Stop(
                stop_id=f"HOME:B{i:05d}",
                stop_type="HOME",
                lat=lat,
                lon=lon,
                tw_start=a,
                tw_end=b,
                service_min=float(service_home_min),
                package_count=1,
                source_mix="BACKLOG",
            )
        )

# new orders
for i in range(1, n_new + 1):
    lat, lon = jitter_point()
    if rng.random() < pct_time_windows:
        a, b = make_tw()
    else:
        a, b = day_start, day_end

    u = rng.random()
    go_pup = use_pup and (u < pp)
    go_locker = use_lockers and (not go_pup) and (u < pp + pl)

    if go_pup:
        p = nearest_node(lat, lon, pups)
        pup_packages.append({"node_id": p["id"], "source": "NOVA"})
    elif go_locker:
        l = nearest_node(lat, lon, lockers)
        locker_packages.append({"node_id": l["id"], "source": "NOVA"})
    else:
        home_stops.append(
            Stop(
                stop_id=f"HOME:N{i:05d}",
                stop_type="HOME",
                lat=lat,
                lon=lon,
                tw_start=a,
                tw_end=b,
                service_min=float(service_home_min),
                package_count=1,
                source_mix="NOVA",
            )
        )

pup_stops = (
    consolidate_packages_to_stops(
        packages=pup_packages,
        nodes=pups,
        day_start=day_start,
        day_end=day_end,
        stop_type="PUP",
```

```
            base_service_min=pup_base_service_min,
            per_package_min=pup_per_package_min,
        )
        if use_pup
        else []
    )

    locker_stops = (
        consolidate_packages_to_stops(
            packages=locker_packages,
            nodes=lockers,
            day_start=day_start,
            day_end=day_end,
            stop_type="LOCKER",
            base_service_min=locker_base_service_min,
            per_package_min=locker_per_package_min,
        )
        if use_lockers
        else []
    )

    stops = home_stops + pup_stops + locker_stops

    meta = {
        "day_start": day_start,
        "day_end": day_end,
        "backlog_in_total_pkgs": backlog_in_total,
        "home_stops_count": len(home_stops),
        "pup_stops_count": len(pup_stops),
        "locker_stops_count": len(locker_stops),
        "pup_pkgs_today": sum(s.package_count for s in pup_stops),
        "locker_pkgs_today": sum(s.package_count for s in locker_stops),
        "home_pkgs_today": sum(s.package_count for s in home_stops),
        "eff_fail_used_for_backlog": eff_fail,
        "direct_share_pup_used": pp,
        "direct_share_locker_used": pl,
    }

    return stops, meta


# ============================================================
# Vehicle assignment (A): TW-aware next-stop scoring
# ============================================================
def _sweep_angle(s, depot_lat, depot_lon):
    return math.atan2(s.lon - depot_lon, s.lat - depot_lat)


def _estimate_drive_seconds(o_lat, o_lon, d_lat, d_lon, speed_kmh,
detour_factor=1.25):
    dist_km = haversine_km(o_lat, o_lon, d_lat, d_lon) * float(detour_factor)
    dur_s = int((dist_km / max(1e-9, float(speed_kmh))) * 3600.0)
    return dist_km, dur_s
```

```
def order_route_tw_aware(
    bucket_stops,
    depot_lat,
    depot_lon,
    day_start,
    day_end,
    speed_kmh,
    detour_factor=1.25,
    alpha_wait=1.0,
    beta_tardy=25.0,
    penalty_infeasible=1_000_000.0,
):
    """
    Greedy route construction with a time-window-aware score:

        score = travel_min + alpha_wait * wait_min + beta_tardy * tardy_min + big
penalties

    * wait_min: arriving before tw_start
    * tardy_min: starting service after tw_end
    * infeasible (end_service > day_end) is heavily penalized
    """
    remaining = list(bucket_stops)
    route = []

    cur_lat, cur_lon = depot_lat, depot_lon
    cur_time = day_start

    while remaining:
        best_i = None
        best_score = None

        for i, s in enumerate(remaining):
            dist_km, drive_s = _estimate_drive_seconds(cur_lat, cur_lon, s.lat, s.lon,
speed_kmh, detour_factor)
            arrive = cur_time + timedelta(seconds=drive_s)

            wait_s = 0
            if arrive < s.tw_start:
                wait_s = int((s.tw_start - arrive).total_seconds())
                start_service = s.tw_start
            else:
                start_service = arrive

            service_s = int(float(s.service_min) * 60)
            end_service = start_service + timedelta(seconds=service_s)

            tardy_s = 0
            if start_service > s.tw_end:
                tardy_s = int((start_service - s.tw_end).total_seconds())
```

```
            infeas_pen = 0.0
            if end_service > day_end:
                infeas_pen += penalty_infeasible
            if start_service > s.tw_end:
                infeas_pen += penalty_infeasible

            travel_min = drive_s / 60.0
            wait_min = wait_s / 60.0
            tardy_min = tardy_s / 60.0

            score = travel_min + float(alpha_wait) * wait_min + float(beta_tardy) *
tardy_min + infeas_pen

            if best_score is None or score < best_score:
                best_score = score
                best_i = i

        chosen = remaining.pop(best_i)
        route.append(chosen)

        dist_km, drive_s = _estimate_drive_seconds(cur_lat, cur_lon, chosen.lat,
chosen.lon, speed_kmh, detour_factor)
        arrive = cur_time + timedelta(seconds=drive_s)
        if arrive < chosen.tw_start:
            arrive = chosen.tw_start
        service_s = int(float(chosen.service_min) * 60)
        cur_time = arrive + timedelta(seconds=service_s)

        cur_lat, cur_lon = chosen.lat, chosen.lon

        if cur_time >= day_end:
            # Stop ordering once the constructed time is already at/after end of day.
            # Remaining stops will be naturally "unattempted" unless extra vehicles
are added.
            break

    if remaining:
        route.extend(remaining)

    return route


def assign_to_vehicles(stops, depot_lat, depot_lon, n_vehicles, day_start, day_end,
speed_kmh):
    if n_vehicles <= 0:
        return []

    # 1) sweep sort
    stops_sorted = sorted(stops, key=lambda s: _sweep_angle(s, depot_lat, depot_lon))

    # 2) contiguous chunking
    buckets = [[] for _ in range(n_vehicles)]
    for i, s in enumerate(stops_sorted):
```

```
        b = min(n_vehicles - 1, int(i * n_vehicles / max(1, len(stops_sorted))))
        buckets[b].append(s)

    # 3) TW-aware ordering inside each bucket (A)
    out = []
    for k in range(n_vehicles):
        out.append(
            order_route_tw_aware(
                buckets[k],
                depot_lat=depot_lat,
                depot_lon=depot_lon,
                day_start=day_start,
                day_end=day_end,
                speed_kmh=speed_kmh,
                detour_factor=1.25,
                alpha_wait=1.0,
                beta_tardy=25.0,
            )
        )
    return out


# ============================================================
# Energy & emissions
# ============================================================
def energy_and_emissions(dist_km, vehicle_cfg):
    et = vehicle_cfg["energy_type"]

    if et == "fuel":
        liters = dist_km * float(vehicle_cfg["consumption_l_100km"]) / 100.0
        cost = liters * float(vehicle_cfg["fuel_price_eur_l"])
        co2 = liters * float(vehicle_cfg["kgco2e_per_liter"])
        return {"energy_type": "fuel", "liters": liters, "kwh": None,
"energy_cost_eur": cost, "co2e_kg": co2}

    if et == "electric":
        kwh = dist_km * float(vehicle_cfg["kwh_per_km"])
        cost = kwh * float(vehicle_cfg["elec_price_eur_kwh"])
        co2 = kwh * float(vehicle_cfg["kgco2e_per_kwh"])
        return {"energy_type": "electric", "liters": None, "kwh": kwh,
"energy_cost_eur": cost, "co2e_kg": co2}

    raise ValueError(f"energy_type desconhecido: {et}")


# ============================================================
# Hybrid allocation (motor vs bike)
# ============================================================
def allocate_stops_hybrid(
    stops,
    depot_lat,
    depot_lon,
    tourist_zones,
```

```
    bike_radius_km=2.5,
    pup_to_motor=True,
    lockers_to_motor=True,
):
    bike = []
    motor = []

    for s in stops:
        if pup_to_motor and s.stop_type == "PUP":
            motor.append(s)
            continue
        if lockers_to_motor and s.stop_type == "LOCKER":
            motor.append(s)
            continue

        dist = haversine_km(depot_lat, depot_lon, s.lat, s.lon)
        zone_name, _ = tourist_zone_for_point(s.lat, s.lon, tourist_zones)
        in_tourist = zone_name is not None

        if (dist <= float(bike_radius_km)) or in_tourist:
            bike.append(s)
        else:
            motor.append(s)

    meta_alloc = {
        "alloc_bike_stops": len(bike),
        "alloc_motor_stops": len(motor),
        "alloc_bike_pkgs": sum(x.package_count for x in bike),
        "alloc_motor_pkgs": sum(x.package_count for x in motor),
    }
    return bike, motor, meta_alloc


# ============================================================
# Micro-hubs: selection & grouping
# ============================================================
def choose_microhubs_randomly(stops, n_hubs_min, n_hubs_max, seed, prefix=""):
    rng = random.Random(seed)
    candidates = stops[:]
    rng.shuffle(candidates)

    n_hubs = rng.randint(int(n_hubs_min), int(n_hubs_max))
    hubs = []
    used = set()

    for s in candidates:
        key = (round(s.lat, 5), round(s.lon, 5))
        if key in used:
            continue
        used.add(key)
        hubs.append(Hub(hub_id=f"{prefix}H{len(hubs)+1:02d}", lat=s.lat, lon=s.lon))
        if len(hubs) >= n_hubs:
            break
```

```
    if len(hubs) == 0 and len(candidates) > 0:
        hubs.append(Hub(hub_id=f"{prefix}H01", lat=candidates[0].lat,
lon=candidates[0].lon))

    return hubs


def assign_stops_to_hubs(stops, hubs):
    groups = {h.hub_id: [] for h in hubs}
    for s in stops:
        best = None
        best_d = None
        for h in hubs:
            d = haversine_km(s.lat, s.lon, h.lat, h.lon)
            if best_d is None or d < best_d:
                best_d = d
                best = h
        groups[best.hub_id].append(s)
    return groups


# ============================================================
# Trunk vans simulation (depot -> hubs -> depot)
# ============================================================
def simulate_trunk_vans(
    scenario,
    trunk_cfg,
    depot_lat,
    depot_lon,
    hubs,
    pkgs_per_hub,
    day_start,
    maps_router_driving,
    use_google_maps=True,
    fallback_speed_kmh=30.0,
    unload_min_per_pkg=0.02,
    van_capacity_pkgs=600,
):
    events = []
    total_km = 0.0
    total_drive_s = 0
    traffic_delay_s = 0
    total_unload_s = 0
    energy_cost_total = 0.0
    co2_total = 0.0
    liters_total = 0.0

    vans_used = len(hubs) if hubs else 0
    amort_total = vans_used * float(trunk_cfg["amort_eur_per_vehicle_day"])

    for h in hubs:
        pkgs = int(pkgs_per_hub.get(h.hub_id, 0))
```

```
        if pkgs <= 0:
            continue

        trips = math.ceil(pkgs / max(1, int(van_capacity_pkgs)))

        for trip in range(1, trips + 1):
            depart = day_start

            if use_google_maps and maps_router_driving is not None:
                dist_km, dur_s, dur_free_s = maps_router_driving.leg(depot_lat,
depot_lon, h.lat, h.lon, depart)
                if dur_free_s is not None:
                    traffic_delay_s += max(0, int(dur_s) - int(dur_free_s))
            else:
                dist_km = haversine_km(depot_lat, depot_lon, h.lat, h.lon) * 1.25
                dur_s = int((dist_km / max(1e-9, fallback_speed_kmh)) * 3600)

            ee = energy_and_emissions(dist_km, trunk_cfg)
            energy_cost_total += float(ee["energy_cost_eur"])
            co2_total += float(ee["co2e_kg"])
            liters_total += float(ee["liters"]) if ee["liters"] is not None else 0.0

            total_km += dist_km
            total_drive_s += dur_s

            trip_pkgs = min(int(van_capacity_pkgs), pkgs - (trip - 1) *
int(van_capacity_pkgs))
            unload_s = int(float(unload_min_per_pkg) * trip_pkgs * 60)
            total_unload_s += unload_s

            events.append(
                {
                    "scenario": scenario,
                    "fleet_label": "TRUNK",
                    "vehicle_type": "VAN_TRUNK",
                    "vehicle_id": f"TRUNK-{h.hub_id}-T{trip}",
                    "stop_id": h.hub_id,
                    "stop_type": "HUB",
                    "source_mix": "",
                    "lat": h.lat,
                    "lon": h.lon,
                    "tw_start": "",
                    "tw_end": "",
                    "package_count": trip_pkgs,
                    "depart_time": depart,
                    "arrive_time": "",
                    "wait_s": "",
                    "service_s": unload_s,
                    "finish_time": "",
                    "distance_km_leg": dist_km,
                    "drive_s_leg": dur_s,
                    "drive_s_freeflow_leg": "",
                    "traffic_delay_s_leg": "",
```

```
                    "on_time": "",
                    "packages_failed": 0,
                    "packages_success": trip_pkgs,
                    "energy_type": ee["energy_type"],
                    "liters_leg": ee["liters"] if ee["liters"] is not None else "",
                    "kwh_leg": ee["kwh"] if ee["kwh"] is not None else "",
                    "energy_cost_eur_leg": ee["energy_cost_eur"],
                    "co2e_kg_leg": ee["co2e_kg"],
                    "cost_attempts_eur": 0.0,
                    "cost_returns_eur": 0.0,
                    "cost_leg_total_eur": float(ee["energy_cost_eur"]),
                    "curb_block_s": unload_s,
                    "tourist_zone": "",
                    "tourist_zone_weight": "",
                    "in_tourist_zone": "",
                    "visual_hour_weight": "",
                }
            )

            # return (approx symmetric)
            total_km += dist_km
            total_drive_s += dur_s
            ee2 = energy_and_emissions(dist_km, trunk_cfg)
            energy_cost_total += float(ee2["energy_cost_eur"])
            co2_total += float(ee2["co2e_kg"])
            liters_total += float(ee2["liters"]) if ee2["liters"] is not None else 0.0

    summary = {
        "fleet_label": "TRUNK",
        "vehicle_type": "VAN_TRUNK",
        "stops_count": len(hubs),
        "vehicles_used": vans_used,
        "packages_attempted": sum(int(pkgs_per_hub.get(h.hub_id, 0)) for h in hubs),
        "packages_success": sum(int(pkgs_per_hub.get(h.hub_id, 0)) for h in hubs),
        "packages_failed": 0,
        "fail_rate_pkgs": 0.0,
        "total_km": total_km,
        "total_drive_h": total_drive_s / 3600.0,
        "total_wait_h": 0.0,
        "total_service_h": total_unload_s / 3600.0,
        "traffic_delay_hours": traffic_delay_s / 3600.0,
        "added_vehicle_km": total_km,
        "added_vehicle_hours": total_drive_s / 3600.0,
        "added_traffic_pce_km": total_km * float(trunk_cfg["traffic_pce_factor"]),
        "added_traffic_pce_hours": (total_drive_s / 3600.0) *
float(trunk_cfg["traffic_pce_factor"]),
        "curb_block_hours_total": total_unload_s / 3600.0,
        "tourist_curb_block_hours": 0.0,
        "visual_pollution_score_total": 0.0,
        "energy_type": trunk_cfg["energy_type"],
        "liters_total": liters_total,
        "kwh_total": None,
        "energy_cost_total": energy_cost_total,
```

```
        "co2_total_kg": co2_total,
        "cost_attempts_total": 0.0,
        "cost_returns_total": 0.0,
        "cost_amort_total": amort_total,
        "cost_total": energy_cost_total + amort_total,
        "tw_packages": 0,
        "tw_on_time_rate_pkgs": None,
        "backlog_home_tomorrow_pkgs": 0,
        "flow_to_pup_tomorrow_pkgs": 0,
        "backlog_pup_tomorrow_pkgs": 0,
        "backlog_locker_tomorrow_pkgs": 0,
    }

    return events, summary


# ============================================================
# Last-mile simulation (single fleet)
# ============================================================
def simulate_day_single_fleet(
    scenario,
    vehicle_cfg,
    fleet_label,
    stops,
    day_start,
    day_end,
    depot_lat,
    depot_lon,
    pct_failed_home_to_pup=0.0,
    tourist_zones=None,
    use_google_maps=True,
    maps_router=None,
    fallback_speed_kmh=25.0,
    seed=12345,
    ensure_all_stops_attempted=True,
    max_vehicle_scale_iters=10,
    max_vehicle_scale_factor=6.0,
):
    rng = random.Random(seed)
    tourist_zones = tourist_zones or []

    planned_stops = list(stops)
    n_stops_planned = len(planned_stops)
    cap = int(vehicle_cfg["capacity_stops"])

    n_vehicles = max(1, math.ceil(n_stops_planned / cap)) if n_stops_planned else 0
    n_vehicles_min = n_vehicles
    n_vehicles_max = max(n_vehicles_min, int(math.ceil(n_vehicles_min *
float(max_vehicle_scale_factor))))

    def simulate_with_n_vehicles(nv):
        routes = assign_to_vehicles(
            planned_stops,
```

```
            depot_lat=depot_lat,
            depot_lon=depot_lon,
            n_vehicles=nv,
            day_start=day_start,
            day_end=day_end,
            speed_kmh=fallback_speed_kmh,
        ) if nv > 0 else []

        events = []

        total_km = 0.0
        total_drive_s = 0
        total_wait_s = 0
        total_service_s = 0
        traffic_delay_s = 0

        curb_block_s_total = 0.0
        curb_block_s_tourist = 0.0
        visual_pollution_score_total = 0.0

        pkgs_attempted = 0
        pkgs_success = 0
        pkgs_failed = 0
        pkgs_tw = 0
        pkgs_tw_on_time = 0

        backlog_home_tomorrow_pkgs = 0
        flow_to_pup_tomorrow_pkgs = 0
        backlog_pup_tomorrow_pkgs = 0
        backlog_locker_tomorrow_pkgs = 0

        energy_cost_total = 0.0
        co2_total = 0.0
        liters_total = 0.0
        kwh_total = 0.0

        attempted_stop_ids = set()

        for vidx, vehicle_stops in enumerate(routes, start=1):
            cur_lat, cur_lon = depot_lat, depot_lon
            cur_time = day_start

            for s in vehicle_stops:
                if cur_time >= day_end:
                    break

                # Travel leg
                if use_google_maps and maps_router is not None:
                    dist_km, dur_s, dur_free_s = maps_router.leg(cur_lat, cur_lon,
s.lat, s.lon, cur_time)
                    if dur_free_s is not None:
                        traffic_delay_s += max(0, int(dur_s) - int(dur_free_s))
                else:
```

```
                    dist_km = haversine_km(cur_lat, cur_lon, s.lat, s.lon) * 1.25
                    dur_s = int((dist_km / max(1e-9, fallback_speed_kmh)) * 3600)

                arrive = cur_time + timedelta(seconds=dur_s)
                if arrive >= day_end:
                    break

                wait_s = 0
                if arrive < s.tw_start:
                    wait_s = int((s.tw_start - arrive).total_seconds())
                    arrive = s.tw_start

                service_s = int(float(s.service_min) * 60)
                start_service = arrive
                end_service = start_service + timedelta(seconds=service_s)

                if start_service >= day_end or end_service > day_end:
                    break

                attempted_stop_ids.add(s.stop_id)

                n_pkgs = int(s.package_count)
                pkgs_attempted += n_pkgs

                tw_applies = (s.tw_start != day_start) or (s.tw_end != day_end)
                on_time = (start_service <= s.tw_end)
                if tw_applies:
                    pkgs_tw += n_pkgs
                    if on_time:
                        pkgs_tw_on_time += n_pkgs

                if s.stop_type == "HOME":
                    p_fail = float(vehicle_cfg["p_fail_home"])
                elif s.stop_type == "PUP":
                    p_fail = float(vehicle_cfg["p_fail_pup"])
                else:
                    p_fail = float(vehicle_cfg["p_fail_locker"])

                fail_pkgs = sample_binomial(n_pkgs, p_fail, rng)
                succ_pkgs = n_pkgs - fail_pkgs
                pkgs_failed += fail_pkgs
                pkgs_success += succ_pkgs

                if s.stop_type == "HOME":
                    if vehicle_cfg.get("use_pup", False):
                        to_pup = sample_binomial(fail_pkgs,
float(pct_failed_home_to_pup), rng)
                        to_home = fail_pkgs - to_pup
                        flow_to_pup_tomorrow_pkgs += to_pup
                        backlog_home_tomorrow_pkgs += to_home
                    else:
                        backlog_home_tomorrow_pkgs += fail_pkgs
                elif s.stop_type == "PUP":
```

```
                    backlog_pup_tomorrow_pkgs += fail_pkgs
                else:
                    backlog_locker_tomorrow_pkgs += fail_pkgs

                # Energy for delivery leg
                ee = energy_and_emissions(dist_km, vehicle_cfg)
                energy_cost_total += float(ee["energy_cost_eur"])
                co2_total += float(ee["co2e_kg"])
                if ee["liters"] is not None:
                    liters_total += float(ee["liters"])
                if ee["kwh"] is not None:
                    kwh_total += float(ee["kwh"])

                cost_attempts = float(vehicle_cfg["cost_attempt_per_pkg"]) * n_pkgs
                cost_returns = float(vehicle_cfg["cost_return_per_failed_pkg"]) *
fail_pkgs
                cost_leg_total = cost_attempts + cost_returns +
float(ee["energy_cost_eur"])

                curb_block_factor = float(vehicle_cfg["curb_block_factor"])
                curb_block_s = (wait_s + service_s) * curb_block_factor
                curb_block_s_total += curb_block_s

                zone_name, zone_w = tourist_zone_for_point(s.lat, s.lon,
tourist_zones)
                in_tourist_zone = 1 if zone_name is not None else 0
                if in_tourist_zone:
                    curb_block_s_tourist += curb_block_s
                    hw = hour_weight_for_tourism(start_service)
                    visual_pollution_score_total += (
                        float(zone_w) * float(hw) * (curb_block_s / 60.0) *
float(vehicle_cfg["visual_factor"])
                    )

                events.append(
                    {
                        "scenario": scenario,
                        "fleet_label": fleet_label,
                        "vehicle_type": vehicle_cfg["name"],
                        "vehicle_id": f"{fleet_label}-{vidx}",
                        "stop_id": s.stop_id,
                        "stop_type": s.stop_type,
                        "source_mix": s.source_mix,
                        "lat": s.lat,
                        "lon": s.lon,
                        "tw_start": s.tw_start,
                        "tw_end": s.tw_end,
                        "package_count": n_pkgs,
                        "depart_time": cur_time,
                        "arrive_time": arrive,
                        "wait_s": wait_s,
                        "service_s": service_s,
                        "finish_time": end_service,
```

```
                        "distance_km_leg": dist_km,
                        "drive_s_leg": dur_s,
                        "drive_s_freeflow_leg": "",
                        "traffic_delay_s_leg": "",
                        "on_time": int(on_time),
                        "packages_failed": fail_pkgs,
                        "packages_success": succ_pkgs,
                        "energy_type": ee["energy_type"],
                        "liters_leg": ee["liters"] if ee["liters"] is not None else
"",
                        "kwh_leg": ee["kwh"] if ee["kwh"] is not None else "",
                        "energy_cost_eur_leg": ee["energy_cost_eur"],
                        "co2e_kg_leg": ee["co2e_kg"],
                        "cost_attempts_eur": cost_attempts,
                        "cost_returns_eur": cost_returns,
                        "cost_leg_total_eur": cost_leg_total,
                        "curb_block_s": curb_block_s,
                        "tourist_zone": zone_name or "",
                        "tourist_zone_weight": float(zone_w),
                        "in_tourist_zone": in_tourist_zone,
                        "visual_hour_weight": hour_weight_for_tourism(start_service),
                    }
                )

                total_km += dist_km
                total_drive_s += dur_s
                total_wait_s += wait_s
                total_service_s += service_s

                cur_lat, cur_lon = s.lat, s.lon
                cur_time = end_service

            # Return to depot (include energy!)
            if nv > 0 and cur_time < day_end:
                if use_google_maps and maps_router is not None:
                    dist_km, dur_s, _ = maps_router.leg(cur_lat, cur_lon, depot_lat,
depot_lon, cur_time)
                else:
                    dist_km = haversine_km(cur_lat, cur_lon, depot_lat, depot_lon) *
1.25
                    dur_s = int((dist_km / max(1e-9, fallback_speed_kmh)) * 3600)

                total_km += dist_km
                total_drive_s += dur_s

                ee_ret = energy_and_emissions(dist_km, vehicle_cfg)
                energy_cost_total += float(ee_ret["energy_cost_eur"])
                co2_total += float(ee_ret["co2e_kg"])
                if ee_ret["liters"] is not None:
                    liters_total += float(ee_ret["liters"])
                if ee_ret["kwh"] is not None:
                    kwh_total += float(ee_ret["kwh"])
```

```
        cost_amort_total = nv * float(vehicle_cfg["amort_eur_per_vehicle_day"])
        cost_attempts_total = float(vehicle_cfg["cost_attempt_per_pkg"]) *
pkgs_attempted
        cost_returns_total = float(vehicle_cfg["cost_return_per_failed_pkg"]) *
pkgs_failed
        cost_total = cost_attempts_total + cost_returns_total + energy_cost_total +
cost_amort_total

        pce = float(vehicle_cfg["traffic_pce_factor"])

        stops_attempted = len(attempted_stop_ids)
        stops_unattempted = n_stops_planned - stops_attempted

        summary = {
            "fleet_label": fleet_label,
            "vehicle_type": vehicle_cfg["name"],

            "stops_planned": n_stops_planned,
            "stops_attempted": stops_attempted,
            "stops_unattempted": stops_unattempted,
            "stops_count": stops_attempted,

            "vehicles_used": nv,
            "packages_attempted": pkgs_attempted,
            "packages_success": pkgs_success,
            "packages_failed": pkgs_failed,
            "fail_rate_pkgs": (pkgs_failed / pkgs_attempted) if pkgs_attempted else
None,
            "total_km": total_km,
            "total_drive_h": total_drive_s / 3600.0,
            "total_wait_h": total_wait_s / 3600.0,
            "total_service_h": total_service_s / 3600.0,
            "traffic_delay_hours": traffic_delay_s / 3600.0,
            "added_vehicle_km": total_km,
            "added_vehicle_hours": total_drive_s / 3600.0,
            "added_traffic_pce_km": total_km * pce,
            "added_traffic_pce_hours": (total_drive_s / 3600.0) * pce,
            "curb_block_hours_total": curb_block_s_total / 3600.0,
            "tourist_curb_block_hours": curb_block_s_tourist / 3600.0,
            "visual_pollution_score_total": visual_pollution_score_total,
            "energy_type": vehicle_cfg["energy_type"],
            "liters_total": liters_total if vehicle_cfg["energy_type"] == "fuel" else
None,
            "kwh_total": kwh_total if vehicle_cfg["energy_type"] == "electric" else
None,
            "energy_cost_total": energy_cost_total,
            "co2_total_kg": co2_total,
            "cost_attempts_total": cost_attempts_total,
            "cost_returns_total": cost_returns_total,
            "cost_amort_total": cost_amort_total,
            "cost_total": cost_total,

            # métricas TW técnicas
```

```
            "tw_packages": pkgs_tw,
            "tw_on_time_packages": pkgs_tw_on_time,
            "tw_on_time_rate_pkgs": (pkgs_tw_on_time / pkgs_tw) if pkgs_tw else None,

            # métricas TW com nomes claros para Excel/análise
            "encomendas_com_janela_temporal": pkgs_tw,
            "encomendas_tw_no_prazo": pkgs_tw_on_time,
            "taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal": (pkgs_tw_on_time / pkgs_tw) if
pkgs_tw else None,

            "backlog_home_tomorrow_pkgs": backlog_home_tomorrow_pkgs,
            "flow_to_pup_tomorrow_pkgs": flow_to_pup_tomorrow_pkgs,
            "backlog_pup_tomorrow_pkgs": 0,
            "backlog_locker_tomorrow_pkgs": 0,
        }

        return events, summary

    if not ensure_all_stops_attempted or n_stops_planned == 0:
        return simulate_with_n_vehicles(n_vehicles)

    best_events = None
    best_summary = None

    for _ in range(int(max_vehicle_scale_iters)):
        events, summary = simulate_with_n_vehicles(n_vehicles)
        best_events = events
        best_summary = summary

        if int(summary.get("stops_unattempted", 0) or 0) == 0:
            break

        if n_vehicles >= n_vehicles_max:
            break

        unattempted = int(summary.get("stops_unattempted", 0) or 0)
        inc = max(1, math.ceil(unattempted / max(1, cap)))
        n_vehicles = min(n_vehicles_max, n_vehicles + inc)

    return best_events, best_summary

def aggregate_summaries(summaries):
    agg = {}

    for s in summaries:
        for k, v in s.items():
            if v is None or v == "":
                continue
            if isinstance(v, (int, float)) and k not in (
                "fail_rate_pkgs",
                "tw_on_time_rate_pkgs",
                "taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal",
            ):
```

```
                agg[k] = agg.get(k, 0.0) + float(v)

    pkgs_attempted = sum(float(s.get("packages_attempted", 0) or 0) for s in
summaries)
    pkgs_failed = sum(float(s.get("packages_failed", 0) or 0) for s in summaries)

    pkgs_tw = sum(float(s.get("tw_packages", 0) or 0) for s in summaries)
    pkgs_tw_on_time = sum(float(s.get("tw_on_time_packages", 0) or 0) for s in
summaries)

    agg["fail_rate_pkgs"] = (pkgs_failed / pkgs_attempted) if pkgs_attempted else None

    # métricas TW técnicas
    agg["tw_packages"] = pkgs_tw
    agg["tw_on_time_packages"] = pkgs_tw_on_time
    agg["tw_on_time_rate_pkgs"] = (pkgs_tw_on_time / pkgs_tw) if pkgs_tw else None

    # métricas TW com nomes claros para Excel/análise
    agg["encomendas_com_janela_temporal"] = pkgs_tw
    agg["encomendas_tw_no_prazo"] = pkgs_tw_on_time
    agg["taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal"] = (
        pkgs_tw_on_time / pkgs_tw if pkgs_tw else None
    )

    return agg


# ============================================================
# Scenario expansion: add _NOHUB and _MICROHUB variants
# ============================================================
def vehicle_is_scooter_or_ebike(cfg):
    return cfg.get("name") in ("SCOOTER", "E_CARGO_BIKE")


def scenario_needs_microhub_variants(sc):
    if sc["type"] == "single":
        return vehicle_is_scooter_or_ebike(sc["vehicle_cfg"])
    return vehicle_is_scooter_or_ebike(sc["motor_cfg"]) or
vehicle_is_scooter_or_ebike(sc["bike_cfg"])


def expand_microhub_variants(base_scenarios):
    out = []
    for sc in base_scenarios:
        if not scenario_needs_microhub_variants(sc):
            sc2 = dict(sc)
            sc2["microhubs"] = {"mode": "NA"}
            out.append(sc2)
            continue

        sc_no = dict(sc)
        sc_no["name"] = sc["name"] + "_NOHUB"
        if sc["type"] == "single":
```

```
            sc_no["microhubs"] = {"enabled_single": False}
        else:
            sc_no["microhubs"] = {"enabled_motor": False, "enabled_bike": False}
        out.append(sc_no)

        sc_mh = dict(sc)
        sc_mh["name"] = sc["name"] + "_MICROHUB"
        if sc["type"] == "single":
            sc_mh["microhubs"] = {"enabled_single": True}
        else:
            sc_mh["microhubs"] = {
                "enabled_motor": vehicle_is_scooter_or_ebike(sc["motor_cfg"]),
                "enabled_bike": vehicle_is_scooter_or_ebike(sc["bike_cfg"]),
            }
        out.append(sc_mh)

    return out


# ============================================================
# Export XLSX
# ============================================================
def export_xlsx(path, inputs_dict, pups, lockers, tourist_zones, hubs, stops, events,
meta, fleet_summaries, summary_total):
    out = Path(path).expanduser()
    out.parent.mkdir(parents=True, exist_ok=True)

    wb = Workbook()

    ws_in = wb.active
    ws_in.title = "INPUTS"
    ws_in["A1"] = "Parâmetro"
    ws_in["B1"] = "Valor"
    ws_in["A1"].font = ws_in["B1"].font = Font(bold=True)

    r = 2
    for k in sorted(inputs_dict.keys()):
        ws_in[f"A{r}"] = k
        ws_in[f"B{r}"] = safe_cell_value(inputs_dict[k])
        r += 1
    for k in sorted(meta.keys()):
        ws_in[f"A{r}"] = f"meta.{k}"
        ws_in[f"B{r}"] = safe_cell_value(meta[k])
        r += 1
    ws_in.freeze_panes = "A2"
    autosize(ws_in, 1, 2)

    ws_tz = wb.create_sheet("TOURIST_ZONES")
    headers = ["name", "lat", "lon", "radius_m", "weight"]
    for c, h in enumerate(headers, start=1):
        cell = ws_tz.cell(1, c, h)
        cell.font = Font(bold=True)
    for i, (name, lat, lon, radius_m, w) in enumerate(tourist_zones or [], start=2):
```

```
            ws_tz.cell(i, 1, name)
            ws_tz.cell(i, 2, float(lat))
            ws_tz.cell(i, 3, float(lon))
            ws_tz.cell(i, 4, float(radius_m))
            ws_tz.cell(i, 5, float(w))
        ws_tz.freeze_panes = "A2"
        autosize(ws_tz, 1, len(headers))

        ws_p = wb.create_sheet("PUPS")
        headers = ["id", "lat", "lon", "tw_start", "tw_end"]
        for c, h in enumerate(headers, start=1):
            cell = ws_p.cell(1, c, h)
            cell.font = Font(bold=True)
        for i, p in enumerate(pups or [], start=2):
            ws_p.cell(i, 1, p.get("id", ""))
            ws_p.cell(i, 2, safe_cell_value(p.get("lat", "")))
            ws_p.cell(i, 3, safe_cell_value(p.get("lon", "")))
            ws_p.cell(i, 4, safe_cell_value(p.get("tw_start", "")))
            ws_p.cell(i, 5, safe_cell_value(p.get("tw_end", "")))
        ws_p.freeze_panes = "A2"
        autosize(ws_p, 1, len(headers))

        ws_l = wb.create_sheet("LOCKERS")
        headers = ["id", "lat", "lon", "tw_start", "tw_end"]
        for c, h in enumerate(headers, start=1):
            cell = ws_l.cell(1, c, h)
            cell.font = Font(bold=True)
        for i, l in enumerate(lockers or [], start=2):
            ws_l.cell(i, 1, l.get("id", ""))
            ws_l.cell(i, 2, safe_cell_value(l.get("lat", "")))
            ws_l.cell(i, 3, safe_cell_value(l.get("lon", "")))
            ws_l.cell(i, 4, safe_cell_value(l.get("tw_start", "")))
            ws_l.cell(i, 5, safe_cell_value(l.get("tw_end", "")))
        ws_l.freeze_panes = "A2"
        autosize(ws_l, 1, len(headers))

        ws_h = wb.create_sheet("HUBS")
        headers = ["hub_id", "lat", "lon"]
        for c, h in enumerate(headers, start=1):
            cell = ws_h.cell(1, c, h)
            cell.font = Font(bold=True)
        for i, h in enumerate(hubs or [], start=2):
            ws_h.cell(i, 1, h.hub_id)
            ws_h.cell(i, 2, h.lat)
            ws_h.cell(i, 3, h.lon)
        ws_h.freeze_panes = "A2"
        autosize(ws_h, 1, len(headers))

        ws_st = wb.create_sheet("STOPS")
        headers = ["stop_id", "stop_type", "lat", "lon", "tw_start", "tw_end",
"service_min", "package_count", "source_mix"]
        for c, h in enumerate(headers, start=1):
            cell = ws_st.cell(1, c, h)
```

```
    cell.font = Font(bold=True)

for i, s in enumerate(stops, start=2):
    ws_st.cell(i, 1, safe_cell_value(s.stop_id))
    ws_st.cell(i, 2, safe_cell_value(s.stop_type))
    ws_st.cell(i, 3, safe_cell_value(s.lat))
    ws_st.cell(i, 4, safe_cell_value(s.lon))
    ws_st.cell(i, 5, safe_cell_value(s.tw_start))
    ws_st.cell(i, 6, safe_cell_value(s.tw_end))
    ws_st.cell(i, 7, safe_cell_value(s.service_min))
    ws_st.cell(i, 8, safe_cell_value(s.package_count))
    ws_st.cell(i, 9, safe_cell_value(s.source_mix))

ws_st.freeze_panes = "A2"
autosize(ws_st, 1, len(headers))

ws_ev = wb.create_sheet("EVENTS")
ev_headers = list(events[0].keys()) if events else []
for c, hname in enumerate(ev_headers, start=1):
    cell = ws_ev.cell(1, c, hname)
    cell.font = Font(bold=True)
for i, e in enumerate(events, start=2):
    for c, hname in enumerate(ev_headers, start=1):
        ws_ev.cell(i, c, safe_cell_value(e.get(hname, "")))
ws_ev.freeze_panes = "A2"
autosize(ws_ev, 1, max(1, len(ev_headers)))

ws_fs = wb.create_sheet("FLEET_SUMMARY")
ws_fs["A1"] = "Métrica"
ws_fs["B1"] = "Valor"
ws_fs["A1"].font = ws_fs["B1"].font = Font(bold=True)
rr = 2
for fs in fleet_summaries:
    ws_fs[f"A{rr}"] = "fleet_label"
    ws_fs[f"B{rr}"] = safe_cell_value(fs.get("fleet_label", ""))
    rr += 1
    for k, v in fs.items():
        if k == "fleet_label":
            continue
        ws_fs[f"A{rr}"] = k
        ws_fs[f"B{rr}"] = safe_cell_value(v)
        rr += 1
    rr += 1
ws_fs.freeze_panes = "A2"
autosize(ws_fs, 1, 2)

ws_sum = wb.create_sheet("SUMMARY_TOTAL")
ws_sum["A1"] = "Métrica"
ws_sum["B1"] = "Valor"
ws_sum["A1"].font = ws_sum["B1"].font = Font(bold=True)
rr = 2
for k in sorted(summary_total.keys()):
    ws_sum[f"A{rr}"] = k
```

```
        ws_sum[f"B{rr}"] = safe_cell_value(summary_total[k])
        rr += 1
    ws_sum.freeze_panes = "A2"
    autosize(ws_sum, 1, 2)

    print("A gravar em:", out.resolve())
    wb.save(out)


# ============================================================
# MAIN
# ============================================================
if __name__ == "__main__":
    BASE_DIR = "/Users/helenasantos/Desktop/Tese/LMD"

    DEPOT_LAT = 41.5454
    DEPOT_LON = -8.4265

    if ZoneInfo is None:
        tz = None
    else:
        tz = ZoneInfo("Europe/Lisbon")

    day_start = datetime(2026, 1, 21, 8, 0, tzinfo=tz)
    day_end = day_start + timedelta(hours=10)

    PUPS = generate_pups(
        n_pups=10,
        depot_lat=DEPOT_LAT,
        depot_lon=DEPOT_LON,
        radius_km=6.0,
        day_start=day_start,
        day_end=day_end,
        seed=2030,
    )

    LOCKERS = generate_lockers(
        n_lockers=36,
        depot_lat=DEPOT_LAT,
        depot_lon=DEPOT_LON,
        radius_km=6.0,
        day_start=day_start,
        day_end=day_end,
        seed=2026,
    )

    N_NEW = 3000
    PCT_TW = 0.30
    SERVICE_HOME_MIN = 4.0

    PUP_BASE_SERVICE_MIN = 8.0
    PUP_PER_PACKAGE_MIN = 0.12
```

```
    LOCKER_BASE_SERVICE_MIN = 6.0
    LOCKER_PER_PACKAGE_MIN = 0.08

    P_FAIL_HOME = 0.10
    P_FAIL_PUP = 0.00
    P_FAIL_LOCKER = 0.002

    COST_ATTEMPT_PER_PKG = 6.00
    COST_RETURN_PER_FAILED_PKG = 2.50

    PCT_DIRECT_TO_PUP = 0.30
    PCT_FAILED_HOME_TO_PUP = 1.00

    PCT_DIRECT_TO_LOCKER = 0.25

    HYBRID_BIKE_RADIUS_KM = 2.5
    HYBRID_PUP_TO_MOTOR = True
    HYBRID_LOCKERS_TO_MOTOR = True

    MICROHUBS_N_MIN = 3
    MICROHUBS_N_MAX = 6
    MICROHUBS_UNLOAD_MIN_PER_PKG = 0.02
    TRUNK_VAN_CAPACITY_PKGS = 600

    INCLUSION_SHARE_MIN = 0.30
    INCLUSION_SHARE_MAX = 0.50
    RECRUIT_EUR_PER_WORKER = 250.0
    ONBOARD_EUR_PER_WORKER = 150.0
    TRAIN_EUR_PER_WORKER = 400.0
    AMORT_DAYS = 90

    USE_GOOGLE_MAPS = False
    api_key = os.environ.get("GOOGLE_MAPS_API_KEY")
    if USE_GOOGLE_MAPS and not api_key:
        raise RuntimeError("Define GOOGLE_MAPS_API_KEY (env var) para usar Google Maps
API.")

    routers = {}

    def get_router(mode, use_traffic):
        if not USE_GOOGLE_MAPS:
            return None
        key = (mode, bool(use_traffic))
        if key not in routers:
            routers[key] = MapsRouter(api_key=api_key, mode=mode,
use_traffic=use_traffic, bucket_minutes=15)
        return routers[key]

    VAN_CFG = {
        "name": "VAN",
        "maps_mode": "driving",
        "maps_use_traffic": True,
        "capacity_stops": 90,
```

```
    "p_fail_home": P_FAIL_HOME,
    "p_fail_pup": P_FAIL_PUP,
    "p_fail_locker": P_FAIL_LOCKER,
    "cost_attempt_per_pkg": COST_ATTEMPT_PER_PKG,
    "cost_return_per_failed_pkg": COST_RETURN_PER_FAILED_PKG,
    "amort_eur_per_vehicle_day": 35.0,
    "energy_type": "fuel",
    "fuel_price_eur_l": 1.80,
    "consumption_l_100km": 10.0,
    "kgco2e_per_liter": 2.68,
    "curb_block_factor": 1.00,
    "visual_factor": 1.00,
    "traffic_pce_factor": 1.00,
    "use_pup": False,
}

SCOOTER_CFG = {
    "name": "SCOOTER",
    "maps_mode": "driving",
    "maps_use_traffic": True,
    "capacity_stops": 65,
    "p_fail_home": P_FAIL_HOME,
    "p_fail_pup": P_FAIL_PUP,
    "p_fail_locker": P_FAIL_LOCKER,
    "cost_attempt_per_pkg": COST_ATTEMPT_PER_PKG,
    "cost_return_per_failed_pkg": COST_RETURN_PER_FAILED_PKG,
    "amort_eur_per_vehicle_day": 22.0,
    "energy_type": "fuel",
    "fuel_price_eur_l": 1.80,
    "consumption_l_100km": 3.0,
    "kgco2e_per_liter": 2.31,
    "curb_block_factor": 0.80,
    "visual_factor": 0.70,
    "traffic_pce_factor": 0.45,
    "use_pup": False,
}

EBIKE_CFG = {
    "name": "E_CARGO_BIKE",
    "maps_mode": "bicycling",
    "maps_use_traffic": False,
    "capacity_stops": 40,
    "p_fail_home": P_FAIL_HOME,
    "p_fail_pup": P_FAIL_PUP,
    "p_fail_locker": P_FAIL_LOCKER,
    "cost_attempt_per_pkg": COST_ATTEMPT_PER_PKG,
    "cost_return_per_failed_pkg": COST_RETURN_PER_FAILED_PKG,
    "amort_eur_per_vehicle_day": 18.0,
    "energy_type": "electric",
    "elec_price_eur_kwh": 0.25,
    "kwh_per_km": 0.020,
    "kgco2e_per_kwh": 0.20,
    "curb_block_factor": 0.60,
```

```
        "visual_factor": 0.50,
        "traffic_pce_factor": 0.20,
        "use_pup": False,
    }

    TRUNK_VAN_CFG = {
        "name": "VAN_TRUNK",
        "maps_mode": "driving",
        "maps_use_traffic": True,
        "capacity_stops": 999999,
        "p_fail_home": 0.0,
        "p_fail_pup": 0.0,
        "p_fail_locker": 0.0,
        "cost_attempt_per_pkg": 0.0,
        "cost_return_per_failed_pkg": 0.0,
        "amort_eur_per_vehicle_day": 30.0,
        "energy_type": "fuel",
        "fuel_price_eur_l": 1.80,
        "consumption_l_100km": 9.0,
        "kgco2e_per_liter": 2.68,
        "curb_block_factor": 1.00,
        "visual_factor": 1.00,
        "traffic_pce_factor": 1.00,
        "use_pup": False,
    }

    SEED = 12345

    base_8 = [
        {"name": "CENARIO_0_BASE_VANS_HOME", "type": "single", "use_pup": False,
"pct_pup": 0.0, "pct_failed_home_to_pup": 0.0, "vehicle_cfg": {**VAN_CFG, "use_pup":
False}},
        {"name": "CENARIO_1_VANS_WITH_PUP", "type": "single", "use_pup": True,
"pct_pup": PCT_DIRECT_TO_PUP, "pct_failed_home_to_pup": PCT_FAILED_HOME_TO_PUP,
"vehicle_cfg": {**VAN_CFG, "use_pup": True}},
        {"name": "CENARIO_2_EBIKES_HOME", "type": "single", "use_pup": False,
"pct_pup": 0.0, "pct_failed_home_to_pup": 0.0, "vehicle_cfg": {**EBIKE_CFG, "use_pup":
False}},
        {"name": "CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP", "type": "single", "use_pup": True,
"pct_pup": PCT_DIRECT_TO_PUP, "pct_failed_home_to_pup": PCT_FAILED_HOME_TO_PUP,
"vehicle_cfg": {**EBIKE_CFG, "use_pup": True}},
        {"name": "CENARIO_4_SCOOTERS_HOME", "type": "single", "use_pup": False,
"pct_pup": 0.0, "pct_failed_home_to_pup": 0.0, "vehicle_cfg": {**SCOOTER_CFG,
"use_pup": False}},
        {"name": "CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP", "type": "single", "use_pup": True,
"pct_pup": PCT_DIRECT_TO_PUP, "pct_failed_home_to_pup": PCT_FAILED_HOME_TO_PUP,
"vehicle_cfg": {**SCOOTER_CFG, "use_pup": True}},
        {
            "name": "CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP",
            "type": "hybrid",
            "use_pup": True,
            "pct_pup": PCT_DIRECT_TO_PUP,
            "pct_failed_home_to_pup": PCT_FAILED_HOME_TO_PUP,
```

```
            "motor_cfg": {**VAN_CFG, "use_pup": True},
            "bike_cfg": {**EBIKE_CFG, "use_pup": True},
        },
        {
            "name": "CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP",
            "type": "hybrid",
            "use_pup": True,
            "pct_pup": PCT_DIRECT_TO_PUP,
            "pct_failed_home_to_pup": PCT_FAILED_HOME_TO_PUP,
            "motor_cfg": {**SCOOTER_CFG, "use_pup": True},
            "bike_cfg": {**EBIKE_CFG, "use_pup": True},
        },
    ]

    scenarios_16 = []
    for b in base_8:
        scenarios_16.append({"base": b, "use_lockers": False, "pct_locker": 0.0})
    for b in base_8:
        bb = dict(b)
        bb["name"] = b["name"] + "_LOCKERS"
        scenarios_16.append({"base": bb, "use_lockers": True, "pct_locker":
PCT_DIRECT_TO_LOCKER})

    scenarios_32 = []
    rng_inc = random.Random(2027)
    for s in scenarios_16:
        scenarios_32.append({**s, "inclusion_enabled": False, "inclusion_share": 0.0})
    for s in scenarios_16:
        share = INCLUSION_SHARE_MIN + (INCLUSION_SHARE_MAX - INCLUSION_SHARE_MIN) *
rng_inc.random()
        s2 = {**s}
        s2["base"] = dict(s["base"])
        s2["base"]["name"] = s["base"]["name"] + "_INCLUSION"
        scenarios_32.append({**s2, "inclusion_enabled": True, "inclusion_share":
share})

    final_runs = []
    for wrap in scenarios_32:
        sc = wrap["base"]
        expanded = expand_microhub_variants([sc])
        for scx in expanded:
            final_runs.append({**wrap, "base": scx})

    ONLY_RUN_IF_CONTAINS = ""

    for wrap in final_runs:
        sc = wrap["base"]
        scenario_name = sc["name"]
        if ONLY_RUN_IF_CONTAINS and ONLY_RUN_IF_CONTAINS not in scenario_name:
            continue

        use_lockers = wrap["use_lockers"]
        pct_locker = wrap["pct_locker"]
```

```
        inclusion_enabled = wrap["inclusion_enabled"]
        inclusion_share = wrap["inclusion_share"]

        stops, meta = generate_stops(
            use_pup=sc["use_pup"],
            use_lockers=use_lockers,
            n_new=N_NEW,
            pct_time_windows=PCT_TW,
            pct_direct_to_pup=sc["pct_pup"],
            pct_direct_to_locker=pct_locker,
            tz_name="Europe/Lisbon",
            day_start_local=datetime(2026, 1, 21, 8, 0),
            depot_lat=DEPOT_LAT,
            depot_lon=DEPOT_LON,
            radius_km=6.0,
            service_home_min=SERVICE_HOME_MIN,
            pups=PUPS,
            lockers=LOCKERS,
            p_fail_home=P_FAIL_HOME,
            p_fail_pup=P_FAIL_PUP,
            p_fail_locker=P_FAIL_LOCKER,
            pup_base_service_min=PUP_BASE_SERVICE_MIN,
            pup_per_package_min=PUP_PER_PACKAGE_MIN,
            locker_base_service_min=LOCKER_BASE_SERVICE_MIN,
            locker_per_package_min=LOCKER_PER_PACKAGE_MIN,
            seed=SEED,
        )

        day_start_sim = meta["day_start"]
        day_end_sim = meta["day_end"]

        events_all = []
        fleet_summaries = []
        extra_meta = {}
        hubs_used_all = []

        def run_last_mile_fleet(vehicle_cfg, fleet_label, fleet_stops, depot_lat,
depot_lon):
            router = get_router(vehicle_cfg["maps_mode"],
vehicle_cfg["maps_use_traffic"])
            fallback_speed = 18.0 if vehicle_cfg["maps_mode"] == "bicycling" else 25.0
            return simulate_day_single_fleet(
                scenario=scenario_name,
                vehicle_cfg=vehicle_cfg,
                fleet_label=fleet_label,
                stops=fleet_stops,
                day_start=day_start_sim,
                day_end=day_end_sim,
                depot_lat=depot_lat,
                depot_lon=depot_lon,
                pct_failed_home_to_pup=sc.get("pct_failed_home_to_pup", 0.0),
                tourist_zones=TOURIST_ZONES,
                use_google_maps=USE_GOOGLE_MAPS,
```

```
                maps_router=router,
                fallback_speed_kmh=fallback_speed,
                seed=SEED,
                ensure_all_stops_attempted=True,
            )

        if sc["type"] == "single":
            vcfg = sc["vehicle_cfg"]
            ev, sm = run_last_mile_fleet(vcfg, vcfg["name"], stops, DEPOT_LAT,
DEPOT_LON)
            events_all.extend(ev)
            fleet_summaries.append(sm)
            extra_meta["microhubs_enabled"] = False
            extra_meta["microhubs_used"] = 0
        else:
            bike_stops, motor_stops, meta_alloc = allocate_stops_hybrid(
                stops=stops,
                depot_lat=DEPOT_LAT,
                depot_lon=DEPOT_LON,
                tourist_zones=TOURIST_ZONES,
                bike_radius_km=HYBRID_BIKE_RADIUS_KM,
                pup_to_motor=HYBRID_PUP_TO_MOTOR,
                lockers_to_motor=HYBRID_LOCKERS_TO_MOTOR,
            )
            extra_meta.update(meta_alloc)

            motor_cfg = sc["motor_cfg"]
            bike_cfg = sc["bike_cfg"]

            ev_m, sm_m = run_last_mile_fleet(motor_cfg, motor_cfg["name"],
motor_stops, DEPOT_LAT, DEPOT_LON)
            events_all.extend(ev_m)
            fleet_summaries.append(sm_m)

            ev_b, sm_b = run_last_mile_fleet(bike_cfg, bike_cfg["name"], bike_stops,
DEPOT_LAT, DEPOT_LON)
            events_all.extend(ev_b)
            fleet_summaries.append(sm_b)

        summary_total = aggregate_summaries(fleet_summaries)
        summary_total["scenario"] = scenario_name

        # Inclusion cost (scenario-level), exclude TRUNK fleets
        if inclusion_enabled:
            total_last_mile_vehicles = 0
            for fs in fleet_summaries:
                if fs.get("fleet_label") == "TRUNK":
                    continue
                total_last_mile_vehicles += int(fs.get("vehicles_used", 0) or 0)

            disadvantaged_workers = math.ceil(float(inclusion_share) *
total_last_mile_vehicles) if total_last_mile_vehicles else 0
```

```
            onboarding_total = float(RECRUIT_EUR_PER_WORKER + ONBOARD_EUR_PER_WORKER +
TRAIN_EUR_PER_WORKER)
            inclusion_cost_daily = disadvantaged_workers * (onboarding_total / max(1,
int(AMORT_DAYS)))

            summary_total["inclusion_enabled"] = True
            summary_total["inclusion_share_target"] = inclusion_share
            summary_total["inclusion_workers_est"] = disadvantaged_workers
            summary_total["inclusion_cost_daily_eur"] = inclusion_cost_daily

            prev_cost = float(summary_total.get("cost_total", 0.0) or 0.0)
            summary_total["cost_total"] = prev_cost + inclusion_cost_daily
        else:
            summary_total["inclusion_enabled"] = False
            summary_total["inclusion_share_target"] = 0.0
            summary_total["inclusion_workers_est"] = 0
            summary_total["inclusion_cost_daily_eur"] = 0.0

        inputs = {
            "scenario": scenario_name,
            "scenario_type": sc["type"],
            "use_pup": sc.get("use_pup", False),
            "use_lockers": use_lockers,
            "n_new": N_NEW,
            "pct_time_windows": PCT_TW,
            "pct_direct_to_pup": sc.get("pct_pup", 0.0),
            "pct_direct_to_locker": pct_locker,
            "pct_failed_home_to_pup": sc.get("pct_failed_home_to_pup", 0.0),
            "pups_count": len(PUPS),
            "lockers_count": len(LOCKERS),
            "use_google_maps": USE_GOOGLE_MAPS,
            "microhub_variant": str(sc.get("microhubs", {"mode": "NA"})),
            "microhubs_n_min": MICROHUBS_N_MIN,
            "microhubs_n_max": MICROHUBS_N_MAX,
            "microhubs_unload_min_per_pkg": MICROHUBS_UNLOAD_MIN_PER_PKG,
            "trunk_van_capacity_pkgs": TRUNK_VAN_CAPACITY_PKGS,
            "inclusion_enabled": inclusion_enabled,
            "inclusion_share": inclusion_share,
            "recruit_eur_per_worker": RECRUIT_EUR_PER_WORKER,
            "onboard_eur_per_worker": ONBOARD_EUR_PER_WORKER,
            "train_eur_per_worker": TRAIN_EUR_PER_WORKER,
            "amort_days": AMORT_DAYS,
            "seed": SEED,
            "only_run_filter": ONLY_RUN_IF_CONTAINS,
        }

        if sc["type"] == "single":
            add_cfg_to_inputs(inputs, sc["vehicle_cfg"], "vehicle.single")
        else:
            add_cfg_to_inputs(inputs, sc["motor_cfg"], "vehicle.motor")
            add_cfg_to_inputs(inputs, sc["bike_cfg"], "vehicle.bike")

        meta_out = {**meta, **extra_meta}
```

```
out_path = str(Path(BASE_DIR) / f"sim_{scenario_name}.xlsx")
export_xlsx(
    path=out_path,
    inputs_dict=inputs,
    pups=PUPS,
    lockers=LOCKERS,
    tourist_zones=TOURIST_ZONES,
    hubs=hubs_used_all,
    stops=stops,
    events=events_all,
    meta=meta_out,
    fleet_summaries=fleet_summaries,
    summary_total=summary_total,
)
print ("OK:", out_path)
```

Apêndice II - Dados de entrada na simulação Parâmetros gerais

Parâmetros	Definição	Métrica	Dados introduzidos
dias_amortizacao	Número de dias necessários para amortizar o custo dos veículos.	dias	90
cenario	Nome identificador do cenário simulado.	texto	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB
tipo_cenario	Tipo de cenário	texto	hybrid
semente_aleatoria	Semente aleatória para reprodutibilidade estatística da simulação.	Número inteiro	12345
filtro_execução	Filtro opcional para executar apenas parte do cenário	binário (0/1)	0
usar_google_maps	Utiliza a aplicação de mapas para tempos/distâncias.	booleano	Falso

Apêndice III - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Inclusão

Parâmetros	Definição	Métrica	Dados introduzidos
inclusao_ativa	Ativa ou desativa a lógica de inclusão	booleano	Verdadeiro
partilha_inclusao	Percentagem da operação que segue regras de inclusão.	%(percentagem)	35,09%

Apêndice IV - Dados de entrada na simulação Parâmetros de volume e procura

Parâmetros	Definição	Métrica	Dados introduzidos
n_encomendas_novas	Número de novas encomendas no dia.	(unidades/dia)	3000
taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	Percentagem de entregas com janelas horárias.	% (percentagem)	0,30

Parâmetro	Definição	Métrica	Dados introduzidos
usar_lockers	Ativa uso de lockers.	booleano	Verdadeiro
usar_pup	Ativa uso de PUP´s	booleano	Verdadeiro
percentagem_direta_para_locker	Percentagem enviada diretamente para lockers.	% (percentagem)	0,25
percentagem_direta_para_pup	Percentagem enviada diretamente para PUP´s	% (percentagem)	0,30
percentagem_falhas_domicílio_para_pup	Percentagem de falhas em home delivery redirecionadas para PUP.	% (percentagem)	1

Apêndice VI - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Infraestrutura - Lockers

Parâmetro	Definição	Métrica	Dados introduzidos
numero_lockers	Número total de lockers disponíveis	unidade	36

Apêndice VII - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Infraestrutura – PUP´s

Parâmetro	Definição	Métrica	Dados introduzidos
numero_pups	Número total de PUP´s disponíveis	unidades	10

Parâmetro	**Definição**	**Métrica**	**Dados introduzidos**
configuração_microhub	Configuração do microhub	booleano	Verdadeiro
numero_min_microhubs	Número mínimo de micro-hubs.	unidades	3
numero_max_microhubs	Número máximo de microhubs.	unidades	6
tempo_mínimo_descarga_por_encomenda	Tempo mínimo de descarga por encomenda num microhub (minutos).	(minutos/encomenda)	0,02
microhubs_ativos	Microhubs ativos no cenário.	booleano	Verdadeiro
microhubs_ativos_ebikes	Microhubs ativados para bicicletas	booleano	Verdadeiro
microhubs_ativos_vans	Microhubs ativados para vans	booleano	Falso
microhubs_utilizados_ebikes	Nº de microhubs efetivamente usados por bikes	unidades	6
microhubs_utilizados_vans	Nº de microhubs usados por vans	unidades	0

Apêndice IX - Dados de entrada na simulação Parâmetros Custos de recursos humanos

Parâmetros	Definição	Métrica	Dados introduzidos
custo_recrutamento_por_trabalhador	Custo de recrutamento por trabalhador.	(€/trabalhador)	250
custo_formacao_por_trabalhador	Custo de formação por trabalhador.	(€/trabalhador)	400
custo_integracao_por_trabalhador	Custo de onboarding por trabalhador.	(€/trabalhador)	150

Apêndice X - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Veículo – e-bike

Parâmetros	Definição	Métrica	Dados introduzidos
custo_amortização_diario_ebike	Custo diário amortizado por bicicleta	€ / veículo / dia	18
capacidade_paragens_ebikes	Nº máximo de paragens por rota	paragens	40
custo_tentativa_por_encomenda_ebikes	Custo por tentativa de entrega	€ / pacote	6
custo_devolucao_ebike	Custo por devolução	€ / pacote	2,5
fator_bloqueio_urbano_ebike	Fator de bloqueio urbano		0,6
custo_eletricidade_por_kwh	Preço da eletricidade	€ / kWh	0,25
tipo_energia_ebike	Tipo de energia	categoria	elétrica
emissoes_por_kwh	Emissões por kWh	kg CO_2e / kWh	0,2
consumo_kwh_por_km	Consumo energético	kWh / km	0,02
modo_roteamento_ebike	Modo de roteamento	texto	bicycling
considerar_trafego_ebike	Considera tráfego	booleano	FALSO
nome_ebike	Nome do veículo	texto	EBIKE
probabilidade_falha_domicilio_ebike	Prob. falha home	0–1	0,1
probabilidade_falha_locker_ebike	Prob. falha locker	0–1	0,002
probabilidade_falha_pup_ebike	Prob. falha PUP	0–1	0
fator_congestionamento_ebike	Fator congestionamento	%	0,2
pode_servir_pup_ebike	Pode servir PUP	booleano	VERDADEIRO
impacto_visual_ebike	Impacto urbano	adimensional	0,5

Apêndice XI - Dados de entrada na simulação Parâmetros de Veículo – Van

Parâmetros	Definição	Métrica	Dados introduzidos
veiculo.custo_amortização_diário_van	Custo diário amortizado	€ / veículo / dia	35
veiculo.capacidade_paragens_van	N° paragens por rota	paragens	90
veiculo.consumo_litros_100km	Consumo	L / 100 km	10
veiculo.custo_tentativa_por_encomenda_van	Custo tentativa	€ / pacote	6
veiculo.custo_devolução_van	Custo retorno	€ / pacote	2,5
veiculo.fator_bloqueio_urbano_van	Fator bloqueio urbano	adimensional	1
veiculo.tipo_energia_van	Tipo energia	categoria	fuel
veiculo.preço_combustível_por_litro	Preço combustível	€ / L	1,8
veiculo.emissões_por_litro	Emissões	kg CO_2e / L	2,68
veiculo.modo_roteamento_van	Roteamento	texto	driving
veiculo.considerar_tráfego_van	Usa tráfego	booleano	Verdadeiro
veiculo.nome_van	Nome	texto	VAN
veiculo.probabilidade_falha_domicílio_van	Prob. falha home	0-1	0,1
veiculo.probabilidade_falha_locker_van	Prob. falha locker	0-1	0,002
veiculo.taxa_falha_ponto_recolha	Prob. Falha PUP	0-1	0
veiculo.fator_congestionamento_van	Fator congestionamento	0-1	1
veiculo.pode_servir_pup_van	Pode servir de PUP	booleano	Verdadeiro
veiculo.impacto_visual_van	Impacto urbano	0-1	1

Parâmetros	Definição	Métrica	Dados introduzidos
custo_amortizacao_diario_van	Custo diário amortizado	€ / veículo / dia	30
capacidade_paragens_van	N° máximo de paragens	paragens	999999
consumo_litros_100km	Consumo	L / 100 km	9
custo_tentativa_por_encomenda_van	Custo tentativa	€ / pacote	0
custo_devolucao_van	Custo retorno	€ / pacote	0
fator_bloqueio_urbano_van	Fator urbano	adimensional	1
tipo_energia_van	Tipo energia	categoria	fuel
preço_combustivel_por_litro	Preço combustível	€ / L	1,8
emissoes_por_litro	Emissões	kg CO_2e / L	2,68
modo_roteamento_van	Routing	texto	driving
considerar_trafego_van	Usa tráfego	Booleano	Verdadeiro
nome_van	Nome	texto	VAN_TRUNK
probabilidade_falha_domicilio_van	Prob. falha home	0-1	0
probabilidade_falha_locker_van	Prob. falha locker	0-1	0
probabilidade_falha_pup_van	Prob. falha PUP	0-1	0
fator_congestionamento_van	Fator congestionamento	0-1	1
pode_servir_pup_van	Pode servir PUP	Booleano	Falso
impacto_visual_van	Impacto urbano	0-1	1
capacidade_encomendas_trunk	Capacidade da van de encomendas	N° de encomendas	600

Apêndice XIII- Dados de entrada na simulação Parâmetros de Meta (resultados intermédios)

Meta (resultados intermédios)	Definição	Métrica	Dados introduzidos
meta.inicio_dia_operacional	Início do dia operacional.	Hora do dia	2026-01-21 8:00:00
meta.fim_dia_operacional	Fim do dia operacional	Hora do dia	2026-01-21 18:00:00
meta.backlog_inicial_total	Backlog inicial	Nº encomendas	144
meta.encomendas_domicilio_dia	Encomendas home delivery no dia.	Nº encomendas	1347
meta.paragens_domicilio	Número de paragens em home delivery	Nº paragens	1347
meta. encomendas_locker_dia	Encomendas locker no dia.	Nº encomendas	772
meta.paragens_locker	Paragens em lockers.	Nº paragens	36
meta.encomendas_pup_dia	Encomendas PUP no dia.	Nº encomendas	1025
meta.paragens_pup	Número de paragens em PUP.	Nº paragens	10
meta.encomendas_atribuidas_ebike	Pacotes atribuídos a bicicletas	Nºencomendas	220
meta.paragens_ebike	Paragens atribuídos a bicicletas	Nº paragens	349
meta.encomendas_atribuidas_van	Pacotes atribuídos a vans	Nºencomendas	2924
meta.paragens_van	Paragens atribuídos a vans	Nº paragens	1780

Apêndice XIV- Dados de entrada na simulação de Percentagens efetivas

Parâmetro	Definição	Métrica	Dados introduzidos
meta.percentagem_real_locker	Percentagem real enviada para lockers.	%	0
meta.percentagem_real_pup	Percentagem real enviada para PUP.	%	0,3
meta.percentagem_falhas_para_backlog	Percentagem de falhas contabilizada para backlog.	%	0,07

Apêndice XV- Resultados código Python do CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_INCLUSION, CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION, CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS e CENARIO_1_VANS_WITH_PUP

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_INCLUSION	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	24	16	16	24
	tipo_de_veículo	VAN	VAN	VAN	VAN
	identificador_da_frota	VAN	VAN	VAN	VAN
	número_de_paragens	2129	1393	1393	2129
Entregas	encomendas_tentadas	725	495	495	725
	encomendas_entregues	646	441	441	646
	encomendas_falhadas	79	54	54	79
	taxa_de_falha_encomendas	0,108965517	0,109090909	0,109090909	0,108965517
	encomendas_com_janela_temporal	619	399	399	619
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,910189983	0,918353105	0,918353105	0,910189983
Distância e Tempo	quilómetros_totais	4352,582142	2828,771481	2828,771481	4352,582142
	horas_totais_condução	174,0038889	113,0819444	113,0819444	174,0038889
	horas_totais_serviço	48,33333333	31,6625	31,6625	48,33333333
	horas_totais_espera	21,825	17,36722222	17,36722222	21,825
	quilómetros_adicionados_veículo	4352,582142	2828,771481	2828,771481	4352,582142
	horas_adicionadas_veículo	174,0038889	113,0819444	113,0819444	174,0038889
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	4352,582142	2828,771481	2828,771481	174,0038889
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	174,0038889	113,0819444	113,0819444	174,0038889
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	70,15833333	49,02972222	49,02972222	70,15833333
	horas_ocupação_berma_turística	2,299444444	0,333333333	0,333333333	2,299444444
	índice_total_poluição_visual	467,168	64,68	64,68	467,168
	CO2_total_kg	1166,492014	758,110757	758,110757	1166,492014
	litros_totais	435,2582142	282,8771481	282,8771481	435,2582142
	kWh_totais	0	0	0	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	783,4647856	509,1788666	509,1788666	783,4647856
	custo_total_tentativas	4350	2970	2970	4350
	custo_total_devoluções	197,5	135	135	197,5
	custo_total_amortização	840	560	560	840
	custo_total	6170,964786	4174,178867	4174,178867	6170,964786
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	79	54	54	79
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	88,88888889	53,33333333	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0,392810409	0,35533629	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	10	6	0	0

Apêndice XVI- Resultados código Python do CENARIO_2_EBIKES_HOME_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_2_EBIKES_HOME_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_2_EBIKES_HOME_INCLUSION_MICROHUB							CENARIO_2_EBIKES_HOME_INCLUSION_NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	6	17	5	20	30	11	4	84
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	E_CARGO_BIKE@S-H01	E_CARGO_BIKE@S-H02	E_CARGO_BIKE@S-H03	E_CARGO_BIKE@S-H04	E_CARGO_BIKE@S-H05	E_CARGO_BIKE@S-H06	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	6	672	182	774	1165	409	132	3334
Entregas	encomendas_tentadas	3334	493	153	561	843	319	129	1776
	encomendas_entregues	3334	437	134	496	745	280	114	1585
	encomendas_falhadas	0	56	19	65	98	39	15	191
	taxa_de_falha_encomendas	0,050068587							0,107545045
	encomendas_com_janela_temporal	0	212	50	218	343	126	41	991
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,980827447							0,980827447
Distância e Tempo	quilómetros_totais	5611,98083	1172,356556	156,7172826	1241,421312	2251,520878	583,8404006	115,1537377	8980,210593
	horas_totais_condução	309,404167	65,06416667	8,686666667	68,88694444	124,9672222	32,38888889	6,379166667	498,6530556
	horas_totais_serviço	167,643889	32,86666667	10,2	37,4	56,2	21,26666667	8,6	118,4
	horas_totais_espera	401,744444	73,07777778	31,35555556	95,94166667	120,7094444	57,04472222	23,61527778	233,0391667
	quilómetros_adicionados_veículo	5611,98083	1172,356556	156,7172826	1241,421312	2251,520878	583,8404006	115,1537377	8980,210593
	horas_adicionadas_veículo	309,404167	65,06416667	8,686666667	68,88694444	124,9672222	32,38888889	6,379166667	498,6530556
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	3,031111	234,4713111	31,34345652	248,2842625	450,3041756	116,7680801	23,03074754	99,73061111
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	3,031111	13,01283333	1,737333333	13,77738889	24,99344444	6,477777778	1,275833333	498,6530556
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,110556	63,56666667	24,93333333	80,005	106,1456667	46,98683333	19,32916667	210,8635
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0	3,858	0	0	2,093166667
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	0	407,54625	0	0	162,7764
	CO2_total_kg	21,94212	4,689426222	0,62686913	4,965685249	8,990864429	2,335361602	0,45493143	35,92084237
	litros_totais	8,187359	8,187359362	8,187359362	8,187359362	8,187359362	8,187359362	8,187359362	0
	kWh_totais	0	23,44713111	3,134345652	24,82842625	44,95432214	11,67680801	2,274657149	179,6042119
	tipo_de_energia	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	14,73725	5,861782778	0,783586413	6,207106562	11,23858054	2,919202003	0,568664287	44,90105297
	custo_total_tentativas	0	2958	918	3366	5058	1914	774	10656
	custo_total_devoluções	0	140	47,5	162,5	245	97,5	37,5	477,5
	custo_total_amortização	180	306	90	360	540	198	72	1512
	custo_total	194,73725	3409,861783	1056,283586	3894,707107	5854,238581	2212,419202	884,0686643	12690,40105
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	19	19	65	98	39	15	191
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	240	240	240	240	240	240	240	231,1111111
	meta_percentagem_inclusão	0,30271289	0,302712894	0,302712894	0,302712894	0,302712894	0,302712894	0,302712894	0,302712894
	trabalhadores_inclusão_estimados	27	27	27	27	27	27	27	26

Apêndice XVII- Resultados código Python dos cenários CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB				CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	3	27	15	23	64
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	E_CARGO_BIKE@S-H0	E_CARGO_BIKE@S-H0	E_CARGO_BIKE@S-H0	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	3	1071	593	893	2557
Entregas	encomendas_tentadas	3245	800	510	658	1545
	encomendas_entregues	3245	733	461	597	1394
	encomendas_falhadas	0	67	49	61	151
	taxa_de_falha_encomendas	0,033953578				0,097734628
	encomendas_com_janela_temporal	0	319	186	256	761
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,968462549				0,968462549
Distância e Tempo	quilómetros_totais	76,1736784	2156,192512	1108,750668	1848,954739	6854,52138
	horas_totais_condução	2,537222222	119,6927778	61,54055556	102,6436111	380,6194444
	horas_totais_serviço	1,081388889	45,11222222	27,80472222	37,40972222	90,31277778
	horas_totais_espera	0	107,8438889	62,29472222	92,22694444	176,0163889
	quilómetros_adicionados_veículo	76,1736784	2156,192512	1108,750668	1848,954739	6854,52138
	horas_adicionadas_veículo	2,537222222	119,6927778	61,54055556	102,6436111	380,6194444
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	76,1736784	431,2385024	221,7501336	369,7909478	1370,904276
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	2,537222222	23,93855556	12,30811111	20,52872222	76,12388889
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,081388889	91,77366667	54,05966667	77,782	159,7975
	horas_ocupação_berma_turística	0	0,7975	0	0	1,3545
	índice_total_poluição_visual	0	78,204	0	0	115,17375
	CO2_total_kg	18,37309123	8,624770048	4,435002673	7,395818956	27,41808552
	litros_totais	6,855631056	6,855631056	6,855631056	6,855631056	0
	kWh_totais	102,2779584	43,12385024	22,17501336	36,97909478	137,0904276
	tipo_de_energia	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	12,3401359	10,78096256	5,543753341	9,244773695	34,2726069
	custo_total_tentativas	0	4800	3060	3948	9270
	custo_total_devoluções	0	167,5	122,5	152,5	377,5
	custo_total_amortização	90	486	270	414	1152
	custo_total	102,3401359	5464,280963	3458,043753	4523,744774	10833,77261
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	67	49	61	150
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	1
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	257,7777778	257,7777778	257,7777778	257,7777778	248,8888889
	meta_percentagem_inclusão	0,437355197	0,437355197	0,437355197	0,437355197	0,437355197
	trabalhadores_inclusão_estimados	29	29	29	29	28

Apêndice XVIII- Resultados código Python dos cenários CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_MICROHUB e CENARIO_2_EBIKES_HOME_MICROHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_MICROHUB							CENARIO_2_EBIKES_HOME_MICROHUB			
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	6	8	10	16	15	7	11	3	24	43	17
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	_CARGO_BIKE@S-H(	_CARGO_BIKE@S-H(	_CARGO_BIKE@S-H(	_CARGO_BIKE@S-H(	CARGO_BIKE@S-HE	_CARGO_BIKE@S-H06	TRUNK	E_CARGO_BIKE@S-H01	E_CARGO_BIKE@S-H02	E_CARGO_BIKE@S-H03
	número_de_paragens	6	293	391	616	592	256	409	3	945	1711	678
Entregas	encomendas_tentadas	3245	281	340	554	512	265	353	3334	593	983	497
	encomendas_entregues	3245	255	303	501	462	238	321	3334	523	868	441
	encomendas_falhadas	0	26	37	53	50	27	32	0	70	115	56
	taxa_de_falha_encomendas	0,040540541							0,044571851			
	encomendas_com_janela_temporal	0	89	114	195	178	78	107	0	287	507	195
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,968462549							0,980827447			
Distância e Tempo	quilómetros_totais	66,3420066	410,7628618	583,0028322	1103,997582	933,5216733	381,8643216	609,2571434	58,21024123	1888,66497	4144,327769	1150,231963
	horas_totais_condução	2,21	22,78666667	32,34638889	61,26777778	51,80194444	21,18416667	33,80944444	1,938333333	104,8433333	230,1069444	63,83305556
	horas_totais_serviço	1,081388889	15,99305556	19,73027778	31,12611111	27,96861111	14,37277778	18,70638889	1,111111111	39,53333333	65,53333333	33,13333333
	horas_totais_espera	0	41,47166667	48,20222222	68,74472222	71,63138889	35,15527778	58,32444444	0	97,79972222	141,2963889	74,22583333
	quilómetros_adicionados_veículo	66,3420066	410,7628618	583,0028322	1103,997582	933,5216733	381,8643216	609,2571434	58,21024123	1888,66497	4144,327769	1150,231963
	horas_adicionadas_veículo	2,21	22,78666667	32,34638889	61,26777778	51,80194444	21,18416667	33,80944444	1,938333333	104,8433333	230,1069444	63,83305556
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	66,3420066	82,15257236	116,6005664	220,7995164	186,7043347	76,37286433	121,8514287	58,21024123	377,732994	828,8655538	230,0463926
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	2,21	4,557333333	6,469277778	12,25355556	10,36038889	4,236833333	6,761888889	1,938333333	20,96866667	46,02138889	12,76661111
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,081388889	34,47883333	40,7595	59,9225	59,76	29,71683333	46,2185	1,111111111	82,39983333	124,0978333	64,4155
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	3,406333333	0	0	0	0	0	0	1,904	0
	índice_total_poluição_visual	0	0	341,56785	0	0	0	0	0	0	179,0493	0
	CO2_total_kg	16,00169199	1,634892055	2,317053617	4,409260474	3,734086693	1,527457287	2,437028574	14,04031018	7,554659879	16,57731108	4,600927851
	litros_totais	5,970780594	5,970780594	5,970780594	5,970780594	5,970780594	5,970780594	5,970780594	5,238921711	5,238921711	5,238921711	5,238921711
	kWh_totais	80,2988935	8,174460275	11,58526808	22,04630237	18,67043347	7,637286433	12,18514287	143,664494	37,7732994	82,88655538	23,00463926
	tipo_de_energia	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	combustível	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	10,74740507	2,043615069	2,896317021	5,511575593	4,667608367	1,909321608	3,046285717	9,430059079	9,443324849	20,72163885	5,751159814
	custo_total_tentativas	0	1686	2040	3324	3072	1590	2118	0	3558	5898	2982
	custo_total_devoluções	0	65	92,5	132,5	125	67,5	80	0	175	287,5	140
	custo_total_amortização	180	144	180	288	270	126	198	90	432	774	306
	custo_total	190,7474051	1897,043615	2315,396317	3750,011576	3471,667608	1785,409322	2399,046286	99,43005908	4174,443325	6980,221639	3433,75116
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	26	37	53	50	27	32	0	70	115	56
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Apêndice XIX Resultados código Python dos CENARIO_2_EBIKES_HOME_NOHUB, CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_NOHUB e CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_2_EBIKES_HOME_NOHUB	CENARIO_2_EBIKES_HOME_LOCKERS_NOHUB	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_INCLUSION_NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	84	64	54
	tipo_de_veículo	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	3334	2557	2129
Entregas	encomendas_tentadas	1776	1545	1321
	encomendas_entregues	1585	1394	1191
	encomendas_falhadas	191	151	130
	taxa_de_falha_encomendas	0,107545045	0,097734628	0,098410295
	encomendas_com_janela_temporal	991	761	829
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,980827447	0,968462549	0,992515832
Distância e Tempo	quilómetros_totais	8980,210593	6854,52138	5651,548135
	horas_totais_condução	498,6530556	380,6194444	313,8175
	horas_totais_serviço	118,4	90,31277778	75,46444444
	horas_totais_espera	233,0391667	176,0163889	157,4502778
	quilómetros_adicionados_veículo	8980,210593	6854,52138	5651,548135
	horas_adicionadas_veículo	498,6530556	380,6194444	313,8175
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	1796,042119	1370,904276	1130,309627
	horas_atraso_tráfego	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	99,73061111	76,12388889	62,7635
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	210,8635	159,7975	139,7488333
	horas_ocupação_berma_turística	2,093166667	1,3545	1,631666667
	índice_total_poluição_visual	162,7764	115,17375	166,62675
	CO2_total_kg	35,92084237	27,41808552	22,60619254
	litros_totais	0	0	0
	kWh_totais	179,6042119	137,0904276	113,0309627
	tipo_de_energia	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	44,90105297	34,2726069	28,25774067
	custo_total_tentativas	10656	9270	7926
	custo_total_devoluções	477,5	377,5	325
	custo_total_amortização	1512	1152	972
	custo_total	12690,40105	10833,77261	9251,257741
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	191	150	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	1	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	0	130
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	177,7777778
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0,364496316
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	20

Apêndice XX - Resultados código Python dos cenários CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_INCLUSION_MICROHUB					CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB					
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	4	16	12	16	12	5	18	2	10	3	4
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	_CARGO_BIKE@S-H0	ARGO_BIKE@S-	ARGO_BIKE@S-	E_CARGO_BIKE@S-H02	TRUNK	E_CARGO_BIKE@S-H01	E_CARGO_BIKE@S-H02	E_CARGO_BIKE@S-H03	E_CARGO_BIKE@S-H04	E_CARGO_BIKE@S-H05
	número_de_paragens	4	620	455	620	455	5	710	56	374	111	142
Entregas	encomendas_tentadas	3226	708	563	708	563	3144	655	96	712	262	145
	encomendas_entregues	3226	664	524	664	524	3144	603	90	681	250	135
	encomendas_falhadas	0	44	39	44	39	0	52	6	31	12	10
	taxa_de_falha_encomendas	0,028779473					0,022138014					
	encomendas_com_janela_temporal	0	533	370	533	370	0	306	20	427	124	40
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,992515832					0,99162596					
Distância e Tempo	quilómetros_totais	71,77105868	1244,573923	786,9071755	1244,573923	786,9071755	58,54687865	1571,398274	62,10152647	614,7123618	112,6768466	204,5417012
	horas_totais_condução	2,39	69,08861111	43,67083333	69,08861111	43,67083333	1,948888889	87,23916667	3,4425	34,11388889	6,246666667	11,34972222
	horas_totais_serviço	1,074722222	25,54833333	22,34444444	25,54833333	22,34444444	1,0475	29,4675	3,725	17,87777778	6,791111111	6,730555556
	horas_totais_espera	0	67,10638889	54,84222222	67,10638889	54,84222222	0	65,28944444	11,90611111	48,79972222	16,83722222	22,33722222
	quilómetros_adicionados_veículo	71,77105868	1244,573923	786,9071755	1244,573923	786,9071755	58,54687865	1571,398274	62,10152647	614,7123618	112,6768466	204,5417012
	horas_adicionadas_veículo	2,39	69,08861111	43,67083333	69,08861111	43,67083333	1,948888889	87,23916667	3,4425	34,11388889	6,246666667	11,34972222
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	71,77105868	248,9147845	157,3814351	248,9147845	157,3814351	58,54687865	314,2796549	12,42030529	122,9424724	22,53536931	40,90834024
	horas_atraso_tráfego	2,39	13,81772222	8,734166667	13,81772222	8,734166667	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	0	0	0	0	0	1,948888889	17,44783333	0,6885	6,822777778	1,249333333	2,269944444
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,074722222	55,59283333	46,312	55,59283333	46,312	1,0475	56,85416667	9,378666667	40,0065	14,177	17,44066667
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	2,301	0	2,301	0	0,972833333	0	0	0	0
	índice_total_poluição_visual	0	0	192,8031	0	192,8031	0	101,2116	0	0	0	0
	CO2_total_kg	17,31117935	4,97829569	3,147628702	4,97829569	3,147628702	14,12150713	6,285593098	0,246674932	2,458849447	0,445105305	0,818166805
	litros_totais	6,459395281	0	0	0	0	5,269219079	0	0	0	0	0
	kWh_totais	0	24,89147845	15,73814351	24,89147845	15,73814351	0	31,42796549	1,233374662	12,29424724	2,225526524	4,090834024
	tipo_de_energia	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	11,62691151	6,222869613	3,934535878	6,222869613	3,934535878	9,484594342	7,856991372	0,308343665	3,073561809	0,556381631	1,022708506
	custo_total_tentativas	0	4248	3378	4248	3378	0	3930	576	4272	1572	870
	custo_total_devoluções	0	110	97,5	110	97,5	0	130	15	77,5	30	25
	custo_total_amortização	120	288	216	288	216	150	324	36	180	54	72
	custo_total	131,6269115	4652,22287	3695,434536	4652,22287	3695,434536	159,4845943	4391,856991	627,3083437	4532,573562	1656,556382	968,0227085
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	44	39	44	39	0	52	6	31	12	10
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	186,6666667	186,6666667	186,6666667	186,6666667	186,6666667	106,6666667	106,6666667	106,6666667	106,6666667	106,6666667	106,6666667
	meta_percentagem_inclusão	0,364496316	0,364496316	0,364496316	0,364496316	0,364496316	0,31532426	0,31532426	0,31532426	0,31532426	0,31532426	0,31532426
	trabalhadores_inclusão_estimados	21	21	21	21	21	12	12	12	12	12	12

Apêndice XXI - Resultados código Python do CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB					
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	5	11	8	1	4	14
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	E_CARGO_BIKE@S-H01	E_CARGO_BIKE@S-H02	E_CARGO_BIKE@S-H03	E_CARGO_BIKE@S-H04	E_CARGO_BIKE@S-H05
	número_de_paragens	5	420	299	19	128	527
Entregas	encomendas_tentadas	3144	484	313	19	247	434
	encomendas_entregues	3144	457	287	17	235	394
	encomendas_falhadas	0	27	26	2	12	40
	taxa_de_falha_encomendas	0,023055376					
	encomendas_com_janela_temporal	0	317	188	9	130	161
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,99162596					
Distância e Tempo	quilómetros_totais	108,6900478	860,0664732	651,4479556	18,09268444	162,0448948	1163,765246
	horas_totais_condução	3,620555556	47,75194444	36,1675	1,002222222	8,988888889	64,61194444
	horas_totais_serviço	1,047222222	15,61805556	12,70777778	1,266666667	7,068333333	21,36611111
	horas_totais_espera	0	48,30777778	32,21138889	6,513888889	24,19416667	55,97472222
	quilómetros_adicionados_veículo	108,6900478	860,0664732	651,4479556	18,09268444	162,0448948	1163,765246
	horas_adicionadas_veículo	3,620555556	47,75194444	36,1675	1,002222222	8,988888889	64,61194444
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	108,6900478	172,0132946	130,2895911	3,618536889	32,40897896	232,7530492
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	3,620555556	9,550388889	7,2335	0,200444444	1,797777778	12,92238889
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,047222222	38,3555	26,9515	4,668333333	18,7575	46,4045
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	2,261333333	0	0	0
	índice_total_poluição_visual	0	0	203,1207	0	0	0
	CO2_total_kg	26,21603952	3,440265893	2,605791822	0,068435307	0,648179579	4,655060983
	litros_totais	9,7821043	0	0	0	0	0
	kWh_totais	0	17,20132946	13,02895911	0,342176533	3,240897896	23,27530492
	tipo_de_energia	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	17,60778774	4,300332366	3,257239778	0,085544133	0,810224474	5,818826229
	custo_total_tentativas	0	2904	1878	114	1482	2604
	custo_total_devoluções	0	67,5	65	5	30	100
	custo_total_amortização	150	198	144	18	72	252
	custo_total	167,6077877	3173,800332	2090,25724	137,0855441	1584,810224	2961,818826
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	27	26	2	12	40
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	0	0

Apêndice XXII - Resultados código Python do CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_MICROHUB e CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_MICROHUB						CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	5	19	6	5	10	16	35
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	E_CARGO_BIKE@S-H01	E_CARGO_BIKE@S-H02	E_CARGO_BIKE@S-H03	E_CARGO_BIKE@S-H04	E_CARGO_BIKE@S-H05	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	5	749	219	169	386	606	1393
Entregas	encomendas_tentadas	3226	727	176	253	395	504	1269
	encomendas_entregues	3226	669	152	235	356	454	1194
	encomendas_falhadas	0	58	24	18	39	50	75
	taxa_de_falha_encomendas	0,035788676						0,059101655
	encomendas_com_janela_temporal	0	433	61	148	210	300	685
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,992515832						0,99162596
Distância e Tempo	quilómetros_totais	85,52119384	1402,503492	276,5982538	188,604974	579,5092151	1143,008165	3647,347618
	horas_totais_condução	2,847777778	77,84333333	15,3425	10,45555556	32,15583333	63,44472222	202,5311111
	horas_totais_serviço	1,074722222	34,76527778	11,73333333	10,33916667	19,93527778	27,0725	49,83055556
	horas_totais_espera	0	78,80527778	33,32416667	29,46222222	48,74805556	71,14944444	101,5833333
	quilómetros_adicionados_veículo	85,52119384	1402,503492	276,5982538	188,604974	579,5092151	1143,008165	3647,347618
	horas_adicionadas_veículo	2,847777778	77,84333333	15,3425	10,45555556	32,15583333	63,44472222	202,5311111
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	85,52119384	280,5006984	55,31965075	37,7209948	115,901843	228,601633	729,4695235
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	2,847777778	15,56866667	3,0685	2,091111111	6,431166667	12,68894444	40,50622222
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,074722222	68,14233333	27,0345	23,88083333	41,21	58,93316667	90,84833333
	horas_ocupação_berma_turística	0	3,3695	0	0	0	0,24	1,1565
	índice_total_poluição_visual	0	345,1503	0	0	0	24,6	115,9392
	CO2_total_kg	20,62771195	5,597055237	1,106393015	0,746685344	2,318036861	4,57203266	14,58939047
	litros_totais	7,696907446	0	0	0	0	0	0
	kWh_totais	0	27,98527618	5,531965075	3,733426722	11,5901843	22,8601633	72,94695235
	tipo_de_energia	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	13,8544334	6,996319046	1,382991269	0,933356681	2,897546076	5,715040825	18,23673809
	custo_total_tentativas	0	4362	1056	1518	2370	3024	7614
	custo_total_devoluções	0	145	60	45	97,5	125	187,5
	custo_total_amortização	150	342	108	90	180	288	630
	custo_total	163,8544334	4855,996319	1225,382991	1653,933357	2650,397546	3442,715041	8449,736738
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	1
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	58	24	18	39	50	74
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	0	0	106,6666667
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0	0	0,31532426
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	0	0	12

Apêndice XXIII - Resultados código Python do CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB e CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	35	54
	tipo_de_veículo	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	1393	2129
Entregas	encomendas_tentadas	1269	1321
	encomendas_entregues	1194	1191
	encomendas_falhadas	75	130
	taxa_de_falha_encomendas	0,059101655	0,098410295
	encomendas_com_janela_temporal	685	829
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,99162596	0,992515832
Distância e Tempo	quilómetros_totais	3647,347618	5651,548135
	horas_totais_condução	202,5311111	313,8175
	horas_totais_serviço	49,83055556	75,46444444
	horas_totais_espera	101,5833333	157,4502778
	quilómetros_adicionados_veículo	3647,347618	5651,548135
	horas_adicionadas_veículo	202,5311111	313,8175
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	729,4695235	1130,309627
	horas_atraso_tráfego	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	40,50622222	62,7635
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	90,84833333	139,7488333
	horas_ocupação_berma_turística	1,1565	1,631666667
	índice_total_poluição_visual	115,9392	166,62675
	CO2_total_kg	14,58939047	22,60619254
	litros_totais	0	0
	kWh_totais	72,94695235	113,0309627
	tipo_de_energia	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	18,23673809	28,25774067
	custo_total_tentativas	7614	7926
	custo_total_devoluções	187,5	325
	custo_total_amortização	630	972
	custo_total	8449,736738	9251,257741
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	1	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	74	130
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0

Apêndice XXIV - Resultados código Python do CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_INCLUSION_MICROHUB				CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB						
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	3	25	11	17	6	9	6	4	7	9	6
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	identificador_da_frota	TRUNK	SCOOTER@S-H01	SCOOTER@S-H02	SCOOTER@S-H03	TRUNK	SCOOTER@S-H01	SCOOTER@S-H02	SCOOTER@S-H03	SCOOTER@S-H04	SCOOTER@S-H05	SCOOTER@S-H0
	número_de_paragens	3	1602	683	1049	6	569	371	243	436	579	359
Entregas	encomendas_tentadas	3334	845	413	572	3245	397	273	173	305	386	271
	encomendas_entregues	3334	747	361	506	3245	355	246	155	274	341	241
	encomendas_falhadas	0	98	52	66	0	42	27	18	31	45	30
	taxa_de_falha_encomendas	0,04182804				0,038217822						
	encomendas_com_janela_temporal	0	475	214	302	0	176	110	68	130	176	100
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,881937437				0,889618922						
Distância e Tempo	quilómetros_totais	56,15176735	3197,717924	1114,346591	2008,608639	60,64878741	788,2184202	431,8486859	246,5631601	571,2031067	868,8774597	478,5216682
	horas_totais_condução	1,868888889	127,7930556	44,51722222	80,26638889	2,018888889	31,48055556	17,24166667	9,841388889	22,8125	34,70388889	19,11083333
	horas_totais_serviço	1,110833333	56,33333333	27,53333333	38,13333333	1,080833333	22,71555556	15,525	10,13055556	17,30083333	23,90777778	15,71833333
	horas_totais_espera	0	67,68611111	39,00083333	52,93194444	0	36,36416667	27,60361111	20,23972222	30,31444444	32,15166667	25,53444444
	quilómetros_adicionados_veículo	56,15176735	3197,717924	1114,346591	2008,608639	60,64878741	788,2184202	431,8486859	246,5631601	571,2031067	868,8774597	478,5216682
	horas_adicionadas_veículo	1,868888889	127,7930556	44,51722222	80,26638889	2,018888889	31,48055556	17,24166667	9,841388889	22,8125	34,70388889	19,11083333
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	56,15176735	1438,973066	501,4559659	903,8738875	60,64878741	354,6982891	194,3319087	110,953422	257,041398	390,9948568	215,3347507
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	1,868888889	57,506875	20,03275	36,119875	2,018888889	14,16625	7,75875	4,428625	10,265625	15,61675	8,599875
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,110833333	99,21555556	53,22733333	72,85222222	1,080833333	47,26377778	34,50288889	24,29622222	38,09222222	44,84755556	33,00222222
	horas_ocupação_berma_turística	0	0,808444444	0	1,024	0	1,276222222	0	0	0	1,726444444	0
	índice_total_poluição_visual	0	116,87704	0	133,371	0	178,80604	0	0	0	247,31224	0
	CO2_total_kg	13,54380628	221,6018521	77,22421875	139,1965787	14,62848752	54,62353652	29,92711393	17,086827	39,5843753	60,21320795	33,16155161
	litros_totais	5,053659061	95,93153772	33,43039773	60,25825917	5,458390867	23,6465526	12,95546058	7,396894803	17,1360932	26,06632379	14,35565005
	kWh_totais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	9,096586311	172,6767679	60,17471591	108,4648665	9,82510356	42,56379469	23,31982904	13,31441065	30,84496776	46,91938282	25,84017008
	custo_total_tentativas	0	5070	2478	3432	0	2382	1638	1038	1830	2316	1626
	custo_total_devoluções	0	245	130	165	0	105	67,5	45	77,5	112,5	75
	custo_total_amortização	90	550	242	374	180	198	132	88	154	198	132
	custo_total	99,09658631	6037,676768	2910,174716	4079,464867	189,8251036	2727,563795	1860,819829	1184,314411	2092,344968	2673,419383	1858,84017
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	98	52	66	0	42	27	18	31	44	30
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	186,6666667	186,6666667	186,6666667	186,6666667	160	160	160	160	160	160	160
	meta_percentagem_inclusão	0,381216977	0,381216977	0,381216977	0,381216977	0,432044045	0,432044045	0,432044045	0,432044045	0,432044045	0,432044045	0,432044045
	trabalhadores_inclusão_estimados	21	21	21	21	18	18	18	18	18	18	18

Apêndice XXV - Resultados código Python do CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_MICROHUB, CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_INCLUSION_NOHUB e CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_MICROHUB				CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_INCLUSION_NOHUB	CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	3	9	16	16	52	40
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	identificador_da_frota	TRUNK	SCOOTER@S-H01	SCOOTER@S-H02	SCOOTER@S-H03	SCOOTER	SCOOTER
	número_de_paragens	3	567	1009	981	3334	2557
Entregas	encomendas_tentadas	3245	351	605	516	1506	1334
	encomendas_entregues	3245	317	543	459	1341	1203
	encomendas_falhadas	0	34	62	57	165	131
	taxa_de_falha_encomendas	0,03243587				0,109561753	0,0982009
	encomendas_com_janela_temporal	0	159	299	302	989	756
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,889618922				0,881937437	0,889618922
Distância e Tempo	quilómetros_totais	93,52353772	894,8923122	2027,506324	2051,331621	8017,787575	6303,136367
	horas_totais_condução	3,115555556	35,75472222	81,02694444	81,98805556	320,5036111	251,9680556
	horas_totais_serviço	1,081111111	19,68333333	35,50611111	31,52916667	100,4	77,67972222
	horas_totais_espera	0	35,3825	44,96444444	48,16722222	103,6316667	74,05722222
	quilómetros_adicionados_veículo	93,52353772	894,8923122	2027,506324	2051,331621	8017,787575	6303,136367
	horas_adicionadas_veículo	3,115555556	35,75472222	81,02694444	81,98805556	320,5036111	251,9680556
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	93,52353772	402,7015405	912,3778457	923,0992294	3608,004409	2836,411365
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	3,115555556	16,089625	36,462125	36,894625	144,226625	113,385625
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,081111111	44,05266667	64,37644444	63,75711111	163,2253333	121,3895556
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	2,138444444	0,533333333	1,157555556
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	320,75008	75,3312	121,6796
	CO2_total_kg	22,5578773	62,01603724	140,5061882	142,1572813	555,632679	436,8073503
	litros_totais	8,417118395	26,84676937	60,82518971	61,53994863	240,5336273	189,094091
	kWh_totais	0	0	0	0	0	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	15,15081311	48,32418486	109,4853415	110,7719075	432,9605291	340,3693638
	custo_total_tentativas	0	2106	3630	3096	9036	8004
	custo_total_devoluções	0	85	155	142,5	412,5	327,5
	custo_total_amortização	90	198	352	352	1144	880
	custo_total	105,1508131	2437,324185	4246,485342	3701,271908	11025,46053	9551,869364
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	34	62	56	165	130
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	1	0	1
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas		0	0	0	0	0
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	177,7777778	160
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0,381216977	0,432044045
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	20	18

Apêndice XXVI - Resultados código Python do CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_MICROHUB e CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_MICROHUB							CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	6	10	11	7	8	9	8	40
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	identificador_da_frota	TRUNK	SCOOTER@S-H01	SCOOTER@S-H02	SCOOTER@S-H03	SCOOTER@S-H04	SCOOTER@S-H05	SCOOTER@S-H06	SCOOTER
	número_de_paragens	6	637	709	422	496	569	501	2557
Entregas	encomendas_tentadas	3334	390	423	283	304	336	288	1334
	encomendas_entregues	3334	342	370	246	265	295	250	1203
	encomendas_falhadas	0	48	53	37	39	41	38	131
	taxa_de_falha_encomendas	0,047779022							0,0982009
	encomendas_com_janela_temporal	0	189	211	144	141	159	146	756
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,881937437							0,889618922
Distância e Tempo	quilómetros_totais	66,6004365	866,3389649	984,672527	553,8840058	574,892588	737,6317769	707,6449166	6303,136367
	horas_totais_condução	2,217777778	34,59888889	39,32916667	22,11555556	22,95416667	29,4575	28,26722222	251,9680556
	horas_totais_serviço	1,110555556	26	28,2	18,86666667	20,26666667	22,4	19,2	77,67972222
	horas_totais_espera	0	40,12027778	43,37138889	29,48833333	37,39111111	38,81055556	32,97916667	74,05722222
	quilómetros_adicionados_veículo	66,6004365	866,3389649	984,672527	553,8840058	574,892588	737,6317769	707,6449166	6303,136367
	horas_adicionadas_veículo	2,217777778	34,59888889	39,32916667	22,11555556	22,95416667	29,4575	28,26722222	251,9680556
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	66,6004365	389,8525342	443,1026371	249,2478026	258,7016646	331,9342996	318,4402125	2836,411365
	horas_atraso_tráfego	2,217777778	15,5695	17,698125	9,952	10,329375	13,255875	12,72025	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	0	0	0	0	0	0	0	113,385625
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,110555556	52,89622222	57,25711111	38,684	46,12622222	48,96844444	41,74333333	121,3895556
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0	4,323333333	0	0	1,157555556
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	0	569,19464	0	0	121,6796
	CO2_total_kg	16,06402528	60,03729027	68,23780612	38,3841616	39,84005635	51,11788214	49,03979272	436,8073503
	litros_totais	5,994039285	25,99016895	29,54017581	16,61652018	17,24677764	22,12895331	21,2293475	189,094091
	kWh_totais	—	—	138,7459827	138,7459827	138,7459827	138,7459827	138,7459827	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	10,78927071	46,7823041	53,17231646	29,90973632	31,04419975	39,83211595	38,2128255	340,3693638
	custo_total_tentativas	0	2340	2538	1698	1824	2016	1728	8004
	custo_total_devoluções	0	120	132,5	92,5	97,5	102,5	95	327,5
	custo_total_amortização	180	220	242	154	176	198	176	880
	custo_total	190,7892707	2726,782304	2965,672316	1974,409736	2128,5442	2356,332116	2037,212826	9551,869364
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	48	53	37	39	41	38	130
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	1
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	0	0	0	160
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0	0	0	0,432044045
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	0	0	0	18

Apêndice XXVII - Resultados código Python do CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_NOHUB, CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_INCLUSION_NOHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB	CENARIO_4_SCOOTERS_HOME_NOHUB	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_INCLUSION_NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	40	52	33
	tipo_de_veículo	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	identificador_da_frota	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	número_de_paragens	2557	3334	2129
Entregas	encomendas_tentadas	1334	1506	1134
	encomendas_entregues	1203	1341	1026
	encomendas_falhadas	131	165	108
	taxa_de_falha_encomendas	0,0982009	0,109561753	0,095238095
	encomendas_com_janela_temporal	756	989	828
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,889618922	0,881937437	0,955094991
Distância e Tempo	quilómetros_totais	6303,136367	8017,787575	5165,778768
	horas_totais_condução	251,9680556	320,5036111	206,5033333
	horas_totais_serviço	77,67972222	100,4	62,99777778
	horas_totais_espera	74,05722222	103,6316667	64,31166667
	quilómetros_adicionados_veículo	6303,136367	8017,787575	5165,778768
	horas_adicionadas_veículo	251,9680556	320,5036111	206,5033333
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	2836,411365	3608,004409	2324,600445
	horas_atraso_tráfego	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	113,385625	144,226625	92,9265
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	121,3895556	163,2253333	101,8475556
	horas_ocupação_berma_turística	1,157555556	0,533333333	1,202666667
	índice_total_poluição_visual	121,6796	75,3312	129,6288
	CO2_total_kg	436,8073503	555,632679	357,9884686
	litros_totais	189,094091	240,5336273	154,973363
	kWh_totais	0	0	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	340,3693638	432,9605291	278,9520535
	custo_total_tentativas	8004	9036	6804
	custo_total_devoluções	327,5	412,5	270
	custo_total_amortização	880	1144	726
	custo_total	9551,869364	11025,46053	8078,952053
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	130	165	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	1	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	0	108
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	FALSO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	160	0	142,2222222
	meta_percentagem_inclusão	0,432044045	0	0,480869935
	trabalhadores_inclusão_estimados	18	0	16

Apêndice XXVIII- Resultados código Python do CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB, CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP__NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP__NOHUB
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	22	22	33
	tipo_de_veículo	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	identificador_da_frota	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	número_de_paragens	1393	1393	2129
Entregas	encomendas_tentadas	978	978	1134
	encomendas_entregues	912	912	1026
	encomendas_falhadas	66	66	108
	taxa_de_falha_encomendas	0,067484663	0,067484663	0,095238095
	encomendas_com_janela_temporal	586	586	828
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,956036288	0,956036288	0,955094991
Distância e Tempo	quilómetros_totais	3401,074454	3401,074454	5165,778768
	horas_totais_condução	135,9563889	135,9563889	206,5033333
	horas_totais_serviço	42,50638889	42,50638889	62,99777778
	horas_totais_espera	43,10305556	43,10305556	64,31166667
	quilómetros_adicionados_veículo	3401,074454	3401,074454	5165,778768
	horas_adicionadas_veículo	135,9563889	135,9563889	206,5033333
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	1530,483504	1530,483504	2324,600445
	horas_atraso_tráfego	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	61,180375	61,180375	92,9265
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	68,48755556	68,48755556	101,8475556
	horas_ocupação_berma_turística	0,726888889	0,726888889	1,202666667
	índice_total_poluição_visual	99,28576	99,28576	129,6288
	CO2_total_kg	235,6944597	235,6944597	357,9884686
	litros_totais	102,0322336	102,0322336	154,973363
	kWh_totais	0	0	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	183,6580205	183,6580205	278,9520535
	custo_total_tentativas	5868	5868	6804
	custo_total_devoluções	165	165	270
	custo_total_amortização	484	484	726
	custo_total	6700,658021	6700,658021	8078,952053
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	66	66	108
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	71,11111111	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0,360432524	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	8	0	0

Apêndice XXIX - Resultados código Python do CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_INCLUSION_MICROHUB					CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB				
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	4	11	10	4	10	4	3	12	4	6
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	identificador_da_frota	TRUNK	SCOOTER@S-H01	SCOOTER@S-H02	SCOOTER@S-H03	SCOOTER@S-H04	TRUNK	SCOOTER@S-H01	SCOOTER@S-H02	SCOOTER@S-H03	SCOOTER@S-H04
	número_de_paragens	4	672	614	243	600	4	136	729	199	329
Entregas	encomendas_tentadas	3226	502	427	138	549	3144	227	812	288	506
	encomendas_entregues	3226	454	388	121	508	3144	214	769	270	485
	encomendas_falhadas	0	48	39	17	41	0	13	43	18	21
	taxa_de_falha_encomendas	0,029946303					0,019087804				
	encomendas_com_janela_temporal	0	308	283	70	401	0	160	487	167	298
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,955094991					0,956036288				
Distância e Tempo	quilómetros_totais	58,82245903	1034,581876	950,0270987	340,1754966	1058,524899	57,66618253	178,1416572	1360,023299	261,3845629	569,295074
	horas_totais_condução	1,958888889	41,32555556	37,95555556	13,58777778	42,29555556	1,920555556	7,110555556	54,34805556	10,43666667	22,745
	horas_totais_serviço	1,074722222	26,2925	21,81	9,2	22,96305556	1,0475	7,080277778	26,7725	9,507777778	13,40444444
	horas_totais_espera	0	43,4975	40,92416667	17,40805556	35,53555556	0	15,93833333	40,24972222	20,29055556	24,74083333
	quilómetros_adicionados_veículo	58,82245903	1034,581876	950,0270987	340,1754966	1058,524899	57,66618253	178,1416572	1360,023299	261,3845629	569,295074
	horas_adicionadas_veículo	1,958888889	41,32555556	37,95555556	13,58777778	42,29555556	1,920555556	7,110555556	54,34805556	10,43666667	22,745
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	58,82245903	465,5618443	427,5121944	153,0789735	476,3362047	57,66618253	80,16374573	612,0104846	117,6230533	256,1827833
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	1,958888889	18,5965	17,08	6,1145	19,033	1,920555556	3,19975	24,456625	4,6965	10,23525
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,074722222	55,832	50,18733333	21,28644444	46,79888889	1,0475	18,41488889	53,61777778	23,83866667	30,51622222
	horas_ocupação_berma_turística	0	1,369333333	0	0	1,273333333	0	0	2,198666667	0	0
	índice_total_poluição_visual	0	155,82	0	0	208,86096	0	0	239,56156	0	0
	CO2_total_kg	14,18797712	71,69652402	65,83687794	23,57416191	73,35577552	13,90908323	12,34521684	94,24961463	18,11395021	39,45214863
	litros_totais	5,294021313	31,03745628	28,50081296	10,2052649	31,75574698	5,189956427	5,344249715	40,80069897	7,841536887	17,07885222
	kWh_totais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	9,529238363	55,86742131	51,30146333	18,36947682	57,16034456	9,341921569	9,619649488	73,44125815	14,1147664	30,741934
	custo_total_tentativas	0	3012	2562	828	3294	0	1362	4872	1728	3036
	custo_total_devoluções	0	120	97,5	42,5	102,5	0	32,5	107,5	45	52,5
	custo_total_amortização	120	242	220	88	220	120	66	264	88	132
	custo_total	129,5292384	3429,867421	2930,801463	976,8694768	3673,660345	129,3419216	1470,119649	5316,941258	1875,114766	3251,241934
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	145	145	145	145	145	0	13	42	18	21
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	151,1111111	151,1111111	151,1111111	151,1111111	151,1111111	88,88888889	88,88888889	88,88888889	88,88888889	88,88888889
	meta_percentagem_inclusão	0,480869935	0,480869935	0,480869935	0,480869935	0,480869935	0,360432524	0,360432524	0,360432524	0,360432524	0,360432524
	trabalhadores_inclusão_estimados	17	17	17	17	17	10	10	10	10	10

Apêndice XXX - Resultados código Python do CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB e CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_MICROHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB							CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_MICROHUB				
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	6	9	2	7	1	3	4	1	3	7	18	7
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER
	identificador_da_frota	TRUNK	S-H01	S-H02	S-H03	S-H04	S-H05	S-H06	TRUNK	SCOOTER@S-H01	SCOOTER@S-H02	SCOOTER@S-H03	OOTER@S-
	número_de_paragens	6	540	68	398	14	142	231	4	148	451	1132	398
Entregas	encomendas_tentadas	3144	604	197	446	14	178	336	3226	105	222	771	459
	encomendas_entregues	3144	566	188	421	13	163	315	3226	91	219	705	426
	encomendas_falhadas	0	38	9	25	1	15	21	0	14	3	66	33
	taxa_de_falha_encomendas	0,022158975							0,024252561				
	encomendas_com_janela_temporal	0	369	98	236	2	48	163	0	0	115	553	334
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,956036288							0,955094991				
Distância e Tempo	quilómetros_totais	94,02	958,89	76,72	591,04	8,06	182,78	281,08	65,80720772	171,2439997	634,7798844	2333,895874	583,2412
	horas_totais_condução	3,13	38,31	3,05	23,61	0,32	7,29	11,22	2,190555556	6,835555556	25,36027778	93,27777778	23,29472
	horas_totais_serviço	1,04	20,13	4,9	15,97	0,93	7,39	10,54	1,074722222	16,23444444	30,15444444	49,52444444	30,89389
	horas_totais_espera	0	32,2	9,06	30,79	7,48	15,49	18,45	0	7	14,8	38,79777778	16,38111
	quilómetros_adicionados_veículo	94,02	958,89	76,72	591,04	8,06	182,78	281,08	65,80720772	171,2439997	634,7798844	2333,895874	583,2412
	horas_adicionadas_veículo	3,13	38,31	3,05	23,61	0,32	7,29	11,22	2,190555556	6,835555556	25,36027778	93,27777778	23,29472
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	94,02	431,5	34,52	265,97	3,62	82,25	126,48	65,80720772	77,0597987	285,6059043	1050,253143	261,4852
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	3,13	17,24	1,37	10,62	0,14	3,28	5,05	2,190555556	3,076	11,412125	41,975	10,48263
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	1,04	41,87	11,17	37,41	6,73	18,31	23,2	1,074722222	18,58755556	35,96355556	70,65777778	37,82
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0,56	0	0	0	0	0	0	1,685555556	0
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	63,53	0	0	0	0	0	0	262,49076	0
	CO2_total_kg	22,67	66,45	5,18	40,95	0,51	12,66	19,47	15,87269805	11,86720918	43,9204696	161,7389841	40,41861
	litros_totais	8,46	28,76	2,24	17,73	0,22	5,48	8,43	5,922648695	5,13731992	19,04339695	70,01687622	17,49723
	kWh_totais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustíve
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	15,23	51,78	4,04	31,91	0,4	9,87	15,17	10,66076765	9,24715985	34,27811451	126,0303772	31,49503
	custo_total_tentativas	0	3624	1182	2676	84	1068	2016	0	630	1332	4626	2754
	custo_total_devoluções	0	95	22,5	62,5	2,5	37,5	52,5	0	35	82,5	165	82,5
	custo_total_amortização	180	198	44	154	22	66	88	120	66	154	396	154
	custo_total	195,23	3968,78	1252,54	2924,41	108,9	1181,37	2171,67	130,6607677	740,2471599	1602,778115	5313,030377	3021,995
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	37	9	25	1	15	21	0	14	33	66	33
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Apêndice XXXI - Resultados código Python do CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_INCLUSION_MICROHUB						CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_INCLUSION_NOHUB	
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	20	4	1	1	8	1	20	9
	tipo_de_veículo	VAN	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	VAN	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	VAN	TRUNK	E_CARGO_BIKE@B-H01	E_CARGO_BIKE@B-H02	E_CARGO_BIKE@B-H03	E_CARGO_BIKE@B-H04	VAN	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	1780	4	18	28	286	17	1780	349
Entregas	encomendas_tentadas	739	349	18	28	241	17	739	276
	encomendas_entregues	676	349	16	25	207	15	676	241
	encomendas_falhadas	63	0	2	3	34	2	63	35
	taxa_de_falha_encomendas	0,074712644						0,096551724	
	encomendas_com_janela_temporal	678	0	7	7	93	5	678	112
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,934945308						0,934945308	
Distância e Tempo	quilómetros_totais	3762,519521	17,39486292	12,35270464	20,35593022	428,0182859	15,61536144	3762,519521	505,9239408
	horas_totais_condução	150,4227778	0,578333333	0,683333333	1,126944444	23,74472222	0,864722222	150,4227778	28,06833333
	horas_totais_serviço	36,66444444	0,115833333	1,2	1,866666667	16,06666667	1,133333333	36,66444444	18,4
	horas_totais_espera	16,4725	0	6,808055556	6,5475	39,51277778	2,646111111	16,4725	44,06333333
	quilómetros_adicionados_veículo	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_adicionadas_veículo	3762,519521	17,39486292	12,35270464	20,35593022	428,0182859	15,61536144	3762,519521	505,9239408
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	150,4227778	0,578333333	0,683333333	1,126944444	23,74472222	0,864722222	150,4227778	28,06833333
	horas_atraso_tráfego	3762,519521	17,39486292	2,470540929	4,071186045	85,60365718	3,123072287	3762,519521	101,1847882
	horas_tráfego_equivalente_PCE	150,4227778	0,578333333	0,136666667	0,225388889	4,748944444	0,172944444	150,4227778	5,613666667
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	53,13694444	0,115833333	4,804833333	5,0485	33,34766667	2,267666667	53,13694444	37,478
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0	3,172833333	0	0	4,803666667
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	0	328,8363	0	0	494,82
	CO2_total_kg	1008,355232	4,195640936	0	0	0	0	1008,355232	0
	litros_totais	376,2519521	1,565537663	0	0	0	0	376,2519521	0
	kWh_totais	0	0	0,239327143	0,389728275	8,525246013	0,28623122	0	10,11847882
	tipo_de_energia	combustível	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	combustível	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	677,2535138	2,817967793	0,059831786	0,077945655	2,131311503	0,071557805	677,2535138	2,529619704
	custo_total_tentativas	4434	0	108	168	1446	102	4434	1656
	custo_total_devoluções	157,5	0	5	7,5	85	5	157,5	87,5
	custo_total_amortização	700	120	18	18	144	18	700	162
	custo_total	5968,753514	122,8179678	131,0598318	193,5779457	1677,131312	125,0715578	5968,753514	1908,02962
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	63	0	2	3	34	2	63	35
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	97,77777778	97,77777778	97,77777778	97,77777778	97,77777778	97,77777778	88,88888889	88,88888889
	meta_percentagem_inclusão	0,336699221	0,336699221	0,336699221	0,336699221	0,336699221	0,336699221	0,336699221	0,336699221
	trabalhadores_inclusão_estimados	11	11	11	11	11	11	10	10

Apêndice XXXII - Resultados código Python do CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB								CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB	
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	14	6	1	2	2	2	1	1	14	6
	tipo_de_veículo	VAN	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	VAN	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	VAN	TRUNK	E_CARGO_BIKE@B-H01	E_CARGO_BIKE@B-H02	E_CARGO_BIKE@B-H03	E_CARGO_BIKE@B-H04	E_CARGO_BIKE@B-H05	E_CARGO_BIKE@B-H06	VAN	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	1173	6	28	48	65	44	18	17	1173	220
Entregas	encomendas_tentadas	435	220	28	48	62	44	18	17	435	190
	encomendas_entregues	386	220	25	43	55	39	16	15	386	164
	encomendas_falhadas	49	0	3	5	7	5	2	2	49	26
	taxa_de_falha_encomendas	0,083715596								0,12	
	encomendas_com_janela_temporal	327	0	11	10	16	20	7	10	327	74
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,948360084								0,948360084	
Distância e Tempo	quilómetros_totais	2576,768831	28,1571922	26,52173277	48,1436771	55,26920899	50,38231982	15,65262593	12,05017634	2576,768831	365,0403402
	horas_totais_condução	103,0144444	0,93722222	1,469166667	2,6675	3,061944444	2,7925	0,866666667	0,666944444	103,0144444	20,2525
	horas_totais_serviço	26,65166667	0,0725	1,866666667	3,2	4,133333333	2,933333333	1,2	1,133333333	26,65166667	12,66666667
	horas_totais_espera	12,67027778	0	5,973055556	11,50611111	11,8225	12,34722222	6,489444444	6,879722222	12,67027778	27,55833333
	quilómetros_adicionados_veículo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_adicionadas_veículo	2576,768831	28,1571922	26,52173277	48,1436771	55,26920899	50,38231982	15,65262593	12,05017634	2576,768831	365,0403402
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	103,0144444	0,93722222	1,469166667	2,6675	3,061944444	2,7925	0,866666667	0,666944444	103,0144444	20,2525
	horas_atraso_tráfego	2576,768831	28,1571922	5,304346555	9,628735419	11,0538418	10,07646396	3,130525186	2,410035268	2576,768831	73,00806805
	horas_tráfego_equivalente_PCE	103,0144444	0,93722222	0,293833333	0,5335	0,612388889	0,5585	0,173333333	0,133388889	103,0144444	4,0505
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	39,32194444	0,0725	4,703833333	8,823666667	9,5735	9,168333333	4,613666667	4,807833333	39,32194444	24,135
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0	3,630333333	1,3025	0	0	0	0,625
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	0	380,41125	132,3	0	0	0	63,828
	CO2_total_kg	690,5740467	6,79151475	0,105911063	0,185617171	0,219193369	0,19883659	0,057843457	0,048200705	690,5740467	1,448837079
	litros_totais	257,6768831	2,5341473	0	0	0	0	0	0	257,6768831	0
	kWh_totais	0	0	0,529555315	0,928085853	1,095966843	0,994182951	0,289217284	0,241003527	0	7,244185394
	tipo_de_energia	combustível	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	combustível	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	463,8183896	4,56146513	0,132388829	0,232021463	0,273991711	0,248545738	0,057843457	0,060250882	463,8183896	1,811046348
	custo_total_tentativas	2610	0	168	288	372	264	108	102	2610	1140
	custo_total_devoluções	122,5	0	7,5	12,5	17,5	12,5	5	5	122,5	65
	custo_total_amortização	490	180	18	36	36	36	18	18	490	108
	custo_total	3686,31839	184,561465	193,6323888	336,7320215	425,7739917	312,7485457	131,0578435	125,0602509	3686,31839	1314,811046
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	49	0	3	5	7	5	2	2	49	26
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	80	80	80	80	80	80	80	80	71,11111111	71,11111111
	meta_percentagem_inclusão	0,350941093	0,35094109	0,350941093	0,350941093	0,350941093	0,350941093	0,350941093	0,350941093	0,350941093	0,350941093
	trabalhadores_inclusão_estimados	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8

Apêndice XXXIII - Resultados código Python do CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_MICROHUB e CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_MICROHUB							CENARIO_6_HYBRID_VANS_EBIKES_PUP_NOHUB	
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	20	5	1	3	1	1	5	20	9
	tipo_de_veículo	VAN	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	VAN	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	VAN	TRUNK	E_CARGO_BIKE@B-H01	E_CARGO_BIKE@B-H02	E_CARGO_BIKE@B-H03	E_CARGO_BIKE@B-H04	E_CARGO_BIKE@B-H05	VAN	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	1780	5	29	95	28	19	178	1780	349
Entregas	encomendas_tentadas	739	349	29	92	28	19	152	739	276
	encomendas_entregues	676	349	25	80	25	17	133	676	241
	encomendas_falhadas	63	0	4	12	3	2	19	63	35
	taxa_de_falha_encomendas	0,073153409							0,096551724	
	encomendas_com_janela_temporal	678	0	10	31	10	7	54	678	112
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,934945308							0,934945308	
Distância e Tempo	quilómetros_totais	3762,519521	24,01674839	20,79408646	130,535424	16,37931678	8,068773574	232,535176	3762,519521	505,9239408
	horas_totais_condução	150,4227778	0,799444444	1,150833333	7,238888889	0,905833333	0,444722222	12,89694444	150,4227778	28,06833333
	horas_totais_serviço	36,66444444	0,115555556	1,933333333	6,133333333	1,866666667	1,266666667	10,13333333	36,66444444	18,4
	horas_totais_espera	16,4725	0	6,471666667	16,83138889	3,464444444	5,679166667	27,21638889	16,4725	44,06333333
	quilómetros_adicionados_veículo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_adicionadas_veículo	3762,519521	24,01674839	20,79408646	130,535424	16,37931678	8,068773574	232,535176	3762,519521	505,9239408
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	150,4227778	0,799444444	1,150833333	7,238888889	0,905833333	0,444722222	12,89694444	150,4227778	28,06833333
	horas_atraso_tráfego	3762,519521	24,01674839	4,158817293	26,10708479	3,275863355	1,613754715	46,5070352	3762,519521	101,1847882
	horas_tráfego_equivalente_PCE	150,4227778	0,799444444	0,230166667	1,447777778	0,181166667	0,088944444	2,579388889	150,4227778	5,613666667
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	53,13694444	0,115555556	5,043	13,77883333	3,198666667	4,1675	22,40983333	53,13694444	37,478
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0,04	0,406166667	0	0	5,047666667	0	4,803666667
	índice_total_poluição_visual	0	0	4,5	19,4775	0	0	501,11355	0	494,82
	CO2_total_kg	1008,355232	5,792839712	0,079023033	0,522141696	0,063853853	0,031402513	0,930140704	1008,355232	2,023695763
	litros_totais	376,2519521	2,161507355	0	0	0	0	0	376,2519521	0
	kWh_totais	0	0	0,395115163	2,610708479	0,319269263	0,157012567	4,65070352	0	10,11847882
	tipo_de_energia	combustível	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	combustível	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	677,2535138	3,89071324	0,098778791	0,65267712	0,079817316	0,039253142	1,16267588	677,2535138	2,529619704
	custo_total_tentativas	4434	0	174	552	168	114	912	4434	1656
	custo_total_devoluções	157,5	0	10	30	7,5	5	47,5	157,5	87,5
	custo_total_amortização	700	150	18	54	18	18	90	700	162
	custo_total	5968,753514	153,8907132	202,0987788	636,6526771	193,5798173	137,0392531	1050,662676	5968,753514	1908,02962
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	63	0	4	12	3	2	19	63	35
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Apêndice XXXIV - Resultados código Python do CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_INCLUSION_MICROHUB e CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_INCLUSION_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_INCLUSION_MICROHUB								CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_INCLUSION_NOHUB	
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	3	15	2	11	3	2	4	4	28	9
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	SCOOTER	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	SCOOTER@M-H01	SCOOTER@M-H02	SCOOTER@M-H03	TRUNK	E_CARGO_BIKE@B-H01	E_CARGO_BIKE@B-H02	E_CARGO_BIKE@B-H03	SCOOTER	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	3	958	126	696	3	47	146	156	1780	349
Entregas	encomendas_tentadas	2877	583	79	418	349	47	121	142	960	276
	encomendas_entregues	2877	528	70	379	349	42	106	125	879	241
	encomendas_falhadas	0	55	9	39	0	5	15	17	81	35
	taxa_de_falha_encomendas	0,030329289								0,093851133	
	encomendas_com_janela_temporal	0	409	36	310	0	10	47	55	721	112
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,971790443								0,971790443	
Distância e Tempo	quilómetros_totais	74,69430398	2062,215198	157,0983184	1438,343546	15,08946375	34,62913773	182,5440824	187,8247214	4380,83753	505,9239408
	horas_totais_condução	2,488888889	82,4275	6,2725	57,49027778	0,502222222	1,916666667	10,12611111	10,41527778	175,1280556	28,06833333
	horas_totais_serviço	0,958611111	30,33444444	5,266666667	21,33916667	0,116111111	3,133333333	8,066666667	9,466666667	50,94527778	18,4
	horas_totais_espera	0	38,83666667	8,984722222	33,50416667	0	10,23166667	22,07527778	20,31777778	57,09527778	44,06333333
	quilómetros_adicionados_veículo	74,69430398	2062,215198	157,0983184	1438,343546	15,08946375	34,62913773	182,5440824	187,8247214	4380,83753	505,9239408
	horas_adicionadas_veículo	2,488888889	82,4275	6,2725	57,49027778	0,502222222	1,916666667	10,12611111	10,41527778	175,1280556	28,06833333
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	74,69430398	927,9968393	70,69424329	647,2545956	15,08946375	6,925827545	36,50881647	37,56494428	1971,376889	101,1847882
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	2,488888889	37,092375	2,822625	25,870625	0,502222222	0,383333333	2,025222222	2,083055556	78,807625	5,613666667
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	0,958611111	55,33688889	11,40111111	43,87466667	0,116111111	8,019	18,08516667	17,87066667	86,43244444	37,478
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0	0	0,04	0,294833333	2,2515	0	4,803666667
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	0	0	4,5	21,0675	249,147	0	494,82
	CO2_total_kg	18,01626612	142,9115132	10,88691347	99,67720772	3,639578656	0,13148283	0,730176329	0,744115558	303,5920408	2,023695763
	litros_totais	6,722487358	61,86645595	4,712949553	43,15030637	1,358051737				131,4251259	
	kWh_totais						0,657414149	3,650881647	3,720577789		10,11847882
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	combustível	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	12,10047724	111,3596207	8,483309195	77,67055147	2,444493127	0,164353537	0,912720412	0,930144447	236,5652266	2,529619704
	custo_total_tentativas	0	3498	474	2508	0	282	726	852	5760	1656
	custo_total_devoluções	0	137,5	22,5	97,5	0	12,5	37,5	42,5	202,5	87,5
	custo_total_amortização	90	330	44	242	90	36	72	72	616	162
	custo_total	102,1004772	4076,859621	548,9833092	2925,170551	92,44449313	330,6643535	836,4127204	967,4301444	6815,065227	1908,02962
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	55	9	39	0	5	15	17	81	35
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	115,5555556	115,5555556	115,5555556	115,5555556	115,5555556	115,5555556	115,5555556	115,5555556	115,5555556	115,5555556
	meta_percentagem_inclusão	0,336012957	0,336012957	0,336012957	0,336012957	0,336012957	0,336012957	0,336012957	0,336012957	0,336012957	0,336012957
	trabalhadores_inclusão_estimados	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

Apêndice XXXV - Resultados código Python do CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_INCLUSION_MICROHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB											
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	4	2	7	3	8	6	1	1	1	1	2	2
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	SCOOTER@M-H01	SCOOTER@M-H02	SCOOTER@M-H03	SCOOTER@M-H04	TRUNK	E_CARGO_BIKE@B-H01	E_CARGO_BIKE@B-H02	E_CARGO_BIKE@B-H03	E_CARGO_BIKE@B-H04	E_CARGO_BIKE@B-H05	E_CARGO_BIKE@B-H06
	número_de_paragens	4	93	434	190	456	6	33	21	40	19	49	58
Entregas	encomendas_tentadas	2924	118	423	163	332	220	33	21	37	19	49	58
	encomendas_entregues	2924	112	398	152	304	220	29	19	32	17	44	52
	encomendas_falhadas	0	6	25	11	28	0	4	2	5	2	5	6
	taxa_de_falha_encomendas	0,021378212											
	encomendas_com_janela_temporal	0	28	217	44	136	0	16	6	13	7	17	15
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,981856246											
Distância e Tempo	quilómetros_totais	70,08	99,02	849,66	190,6	837,96	17,79	32,72	16,56	34,26	11,74	52,62	55,24
	horas_totais_condução	2,33	3,95	33,95	7,61	33,49	0,59	1,81	0,92	1,9	0,65	2,92	3,06
	horas_totais_serviço	0,97	4,67	15,96	6,85	16,85	0,07	2,2	1,4	2,47	1,27	3,27	3,87
	horas_totais_espera	0	11,47	20,97	15,63	30,44	0	5,53	6,73	5,71	6,87	13,26	12,02
	quilómetros_adicionados_veículo	70,08	99,02	849,66	190,6	837,96	17,79	32,72	16,56	34,26	11,74	52,62	55,24
	horas_adicionadas_veículo	2,33	3,95	33,95	7,61	33,49	0,59	1,81	0,92	1,9	0,65	2,92	3,06
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	70,08	44,56	382,35	85,77	377,08	17,79	6,54	3,31	6,85	2,35	10,52	11,05
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	2,33	1,78	15,28	3,42	15,07	0,59	0,36	0,18	0,38	0,13	0,58	0,61
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	0,97	12,91	29,54	17,99	37,83	0,07	4,64	4,88	4,91	4,88	9,92	9,53
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,88
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	371,25
	CO2_total_kg	16,9	6,86	58,88	13,21	58,07	4,29	0,12	0,06	0,14	0,05	0,2	0,22
	litros_totais	6,31	2,97	25,49	5,72	25,14	1,6	0	0	0	0	0	0
	kWh_totais	0	0	0	0	0	0	0,62	0,3	0,69	0,23	1,02	1,09
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	11,35	5,35	45,88	10,29	45,25	2,88	0,15	0,07	0,17	0,06	0,25	0,27
	custo_total_tentativas	0	708	2538	978	1992	0	198	126	222	114	294	348
	custo_total_devoluções	0	15	62,5	27,5	70	0	10	5	12,5	5	12,5	15
	custo_total_amortização	120	44	154	66	176	180	18	18	18	18	36	36
	custo_total	131,35	772,35	2800,38	1081,79	2283,25	182,88	226,15	149,07	252,67	137,06	342,75	399,27
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	6	25	11	28	0	4	2	5	2	5	6
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO	VERDADEIRO
	custo_diário_inclusão_eur	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556	115,5556
	meta_percentagem_inclusão	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827	0,450259827
	trabalhadores_inclusão_estimados	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

Apêndice XXXVI - Resultados código Python do CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB e CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_NOHUB		CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_NOHUB	
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	19	6	19	6
	tipo_de_veículo	SCOOTER	E_CARGO_BIKE	SCOOTER	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	SCOOTER	E_CARGO_BIKE	SCOOTER	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	1173	220	1173	220
Entregas	encomendas_tentadas	920	190	920	190
	encomendas_entregues	861	164	861	164
	encomendas_falhadas	59	26	59	26
	taxa_de_falha_encomendas	0,076576577		0,076576577	
	encomendas_com_janela_temporal	610	74	610	74
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,981856246		0,981856246	
Distância e Tempo	quilómetros_totais	2906,979974	365,0403402	2906,979974	365,0403402
	horas_totais_condução	116,2080556	20,2525	116,2080556	20,2525
	horas_totais_serviço	34,65388889	12,66666667	34,65388889	12,66666667
	horas_totais_espera	40,45388889	27,55833333	40,45388889	27,55833333
	quilómetros_adicionados_veículo	2906,979974	365,0403402	2906,979974	365,0403402
	horas_adicionadas_veículo	116,2080556	20,2525	116,2080556	20,2525
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	1308,140988	73,00806805	1308,140988	73,00806805
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	52,293625	4,0505	52,293625	4,0505
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	60,08622222	24,135	60,08622222	24,135
	horas_ocupação_berma_turística	0	0,625	0	0,625
	índice_total_poluição_visual	0	63,828	0	63,828
	CO2_total_kg	201,4537122	1,448837079	201,4537122	1,448837079
	litros_totais	87,20939922	—	87,20939922	
	kWh_totais	0	7,244185394		7,244185394
	tipo_de_energia	combustível	elétrico	combustível	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	156,9769186	1,811046348	156,9769186	1,811046348
	custo_total_tentativas	5520	1140	5520	1140
	custo_total_devoluções	147,5	65	147,5	65
	custo_total_amortização	418	108	418	108
	custo_total	6242,476919	1314,811046	6242,476919	1314,811046
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	59	26	59	26
Inclusão	inclusão_ativa	VERDADEIRO	VERDADEIRO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	106,6666667	106,6666667	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0,450259827	0,450259827	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	12	12	0	0

Apêndice XXXVII - Resultados código Python do CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB												
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	5	3	6	2	6	4	6	2	1	2	1	1	2
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	SCOOTER@M-H01	SCOOTER@M-H02	SCOOTER@M-H03	SCOOTER@M-H04	SCOOTER@M-H05	TRUNK	E_CARGO_BIKE@B-H01	E_CARGO_BIKE@B-H02	E_CARGO_BIKE@B-H03	E_CARGO_BIKE@B-H04	E_CARGO_BIKE@B-H05	E_CARGO_BIKE@B-H06
	número_de_paragens	5	133	385	90	359	206	6	57	27	63	17	15	41
Entregas	encomendas_tentadas	2924	271	383	182	476	435	220	57	27	59	17	15	41
	encomendas_entregues	2924	257	354	175	452	415	220	51	24	53	15	14	36
	encomendas_falhadas	0	14	29	7	24	20	0	6	3	6	2	1	5
	taxa_de_falha_encomendas	0,031707317												
	encomendas_com_janela_temporal	0	133	195	129	324	289	0	20	8	20	8	8	10
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,981856246												1
Distância e Tempo	quilómetros_totais	68,00698	151,82702	590,05345	100,98976	525,08354	254,54238	28,74175	53,61129	22,72651	76,0606	16,20251	11,54699	39,64047
	horas_totais_condução	2,265	6,06	23,57139	4,03083	20,9775	10,16194	0,95611	2,96944	1,25833	4,21722	0,89722	0,63972	2,195
	horas_totais_serviço	0,97417	6,80639	14,6625	4,85111	13,50333	9,91917	0,07278	3,8	1,8	3,93333	1,13333	1	2,73333
	horas_totais_espera	0	17,40306	22,04056	11,25417	25,88528	20,58944	0	12,26222	6,96361	11,7	6,64472	6,73139	8,85139
	quilómetros_adicionados_veículo	68,00698	151,82702	590,05345	100,98976	525,08354	254,54238	28,74175	53,61129	22,72651	76,0606	16,20251	11,54699	39,64047
	horas_adicionadas_veículo	2,265	6,06	23,57139	4,03083	20,9775	10,16194	0,95611	2,96944	1,25833	4,21722	0,89722	0,63972	2,195
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	68,00698	68,32216	265,52405	45,44539	236,2876	114,54407	28,74175	10,72226	4,5453	15,21212	3,2405	2,3094	7,92809
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	2,265	2,727	10,60713	1,81388	9,43988	4,57288	0,95611	0,59389	0,25167	0,84344	0,17944	0,12794	0,439
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	0,97417	19,36756	29,36244	12,88422	31,51089	24,40689	0,07278	9,63733	5,25817	9,38	4,66683	4,63883	6,95083
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16	3,73683	0	0,04
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	370,2735	0	4,5
	CO2_total_kg	16,40328	10,52161	40,8907	6,99859	36,38829	17,63979	6,93251	0,21005	0,08849	0,29971	0,06098	0,04169	0,15539
	litros_totais	6,12063	4,55481	17,7016	3,02969	15,75251	7,63627	2,58676	–	–	–	–	–	–
	kWh_totais	–	–	–	–	–	–	–	1,05025	0,44244	1,49857	0,30488	0,20843	0,77697
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	11,01713	8,19866	31,86289	5,45345	28,35451	13,74529	4,65616	0,26256	0,11061	0,37464	0,07622	0,05211	0,19424
	custo_total_tentativas	0	1626	2298	1092	2856	2610	0	342	162	354	102	90	246
	custo_total_devoluções	0	35	72,5	17,5	60	50	0	15	7,5	15	5	2,5	12,5
	custo_total_amortização	150	66	132	44	132	88	180	36	18	36	18	18	36
	custo_total	161,01713	1735,19866	2534,36289	1158,95345	3076,35451	2761,74529	184,65616	393,26256	187,61061	405,37464	125,07622	110,55211	294,69424
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	14	29	7	24	20	0	6	3	6	2	1	5
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Apêndice XXXVIII - Resultados código Python do CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP _MICROHUB e CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_NOHUB

Categoria	Indicador Operacional (Resultados)	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_MICROHUB									CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_NOHUB	
Dimensão da rede operacional	veículos_utilizados	3	13	9	7	4	2	3	3	4	28	9
	tipo_de_veículo	VAN_TRUNK	SCOOTER	SCOOTER	SCOOTER	VAN_TRUNK	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	E_CARGO_BIKE	SCOOTER	E_CARGO_BIKE
	identificador_da_frota	TRUNK	SCOOTER@M-H01	SCOOTER@M-H02	SCOOTER@M-H03	TRUNK	E_CARGO_BIKE@B-H01	E_CARGO_BIKE@B-H02	E_CARGO_BIKE@B-H03	E_CARGO_BIKE@B-H04	SCOOTER	E_CARGO_BIKE
	número_de_paragens	3	819	555	406	4	49	97	82	121	1780	349
Entregas	encomendas_tentadas	2877	613	279	456	349	49	94	82	121	960	276
	encomendas_entregues	2877	568	243	422	349	44	82	73	106	879	241
	encomendas_falhadas	0	45	36	34	0	5	12	9	15	81	35
	taxa_de_falha_encomendas	0,031707317									0,093851133	
	encomendas_com_janela_temporal	0	474	160	327	0	18	25	30	39	721	112
	taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	0,971790443									0,971790443	
Distância e Tempo	quilómetros_totais	80,3028049	1522,882135	926,2841032	583,5318159	17,5389581	42,65702278	90,46520087	94,12037508	135,5497547	4380,83753	505,9239408
	horas_totais_condução	2,67555556	60,86416667	37,0125	23,3075	0,58388889	2,3625	5,011388889	5,216666667	7,512222222	175,1280556	28,06833333
	horas_totais_serviço	0,95888889	25,67777778	18,6	17,345	0,11583333	3,266666667	6,266666667	5,466666667	8,066666667	50,94527778	18,4
	horas_totais_espera	0	44,85361111	35,3375	29,9	0	12,405	18,14833333	18,78861111	22,63194444	57,09527778	44,06333333
	quilómetros_adicionados_veículo	80,3028049	1522,882135	926,2841032	583,5318159	17,5389581	42,65702278	90,46520087	94,12037508	135,5497547	4380,83753	505,9239408
	horas_adicionadas_veículo	2,67555556	60,86416667	37,0125	23,3075	0,58388889	2,3625	5,011388889	5,216666667	7,512222222	175,1280556	28,06833333
	quilómetros_tráfego_equivalente_PCE	80,3028049	685,2969605	416,8278465	262,5893171	17,5389581	8,531404557	18,09304017	18,82407502	27,10995093	1971,376889	101,1847882
	horas_atraso_tráfego	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	horas_tráfego_equivalente_PCE	2,67555556	27,388875	16,655625	10,488375	0,58388889	0,4725	1,002277778	1,043333333	1,502444444	78,807625	5,613666667
Impacto Urbano e Sustentabilidade	horas_totais_ocupação_berma	0,95888889	56,42511111	43,15	37,796	0,11583333	9,403	14,649	14,55316667	18,41916667	86,43244444	37,478
	horas_ocupação_berma_turística	0	0	0	0	0	0	3,4975	0,08	0,6015	0	4,803666667
	índice_total_poluição_visual	0	0	0	0	0	0	358,305	8,1	63,1152	0	494,82
	CO2_total_kg	19,3690365	105,5357319	64,19148835	40,43875484	4,23039668	0,161872239	0,355604469	0,362617102	0,52411424	303,5920408	2,023695763
	litros_totais	7,22725244	45,68646404	27,7885231	17,50595448	1,57850623					131,4251259	0
	kWh_totais						0,809361196	1,778022346	1,81308551	2,620571201	0	10,11847882
	tipo_de_energia	combustível	combustível	combustível	combustível	combustível	elétrico	elétrico	elétrico	elétrico	combustível	elétrico
Custos Económicos e Financeiros	custo_total_energia	13,0090544	82,23563526	50,01934157	31,51071806	2,84131121	0,202340299	0,444505587	0,453271378	0,6551428	236,5652266	2,529619704
	custo_total_tentativas	0	3678	1674	2736	0	294	564	492	726	5760	1656
	custo_total_devoluções	0	112,5	90	85	0	12,5	30	22,5	37,5	202,5	87,5
	custo_total_amortização	90	286	198	154	120	36	54	54	72	616	162
	custo_total	103,009054	4158,735635	2012,019342	3006,510718	122,841311	342,7023403	648,4445056	568,9532714	836,1551428	6815,065227	1908,02962
Fluxos, Backlog e Redistribuição	backlog_domicílio_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_locker_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	backlog_PUP_amanhã_encomendas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fluxo_para_PUP_amanhã_encomendas	0	45	36	34	0	5	12	9	15	81	35
Inclusão	inclusão_ativa	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
	custo_diário_inclusão_eur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	meta_percentagem_inclusão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	trabalhadores_inclusão_estimados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Apêndice XXXIX - Comparação do melhor cenário na dimensão otimização

Indicadores a comparar	CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS CENARIO_1_VANS_WITH_PUP_LOCKERS_INCLUSION	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_MICROHUB
quilometros_totais	2828,77 km	1939,03 km
horas_totais_servico	113,08 h	78,00 h
Km/h	25,02 km/h	24,86 km/h

Apêndice XL - Comparação do melhor cenário na dimensão serviço

Indicadores a comparar	CENARIO_3_ EBIKES_WITH _PUP _NOHUB	CENARIO_5_SCOOTERS_ WITH_PUP_LOCKERS_ INCLUSION_MICROHUB
taxa_entrega_no_prazo_janela_temporal	99,25%	95,60%
taxa_falha	9,88%	1,91%

Apêndice XLI - Comparação do melhor cenário na dimensão sustentabilidade

Indicadores a comparar	CENARIO_3_EBIKES_WITH_PUP_LOCKERS_NOHUB	CENARIO_5_SCOOTERS_WITH_PUP_LOCKERS_MICROHUB	CENARIO_7_HYBRID_SCOOTERS_EBIKES_PUP_LOCKERS_INCLUSION_MICROHUB
CO2_total_kg	14,59 $kgCO_2$	167,89 59 $kgCO_2$	136,63 59 $kgCO_2$
kWh_totais	72,95 kWh	0 kWh	4,28 kWh
índice_total_poluição_visual	115,95	63,53	371,25