Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ugo Nogueira Castañon

Integração de novas tendências na avaliação da ciclabilidade de redes viárias urbanas

Outubro 2025

Integração de novas tendências na avaliação da ciclabilidade de redes viárias urbanas.

Ugo Nogueira Castañon

UMinho | 2025

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ugo Nogueira Castañon

Integração de novas tendências na avaliação da ciclabilidade de redes viárias urbanas

Tese de Doutoramento

Programa Doutoral em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Paulo Jorge Gomes Ribeiro

Outubro 2025

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.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

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

À Maria Luísa.

AGRADECIMENTOS

"O doutoramento é uma tarefa solitária". A frase é certa na substância, porém imprecisa no sentimento. Há sempre, junto de quem percorre este caminho, tantas pessoas que torcem, sofrem e nos auxiliam de alguma forma, seja com as palavras ou com a simples presença.

E não é que o caminho se revelou mais sinuoso do que pude imaginar? A certa altura, pensei que o regresso de D. Sebastião seria mais fácil do que eu estar agora a escrever estas páginas de agradecimento.

Pois bem, a seguir registo os meus agradecimentos.

À minha esposa (e colega de doutoramento) Carolina, com quem partilhei, especialmente nesta fase, apreensões, dúvidas e alegrias. Porque este foi, e será sempre, um doutoramento para além da tese.

Aos meus pais, José Alberto e Maria Christina, por estarem sempre próximos, mesmo do outro lado do Atlântico, e pelo exemplo de dedicação pessoal e acadêmica que me transmitiram desde cedo.

Ao meu irmão Lucas, pela amizade fraterna.

Ao Professor Paulo Ribeiro, pela orientação zelosa e, sobretudo, pela motivação constante. Mesmo nos dias mais difíceis, fosse em Portugal ou no Brasil, nunca deixei uma reunião sem me sentir renovado e com novo fôlego para prosseguir.

À Professora Júlia Lourenço, pessoa afável, a quem agradeço tardiamente pela atenção e gentileza com que sempre me acolheu.

Às colegas de doutoramento Farideh, Marta e Gabriel, com quem partilhei, em maior ou menor medida, as rotinas desta jornada.

Ao meu tio Arthur, à Carol e ao Celso, pela proximidade familiar e por tornarem Portugal menos distante de casa.

A todos os que, de algum modo, contribuíram para que eu chegasse ao final deste doutoramento, deixo o meu sincero agradecimento.

Não posso encerrar estas páginas sem agradecer a Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, a quem recorri inúmeras vezes e cujo santuário dedicado à Mãe de Deus encontrei, de forma inesperada, em Guimarães.

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.

Guimarães, 21 10 2025

RESUMO

As cidades contemporâneas enfrentam desafios crescentes relacionados com a mobilidade, a qualidade ambiental e o bem-estar das populações. A forte dependência do automóvel particular acentua problemas como a poluição atmosférica, o congestionamento e o sedentarismo, exigindo estratégias que promovam modos de transporte mais sustentáveis. Neste contexto, a bicicleta destaca-se como alternativa eficiente e ambientalmente responsável, contribuindo para a redução das emissões e a melhoria da saúde pública. Todavia, a consolidação da mobilidade ciclável depende da existência de metodologias capazes de avaliar de forma rigorosa e integrada as condições oferecidas pelas redes urbanas. A presente investigação propõe um modelo de avaliação da ciclabilidade baseado no Processo Analítico Hierárquico (AHP), integrando critérios tradicionais, como segurança, infraestrutura e ambiente envolvente, e critérios emergentes associados às bicicletas elétricas, sistemas partilhados e soluções digitais. O modelo foi operacionalizado em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e aplicado à cidade da Póvoa de Varzim, Portugal, permitindo identificar fragilidades, potencialidades e prioridades de intervenção na rede ciclável existente. Os resultados demonstraram que a combinação entre estrutura hierárquica, participação de *stakeholders* e análise espacial gera um instrumento robusto, transparente e adaptável a diferentes realidades urbanas. A inclusão de critérios emergentes revelou impacto significativo nos resultados obtidos, reforçando a importância da inovação tecnológica e da multimodalidade na evolução da mobilidade ativa. O Índice de Ciclabilidade desenvolvido apresenta-se, assim, como um contributo metodológico e prático para o planeamento urbano sustentável. A sua aplicação permite orientar políticas públicas, apoiar decisões baseadas em evidência e promover redes cicláveis mais seguras, equitativas e eficientes.

Palavras-chave: Bikeability, Infraestrutura Ciclável, Mobilidade Urbana Sustentável, Processo de Análise Hierárquica (AHP), Póvoa de Varzim.

ABSTRACT

Cities face challenges related to mobility, environmental quality, and public well-being, which are exacerbated by a heavy reliance on private cars, resulting in air pollution and congestion. Promoting cycling as a sustainable transportation alternative can alleviate these issues. This research introduces a bikeability assessment model based on the Analytic Hierarchy Process (AHP), which evaluates urban networks using traditional criteria, such as safety and infrastructure, alongside emerging factors, including electric bicycles, shared systems, and digital solutions. Implemented within a Geographic Information Systems (GIS) environment, the model was applied to Póvoa de Varzim, Portugal, identifying strengths and weaknesses in the cycling network. The findings underscore the importance of integrating technological innovation and multimodality in promoting active mobility. The Bikeability Index developed through this model offers a practical contribution to sustainable urban planning, guiding public policies and supporting evidence-based decision-making for safer and more efficient cycling networks.

KEYWORDS: Bikeability, Cycling Infrastructure, Sustainable Urban Mobility, Analytic Hierarchy Process (AHP), Póvoa de Varzim.

ÍNDICE

Agradecimentos iv

Resumo vi

Abstract vii

Índice viii

Lista de Tabelas xii

Lista de Figuras xiv

1. Introdução 1

1.1. Enquadramento 1

1.2. Hipótese e perguntas de investigação 5

1.3. Objetivos 6

1.4. Estrutura metodológica 7

1.5. Organização da tese 8

2. Revisão do estado da arte 10

2.1. Índices de ciclabilidade 10

2.1.1. A Relevância da Bicicleta na mobilidade urbana e o papel da infraestrutura 11

2.1.2. Requisitos básicos de uma rede ciclável 14

2.1.3. Avaliação da ciclabilidade 19

2.2. Fenómenos emergentes envolvendo a Bicicleta 42

2.2.1. A bicicleta elétrica e os sistemas partilhados 42

2.2.2. Sistemas digitais e a experiência do ciclista 69

2.3. Métodos de análise de decisão multicritério 75

2.3.1. A estruturação de um problema de decisão 76

2.3.2. Elementos dos Métodos de Análise Multicritério 78

2.3.3. Métodos de Análise de decisão Multiatributo 82

2.4. Processo de Análise Hierárquica (AHP) 90
2.4.1. Origem e práticas do AHP 90
2.4.2. Os fundamentos do AHP 94
2.4.3. Decisões em Grupo 97
2.5. Síntese conclusiva do estado da arte 98
3. Um modelo de avaliação da ciclabilidade 100
3.1. Intodução 100
3.2. Definição da Rede Ciclável 102
3.3. Critérios, Subcritérios e Indicadores 106
3.3.1. Processo de recolha de dados dos indicadores 108
3.3.2. Fuzificação dos indicadores 111
3.4. Atribuição dos Pesos 114
3.4.1. Definição da importância relativa dos critérios e subcritérios do modelo 114
3.5. Composição do Índice de Ciclabilidade e Representação Gráfica 117
4. Caso de estudo: Aplicação do modelo na Póvoa de Varzim 120
4.1. Enquadramento da área de estudo 120
4.1.1. Caracterização territorial e demográfica 121
4.1.2. Estrutura urbana da cidade da Póvoa de Varzim 123
4.2. Levantamento e criação da base de dados 129
4.2.1. Eixos Cicláveis Definidos 129
4.2.2. Criação da Base de Dados 131
4.3. Processo Analítico Hierárquico: Determinação dos pesos do Índice de Ciclabilidade 133
4.3.1. Perfil dos Stakeholders 133
4.3.2. Pesos Definidos para Critérios e Subcritérios 136
4.4. Inquérito à População da Área de Estudo 151

4.4.1. Preparação e implementação dos inquéritos 151
4.4.2. Caracterização Sociodemográfica e Padrões de Deslocação 154
4.4.3. Resultados por Indicador (Likert) 156
4.4.4. Importância atribuída aos critérios 161
4.4.5. Diferenças estatísticas entre grupos sociodemográficos 163
4.5. Limitações Específicas do Estudo de Caso 165
4.6. Validação do índice 167
4.7. Resultados do Índice de Ciclabilidade para a Rede da Área de Estudo 170
4.7.1. Segurança 172
4.7.2. Infraestrutura 174
4.7.3. Ambiente Envolvente 176
4.7.4. Multimodalidade 178
4.7.5. Qualidade Ambiental 180
4.7.6. Sistemas Digitais 182
4.7.7. Índice de Ciclabilidade 184
4.8. Índice de Ciclabilidade da Rede de Ciclovias da Póvoa de Varzim 187
4.9. Análise por Eixos Estruturantes da Rede Ciclável 191
4.9.1. Segurança 193
4.9.2. Infraestrutura 198
4.9.3. Ambiente envolvente 202
4.9.4. Multimodalidade 206
4.9.5. Qualidade Ambiental 210
4.9.6. Sistemas Digitais 215
4.9.7. Avaliação Global e Diretrizes Estratégicas para os Eixos Definidos 218
4.10. Cenário de melhoria das condições de ciclabilidade ao nível dos critérios emergentes 221

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros 225

5.1. Contribuições da investigação 225

5.2. Recomendações e aplicações práticas 227

5.3. Limitações da investigação 229

5.4. Desenvolvimentos futuros 230

5.5. Considerações finais 231

6. Referências Bibliográficas 232

7. Anexos 245

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação dos elementos de uma bicicleta elétrica 44
Tabela 2: Principais características dos tipos de bicicletas. 47
Tabela 3: Comparação entre sistemas de bicicletas partilhadas. 61
Tabela 4: principais fatores que influenciam a cobertura dos sistemas de bicicletas partilhadas. ... 66
Tabela 5: Tabela Comparativa dos Métodos Multicritério. 90
Tabela 6: Síntese de trabalhos envolvendo AHP. 93
Tabela 7: Estrutura hierárquica com a discriminação do nível de cada indicador. 107
Tabela 8: Extensão dos eixos e seus arruamentos. 131
Tabela 9: Resultados descritivos dos indicadores do critério Ambiente Envolvente. 156
Tabela 10: Resultados descritivos dos indicadores do critério Infraestrutura. 157
Tabela 11: Resultados descritivos dos indicadores do critério Multimodalidade. 158
Tabela 12: Resultados descritivos dos indicadores do critério Qualidade Ambiental. 159
Tabela 13: Resultados descritivos dos indicadores do critério Segurança. 159
Tabela 14: Resultados descritivos dos indicadores do critério Sistemas Partilhados. 160
Tabela 15: Resultados descritivos dos indicadores do critério Sistemas Digitais. 160
Tabela 16: Médias, medianas e modas atribuídas a cada critério. 163
Tabela 17: Critérios com diferenças estatisticamente significativas - variáveis sociodemográficas. 163
Tabela 18: Postos de contagem, volumes médios horários e valores do Índice de Ciclabilidade... 168
Tabela 19: Coeficientes da regressão linear entre o índice e o volume de bicicletas. 169
Tabela 18: Estatísticas descritivas dos valores normalizados dos critérios para a rede. 170
Tabela 19: Estatísticas descritivas dos valores ponderados dos critérios para a rede. 171
Tabela 20: Rácio do comprimento da rede por classes de valor normalizado – Segurança. 173
Tabela 21: Rácio do comprimento da rede por classes de valor normalizado – Infraestrutura. 175
Tabela 22: Rácio do comprimento da rede por classes (normalizado) – Ambiente Envolvente. 177
Tabela 23: Rácio do comprimento da rede por classes (normalizado) – Multimodalidade. 179
Tabela 24: Rácio do comprimento da rede por classes (normalizado) – Qualidade Ambiental. 181
Tabela 25: Rácio do comprimento da rede por classes (normalizado) – Sistemas Digitais. 183
Tabela 26: Estatísticas dos valores normalizados e ponderados do índice para a rede. 184
Tabela 27: Rácio do comprimento da rede por classes de valores do Índice. 185
Tabela 28: Estatísticas descritivas dos valores ponderados do índice (Ciclovias da Póvoa)..... 187

Tabela 29: Distribuição do comprimento total por classe de pontuação. 189
Tabela 30: Resultados do teste de Kruskal-Wallis para os critérios. 193
Tabela 31: Estatísticas descritivas dos valores normalizados do critério Segurança por eixo. 194
Tabela 32: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado do critério Segurança. 197
Tabela 33: Comparações múltiplas para o critério Segurança. 197
Tabela 34: Estatísticas descritivas dos valores normalizados do critério Infraestrutura por eixo. ... 198
Tabela 35: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado do critério Infraestrutura. 201
Tabela 36: Comparações múltiplas para o critério Infraestrutura. 201
Tabela 37: Estatísticas dos valores normalizados – Ambiente Envolvente por eixo. 202
Tabela 38: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado – Ambiente Envolvente. 205
Tabela 39: Comparações múltiplas para o critério Ambiente Envolvente. 205
Tabela 40: Estatísticas descritivas dos valores normalizados – Multimodalidade por eixo. 206
Tabela 41: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado – Multimodalidade. 209
Tabela 42: Comparações múltiplas para o critério Multimodalidade 210
Tabela 43: Estatísticas descritivas dos valores normalizados – Qualidade Ambiental por eixo. 211
Tabela 44: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado – Qualidade Ambiental. 214
Tabela 45: Comparações múltiplas para o critério Qualidade Ambiental. 215
Tabela 46: Estatísticas descritivas dos valores normalizados – Sistemas Digitais por eixo. 215
Tabela 47: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado – Sistemas Digitais. 218
Tabela 48: Diagnósticos e propostas estratégicas para os eixos definidos. 220
Tabela 49: Estatísticas descritivas do índice para a situação atual da rede e para melhorias. 222
Tabela 50: Rácio do comprimento da rede por classes para a situação atual e para melhorias. .. 224

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução das emissões de CO_2 na União Europeia por setor [1990-2019]. 2
Figura 2: Tempo de deslocação em função da distância para diferentes modos de transporte 4
Figura 3: Síntese das etapas metodológicas. 8
Figura 4: Benefícios da utilização da bicicleta para as cidades e o meio ambiente 12
Figura 5: Benefícios da utilização da bicicleta para a saúde. 12
Figura 6: Crianças utilizando bicicletas em Amsterdão 13
Figura 7: Idosa utilizando bicicleta em Nuremberga..... 13
Figura 8: Hierarquia dos requisitos para uma rede ciclável. 15
Figura 9: Troço de pista ciclável em Roterdão 18
Figura 10: Representação dos fatores analisados nos níveis de abordagem da bikeability. 24
Figura 11: Principais metodologias para a recolha de dados na avaliação da ciclabilidade. 31
Figura 12: Classificação dos métodos de avaliação da ciclabilidade. 31
Figura 13: Exemplo de via partilhada entre ciclistas e peões em Estugarda..... 36
Figura 14: Faixa ciclável demarcada em avenida movimentada em Budapeste 36
Figura 15: Pista ciclável em avenida de Roterdão 36
Figura 16: Cenário de coexistência entre ciclistas e veículos motorizados na mesma via em Braga 36
Figura 17: Tipos de bicicletas 43
Figura 18: Detalhe de cacifo para bicicletas em estação de comboios em Estugarda 53
Figura 19: Distribuição das distâncias percorridas por diferentes modos de transporte 56
Figura 20: Cladograma para os sistemas de bicicletas partilhadas..... 59
Figura 21: Delimitação do estacionamento de bicicletas em Bournemouth 60
Figura 22: Identificação de "Drop Zone" em Lisboa. 60
Figura 23: Exemplo de vandalismo de bicicleta partilhada em Bruxelas 61
Figura 24: Acumulação desordenada de bicicletas partilhadas em zona turística de Lisboa. 61
Figura 25: Estação de bicicletas partilhadas em Lisboa 64
Figura 26: Estação de bicicletas partilhadas ao lado de um acesso ao metro de Budapeste. 64
Figura 27: Operação de movimentação de bicicletas entre estações em Barcelona 66
Figura 28: Estação de bicicletas convencionais partilhadas em Londres 69
Figura 29: Estação de bicicletas elétricas partilhadas em Madrid. 69
Figura 30: Sinalização Rodoviária a exibir a disponibilidade de espaços. 71

Figura 31: Dispositivo digital a exibir a disponibilidade de espaços para estacionamento de automóveis na Póvoa de Varzim (Fonte: fotografia própria, 2021). 71
Figura 32: Contador de ciclistas em Vilamoura. 75
Figura 33: Fluxograma da estruturação do problema de decisão. 78
Figura 34: Representação hierárquica de um problema de decisão multicritério 80
Figura 35: Fluxograma do modelo de avaliação da ciclabilidade em redes urbanas. 101
Figura 36: Níveis e elementos de análise. 103
Figura 37: Sinal de proibição C4e 104
Figura 38: Exemplo de conectividade angular para o segmento B. 104
Figura 39: Ciclovia na Av. 25 de Abril (troço junto à rotunda com a Rua Belarmino Pereira). 111
Figura 40: Formatos das funções de pertença e parâmetros de controlo. 112
Figura 41: Localização do município da Póvoa de Varzim. 120
Figura 42: Evolução da repartição modal no concelho da Póvoa de Varzim. 121
Figura 43: Densidade populacional (hab./ha) e principais eixos viários no concelho 122
Figura 44: Estrutura funcional do uso do solo no concelho da Póvoa de Varzim 124
Figura 45: Modelo de organização territorial da cidade da Póvoa de Varzim 126
Figura 46: Zoneamento adotado para a área de estudo. 127
Figura 47: Zonas 30 e localização de escolas no concelho da Póvoa de Varzim 128
Figura 48: Mapa Sintático da zona de estudo (métrica NACH). 129
Figura 49: Eixos cicláveis definidos na área de estudo. 130
Figura 50: Ambiente de trabalho SIG 132
Figura 51: Grupos derivados do Painel de stakeholders. 135
Figura 52: Distribuição dos stakholders por faixas etárias 135
Figura 53: Frequência de uso da bicicleta entre os stakeholders. 135
Figura 54: Principais motivos de uso da bicicleta. 136
Figura 55: Local de atuação profissional dos stakeholders. 136
Figura 56: Situação em que foram necessários ajustes nos julgamentos. 137
Figura 57: Interface da plataforma na etapa da comparação par a par 137
Figura 58: Matriz de comparação par a par preenchida (visualização parcial do modo do editor). 138
Figura 59: Rácios de consistência (CR) por matriz de julgamento. 140
Figura 60: Distribuição dos pesos dos critérios principais do índice de ciclabilidade. 140
Figura 61: Pesos dos subcritérios do critério Ambiente Envolvente. 141

Figura 62: Pesos dos subcritérios do critério Infraestrutura. 142
Figura 63: Pesos dos subcritérios do critério Segurança. 144
Figura 64: Pesos dos subcritérios do critério Qualidade Ambiental. 145
Figura 65: Pesos dos subcritérios do critério Multimodalidade. 146
Figura 66: Pesos dos subcritérios do critério Sistemas Partilhados. 147
Figura 67: Pesos dos subcritérios do critério Sistemas Digitais. 148
Figura 68: Estrutura do inquérito aplicado à população da Póvoa 151
Figura 69: Cartaz afixado nos estabelecimentos. 152
Figura 70: Cartão de visitas distribuído na abordagem corpo a corpo. 152
Figura 71: Mosaico das imagens usadas na campanha das redes sociais. 153
Figura 72: Distribuição dos níveis de escolaridade dos inquiridos. 155
Figura 73: Situação profissional dos inquiridos. 155
Figura 74: Distribuição do rendimento mensal dos inquiridos. 155
Figura 75: Propósito da principal deslocação diária dos inquiridos. 155
Figura 76: Modo de transporte habitual dos inquiridos. 156
Figura 77: Distância da principal viagem diária. 156
Figura 78: Localização dos postos de contagem de bicicletas na área de estudo. 167
Figura 79: Relação entre o Índice de Ciclabilidade e o volume de bicicletas. 169
Figura 80: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Segurança. 172
Figura 81:Representação dos valores normalizados do critério Segurança para a rede. 173
Figura 82: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Infraestrutura 174
Figura 83: Representação dos valores normalizados do critério Infraestrutura para a rede. 175
Figura 84: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Ambiente Envolvente. 176
Figura 85: Representação dos valores normalizados do critério Ambiente Envolvente - rede. 177
Figura 86: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Multimodalidade 178
Figura 87:Representação dos valores normalizados do critério Multimodalidade para a rede. 179
Figura 88: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Qualidade Ambiental. 180
Figura 89: Representação dos valores normalizados do critério Qualidade Ambiental - rede. 181
Figura 90: Representação dos valores normalizados do critério Sistemas Digitais para a rede. 183
Figura 91: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do Índice de Ciclabilidade 184
Figura 92: Representação dos valores normalizados do Índice de Ciclabilidade para a rede. 186
Figura 93: Representação dos valores ponderados do Índice de Ciclabilidade para a rede 186

Figura 94: Distribuição de frequência dos valores do índice calculado por segmento. 188
Figura 95: Boxplot do Índice de Ciclabilidade das Ciclovias da Póvoa de Varzim. 188
Figura 96: Mapa do Índice de Ciclabilidade da Rede de Ciclovias Existentes. 189
Figura 97: Representação do Índice de Ciclabilidade Normalizado para os eixos. 192
Figura 98: Representação do Índice de Ciclabilidade Ponderado para os eixos. 192
Figura 99: Distribuição dos valores normalizados do critério Segurança por eixo. 195
Figura 100: Representação dos valores normalizados do critério Segurança para os eixos. 196
Figura 101: Distribuição dos valores normalizados do critério Infraestrutura por eixo. 199
Figura 102: Representação dos valores normalizados do critério Infraestrutura para os eixos. 200
Figura 103: Distribuição dos valores normalizados do critério Ambiente Envolvente por eixo 203
Figura 104: Representação dos valores normalizados do critério Ambiente Envolvente - eixos. 204
Figura 105: Distribuição dos valores normalizados do critério Multimodalidade por eixo. 207
Figura 106: Representação dos valores normalizados do critério Multimodalidade para os eixos. 208
Figura 107: Distribuição dos valores normalizados do critério Qualidade Ambiental por eixo 212
Figura 108: Representação dos valores normalizados do critério Qualidade Ambiental - eixos. 213
Figura 109: Distribuição dos valores normalizados do critério Sistemas Digitais por eixo. 216
Figura 110: Representação dos valores normalizados do critério Sistemas Digitais para os eixos. 217
Figura 111: Distribuição dos valores do índice de ciclabilidade para a situação atual e melhoria. 222
Figura 112: Ciclabilidade da rede para a situação atual. 223
Figura 113: Ciclabilidade da rede para cenário com desempenho pleno - emergentes. 223

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

As cidades são sistemas complexos, que exigem dos gestores do território e dos transportes a capacidade de lidar com múltiplos problemas de mobilidade para garantir o funcionamento adequado dos sistemas urbanos e o bem-estar das populações. Estima-se que, a partir da segunda metade do século XXI, mais de dois terços da população mundial viverão em áreas urbanas (UN, 2014). Este crescimento intensificará e agravará questões relacionadas com a poluição, o uso do solo e a mobilidade. Soma-se a este cenário os impactos da crise climática, que já afetam as dinâmicas e a qualidade de vida nas cidades, fortemente dependentes da utilização de veículos motorizados.

A crescente emissão de gases com efeito de estufa (GEE) representa um dos principais desafios ambientais da atualidade, sendo o setor dos transportes responsável por uma parcela substancial do total dessas emissões na Europa e em Portugal (EEA, 2023). A forte dependência do automóvel particular, amplamente reconhecida como um dos principais fatores contribuintes, tem agravado os problemas impactos ambientais, como a poluição do ar e do ruído (WHO, 2024).

Para além do dióxido de carbono (CO_2), a combustão de combustíveis fósseis liberta poluentes perigosos para a saúde e ambiente, como partículas (PM) e óxidos de azoto (NOx), com efeitos adversos na saúde pública. Estes poluentes estão associados a milhões de mortes prematuras todos os anos, particularmente em áreas urbanas europeias (Bu et al., 2021; Ribeiro & Mendes, 2022).

Conforme ilustrado na Figura 1, o setor dos transportes apresenta uma tendência de crescimento das emissões de CO_2 na União Europeia nas últimas décadas. Este comportamento contrasta com o observado em setores como a indústria e energia, que têm registado progressivas reduções no mesmo período.

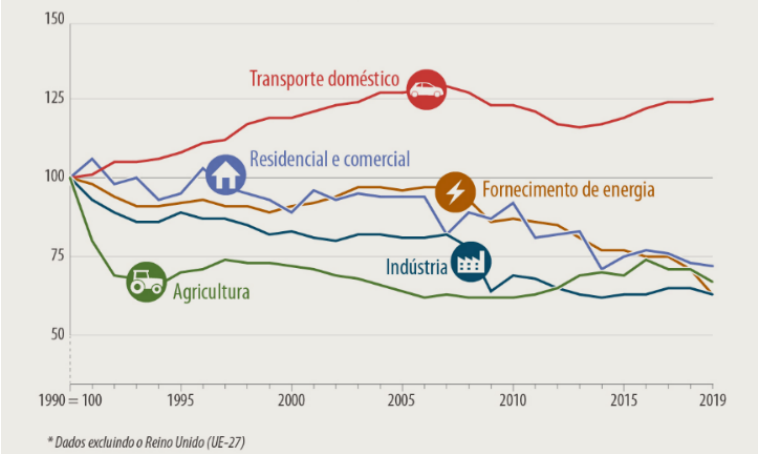


Figura 1: Evolução das emissões de CO_2 na União Europeia por setor [1990-2019] (Agência Europeia do Ambiente, 2022 - https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20190313STO31218/emissoes-de-co2-dos-carros-factos-e-numeros-infografias).

O atual esforço para reduzir a emissão de GEE tem-se centrado sobretudo na substituição dos combustíveis fósseis por alternativas mais limpas, com destaque para a eletrificação do setor dos transportes (Ribeiro et al., 2024; Skrúcaný et al., 2019). Diversos estudos indicam que a transição para veículos elétricos é crucial para alcançar as metas de descarbonização estabelecidas pela União Europeia e pelo Acordo de Paris (Ribeiro & Mendes, 2022; UN, 2015).

No entanto, a simples substituição tecnológica não é suficiente. Uma mudança significativa nos padrões de mobilidade é igualmente necessária, com especial ênfase na promoção dos modos de transporte ativos. (ECF, 2015; WHO, 2024). Entre estes, a bicicleta assume um papel central, sobretudo em deslocações de curta distância dentro das cidades, onde pode reduzir substancialmente a dependência do automóvel (Pérez-Neira et al., 2020; Wang & Zhou, 2017).

A adoção generalizada da bicicleta contribui para diminuir tanto as emissões locais (poluição do ar e ruído) como das emissões globais de GEE, gerando impactos positivos ao nível ambiental e da saúde pública (De Nazelle et al., 2011; Hamilton & Wichman, 2018).

Para além da dimensão ambiental, o setor dos transportes tem um impacto negativo no custo de vida, representando, no contexto europeu, um dos principais fatores para a redução da segurança nas áreas urbanas. Outra preocupação relativa ao bem-estar das populações está associada ao aumento da prevalência da obesidade, fenómeno observado de forma consistente nas últimas quatro

décadas (WHO, 2018).Esta tendência está intimamente ligada aos padrões de mobilidade e ao sedentarismo crescente.

As alterações nas relações humanas, impulsionadas pelas tecnologias de informação e comunicação, contribuem para o aumento da obesidade. A possibilidade de se realizar inúmeras atividades de forma remota ou assíncrona, sem necessidade de deslocação, tem contribuído para reduzir os índices de atividade física quotidiana (Ahvenniemi et al., 2017). Esta situação pode traduzir-se em mais custos para a sociedade, ao contribuir para o desenvolvimento de doenças.

A necessidade de aumentar a eficiência das deslocações diárias e de gerar benefícios pessoais e comunitários para os habitantes dos meios urbanos é cada vez mais evidente. Neste contexto, a bicicleta destaca-se como uma alternativa sustentável, oferecendo atributos opostos aos do transporte privado motorizado. A sua utilização contribui diretamente para os objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, colocando-a no centro do planeamento urbano como parte da solução para problemas relacionados com a mobilidade, qualidade de vida e saúde pública (Banister, 2008; UN, 2016).

Se, no passado, o automóvel foi a principal referência para o planeamento urbano e de transportes, o início deste século trouxe uma mudança de paradigma. Verifica-se um maior protagonismo dos modos suaves, como a bicicleta e a caminhada, nos processos de planeamento urbano sustentável (Fishman et al., 2013).

Neste contexto, a bicicleta tem vindo a assumir um papel relevante, especialmente nesta segunda década do século XXI. Apresenta-se como uma solução eficaz para o cumprimento de 11 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 (UN, 2016). Reforçando a sua importância na construção de cidades mais saudáveis e resilientes.

Do ponto de vista individual, os benefícios da utilização da bicicleta para a saúde e para a economia são bem conhecidos e amplamente aceites (Czech et al., 2018; Pucher & Buehler, 2008). O uso regular da bicicleta contribui para a melhoria da aptidão física, redução do risco de doenças cardiovasculares e aumento do bem-estar geral, proporcionando uma alternativa económica em comparação com o transporte motorizado.

Já na perspetiva das cidades, que continuam a enfrentar desafios como falta de espaço, congestionamento e poluição do ar, a infraestrutura ciclável apresenta vantagens significativas, ocupa

menos espaço público e, muitas vezes, a infraestruturação associada é mais económica do que a construção e manutenção de infraestruturas rodoviárias (Marqués et al., 2015).

A bicicleta assume, assim, um papel crucial na redução das emissões de carbono no setor dos transportes, sobretudo em substituição de veículo privado para deslocações de até 15 minutos em meio urbano (Ribeiro et al., 2024). A Figura 2 ilustra a relação entre tempo de deslocação e distância percorrida para diferentes modos de transporte, evidenciando que a bicicleta e a bicicleta elétrica (*Pedelec*) apresentam tempos de viagem competitivos em trajetos urbanos curtos, sobretudo quando comparados com o transporte público e o automóvel.

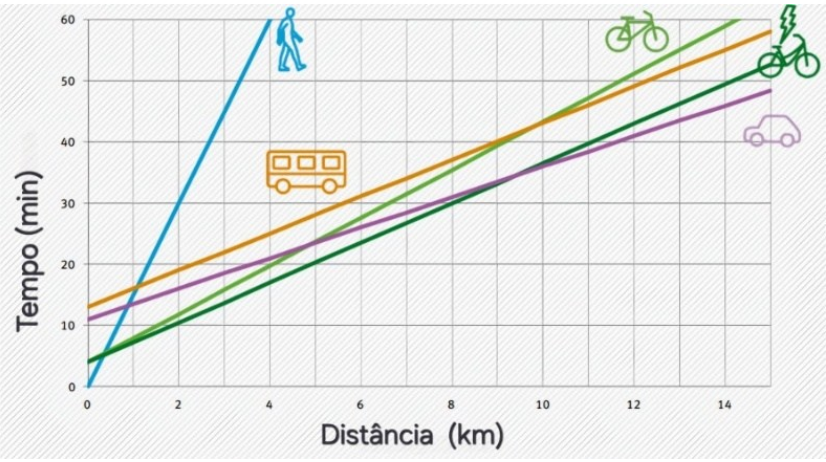


Figura 2: Tempo de deslocação em função da distância percorrida para diferentes modos de transporte (Adaptado de Wachotsch et al. (2014) – https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_e-rad_macht_mobil_-_pelelecs_4.pdf).

A integração da infraestrutura ciclável com as redes de transporte público reforça ainda mais esse papel. Permite que os ciclistas acedam facilmente a terminais de transporte e continuem a sua viagem através de modos de maior capacidade, tornando a bicicleta um modo alimentador e complementar fundamental (Di Mascio et al., 2018; Skayannis et al., 2017; Wang & Zhou, 2017). Esta abordagem contribui para reduzir as emissões de GEE, melhorar a qualidade do ar e otimizar as condições de vida, alinhando-se com os objetivos climáticos e ambientais da União Europeia para 2030 e 2040 (Ribeiro et al., 2024; Skrúcaný et al., 2019).

Considerando os benefícios associados à mobilidade ciclável, os municípios procuram estratégias para incentivar o aumento do uso da bicicleta na distribuição modal. No entanto, frequentemente enfrentam desafios e restrições na promoção deste modo de transporte. Entre os principais obstáculos destacam-se: a falta de infraestrutura adequada ao uso da bicicleta, incluindo vias dedicadas e estacionamentos; condições orográficas e climatéricas adversas; legislação de trânsito desajustada; questões de segurança viária; limitações para viagens de longa distância e práticas

multimodais, incluindo o uso de sistemas partilhados; exposição ao ruído e poluentes atmosféricos; além de uma cultura que, por vezes, estigmatiza a bicicleta como modo de transporte sendo vista como de status inferior (Meireles & Ribeiro, 2020).

A infraestrutura ciclável é um elemento essencial para a promoção do uso diário da bicicleta (Czech et al., 2018; De Nazelle et al., 2011). Considerando os desafios significativos associados ao planeamento e implementação de infraestruturas cicláveis em contextos urbanos (Song et al., 2017), a disponibilização de métodos práticos e detalhados para avaliar a ciclabilidade pode ser uma ferramenta fundamental para os municípios. Estes instrumentos são particularmente valiosos para orientar a construção, expansão ou melhoria das infraestruturas dedicadas à mobilidade ativa, apoiando estrategicamente processos de planeamento urbano focados na descarbonização e na transição para sistemas de transporte mais sustentáveis.

Para alcançar um equilíbrio entre a oferta de redes cicláveis e a procura por bicicleta e, ainda, fomentar o uso deste modo de transporte, é imperativo desenvolver um processo de planeamento coerente e adaptado às realidades locais. Nesse sentido, torna-se crucial compreender o conceito de ciclabilidade e as suas definições, bem como aplicar métricas adequadas, quer para avaliar condições pré-existentes, quer para orientar a implementação de novas infraestruturas.

1.2. HIPÓTESE E PERGUNTAS DE INVESTIGAÇÃO

A hipótese de investigação que orienta esta tese é a de que a avaliação da mobilidade ciclável, nomeadamente através na avaliação da aptidão dos territórios e das redes dos sistemas de transportes para a utilização da bicicleta como meio de transporte quotidiano, deve integrar medidas e indicadores capazes de produzir índices de ciclabilidade mais completos e representativos. Estes índices deverão refletir as novas tendências de mobilidade, incluindo a disponibilização de infraestruturas e sistemas que promovam o uso da bicicleta. Elementos como a introdução de bicicletas elétricas, a implementação de sistemas partilhados e o recurso a soluções digitais são considerados determinantes para oferecer vantagens competitivas, aumentar a atratividade e tornar o uso da bicicleta mais cómodo e funcional no contexto urbano.

Deste modo, pretende-se demonstrar que os índices de ciclabilidade que incluam questões associadas as bicicletas partilhadas e elétricas podem ter valores e rankings diferentes dos modelos convencionais. Assim, cidades com a mesma realidade infraestrutural podem apresentar níveis de aptidão superiores e maior potencial de utilização quando consideradas estas novas tendências.

Para sistematizar os problemas abordados no decorrer desta tese, foram definidas as seguintes perguntas de investigação que orientaram esta investigação:

1. Que critérios emergentes e inovadores podem alterar o conceito atual de ciclabilidade?
2. Como avaliar a importância dos novos critérios num índice de ciclabilidade?
3. Como desenvolver novos indicadores para caracterizar adequadamente os diversos critérios, de modo a permitir obter um índice o mais holístico possível?
4. Como tornar um índice de ciclabilidade uma ferramenta orientada para a definição de políticas, estratégias e planeamento de redes cicláveis em meios urbanos?

1.3. OBJETIVOS

Esta tese de doutoramento tem como principal objetivo desenvolver um modelo de avaliação da ciclabilidade que promova a mobilidade ciclável e contribua para a redução da dependência do transporte individual motorizado. Para esse efeito, propõe-se a criação de um índice de ciclabilidade holístico, baseado na análise dos padrões de mobilidade, dos territórios e das redes de transporte. Este índice também deverá contemplar e valorizar o contributo de fenómenos emergentes associadas à utilização da bicicleta como meio de transporte regular e quotidiano, permitindo captar de forma mais completa a sua atratividade e o seu potencial no contexto urbano.

Deste modo, para concretizar este objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e caracterizar as principais vantagens e desvantagens do uso da bicicleta mecânica convencional e da bicicleta elétrica, tendo em vista a sua adoção como meio regular de transporte;
- Estudar e caracterizar os sistemas de partilha de bicicletas em meio urbano, bem como aspetos da digitalização associados a bicicleta, seja ela mecânica ou elétrica;
- Levantar, caracterizar e analisar diferentes modelos de avaliação da ciclabilidade, tendo por base a rede ciclável e respetiva interligação com outros sistemas de transporte e usos de solo, de modo a colmatar eventuais lacunas existentes;
- Produzir um modelo de avaliação que resulte num índice de aptidão da mobilidade ciclável, que integre indicadores tradicionais (modelos atuais) e novos indicadores que reflitam o desempenho em relação às tendências da mobilidade partilhada, elétrica e digital;

- Desenvolver um modelo de avaliação da ciclabilidade que incorpore a participação de *stakeholders*, recorrendo a metodologias de análise multicritério;
- Aplicar o modelo de avaliação a uma cidade da região Norte de Portugal, de forma a avaliar e validar a sua aplicabilidade e robustez.

1.4. ESTRUTURA METODOLÓGICA

A estrutura metodológica desta tese assenta no desenvolvimento de um modelo para avaliação da mobilidade ciclável através de um índice de ciclabilidade, com especial enfase na integração de novas tendências na mobilidade, como as bicicletas elétricas, os sistemas de bicicletas partilhadas e as soluções digitais, assegurando uma avaliação mais abrangente e ajustada às necessidades e realidades locais.

A metodologia proposta baseia-se em três etapas principais interligadas. A primeira etapa consiste na identificação e análise dos critérios, subcritérios e indicadores relevantes para a mobilidade ciclável, com base na revisão da literatura e na recolha de dados empíricos. Nesta fase, são propostas novas variáveis para avaliar a influência das bicicletas elétricas e dos sistemas partilhados, considerando o seu impacto na atratividade e na acessibilidade da bicicleta como meio de transporte quotidiano.

Com base nesta análise, será desenvolvido o índice de ciclabilidade, integrando os critérios tradicionais e as novas tendências identificadas. A atribuição de pesos a cada critério será realizada através da aplicação de um método de análise multicritério (*Analytic Hierarchy Process* – AHP), envolvendo a participação de *stakeholders* diretamente ligados à mobilidade ciclável. Entre os participantes incluem-se académicos, profissionais do setor público e privado, como engenheiros, arquitetos e planeadores, bem como utilizadores experientes das bicicletas e representantes de associações de ciclistas (utilizadores da bicicleta para fins não desportivos), garantindo que o índice reflete as prioridades e perceções dos diversos intervenientes.

Esta análise permitirá ainda validar o modelo proposto, demonstrando como a integração das novas tendências contribui para uma avaliação mais precisa e representativa da realidade urbana. A Figura 3 apresenta uma síntese do fluxo metodológico, oferecendo uma visão clara e integrada das etapas e atividades que estruturam o desenvolvimento desta investigação.

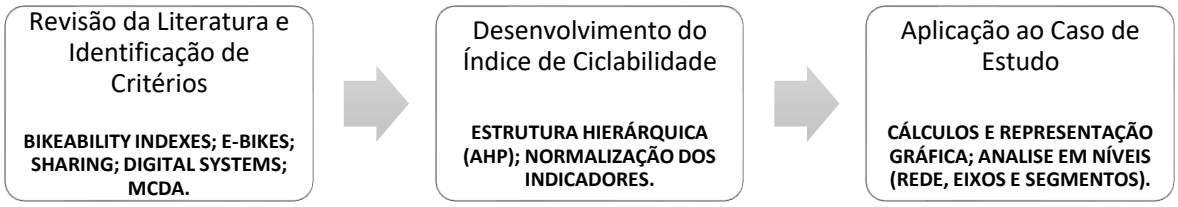


Figura 3: Síntese das etapas metodológicas.

Por último, o modelo será aplicado ao contexto urbano da cidade da Póvoa de Varzim, escolhida como área de estudo. Este município apresenta condições adequadas para avaliar os desafios e potencialidades de um planeamento ciclável mais inclusivo. Serão analisados dados territoriais, ambientais e de transporte para identificar e mapear a aptidão dos diferentes territórios e redes para o uso da bicicleta, considerando as novas variáveis introduzidas no índice. Os resultados serão apresentados sob a forma de mapas, possibilitando a visualização espacial dos níveis de ciclabilidade e a identificação de áreas prioritárias para intervenções.

1.5. ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese está estruturada em cinco capítulos, complementados por anexos e referências bibliográficas, de forma a garantir uma abordagem lógica e progressiva do tema. A estrutura permite uma análise detalhada e coerente dos índices de ciclabilidade e das suas implicações na promoção da mobilidade sustentável.

O capítulo 1 - Introdução apresenta o enquadramento do tema, formula a hipótese e as perguntas de investigação, define os objetivos do estudo e descreve a estrutura metodológica adotada. Por fim, expõe a organização geral da tese. Este capítulo estabelece as bases para o trabalho de investigação, contextualizando o problema em estudo e destacando a importância da mobilidade ciclável no atual contexto de urbanização e de procura por soluções sustentáveis.

O capítulo 2 – Revisão do Estado da Arte aborda os principais conceitos e modelos relacionados com a mobilidade ciclável. Analisa os índices de ciclabilidade existentes e a sua relevância na promoção de redes cicláveis seguras e eficientes, bem como os requisitos essenciais de uma infraestrutura ciclável. Em seguida, discute fenómenos emergentes, como as bicicletas elétricas e os sistemas de bicicletas partilhadas, bem como o papel das soluções digitais na experiência dos utilizadores. Por fim, são explorados os métodos de análise multicritério, com destaque para o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que sustenta a construção do índice proposto.

No capítulo 3 - Um modelo de avaliação da ciclabilidade é apresentada a metodologia desenvolvida. Este capítulo descreve os critérios e indicadores selecionados, explica o processo de definição dos pesos relativos através da análise AHP e apresenta os procedimentos os procedimentos de cálculo e representação do índice de ciclabilidade. É igualmente detalhado o processo de construção da rede ciclável, incluindo a recolha e tratamento dos dados e representação gráfica dos resultados do índice.

O capítulo 4 - Caso de Estudo: Aplicação do modelo na Póvoa de Varzim apresenta a implementação prática do modelo desenvolvido na cidade selecionada como área de estudo. Apresenta a caracterização territorial, demográfica e de mobilidade, seguida da definição dos eixos cicláveis analisados. Explica-se a aplicação do AHP e a definição de pesos para critérios e subcritérios do modelo do índice, bem como a análise dos resultados obtidos. São discutidos os valores do índice de ciclabilidade para a rede e para cada eixo estruturante, e é explorado um cenário hipotético que ilustra o potencial de aplicação do modelo para melhorar a ciclabilidade na cidade.

Por último, o capítulo 5 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros sintetiza os principais resultados, respondendo às perguntas de investigação e avaliando o cumprimento dos objetivos definidos. São destacadas as contribuições do modelo para a estado da arte e para a prática de planeamento urbano e dos transportes, bem como sugestões de evolução e de aplicação em outros contextos urbanos.

A tese encerra com as Referências Bibliográficas, que reúnem todas as fontes utilizadas, e com os Anexos, que disponibilizam materiais complementares e dados relevantes para a compreensão e replicação do estudo.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

2.1. ÍNDICES DE CICLABILIDADE

Os índices de ciclabilidade são ferramentas de avaliação e caracterização da aptidão de áreas urbanas ou redes viárias para o uso da bicicleta como meio de transporte. Estes índices desempenham um papel essencial no planeamento e gestão da mobilidade urbana sustentável, fornecendo informações fundamentais para a tomada de decisão, o planeamento de infraestruturas cicláveis e a formulação de políticas públicas que promovam o uso da bicicleta.

De acordo com Lowry et al. (2012), os índices de ciclabilidade permitem avaliar a qualidade e as condições oferecidas por uma rede ciclável, integrando variáveis relacionadas com fatores como infraestrutura, acessibilidade, segurança e características ambientais. Winters et al. (2013) destacam que estes índices possibilitam identificar áreas que requerem intervenções, priorizar investimentos estratégicos e monitorizar o impacto de medidas implementadas ao longo do tempo.

A construção de índices de ciclabilidade baseia-se geralmente em metodologias que combinam indicadores objetivos e subjetivos, tais como o nível de serviço ciclável (*Bicycle Level of Service* – BLoS), a densidade de infraestruturas para bicicletas, o uso do solo, a conectividade da rede ciclável e o conforto percebido pelos utilizadores (Krenn et al., 2015; Ma & Dill, 2017). Estes indicadores são agregados de forma a fornecer uma medida quantitativa ou qualitativa que reflete o nível de ciclabilidade de uma área ou segmento viário.

Para além de auxiliarem no planeamento de redes cicláveis, os índices de ciclabilidade também são utilizados para promover o uso da bicicleta como meio de transporte sustentável. Conforme evidenciado por Wahlgren & Schantz (2012), índices bem desenhados permitem não apenas a avaliação técnica, mas também o desenvolvimento de estratégias de comunicação que incentivem a adoção da bicicleta por diferentes grupos populacionais, considerando as especificidades de idade, género e condição física.

Outro ponto relevante sobre os índices de ciclabilidade é a sua aplicação prática. Ferramentas como o Bike Score® (Winters et al., 2016) têm-se mostrado valiosas em contextos urbanos, permitindo visualizar espacialmente as áreas mais e menos propícias ao uso da bicicleta. Estas ferramentas utilizam Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para mapear a distribuição da ciclabilidade, tornando os dados acessíveis e compreensíveis para gestores urbanos e para o público em geral.

Contudo, a efetividade dos índices de ciclabilidade depende da qualidade e atualidade dos dados disponíveis, bem como da integração de critérios que reflitam as novas tendências de mobilidade, como a crescente utilização de bicicletas elétricas e a implementação de sistemas de bicicletas partilhadas (Z. Lin & Fan, 2019). Além disso, a literatura recente aponta a necessidade de considerar fatores relacionados com saúde pública, poluição e inovação tecnológica, que ainda são sub-representados nos índices existentes (Hamidi et al., 2019).

Neste ponto, serão abordados, de forma estruturada, os aspetos fundamentais dos índices de ciclabilidade. Primeiramente, será discutida a relevância da bicicleta na mobilidade urbana sustentável, enfatizando o papel da infraestrutura ciclável. Em seguida, serão apresentados os requisitos básicos que uma rede ciclável deve cumprir para incentivar o uso da bicicleta, incluindo segurança, coesão, objetividade, conforto e atratividade. Por último, serão explorados o conceito de ciclabilidade, os modelos para avaliação, bem como os critérios recorrentes utilizados nos índices de ciclabilidade.

2.1.1. A Relevância da Bicicleta na mobilidade urbana e o papel da infraestrutura

A bicicleta destaca-se como um elemento essencial na promoção de uma mobilidade urbana sustentável. Este modo de transporte não-motorizado contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, bem como para a diminuição dos níveis de congestionamento urbano e de poluição sonora (Kager et al., 2016; Winters et al., 2013). Estes benefícios estão amplamente associados às características sustentáveis da bicicleta enquanto modo de transporte. A

Figura 4 ilustra, de forma comparativa, os impactos positivos da utilização da bicicleta na redução de emissões de carbono, congestionamento e poluição sonora. Estas características tornam-na uma alternativa viável aos modos de transporte motorizados, especialmente em contextos urbanos onde as deslocações pendulares de curta distância predominam (Kager et al., 2016).

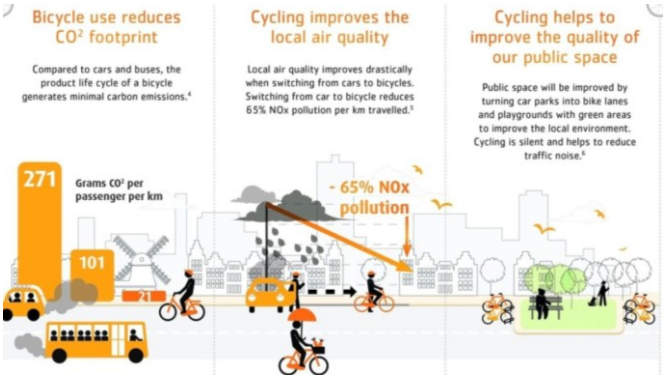


Figura 4: Benefícios da utilização da bicicleta para as cidades e o meio ambiente, destacando a redução da pegada de CO_2, a melhoria da qualidade do ar e a otimização do espaço urbano (Fonte: Dutch Cycling Embassy - https://dutchcycling.nl/).

A relevância da bicicleta vai além das questões ambientais. O seu uso frequente está diretamente relacionado a melhorias na saúde pública, ao estimular a prática de atividade física regular e a redução dos níveis de sedentarismo, fatores associados a um menor risco de doenças cardiovasculares e metabólicas (Porter et al., 2019; Wahlgren & Schantz, 2011; Winters et al., 2013). A promoção da bicicleta como um modo regular de transporte é, portanto, também uma estratégia de saúde pública.

A Figura 5 exemplifica alguns dos benefícios da utilização da bicicleta em relação à saúde pública. Adicionalmente, a bicicleta é um modo de transporte inclusivo, pois representa uma opção económica e acessível, contribuindo para uma maior equidade no acesso ao transporte, especialmente em contextos onde as populações de menor rendimento enfrentam dificuldades para utilizar veículos motorizados ou transporte público devido aos custos associados (Motta, 2017).

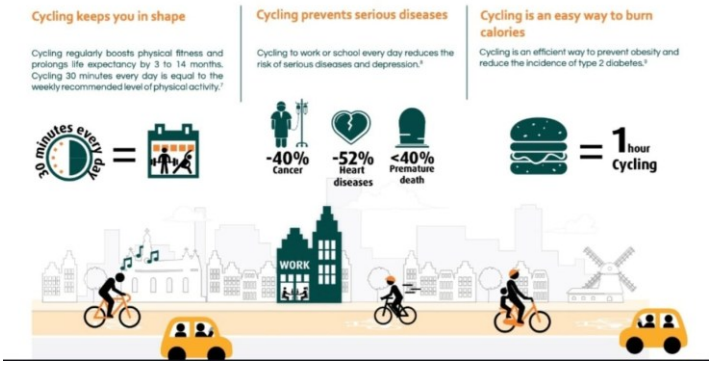


Figura 5: Benefícios da utilização da bicicleta para a saúde, incluindo a melhoria da condição física, a prevenção de doenças graves e a promoção do equilíbrio calórico (Fonte: Dutch Cycling Embasas - https://dutchcycling.nl/).

Contudo, o potencial da bicicleta como meio de transporte sustentável está diretamente condicionado à existência de uma infraestrutura ciclável adequada, segura e eficiente. A infraestrutura ciclável desempenha um papel fundamental na promoção da utilização da bicicleta, ao proporcionar condições para a coexistência harmoniosa entre os diferentes modos de transporte e para a segurança dos ciclistas. Redes cicláveis bem-planeadas e implementadas são essenciais para a integração da bicicleta nos sistemas de mobilidade urbana, contribuindo para a sua competitividade face aos modos motorizados.

Um dos princípios fundamentais de uma infraestrutura ciclável bem desenhada é a sua capacidade de atender às necessidades de ciclistas de todas as idades e habilidades, um conceito frequentemente referido como "*from 8 to 80*" (Nordström & Manum, 2015; Vedel et al., 2017; Winters et al., 2013). Este princípio assegura que crianças, idosos e ciclistas com diferentes níveis de experiência se sintam seguros e confortáveis ao utilizarem as infraestruturas disponíveis. A Figura 6 e a Figura 7 ilustram a prática deste conceito, demonstrando como infraestruturas cicláveis bem planejadas permitem a utilização segura da bicicleta por crianças, idosos e ciclistas com diferentes níveis de experiência.

Para alcançar este objetivo, é imprescindível a criação de infraestruturas que minimizem os conflitos com outros utilizadores da via, como veículos motorizados e peões, assegurando uma separação clara e uma prioridade explícita para os ciclistas, em particular nas zonas de interseção (Nordström & Manum, 2015).



Figura 6: Crianças utilizando bicicletas em Amsterdão (Fonte: fotografia própria, 2018).



Figura 7: Idosa utilizando bicicleta em Nuremberga (Fonte: fotografia própria, 2018).

A adequação da infraestrutura para todos os utilizadores também implica a implementação de medidas específicas, como ciclovias segregadas, faixas cicláveis amplas e bem iluminadas, sinalização clara e cruzamentos protegidos. Estas medidas não apenas aumentam a segurança, mas

também criam um ambiente mais inclusivo, onde as pessoas se sentem confiantes e motivadas a utilizar a bicicleta como meio de transporte, independentemente da sua idade ou condição física (Nielsen & Skov-Petersen, 2018).

Além disso, elementos de suporte, como locais adequados para estacionamento e pontos de recarga para bicicletas elétricas, são essenciais para garantir a funcionalidade e a atratividade do modo ciclável em áreas urbanas (Plazier et al., 2017; Roetynck, 2010).

A infraestrutura ciclável engloba diferentes elementos, desde ciclovias segregadas, faixas cicláveis e espaços partilhados, até infraestruturas de apoio como estacionamentos e pontos de manutenção (Krenn et al., 2015; Wei et al., 2013).

A qualidade, continuidade e conectividade destas infraestruturas são determinantes para a atratividade e funcionalidade do modo ciclável. Por exemplo, o incentivo ao uso de bicicletas elétricas está intimamente ligado à disponibilidade de pontos de recarga e a infraestruturas que minimizem conflitos com outros utilizadores, aumentando assim o conforto e a segurança (Plazier et al., 2017).

Por outro lado, a integração da bicicleta com outros modos de transporte, como o transporte público, é uma estratégia relevante para aumentar a área de influência deste modo e promover a multimodalidade. Infraestruturas como estacionamentos para bicicletas em estações de comboio e autocarros, bem como sistemas de bicicletas partilhadas, são fundamentais neste contexto (Hamidi et al., 2019; Kager et al., 2016).

Portanto, a bicicleta desempenha um papel estratégico na transição para sistemas de transporte mais sustentáveis e resilientes. Contudo, a concretização do seu potencial depende diretamente do planeamento, implementação e manutenção de infraestruturas cicláveis adequadas, que garantam segurança, conectividade e acessibilidade, promovendo a utilização da bicicleta tanto para fins utilitários como recreativos e assegurando condições que permitam o uso inclusivo para pessoas de todas as idades e habilidades.

2.1.2. Requisitos básicos de uma rede ciclável

A conceção de uma rede ciclável eficiente e segura deve respeitar princípios fundamentais que assegurem funcionalidade, acessibilidade e integração no meio urbano. Estes orientam a qualidade da infraestrutura e garantem que esta responda às necessidades dos utilizadores, promovendo o uso quotidiano da bicicleta. A literatura especializada identifica cinco requisitos centrais: segurança, coesão, objetividade, conforto e atratividade (CROW, 2016).

Manuais de referência internacional apresentam abordagens convergentes. O Design Manual for Bicycle Traffic (DMBT) (CROW, 2016) define estes cinco princípios, amplamente aplicados em cidades europeias com elevada taxa de utilização da bicicleta. Já o London Cycling Design Standards (LCDS) (Transport for London, 2014) acrescenta o critério da adaptabilidade, que se refere à capacidade da rede se ajustar a diferentes utilizadores, tipos de bicicleta e mudanças no tempo. Apesar dessas variações, ambos sublinham a importância de redes bem planeadas, capazes de garantir deslocações seguras, diretas e confortáveis.

Estes requisitos assumem papéis distintos: segurança, coesão e objetividade estão mais associados ao projeto global das redes, enquanto conforto e atratividade dizem respeito sobretudo à experiência de utilização (CROW, 2016). Estudos confirmam a relevância destes aspetos para incentivar a mobilidade quotidiana em bicicleta Hull & O'Holleran (2014) e Zhao et al. (2018).

Scheltema (2012) propôs uma hierarquia baseada na pirâmide de Maslow (Figura 8), em que segurança e coesão constituem a base, assegurando condições mínimas para que se alcancem níveis superiores de eficiência e atratividade.

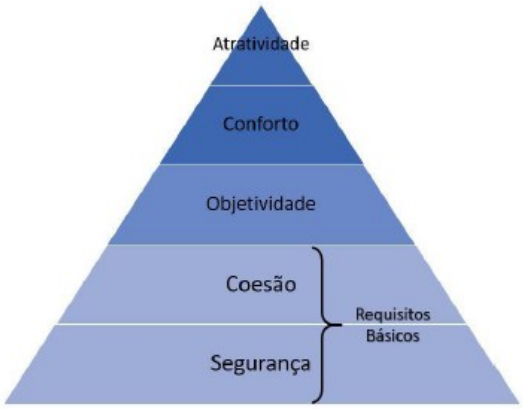


Figura 8: Hierarquia dos requisitos para uma rede ciclável, baseada na pirâmide de Maslow (Fonte: Scheltema, 2012).

Os requisitos apresentam caráter interdependente. Redes que asseguram segurança e coesão favorecem deslocações previsíveis e conectadas; a objetividade e o conforto maximizam eficiência e bem-estar; e a atratividade influencia a perceção global da experiência ciclável.

A segurança constitui condição estruturante do planeamento. A vulnerabilidade dos ciclistas, decorrente da diferença de massa e velocidade face aos veículos motorizados e da ausência de proteção externa, exige que a infraestrutura minimize conflitos e assegure previsibilidade (CROW, 2016; Transport for London, 2014).

Este requisito deve ser analisado sob duas dimensões: segurança objetiva, associada à redução efetiva do risco de acidentes, e segurança percebida, relacionada com a sensação de confiança e conforto no uso da infraestrutura (Wahlgren & Schantz, 2011; Winters et al., 2013). Ambas dependem de aspetos como segregação de fluxos, desenho de interseções, qualidade do pavimento, iluminação e visibilidade.

Estudos demonstram que redes com elevado número de interseções tendem a registar mais incidentes, embora a presença significativa de ciclistas possa induzir adaptação do comportamento dos condutores, reduzindo riscos (CROW, 2016; P. Schepers et al., 2014).

Os manuais CROW e LCDS, corroborados por diversos autores, recomendam medidas como minimizar conflitos em interseções, promover segregação física entre modos, reduzir velocidades nos pontos de contacto, assegurar visibilidade e previsibilidade, afastar ciclovias de vias de tráfego intenso para diminuir poluição e ruído, evitar traçados que exijam esforço excessivo ou provoquem vibrações, garantir uniformidade e legibilidade do tráfego e distinguir claramente as classes de via (CROW, 2016; P. Schepers et al., 2017; Thomas & DeRobertis, 2013; Transport for London, 2014; Wahlgren & Schantz, 2011).

O caso de Amesterdão confirma a eficácia desta abordagem: a segregação entre fluxos motorizados e cicláveis contribuiu para reduzir significativamente a sinistralidade (Manum & Nordstrom, 2013).

A coesão, por sua vez, assegura a conectividade e continuidade entre origens e destinos, criando uma malha que conecta áreas residenciais, comerciais, de lazer e de transporte público (CROW, 2016).Este requisito reduz distâncias percorridas, simplifica a navegação e oferece uma experiência fluida e previsível (Tischer, 2017).

Para tanto, devem ser garantidos: conectividade entre áreas relevantes (Tischer, 2017; Winters et al., 2013); continuidade da infraestrutura sem interrupções abruptas (CROW, 2016); densidade suficiente para assegurar acesso a uma ciclovia estruturada a cada 250 metros em áreas urbanas (CROW, 2016); integração com transportes públicos, reforçando a função da bicicleta como modo alimentador (Hartanto et al., 2017).; e intermodalidade, que amplia a área de influência e a eficiência da rede (Hamidi et al., 2019).

Estudos demonstram que a elevada densidade de conexões e a integração com transportes públicos são determinantes para aumentar a utilização da bicicleta (Hamidi et al., 2019; Krenn et al., 2015). A avaliação da coesão é também relevante para orientar investimentos e identificar áreas prioritárias (Pildes, 2014), abrangendo contextos urbanos e interurbanos, desde que se assegure a ligação funcional às redes urbanas (Tischer, 2017).

A objetividade garante percursos diretos e rápidos, analisando-se em duas dimensões: espacial, ligada à minimização de desvios, e temporal, associada à fluidez das viagens. O *detour factor*, que compara a distância percorrida com a distância em linha reta, deve situar-se abaixo de 1,2 nas rotas principais e entre 1,3 e 1,4 nas restantes (CROW, 2016).

Já na dimensão temporal, recomenda-se otimizar cruzamentos para reduzir paragens, assegurando velocidade constante e menor esforço de arranque (CROW, 2016). Medidas como sincronização semafórica, continuidade de faixas e eliminação de barreiras físicas são eficazes (Gholamialam & Matisziw, 2019). O alinhamento das ciclovias com os desejos de trajeto reduz desvios e aumenta a eficiência da rede (Manum et al., 2017).

A objetividade não se limita às deslocações pendulares: também beneficia rotas de lazer (Roetynck, 2010). Redes hierarquizadas e integradas ao transporte público mostram-se determinantes para a atratividade do modo ciclável (Manum & Nordstrom, 2013; McNeil, 2011).

Relativamente ao conforto, que está diretamente ligado à experiência do utilizador, envolve minimizar esforços, reduzir impactos externos e proporcionar percursos fluidos e agradáveis (CROW, 2016; Transport for London, 2014).

Fatores determinantes incluem: qualidade do pavimento, que deve ser regular e contínuo (CROW, 2016; Ribeiro e Mendes, 2013); inclinações suaves, que incentivam o uso (Marqués et al., 2015); arborização e cobertura, que aumentam o conforto térmico (Ma & Dill, 2017); e oferta de estacionamento seguro, que reduz o esforço no início e fim da viagem (Transport for London, 2014).

Recomenda-se ainda prevenir o desconforto causado por tráfego motorizado e pedonal, através de segregação e barreiras visuais (Mantuano et al., 2017). bem como garantir sinalização clara e compreensibilidade da rede, utilizando pontos de referência naturais e arquitetónicos (CROW, 2016).

Em cidades sem tradição ciclável, ambientes confortáveis podem constituir incentivo determinante para novos utilizadores (Marqués et al., 2015).

A atratividade acrescenta uma dimensão estética e ambiental que reforça a escolha pela bicicleta. Elementos como integração com áreas verdes, limpeza e manutenção, iluminação e visibilidade contribuem para tornar o percurso mais apelativo (CROW, 2016; Grigore et al., 2019; Transport for London, 2014). Para utilizadores quotidianos, a atratividade relaciona-se sobretudo com iluminação e perceção de segurança, enquanto iniciantes e turistas valorizam aspetos paisagísticos e culturais (Krenn et al., 2015).

A integração com parques e corpos de água tem impacto positivo, enquanto ambientes degradados desmotivam o uso (Porter et al., 2019). Boas práticas internacionais, como em Copenhaga e Malmö, evidenciam o valor de percursos integrados em áreas históricas e verdes (Hamidi et al., 2019). A qualidade do ambiente envolvente e a conservação do pavimento afetam diretamente a perceção de conforto e atratividade (Ma & Dill, 2017).

Segundo CROW e LCDS, fatores como ambiente qualificado, integração com património histórico, pavimentação adequada, iluminação eficiente, minimização de conflitos com outros modos e infraestrutura de apoio (bancos, bebedouros, estacionamento seguro) são decisivos. A Figura 9 exemplifica este requisito, apresentando uma ciclovia em ambiente urbano qualificado, com arborização, iluminação e espaços de lazer.



Figura 9: Troço de pista ciclável em Roterdão (Fonte: fotografia própria, 2018).

Em síntese, os cinco requisitos: segurança, coesão, objetividade, conforto e atratividade formam um quadro integrado e interdependente para a conceção de redes cicláveis. A aplicação consistente

destes princípios é determinante para aumentar a competitividade da bicicleta face aos modos motorizados e promover a mobilidade sustentável nos contextos urbanos.

2.1.3. Avaliação da ciclabilidade

O processo de tomada de decisão é fundamental no planeamento de transportes. De acordo com Campos (2013), este processo é influenciado por fatores como a complexidade das decisões e a necessidade de otimizar os recursos disponíveis. Assim, torna-se imperativo que a formulação de políticas, planos e ações no domínio das bicicletas contemple a otimização da alocação de recursos, a identificação e quantificação da população beneficiada pelos investimentos e a avaliação dos reais impactos e externalidades do sistema.

A avaliação da ciclabilidade (*bikeability*) deve ainda compreender as razões que levam as pessoas a adotarem o uso da bicicleta para diferentes fins, nomeadamente, para a realização de viagens pendulares no quotidiano. Segundo Manum e Nordstrom (2013), do ponto de vista do urbanismo e do planeamento de transportes, isso está relacionado com a questão de como planear as cidades para que as pessoas caminhem e andem mais de bicicleta do que é o usual, sobretudo em cidades planeadas durante o século passado.

Para Iseki & Tingstrom (2014), existe um consenso de que o ambiente natural e construído influencia o uso dos transportes ativos. A orografia é um exemplo disso, uma vez que tem influência direta na energia (esforço do ciclista) necessária para a realização de uma viagem e, consequentemente, na decisão de utilizar ou não a bicicleta e de percorrer um determinado percurso.

Segundo Winters et al. (2013), até ao momento da investigação conduzida pelos autores, havia pouco esforço para definir e mapear a mobilidade ciclável como uma abordagem que promovesse viagens por bicicleta. Deste modo, para Lage (2017), os novos planeadores enfrentam o desafio de criar propostas para cidades mais acessíveis, eficientes e sustentáveis.

A avaliação das características que retratam a mobilidade ciclável, considerando a relação entre o ambiente construído e o comportamento nos transportes, permite aos planeadores identificar e priorizar locais para a melhoria das condições de utilização da bicicleta (Greenstein, 2015).

O mapeamento da rede ciclável e das suas infraestruturas de apoio constitui um poderoso recurso de análise espacial para identificar áreas prioritárias de intervenção (Lowry et al., 2012). Além disso,

a avaliação da mobilidade ciclável pode auxiliar na criação de diretrizes para ações locais de estímulo ao uso da bicicleta (Winters et al., 2013).

Segundo Nordström e Manum (2015), o maior objetivo da rede ciclável é promover o acesso ao uso da bicicleta para pessoas de todas as idades, considerando as necessidades específicas de locomoção de grupos etários mais novos e mais velhos. (Skov-Petersen et al., 2017) concluíram que o alto nível de satisfação entre estes tipos de ciclistas serve como impulsionador e fator de persuasão para que outros indivíduos adotem a bicicleta como meio de transporte.

Deste modo, é possível constatar que, em certa medida, o conceito de ciclabilidade (bikeability) relaciona fatores ambientais com a utilização da bicicleta e pode ser um indicador para a melhoria das infraestruturas cicláveis e da segurança viária (Winters et al., 2016). O reconhecimento de áreas mais ou menos propícias ao uso da bicicleta pode ser um contributo importante para planeadores e gestores de território, fornecendo uma ferramenta para justificar investimentos racionais em infraestruturas cicláveis e aumentar o uso da bicicleta em deslocações pendulares (Winters et al., 2013).

Numa outra perspetiva, a avaliação da ciclabilidade de uma região deve incorporar questões de multimodalidade, i.e., avaliar a capacidade do modo ciclável de flexibilizar a rigidez do transporte público, aumentando o alcance espacial e reduzindo o tempo de viagem. De acordo com Kager et al. (2016), a bicicleta tem um alcance espacial limitado, mas é competitiva e eficiente em contextos urbanos densos e diversos. A integração da bicicleta com o transporte público aumenta significativamente a cobertura territorial da rede de transportes, proporcionando uma maior diversidade de opções de deslocação e tornando o sistema mais atrativo face aos modos motorizados individuais menos sustentáveis.

A avaliação do desempenho da mobilidade ciclável, nomeadamente de uma rede ciclável ou dos seus elementos constituintes, está geralmente associada à aplicação de índices de ciclabilidade (*bikeability indexes*). No entanto, diferentes abordagens também utilizam outros conceitos, como *Bike Quality Index* (Greenstein, 2015) e Bike Score® (Winters et al., 2016).

Segundo Motta (2017), a utilização de um índice de ciclabilidade pode auxiliar o processo de tomada de decisão na implementação ou melhoria das infraestruturas cicláveis, contribuindo para a criação de condições mais favoráveis ao uso da bicicleta. Esses índices baseiam-se na análise multicritério, onde diferentes variáveis são ponderadas de acordo com a sua relevância na experiência do ciclista.

Para Lowry et al. (2012), os índices podem diferenciar-se de duas maneiras: pelo conjunto de variáveis utilizadas ou pelo sistema de pesos e pontuações aplicados. Deve-se notar que diversos fatores influenciam o comportamento do utilizador na escolha do modo de transporte. Variáveis como a conectividade da rede, o uso do solo e as condições ambientais influenciam a escolha do modo de transporte ativo (Rybarczyk & Gallagher, 2014).

Silveira e Maia (2015) realçam que os principais fatores que promovem o uso da bicicleta são: acessibilidade da infraestrutura viária, pequenas distâncias entre origem e destino e segurança no trânsito. No entanto, o comportamento em relação à bicicleta e os fatores que influenciam a decisão de utilizá-la variam conforme o contexto local. A presença significativa de ciclistas pode refletir a sustentabilidade do sistema de transportes, embora em alguns contextos o uso da bicicleta seja motivado por restrições económicas. Motta (2017) aponta que, em algumas situações, a dependência de modos ativos pode ser consequência da falta de acesso ao transporte público ou da indisponibilidade de serviços acessíveis para determinados grupos populacionais.

Importa destacar que um índice de ciclabilidade depende da atualidade, quantidade e qualidade da informação disponível para a sua aplicação, devendo-se acautelar a definição e seleção dos critérios e indicadores-chave do respetivo índice (Lowry et al., 2012).

Deste modo, a avaliação da ciclabilidade desempenha um papel essencial no planeamento urbano, permitindo a identificação de áreas prioritárias para intervenções e a implementação de estratégias eficazes para promover o uso da bicicleta. Para compreender melhor os aspetos envolvidos na avaliação da ciclabilidade, os próximos subpontos explorarão o conceito de bikeability, os modelos utilizados para a sua medição e os principais critérios recorrentes na formulação de índices de ciclabilidade.

2.1.3.1. O conceito de ciclabilidade (*bikeability*)

A ciclabilidade ou *Bikeability* é um conceito amplo que relaciona diferentes fatores com o uso da bicicleta, dependendo do foco e do interesse da investigação. É aplicado principalmente nos domínios dos transportes, planeamento urbano, saúde pública e bem-estar. Embora o interesse pelo tema tenha crescido mais recentemente, já desde o início do século XXI têm sido desenvolvidas diversas iniciativas para avaliar a qualidade dos ambientes para os modos ativos; no entanto, a maioria dessas iniciativas foca-se na caminhada (Wahlgren & Schantz, 2011). O conceito de ciclabilidade foi desenvolvido a partir do conceito de caminhabilidade (*walkability*), estendendo a análise a todos os modos ativos (Porter et al., 2019).

Deste modo, observa-se que a ciclabilidade é um conceito relativamente recente e de grande relevância no campo da mobilidade sustentável, nomeadamente para um planeamento mais eficaz do transporte urbano. Desde então, procura-se avaliar e integrar as infraestruturas cicláveis com o bem-estar individual e a sustentabilidade dos ambientes urbanos, promovendo o uso regular da bicicleta nas cidades.

A ciclabilidade está relacionada com conceitos como nível de serviço para bicicletas (Lowry et al., 2012), facilidade de uso da bicicleta (Krenn et al., 2015), acessibilidade ciclável (Saghapour et al., 2017) e qualidade da experiência de ciclismo (Grigore et al., 2019). Estes conceitos permitem defini-la de forma clara e ajustada ao contexto da mobilidade urbana, integrando diferentes abordagens teóricas e metodológicas (Vale et al., 2016).

No domínio da saúde pública e do bem-estar, o termo *bikeability* é amplamente utilizada para analisar fatores ambientais associados ao ciclismo, tais como a capacidade de proporcionar conforto, conveniência e segurança (Winters et al., 2013). No contexto do planeamento urbano, as análises incluem variáveis relacionadas com a morfologia urbana. A avaliação da ciclabilidade pode abranger desde um segmento viário específico até uma área urbana completa, incluindo a análise da rede de transportes através de indicadores como conectividade e objetividade. Manum et al. (2017) a definem com base na relação entre as características das ruas e os fluxos e velocidades das bicicletas.

Uma definição semelhante é adotada no campo dos transportes para avaliar a adequação dos ambientes urbanos às deslocações em bicicleta, especialmente para fins de deslocação pendular. Esta abordagem considera indicadores como a infraestrutura ciclável, o uso do solo, a topografia e a conectividade da rede urbana (Eliou et al., 2009; Krenn et al., 2015; Ma & Dill, 2017; Porter et al., 2019; Winters et al., 2013). Além disso, estudos recentes, como o de Grigore et al. (2019), passaram a incluir indicadores relacionados com a qualidade do ar, considerando os níveis de emissão de poluentes como um fator relevante na avaliação da bikeability.

Outra perspetiva predominante no campo dos transportes define a ciclabilidade como o nível de acessibilidade do modo ciclável a destinos estratégicos, como interfaces de transportes públicos. Dessa forma, conceitos de acessibilidade podem ser integrados nas métricas de avaliação da bikeability (Hamidi et al., 2019; Saghapour et al., 2017). A forma como a acessibilidade é abordada varia consoante a definição utilizada. McNeil (2011) define a bikeability como o acesso ao maior número possível de destinos, considerando uma viagem de 20 minutos num ambiente não

motorizado. Lowry et al. (2012) caracterizam-na pelo conforto e conveniência proporcionados pela rede ciclável no acesso a locais relevantes. Já Saghapour et al. (2017) tratam a bikeability como uma medida de acessibilidade baseada nos custos de deslocação entre origens e destinos, geralmente expressos em termos de tempo e/ou distância. Esses custos podem ainda ser determinados pela distância percebida, influenciada por fatores como segurança, conforto e atratividade da rota (Grigore et al., 2019).

Existe ainda uma definição menos comum na investigação em transportes, que considera a ciclabilidade no âmbito das políticas públicas e das estratégias sociais para a promoção do uso da bicicleta. Nesta abordagem, os estudos exploram os fatores que funcionam como barreiras ou estímulos ao uso da bicicleta, considerando a ciclabilidade como um indicador da facilidade de utilização da bicicleta na cidade, também referido por *bycicle friendlyness* (Lowry et al., 2012).

Apesar da abrangência do conceito, a maioria dos trabalhos analisa a ciclabilidade de forma segmentada, concentrando-se em aspetos específicos das redes cicláveis, como acessibilidade, conforto ou segurança ((Eliou et al., 2009; Krenn et al., 2015; Ma & Dill, 2017; McNeil, 2011; Porter et al., 2019; Saghapour et al., 2017; Wahlgren & Schantz, 2011; Winters et al., 2013). Contudo, Lowry et al. (2012) argumentam que algumas propriedades do ciclismo, como conforto, conveniência e segurança, não fazem parte estritamente do conceito de ciclabilidade (*bikeability*), mas antes de um conjunto mais amplo de fatores que determinam a adequação das infraestruturas cicláveis. Segundo essa perspetiva, a bikeability corresponde exclusivamente à capacidade de alcançar destinos através do uso da bicicleta.

Além disso, Lin e Wei (2018) propõem uma definição de bikeability composta por três dimensões: adequação (*suitability*), amenidade (*amenities*) e acessibilidade (*accessibility*). Há ainda uma abordagem menos comum que define ciclabilidade como a capacidade individual de andar de bicicleta de forma segura, respeitando as regras de trânsito. Esta visão é promovida por iniciativas como a "*Bikeability Trust*", que se dedica à formação e capacitação de ciclistas (The Biekability Trust, 2019.).

O conceito de ciclabilidade pode ser analisado de forma integrada, considerando diferentes níveis de abordagem que vão desde a infraestrutura viária específica até a influência mais ampla do ambiente construído e natural. No nível micro, está diretamente relacionada com as condições de um segmento viário, sendo influenciada por fatores como conforto, conveniência, segurança e eficiência do traçado.

Este nível de análise centra-se na experiência imediata do ciclista, considerando elementos como a qualidade do pavimento, a presença de ciclovias segregadas e a interação com o tráfego motorizado.

À medida que se avança para o nível meso, a análise foca-se na rede ciclável como um todo, avaliando a sua conectividade e a capacidade de proporcionar acesso eficiente a destinos estratégicos, como centros de emprego, escolas ou interfaces de transportes públicos. A continuidade e coerência da infraestrutura são aspetos fundamentais neste nível, garantindo que os percursos cicláveis sejam não apenas seguros, mas também atrativos e funcionais.

No nível macro, a ciclabilidade transcende a infraestrutura física e passa a incluir as características do ambiente natural e construído, refletindo como a configuração urbana, a topografia e até as condições ambientais influenciam o uso da bicicleta. Este nível engloba ainda fatores políticos e sociais, como políticas de mobilidade sustentável, incentivos ao uso da bicicleta e a perceção cultural da ciclabilidade.

A integração destas diferentes escalas permite uma abordagem holística ao conceito de *bikeability*, demonstrando que a viabilidade do uso da bicicleta não depende apenas da infraestrutura disponível, mas também da criação de um ambiente urbano e social favorável à mobilidade ativa. A Figura 10 apresenta uma representação esquemática desses níveis de análise, destacando os principais fatores que os compõem.



Figura 10: Representação dos fatores analisados nos diferentes níveis de abordagem da bikeability.

2.1.3.2. Modelos de avaliação

A avaliação da ciclabilidade tem sido um tema amplamente discutido na literatura científica, refletindo o crescente interesse pelo planeamento urbano sustentável e pela promoção do uso da bicicleta como meio de transporte eficiente. Esta secção analisa os principais estudos sobre a avaliação da ciclabilidade, descreve as metodologias utilizadas e discute a aplicabilidade dos modelos no planeamento de redes cicláveis.

2.1.3.2.1. Abordagens e contextos

Diversas investigações têm procurado desenvolver índices e ferramentas que permitam medir e comparar as condições cicláveis em diferentes contextos urbanos. Winters et al. (2013) conduziram uma investigação na região metropolitana de Vancouver, Canadá, uma área caracterizada por grande diversidade em termos de organização urbana, topografia e infraestrutura de transportes. À data, existiam mais de 1350 km de infraestrutura ciclável, sendo cerca de 170 km constituídos por pistas cicláveis segregadas. O objetivo da investigação foi definir ciclabilidade com base em evidências empíricas e desenvolver uma ferramenta que possibilitasse a identificação de áreas mais ou menos favoráveis à circulação de bicicletas.

A metodologia utilizada por Winters et al. (2013) para a construção do índice de ciclabilidade baseou-se em inquéritos de opinião, estudos do comportamento das viagens e grupos focais. Para a criação do índice foram considerados cinco critérios principais: disponibilidade e qualidade da infraestrutura ciclável, uso do solo, topografia e conectividade da rede ciclável. Os indicadores associados a cada um desses critérios foram, respetivamente, a densidade da infraestrutura para bicicletas, a segregação em relação ao tráfego motorizado, a densidade de destinos e a inclinação do terreno. Importa salientar que, no critério da conectividade, apenas as vias que apresentavam condições mínimas para o tráfego de bicicletas foram incluídas na avaliação, nomeadamente aquelas que possuíam ciclovias, faixas cicláveis, pistas cicláveis ou ruas com limite de velocidade de 30 km/h.

Os resultados foram apresentados sob a forma de um mapa, proporcionando um panorama geral sobre as condições de ciclabilidade na região. Além disso, Winters et al. (2013) constataram que a proporção de viagens utilitárias, como deslocações para o trabalho, aumentava em função do incremento do índice de ciclabilidade de uma determinada zona. Este estudo demonstrou que o índice de ciclabilidade pode ser uma ferramenta útil para o planeamento urbano e servir como diretriz para ações locais que visem a melhoria das condições cicláveis e o incentivo à utilização da bicicleta.

Segundo os autores, a avaliação da ciclabilidade constitui um instrumento relevante para a previsão do número de viagens por bicicleta numa região.

Krenn et al. (2015), numa investigação realizada na cidade de Graz, Áustria, desenvolveram um índice de ciclabilidade para o contexto urbano europeu, recorrendo a quantificações objetivas com base em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O objetivo deste trabalho consistiu em visualizar a aptidão da cidade para a utilização da bicicleta através da criação de um mapa de ciclabilidade.

Para a formulação do índice, os autores consideraram seis critérios principais. No que respeita à infraestrutura ciclável, foram adotados os seguintes indicadores: condição geral da infraestrutura, existência de caminhos segregados e vias principais sem infraestrutura ciclável. Os restantes critérios incluíram estética e beleza natural, topografia e uso do solo, sendo estes representados, respetivamente, por áreas verdes e espelhos de água, inclinação do terreno e proporção de uso misto do solo.

Os resultados indicaram que três indicadores estavam positivamente correlacionados com o aumento do uso da bicicleta, nomeadamente a condição geral da infraestrutura, a existência de caminhos segregados e a presença de áreas verdes e espelhos de água. Em contrapartida, dois indicadores apresentaram uma relação negativa com a utilização da bicicleta: a existência de vias principais sem infraestrutura ciclável e a topografia acidentada. O estudo concluiu que os ciclistas tendem a evitar ruas com elevados volumes de tráfego e privilegiam rotas afastadas da circulação motorizada. Além disso, Krenn et al. (2015) observaram que os ciclistas regulares habitavam em áreas com índices de ciclabilidade mais elevados, embora não tenha sido possível determinar se esta distribuição se devia a uma escolha deliberada dos ciclistas ou se a presença da infraestrutura ciclável influenciou o aumento da prática de ciclismo nessas zonas.

Nos Estados Unidos, Greenstein (2015) desenvolveu um estudo com o objetivo de fornecer mapas que representassem a realidade do uso da bicicleta em Austin e avaliar o potencial de ciclabilidade nas diferentes regiões da cidade. Este trabalho esteve inserido na revisão do plano ciclável da cidade e visava orientar investimentos em infraestrutura ciclável que atendessem utilizadores de diferentes faixas etárias e níveis de aptidão para andar de bicicleta.

Os critérios analisados no estudo incluíram infraestrutura ciclável, densidade da rede, uso do solo, topografia e principais barreiras à circulação de bicicletas. Cada critério foi mapeado e classificado,

permitindo gerar representações dos cenários atual e potencial da ciclabilidade em Austin. Os resultados demonstraram que o crescimento urbano desordenado e a baixa densidade de ocupação do solo impactam negativamente a ciclabilidade, além de contribuírem para o agravamento dos congestionamentos rodoviários.

Adicionalmente, Greenstein (2015) analisou a relação entre o volume de ciclistas e a abrangência da rede ciclável. No caso de Austin, a decisão sobre os investimentos dividia-se entre concentrar recursos em áreas com maior número de ciclistas ou expandir a infraestrutura para regiões de baixa densidade e menor número de utilizadores. A autora defendeu que todas as áreas com potencial para a utilização da bicicleta devem dispor de infraestrutura ciclável adequada, garantindo equidade no acesso a esse meio de transporte sustentável.

Winters et al. (2016) analisaram a relação entre mobilidade ciclável e taxa de utilizadores da bicicleta em 24 cidades dos Estados Unidos e do Canadá, utilizando o índice *BikeScore®*. Este índice avalia o ambiente urbano com base em quatro critérios principais: infraestrutura ciclável, topografia, conectividade da rede ciclável e percentagem de ciclistas que realizam deslocações pendulares. No entanto, este último critério não foi utilizado na investigação, dado que o objetivo dos autores era analisar a capacidade do *BikeScore®* em prever o comportamento dos ciclistas.

A análise dos resultados revelou uma correlação entre o *BikeScore®* e a taxa de viagens de bicicleta nas cidades estudadas, permitindo concluir que o uso de indicadores objetivos para avaliar as condições de ciclabilidade é fundamental para um planeamento urbano eficiente e sustentável.

Manum et al. (2017) realizaram um estudo em Gotemburgo, Suécia, com o objetivo de desenvolver uma métrica de avaliação da ciclabilidade baseada na sintaxe espacial, analisando como as propriedades da via afetam a velocidade das bicicletas e como a configuração espacial da estrutura urbana influencia os fluxos cicláveis. Para tal, foram considerados cinco critérios principais: declive e curvatura das rotas, largura e tipo de superfície das infraestruturas cicláveis, tipo e volume de tráfego ao longo da rota e potencial fluxo de tráfego ciclável.

Os indicadores utilizados para caracterizar esses critérios incluíram o tipo de rota, a largura da ciclovia, o material da superfície das infraestruturas cicláveis, o tipo de separação em relação aos peões, o declive, o raio das curvas, o comprimento dos segmentos, a distância entre interseções, o número de acessos ao longo do segmento e a existência de estacionamento e paragens de autocarro. Os

resultados indicaram que declives acentuados, largura reduzida das infraestruturas cicláveis e curvas com raios apertados impactam negativamente a velocidade dos ciclistas. Por outro lado, verificou-se que vias partilhadas com peões e segmentos de via com um grande número de acessos reduzem significativamente a velocidade média dos ciclistas. O estudo também revelou que o comprimento dos segmentos avaliados tem uma relação inversa com a velocidade em pista, sugerindo que trajetos mais longos podem reduzir a eficiência das deslocações em bicicleta.

Motta (2017) desenvolveu um índice de ciclabilidade para Curitiba, Brasil, recorrendo a uma abordagem quantitativa e ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O estudo analisou diferentes fatores que influenciam a ciclabilidade, organizados em três dimensões: ambiente construído, ambiente natural e segurança viária. A dimensão do ambiente construído incluiu a densidade habitacional e o uso misto do solo, enquanto a dimensão do ambiente natural foi representada pela topografia. Já a dimensão da segurança viária foi analisada a partir do tipo de infraestrutura existente e das condições do tráfego.

Os resultados indicaram que ciclistas e não ciclistas apresentam perceções distintas sobre os fatores que influenciam a mobilidade ciclável. Enquanto os ciclistas habituais valorizam a redução da velocidade do tráfego motorizado e melhorias na acessibilidade para bicicletas, os não ciclistas demonstram maior sensibilidade à distância, às condições climatéricas e à segurança pública. O estudo não identificou qualquer correlação significativa entre o estatuto económico dos inquiridos e a sua perceção sobre os fatores que afetam a ciclabilidade (Motta, 2017).

Outro resultado relevante do estudo foi a influência da topografia no índice de ciclabilidade. Como Curitiba apresenta um relevo predominantemente plano, este fator impactou positivamente a viabilidade do uso da bicicleta como meio de transporte. No entanto, verificou-se que áreas com uma elevada taxa de acidentes de trânsito afetam negativamente a frequência de deslocações em bicicleta. Com base nesses resultados, o autor recomendou que os investimentos em infraestrutura ciclável sejam direcionados para áreas com menor rendimento económico, dado que estas apresentam maior potencial para a adoção da bicicleta como meio de transporte regular.

Hartanto (2017) desenvolveu um índice de avaliação da ciclabilidade nas imediações de 21 estações ferroviárias na região de *Arnhem* e *Nijmegen*, nos Países Baixos. O índice foi construído com base em seis critérios principais: condições de tráfego, conectividade, infraestrutura, ambiente, topografia e estacionamento. O critério das condições de tráfego foi avaliado a partir da velocidade máxima

permitida para veículos motorizados e da frequência de interrupções no tráfego. A conectividade foi analisada através da densidade de interseções com e sem semáforos, da densidade das ciclovias e faixas cicláveis e da objetividade da rota. A infraestrutura foi avaliada considerando o tipo de infraestrutura ciclável, a qualidade do pavimento e a presença de iluminação adequada. O critério do ambiente incluiu a proximidade de vias cicláveis a cursos de água, áreas de relevante beleza paisagística, zonas urbanas e áreas verdes. Já a topografia foi analisada com base na inclinação da ciclovia e o estacionamento avaliou o tipo e a quantidade de estacionamentos para bicicletas nas estações ferroviárias.

Os resultados obtidos por Hartanto (2017) evidenciaram os fatores que mais afetam o uso da bicicleta quando esta é utilizada como meio de transporte complementar a modos de maior capacidade, como comboios e autocarros. O estudo concluiu que esse tipo de análise é especialmente relevante para a formulação de políticas públicas voltadas para a promoção da mobilidade ciclável em áreas urbanas e suburbanas.

Os estudos de Motta (2017) e Hartanto (2017) basearam-se no conceito de *Transit-Oriented Development* (TOD), que descreve a influência do ambiente construído na procura por transporte sustentável. Ambos os trabalhos demonstram a importância dos índices de ciclabilidade para avaliar e orientar políticas de mobilidade que incentivem a adoção da bicicleta como meio regular de transporte, especialmente em contextos urbanos.

Outros estudos, embora não tenham desenvolvido diretamente um índice de ciclabilidade, abordaram questões relacionadas com os critérios utilizados nas investigações anteriores. Manum e Nordstrom (2013) analisaram a influência do planeamento e do desenho urbano na ciclabilidade, aplicando uma abordagem baseada na sintaxe espacial para avaliar a rede viária de Trondheim, Noruega.

O estudo considerou a estrutura e organização da rede ciclável, a acessibilidade aos destinos e comparou as rotas preferidas pelos ciclistas com as rotas oficiais propostas pelas autoridades locais. Os resultados indicaram que a infraestrutura planeada correspondia, em grande parte, às rotas efetivamente utilizadas pelos ciclistas. Além disso, verificou-se que os ciclistas tendem a preferir rotas diretas, evitando interseções que aumentem o tempo de viagem. Os autores concluíram que a análise espacial é uma ferramenta útil para a avaliação e o desenvolvimento de projetos cicláveis.

Nos Estados Unidos, Iseki e Tingstrom (2014) investigaram os fatores que afetam a área de influência das estações de Veículos Leves sobre Trilhos (VLT) para utilizadores de bicicleta. Foi proposto um modelo que considera um fator de impedância composto pelos efeitos da topografia, da presença de interseções e do consumo de energia. O estudo demonstrou que a área de influência das estações sobre a procura pelo uso da bicicleta diminui à medida que esses fatores se tornam mais expressivos.

Nordström e Manum (2015) realizaram um estudo em Oslo, Noruega, com o objetivo de propor melhorias para a mobilidade ciclável da cidade. A investigação baseou-se em métodos de sintaxe espacial combinados com a análise dos padrões de infraestrutura das rotas cicláveis. Os critérios analisados incluíram objetividade, segurança viária e manutenção da velocidade (*speed continuity*), um indicador que considera variações na velocidade dos ciclistas causadas por interseções, congestionamentos e topografia. Os resultados indicaram que os padrões de ciclabilidade das rotas variam inversamente com a proximidade ao centro da cidade, o que se deve, segundo os autores, à baixa prioridade concedida às bicicletas em áreas onde há competição pelo espaço com automóveis e transportes públicos.

O estudo também revelou que a falta de manutenção da velocidade e a perceção de insegurança rodoviária fazem com que os ciclistas optem por trajetos mais longos e menos diretos, reduzindo a ciclabilidade local e, consequentemente, o número de utilizadores. Assim, concluiu-se que o centro de Oslo, em vez de funcionar como um ponto de ligação entre diferentes zonas da cidade, atua como uma barreira ao uso da bicicleta.

2.1.3.2.2. Estruturação, integração e aplicabilidade

Existem três categorias principais de metodologias para a recolha de dados na avaliação da ciclabilidade em redes cicláveis e áreas urbanas. A primeira categoria engloba inquéritos e questionários aplicados a ciclistas ou cidadãos, permitindo a recolha de perceções subjetivas sobre as condições para a prática do ciclismo (Wahlgren & Schantz, 2011).

A segunda categoria baseia-se na observação sistemática ou auditoria, que quantifica objetivamente os atributos do ambiente urbano e as condições de tráfego às quais os ciclistas estão sujeitos. Estes atributos requerem, geralmente, observação direta no local, registos de imagem e/ou equipamentos de georreferenciação para recolha de dados. Dado que a auditoria de grandes áreas não é viável, opta-se por selecionar uma amostra representativa de secções viárias para análise (Eliou et al., 2009; Manum et al., 2017).

A terceira categoria recorre a dados provenientes de fontes oficiais, tais como densidade populacional, uso e ocupação do solo e redes viárias (Krenn et al., 2015; Winters et al., 2013). A seleção dos indicadores utilizados na definição da ciclabilidade pode, por vezes, ser limitada pelos métodos de recolha e pela disponibilidade de dados para a área de estudo (Saghapour et al., 2017).

As três principais metodologias para a recolha de dados na avaliação da ciclabilidade estão sintetizadas na Figura 11, que apresenta as características e objetivos de cada abordagem.

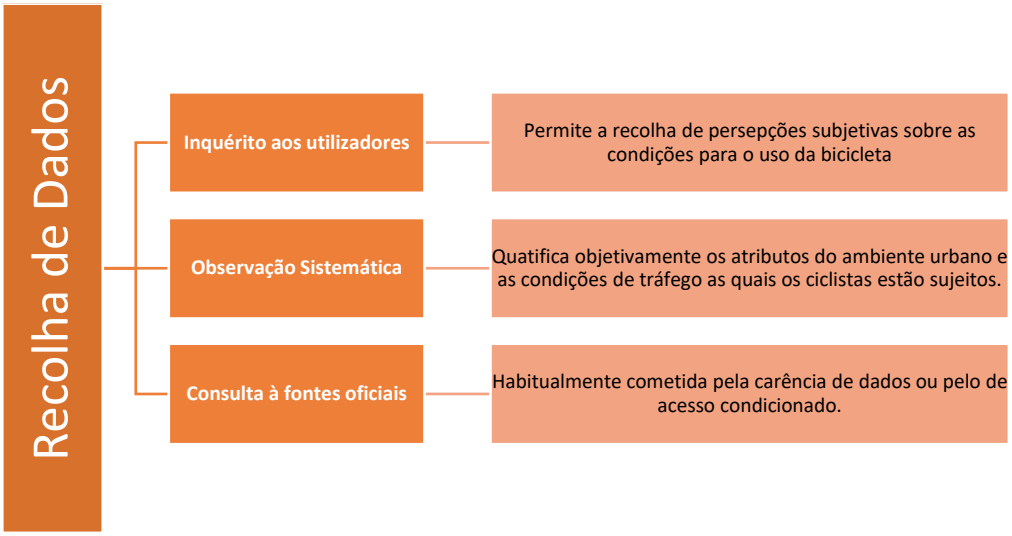


Figura 11: Principais metodologias para a recolha de dados na avaliação da ciclabilidade.

Os métodos de avaliação da ciclabilidade podem ser baseados na localização ou na infraestrutura, conforme ilustrado na Figura 12, recorrendo a análises qualitativas ou quantitativas para compreender a perceção dos ciclistas e avaliar as condições para a utilização da bicicleta (Castañon & Ribeiro, 2021). Os métodos baseados na localização analisam a facilidade de alcançar destinos a partir de um ponto específico, aplicando diversos indicadores de acessibilidade. Já os métodos baseados em infraestrutura avaliam a adequação das vias cicláveis, recorrendo a indicadores que medem conforto, segurança e atratividade de um percurso ou área (Lin & Wei, 2018).



Figura 12: Classificação dos métodos de avaliação da ciclabilidade.

Nos métodos baseados na localização, existem duas abordagens principais para a avaliação da ciclabilidade: métodos baseados na distância e métodos baseados na gravidade. O primeiro considera a acessibilidade aos diferentes destinos com base em distâncias pré-estabelecidas, podendo estas ser medidas em linha reta (Euclidiana) ou considerando a configuração da rede viária. Já o segundo avalia o potencial de atração dos destinos cicláveis, aplicando o modelo gravitacional para estimar a impedância ao longo do trajeto (McNeil, 2011).

O modelo de Hansen (1959) continua a ser utilizado para calcular a acessibilidade ciclável, ponderando a importância dos destinos e a distância/tempo de deslocação. A forma como estes fatores são ponderados pode variar, utilizando-se pesos iguais (McNeil, 2011) ou diferenciados (Lowry et al., 2012).

As metodologias baseadas em infraestrutura são geralmente aplicadas em dois contextos espaciais: percursos origem-destino (OD) e áreas urbanas. A análise da sintaxe espacial é frequentemente utilizada para avaliar a conectividade das redes cicláveis e determinar o nível de ciclabilidade (Manum et al., 2017). Por outro lado, a análise do nível de serviço, baseada em indicadores de infraestrutura ciclável, permite avaliar a qualidade e o conforto dos segmentos da rede e o seu impacto na ciclabilidade.

Os estudos analisados evidenciam a utilização de diferentes metodologias para o desenvolvimento, aplicação e validação de índices de ciclabilidade. Neste contexto, destacam-se dois modelos de apoio à decisão: multicritério e multiobjetivo, que definem o conjunto de critérios e respetivos indicadores. Além disso, observam-se técnicas estatísticas para seleção dos indicadores mais relevantes e para a formulação matemática do índice de ciclabilidade.

No que diz respeito aos modelos de apoio à decisão, os métodos multicritério são os mais utilizados (Gholamialam & Matisziw, 2019; Lin & Wei, 2018; Lowry et al., 2012). Um padrão semelhante verifica-se na aplicação de técnicas estatísticas, sendo que os modelos aditivos são amplamente usados para determinar o valor do índice de ciclabilidade, somando os indicadores ponderados pelos respetivos pesos (Krenn et al., 2015; Ma & Dill, 2017; Porter et al., 2019; Saghapour et al., 2017; Winters et al., 2013).

A análise de regressão é a técnica mais comum para avaliar a influência ou importância de um indicador no índice de ciclabilidade (Krenn et al., 2015; Ma & Dill, 2017; Manum et al., 2017;

Wahlgren & Schantz, 2011). Outras técnicas incluem análise de clusters (Ma & Dill, 2017) e análise fatorial (Porter et al., 2019). Adicionalmente, diversas metodologias específicas têm sido aplicadas para desenvolver e aperfeiçoar índices de ciclabilidade em diferentes contextos. Entre estas destacam-se grupos focais (Lin & Wei, 2018; Winters et al., 2013), medidas de entropia generalizada (Hamidi et al., 2019) e análise da sintaxe espacial (Manum et al., 2017).

Os resultados dos índices de ciclabilidade são, na sua maioria, apresentados sob a forma de valores numéricos (Eliou et al., 2009; Lin & Wei, 2018; Wahlgren & Schantz, 2011) e/ou representações gráficas (Gholamialam & Matisziw, 2019; Hamidi et al., 2019; Winters et al., 2013). O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem-se revelado particularmente útil para visualizar a variação do índice em redes cicláveis ou áreas de estudo, facilitando a análise espacial dos fatores que influenciam a ciclabilidade.

No que diz respeito aos métodos, a ciclabilidade é frequentemente operacionalizada como um índice que sintetiza as características do ambiente construído, especialmente em contextos onde o ciclismo é priorizado (Nielsen & Skov-Petersen, 2018). Em essência, o conceito mede a adequação global e o suporte proporcionado pelo ambiente analisado para quem escolhe a bicicleta como principal meio de transporte.

Os processos de avaliação da ciclabilidade envolvem múltiplos fatores, sendo a determinação da importância relativa de cada um deles uma etapa crítica. Além disso, a relevância desses fatores pode variar consoante os decisores envolvidos e o contexto específico. Assim, a definição de pesos relativos no processo de tomada de decisão é essencial, sendo uma prática comum a ordenação dos fatores conforme a sua importância (Krenn et al., 2015; Ma & Dill, 2017; Winters et al., 2013) e a aplicação de métodos baseados em escalas de pontos (Wahlgren & Schantz, 2011, 2014).

Após a obtenção das medições para cada indicador, o passo seguinte consiste na normalização dos dados, garantindo um tratamento equitativo entre os diferentes fatores. A literatura identifica duas abordagens principais para essa normalização: ponderação aditiva, que utiliza pesos iguais ou esquemas de ponderação (Wahlgren & Schantz, 2014; Winters et al., 2013), e estruturas hierárquicas, que recorrem a comparações emparelhadas ou modelos de regressão (Arellana et al., 2020; Lin & Wei, 2018).

Ambas as abordagens apresentam limitações associadas à perceção individual (Arellana et al., 2020). No entanto, a utilização de comparações emparelhadas permite capturar e quantificar com maior precisão as preferências subjetivas dos decisores, tornando-se mais adequada para cenários com múltiplos critérios e alternativas (Malczewski & Rinner, 2015), como a avaliação da ciclabilidade de uma rede ciclável.

Uma rede ciclável pode ser definida como um sistema interligado de ruas onde a circulação de bicicletas não é proibida e diferentes níveis de conforto e conveniência são proporcionados. Assim, uma rede ciclável engloba percursos especificamente projetados para ciclistas, incluindo tanto infraestruturas exclusivas como espaços partilhados, onde ciclistas e outros utilizadores da via pública coexistem (Reggiani et al., 2022). Com base nas diretrizes sobre homogeneidade de massas e velocidades (CROW, 2016)Percebe-se que duas expressões distintas devem ser utilizadas para descrever essas realidades de forma mais precisa.

Por um lado, espaços partilhados referem-se a vias onde ciclistas coabitam com outros utilizadores da infraestrutura ciclável, como bicicletas de carga, ciclomotores ligeiros, trotinetes elétricas e até cavaleiros. Por outro lado, quando a partilha do espaço envolve veículos motorizados (ligeiros ou pesados), o termo mais adequado seria coexistência.

2.1.3.3. Critérios recorrentes

Diferentes metodologias e modelos foram desenvolvidos para mensurar a ciclabilidade, permitindo a identificação de critérios e indicadores que influenciam a acessibilidade, a segurança e o conforto dos ciclistas. O uso de indicadores é uma prática comum em estudos de ciclabilidade para avaliar ou caracterizar o desempenho dos sistemas. Eles podem estabelecer ou descartar relações entre o fator de interesse e a característica relevante da mobilidade em bicicleta. O objetivo deste ponto é apresentar de maneira sistematizada os principais critérios, subcritérios e indicadores recorrentes na literatura.

2.1.3.3.1. Infraestrutura ciclável

O critério de Infraestrutura Ciclável abrange aspetos relacionados com a infraestrutura e os equipamentos, nomeadamente os seguintes subcritérios objetivos: disponibilidade, quantidade e tipologia; design geométrico (elementos relacionados com o traçado e a secção transversal);

características multimodais (integração e estacionamento); e sistemas de partilha de bicicletas. A seguir, serão exploradas as principais características destes subcritérios:

- *Disponibilidade, quantidade e tipologia:*

Estes subcritérios referem-se aos indicadores objetivos para a análise da infraestrutura ciclável. No que diz respeito à disponibilidade, a maioria dos autores considera exclusivamente a existência de ciclovias (Gholamialam & Matisziw, 2019; Krenn et al., 2015; Ma & Dill, 2017; Porter et al., 2019).

Relativamente ao subcritério de quantidade, podem ser utilizados dois conjuntos distintos de indicadores. O primeiro avalia o número de vias cicláveis por unidade de área (Krenn et al., 2015; Lin & Wei, 2018; Ma & Dill, 2017) ou com base no comprimento da rota (Saghapour et al., 2017). O segundo conjunto quantifica a percentagem da rede de transportes disponível para o ciclismo (Hamidi et al., 2019; Ma & Dill, 2017; Winters et al., 2013), podendo esta ser subdividida de acordo com os diferentes tipos de infraestruturas cicláveis (Saghapour et al., 2017).

No que concerne à tipologia, os indicadores que caracterizam este subcritério baseiam-se tanto no nível de segregação quanto na exclusividade de uso infraestrutura (Grigore et al., 2019; Hamidi et al., 2019; McNeil, 2011), nomeadamente as classificações vias partilhadas (entre o peão e as bicicletas), faixas cicláveis, pistas cicláveis e troços em coexistência.

Para melhor ilustrar as diferentes tipologias de infraestruturas cicláveis, apresenta-se quatro figuras a seguir que exemplificam as principais classificações mencionadas. A Figura 13 retrata uma via partilhada com o peão, caracterizada pela ausência de segregação física entre ciclistas e peões, exigindo uma convivência harmoniosa entre os utilizadores. A Figura 14 apresenta uma faixa ciclável, que consiste num espaço demarcado na via rodoviária, geralmente assinalado por marcações no pavimento, destinado prioritariamente aos ciclistas.

A Figura 15 exibe uma pista ciclável, uma infraestrutura segregada fisicamente do tráfego motorizado e, frequentemente, dos peões. A Figura 16 ilustra a coexistência com veículos motorizados, um cenário em que os ciclistas partilham a via de circulação com os automóveis, sem segregação específica, exigindo cumprimento de requisitos específicos para a garantia da segurança de todos os intervenientes.



Figura 13: Exemplo de via partilhada entre ciclistas e peões em Estugarda (Fonte: fotografia própria, 2019).



Figura 15: Pista ciclável em avenida de Roterdão (Fonte: fotografia própria, 2019).



Figura 14: Faixa ciclável demarcada em avenida movimentada em Budapeste (Fonte: fotografia própria, 2020).



Figura 16: Cenário de coexistência entre ciclistas e veículos motorizados na mesma via em Braga (Fonte: fotografia própria, 2020).

- *Elementos geométricos (traçado e secções transversais):*

A relevância destes subcritérios pode ser observada em manuais de referência para o planeamento ciclável, como o *Design Manual for Bicycle Traffic*, que define as dimensões e o traçado dos diferentes tipos de secções transversais de acordo com o tipo de via ciclável. Estes aspetos estão intimamente relacionados com a função, a forma e o uso da infraestrutura ciclável, sendo as suas dimensões influenciadas essencialmente pelo volume e pela velocidade do tráfego motorizado, bem como pelo volume de ciclistas (CROW, 2016).

A principal característica (dimensão) das secções transversais é a largura dos diferentes elementos que as compõem, refletindo-se em vários indicadores, nomeadamente a largura da via ciclável (Hamidi et al., 2019; Lin & Wei, 2018; Lowry et al., 2012), das bermas (Lin & Wei, 2018; Lowry et al., 2012) e da faixa de rodagem (Lowry et al., 2012). Outros indicadores, como o número de

interseções (Grigore et al., 2019; Ma & Dill, 2017), bem como a presença de passeios (Lowry et al., 2012), também são utilizados nesta abordagem.

A análise do traçado das vias cicláveis deve ser feita em relação à faixa de rodagem e às interseções, visto que as características destes elementos variam conforme as condições locais (e.g., volume e velocidade do tráfego, regulamentação e espaço disponível). Ao nível da faixa de rodagem (faixas e pistas cicláveis), os índices de ciclabilidade utilizam indicadores relacionados com a iluminação (Lin & Wei, 2018), o alinhamento horizontal (Hamidi et al., 2019) e a qualidade do pavimento (Hamidi et al., 2019; Lowry et al., 2012). As duas primeiras condições afetam sobretudo a visibilidade do percurso pelos ciclistas, enquanto a última diz respeito à qualidade do serviço prestado pela infraestrutura, a qual não deve forçar o ciclista a realizar desvios inesperados.

Nas interseções, os índices de ciclabilidade consideram indicadores relacionados com o controlo do fluxo de tráfego e a segurança (Grigore et al., 2019), uma vez que estas são zonas de conflito entre diferentes tipos de veículos. O desenho das interseções pode ser avaliado por indicadores que analisam a facilidade de travessia e a linearidade dos percursos (Grigore et al., 2019; Lowry et al., 2012). Além disso, quando se considera a rede de interseções, há indicadores específicos que abordam principalmente questões de conectividade (Hamidi et al., 2019).

- *Elementos multimodais (interface e estacionamento):*

A ligação entre o ciclismo e outros sistemas de transporte urbano é abordada considerando dois grupos de indicadores: um relacionado com o transporte público e outro com a infraestrutura de estacionamento. O transporte público pode ser considerado para fins multimodais pelos ciclistas tanto pela simples existência de uma estação (Lin & Wei, 2018) como pela distância entre as origens e uma estação ou paragem específica (Porter et al., 2019).

Além disso, o transporte público contribui para a ampliação da área de influência do ciclismo (Kager et al., 2016). Por outro lado, a infraestrutura de estacionamento disponível para bicicletas é um aspeto relevante e está intimamente relacionada com o contexto da multimodalidade. A ausência ou as condições inadequadas dessas instalações podem influenciar a escolha dos ciclistas em relação ao percurso ou ao modo de transporte (Van der Spek & Scheltema, 2015).

A importância da avaliação da disponibilidade de estacionamento para bicicletas vai além das interfaces de transporte público, estendendo-se a outros destinos relevantes para os ciclistas, como centros comerciais e áreas centrais das cidades. Assim, a infraestrutura de estacionamento para bicicletas pode ser quantificada em relação às estações de transporte público (Hamidi et al., 2019) ou a toda a área urbana (Lin & Wei, 2018).

- *Estacionamento para bicicletas:*

Apesar de o estacionamento para bicicletas ser um dos aspetos mais importantes para promover e aumentar o uso da bicicleta tanto para deslocações diárias como para fins recreativos (Fazio et al., 2020; Veillette et al., 2018), ele é pouco considerado como indicador objetivo na avaliação dos índices de ciclabilidade, dentre os índices estudados nesta investigação destaca-se neste ponto apenas o trabalho de (Lin & Wei, 2018).

- *Sistemas de bicicletas partilhadas:*

Desempenham um papel importante na promoção e expansão do ciclismo em áreas urbanas, dado o caráter público e partilhado do serviço. Estes sistemas operam de forma mais eficiente em regiões com uma elevada diversidade de destinos e uma infraestrutura ciclável consolidada.

Além disso, é relevante destacar que as condições ambientais do meio urbano são fatores fundamentais para a procura e utilização de bicicletas partilhadas (Campbell et al., 2016; Fishman, 2016).

No entanto, apenas dois estudos consideraram, ainda que de forma limitada, o impacto desses sistemas nos índices de ciclabilidade, através da avaliação da disponibilidade desses sistemas (Hamidi et al., 2019; Lin & Wei, 2018), da cobertura espacial do serviço e da escassez de bicicletas ou docas nas estações de aluguer público (Lin & Wei, 2018).

- *Qualidade da infraestrutura ciclável:*

Este subcritério refere-se especificamente a indicadores subjetivos associados à perceção dos ciclistas em relação ao serviço prestado pela infraestrutura, refletindo a qualidade geral do percurso ciclável e a facilidade de deslocação na rede ciclável (Eliou et al., 2009; Ma & Dill, 2017).

2.1.3.3.2. Segurança

O critério de segurança engloba aspetos relacionados com as condições físicas e funcionais das infraestruturas cicláveis e a sua interação com diferentes tipos de tráfego e modos de transporte. Este critério é composto pelos subcritérios de tráfego, segregação, conflitos e comportamento. Nos pontos seguintes, serão exploradas as principais características destes subcritérios.

- *Tráfego:*

Os indicadores objetivos utilizados nos índices de ciclabilidade para avaliar o subcritério tráfego estão relacionados com o volume de tráfego (Grigore et al., 2019; J. J. Lin & Wei, 2018; Lowry et al., 2012), o limite de velocidade (Grigore et al., 2019; Wahlgren & Schantz, 2011), a composição do tráfego (Lowry et al., 2012) e a velocidade dos veículos motorizados (Hamidi et al., 2019; Lowry et al., 2012).

Embora menos frequente, este subcritério também pode ser analisado por meio de indicadores subjetivos, que avaliam a perceção dos ciclistas sobre congestionamentos e atrasos causados pelas condições do tráfego (Lin & Wei, 2018; Wahlgren & Schantz, 2011).

- *Segregação:*

As bicicletas podem partilhar e coexistir com veículos motorizados quando as condições de tráfego (e.g., homogeneidade dos tipos de veículos e um limite de velocidade de 30 km/h) são garantidas. Caso contrário, torna-se necessária a segregação do tráfego ciclável (CROW, 2016).

Assim, o nível de segregação é definido por indicadores objetivos, como a existência de infraestrutura ciclável (Lin & Wei, 2018; Winters et al., 2013), o grau de separação proporcionado pelos diferentes tipos de infraestrutura ciclável (Saghapour et al., 2017) e a extensão (e.g., comprimento) da infraestrutura segregada (Krenn et al., 2015).

A segregação também pode ser analisada em relação aos peões (Saghapour et al., 2017), visto que, em alguns casos, os ciclistas podem utilizar infraestruturas pedonais. Assim, um indicador relevante é o tipo de separação dos peões, que pode incluir mobiliário urbano, vegetação, diferenças de altura ou superfícies distintas. No que diz respeito aos indicadores subjetivos, estes são usados para capturar a perceção dos ciclistas sobre o grau de segregação e a segurança do percurso ciclável (Wahlgren & Schantz, 2011).

- *Conflitos:*

Este subcritério é abordado objetivamente nos índices de ciclabilidade por meio de indicadores relacionados com a interação do tráfego ciclável com infraestruturas dedicadas a outros modos de transporte e com diferentes atividades urbanas. Elementos como estacionamento automóvel, paragens de autocarro e entradas ao longo de um segmento da rede ciclável são identificados como potenciais pontos de conflito, influenciando as condições de tráfego ciclável, nomeadamente a velocidade e o fluxo de bicicletas (Saghapour et al., 2017).

De forma subjetiva, os indicadores são extraídos de inquéritos que avaliam a perceção geral dos ciclistas sobre os conflitos com o tráfego motorizado (Lin & Wei, 2018; Ma & Dill, 2017), as relações entre ciclistas e outros utilizadores dos modos suaves ((Wahlgren & Schantz, 2011) & Schantz, 2011) e, de forma mais específica, a interação com veículos automóveis (Eliou et al., 2009).

- *Comportamento:*

De acordo com a literatura, este subcritério da segurança refere-se a indicadores que refletem o comportamento dos ciclistas e condutores, a perceção de perigo e risco, e a aplicação de medidas de fiscalização locais. Nos índices explorados, este subcritério foi abordado exclusivamente por meio de indicadores subjetivos.

Apenas (Eliou et al., 2009) consideraram especificamente as atitudes dos ciclistas em relação à sua segurança, enquanto Lin e Wei (2018) e Ma e Dill (2017) utilizaram indicadores relacionados com o design de segurança ciclável e a atratividade da fiscalização para avaliar este subcritério.

2.1.3.3.3. Ambiente Envolvente

O critério de ambiente circundante abrange os aspetos físicos do meio envolvente à infraestrutura ciclável que influenciam a escolha da bicicleta como meio de transporte e a seleção das rotas possíveis para o ciclismo. Este critério integra os seguintes subcritérios: topografia, estética da paisagem (elementos verdes e aquáticos) e poluição (qualidade do ar e ruído). Nos pontos seguintes, serão exploradas as principais características destes subcritérios.

- *Topografia:*

Este subcritério é um dos fatores mais influentes na escolha da rota pelos ciclistas (Krenn et al., 2015; Winters et al., 2013). A topografia pode ter um impacto negativo na visibilidade do percurso e

na necessidade de esforço físico para transpor trechos ascendentes (Lin & Wei, 2018), além de representar um risco de segurança devido às velocidades elevadas desenvolvidas em descidas longas (Saghapour et al., 2017).

Os indicadores utilizados para avaliar este subcritério incluem a inclinação/declive do terreno (Krenn et al., 2015; Lin & Wei, 2018; Ma & Dill, 2017; Winters et al., 2013), que pode ser obtida por levantamento de campo ou a partir de bases de dados existentes (Lin & Wei, 2018) e representada em sistemas de informação geográfica (Saghapour et al., 2017; Winters et al., 2013).

- *Estética da paisagem (elementos verdes e aquáticos):*

As condições estéticas do ambiente envolvente referem-se principalmente aos elementos paisagísticos que influenciam a disposição e o bem-estar dos ciclistas (Wahlgren & Schantz, 2011). A presença de áreas verdes e corpos d'água torna a experiência ciclável mais agradável, favorecendo a utilização da bicicleta, sobretudo para fins recreativos (Hamidi et al., 2019; Krenn et al., 2015).

Mais do que estimular o uso recreativo da bicicleta, estas áreas promovem a sinergia entre os elementos do ambiente construído e a acessibilidade, havendo uma forte correlação positiva entre a utilização da bicicleta e a presença de parques verdes (Porter et al., 2019). Um exemplo adicional da relevância deste subcritério é a existência de diretrizes específicas para a melhoria dos espaços verdes de forma a aumentar a ciclabilidade (Lin & Wei, 2018).

Do ponto de vista da rota, este subcritério está positivamente associado ao ciclismo, pois a sombra das árvores ameniza as condições térmicas (Grigore et al., 2019; Lin & Wei, 2018). Assim, os indicadores objetivos podem ser associados a uma rota específica ou a uma determinada área. No primeiro caso, a medição pode ser feita pelo rácio entre o número de árvores e o comprimento da via ou pela percentagem de vegetação num buffer de largura específica (Porter et al., 2019).

No segundo caso, a abordagem pode envolver o rácio entre a área verde e a área total de estudo (Krenn et al., 2015; Lin & Wei, 2018), bem como a proporção de elementos verdes e aquáticos presentes na área analisada (Hamidi et al., 2019; Porter et al., 2019).

De forma subjetiva, este subcritério é avaliado através de inquéritos, como os utilizados por (Wahlgren & Schantz, 2011), que consideraram dois indicadores: indicação de ocorrência de vegetação, que se refere especificamente à estética da paisagem, e indicação de ambiente feio ou bonito, cujo objetivo é capturar uma perceção estética composta de diversas fontes.

- *Poluição (qualidade do ar e ruído):*

Refere-se à exposição dos ciclistas à poluição, especialmente em ambientes urbanos, onde os veículos motorizados são uma das principais fontes poluentes (Arsenio & Ribeiro, 2015) os benefícios para a saúde decorrentes do uso da bicicleta podem ser comprometidos pelos impactos negativos da exposição dos ciclistas à poluição atmosférica e ao ruído do tráfego.

Embora o tempo de deslocação e o volume de tráfego ainda sejam preocupações centrais para os ciclistas, há uma tendência para considerar desvios que aumentam a duração da viagem a fim de evitar áreas poluídas. (Anowar et al., 2017; Ribeiro et al., 2022) A consideração de indicadores que identifiquem as condições de poluição ambiental pode auxiliar o planeamento e a promoção do ciclismo. No entanto, este é um fator raramente integrado ou enfatizado nos índices de ciclabilidade (Castañon & Ribeiro, 2021).

Entre os índices abordados, apenas três relacionavam a qualidade do ar, sendo dois baseados na perceção dos ciclistas (Lin & Wei, 2018; Wahlgren & Schantz, 2011). Apenas (Porter et al., 2019) incluíram um indicador objetivo, relacionado com o nível de ozono. Uma situação semelhante ocorre com a poluição sonora, uma vez que apenas (Wahlgren & Schantz, 2011) utilizaram um indicador subjetivo para esta condição, baseado na perceção dos ciclistas.

2.2. FENÓMENOS EMERGENTES ENVOLVENDO A BICICLETA

2.2.1. A bicicleta elétrica e os sistemas partilhados

2.2.1.1. A bicicleta elétrica no contexto urbano

A crescente necessidade de soluções de mobilidade sustentáveis tem impulsionado a adoção de novos modos de transporte que conciliam eficiência, acessibilidade e baixo impacto ambiental. Nesse contexto, a bicicleta elétrica tem emergido como uma alternativa viável, especialmente no ambiente urbano, onde se apresenta como um meio de deslocação capaz de reduzir a dependência do automóvel, melhorar a acessibilidade e promover a inclusão social (Hiselius & Svensson, 2017; Wolf & Seebauer, 2014). A sua versatilidade permite que seja utilizada tanto para deslocações pendulares como para atividades recreativas, ampliando o alcance do ciclismo e incentivando a transição para modos de transporte mais sustentáveis (Fyhri & Fearnley, 2015).

A bicicleta elétrica insere-se num contexto intermédio entre os modos ativos, que dependem exclusivamente do esforço físico do ciclista, e os modos motorizados, cuja propulsão é realizada

através de motores de combustão ou elétricos. Essa característica confere-lhe um papel híbrido na mobilidade urbana, combinando os benefícios da atividade física com a conveniência da propulsão elétrica. Dessa forma, pode ser considerada uma solução híbrida, aproveitando as vantagens dos modos ativos e mitigando algumas das suas limitações, como o esforço físico excessivo e a dificuldade em percorrer longas distâncias ou enfrentar desníveis acentuados (Ahrens et al., 2013; Lin et al., 2017).

Além disso, a bicicleta elétrica apresenta uma relação de transição dentro do próprio contexto dos veículos elétricos de duas rodas. Se, por um lado, a bicicleta mecânica convencional representa manifestação clássica da mobilidade ativa, e, por outro, os motociclos elétricos operam de forma totalmente motorizada, a bicicleta elétrica posiciona-se como uma alternativa que combina características de ambos. Esse equilíbrio permite potenciar as qualidades da bicicleta tradicional, enquanto proporciona uma opção de transporte mais sustentável do que os motociclos elétricos (Araújo, 2012).

A Figura 17 ilustra a diferença entre os tipos de bicicletas, apresentando (a) uma bicicleta convencional, (b) uma bicicleta eletricamente assistida (Pedelec) e (c) um modelo de bicicleta elétrica mais robusto, frequentemente utilizado para transporte de carga ou passageiros. Essa variação reflete a diversidade de aplicações da bicicleta elétrica no contexto da mobilidade urbana (Fishman et al., 2016).



(a) (b) (c)

Figura 17: Tipos de bicicletas (Fonte: adaptado de Fishman et. al., 2016).

A bicicleta elétrica distingue-se dos demais veículos elétricos leves por manter a necessidade de pedalar, mesmo que com assistência motorizada. Alguns autores consideram-na um aperfeiçoamento da bicicleta convencional, enquanto outros a classificam como um novo meio de transporte (Rose, 2012). Independentemente da perspetiva, a bicicleta elétrica pode desempenhar um papel crucial na transição para padrões de mobilidade mais sustentáveis, seja como tecnologia inovadora, seja como meio de deslocação capaz de modificar hábitos de mobilidade urbana (Wolf & Seebauer, 2014).

A principal característica distintiva da bicicleta elétrica no meio urbano é a redução do esforço físico necessário para a sua utilização, fator que amplia significativamente o seu público-alvo. A assistência elétrica facilita a superação de obstáculos típicos das cidades, como perfis topográficos desafiantes, longas distâncias e condições climáticas adversas, permitindo que um maior número de utilizadores adira a este meio de transporte (Astegiano et al., 2015; Plazier et al., 2017). Além disso, o auxílio motorizado torna a bicicleta elétrica uma opção mais prática para deslocações diárias, reduzindo o desconforto associado ao esforço físico excessivo e minimizando a transpiração, o que a torna especialmente atrativa para trajetos casa-trabalho (Fyhri et al., 2017).

Os seus componentes técnicos desempenham um papel essencial no desempenho e na eficiência do veículo. O funcionamento adequado da bicicleta elétrica depende de três elementos principais: o motor, o controlador e a bateria. Estes componentes influenciam diretamente a potência, a autonomia e o consumo energético do veículo. A escolha da tecnologia utilizada em cada um desses elementos impacta o comportamento da bicicleta elétrica em diferentes condições urbanas. A Tabela 1 apresenta os diferentes tipos de motores, baterias e controladores, bem como os parâmetros considerados na sua seleção.

Tabela 1: Relação dos elementos de uma bicicleta elétrica (Fonte: adaptado de Araújo, 2012).

Elemento	Tipos	Parâmetros de seleção
Motor	Motor de corrente contínua	Tipo de ligação do motor; Exploração econômica do sistema de acionamento; Controle exigido conforme às necessidades físicas da carga.
	Motor de relutância variável	
	Motor de indução	
	Motor síncrono de imanes permanentes	
Controlador	Os controladores podem ser tão complexos quanto a necessidade do motor em questão.	A seleção é feita de acordo com a topologia do motor a que se aplica.
Bateria	Chumbo	Capacidade de armazenamento de energia; Tensão disponibilizada nos terminais; Temperatura de operação.
	Níquel-Cádmio	
	Níquel Hidreto-Metálico	
	Lítio	

A adoção da bicicleta elétrica tem variado conforme o contexto geográfico e cultural, sendo mais expressiva em algumas regiões do que noutras. A China destaca-se como pioneira na adoção em larga escala deste meio de transporte, contando com milhões de unidades em circulação. A popularização da bicicleta elétrica nesse país deve-se, em grande parte, às políticas de incentivo à mobilidade elétrica e à necessidade de alternativas eficientes para deslocações urbanas num território altamente populoso (Kroesen, 2017).

Na Europa, a adoção da bicicleta elétrica tem sido impulsionada por fatores como a cultura ciclística já estabelecida e políticas de incentivo à mobilidade sustentável. Países como a Holanda, Alemanha e Suíça têm demonstrado um crescimento expressivo no uso da bicicleta elétrica, integrando-a em infraestruturas cicláveis bem desenvolvidas e em sistemas de partilha (Hiselius & Svensson, 2017).

O caso suíço é particularmente interessante, pois um referendo realizado em 2018 resultou na inclusão do apoio governamental a projetos cicláveis na Constituição do país, reforçando a importância da bicicleta elétrica na mobilidade nacional. Já na América do Norte, a adoção da bicicleta elétrica tem sido mais lenta e enfrenta desafios como a falta de cultura ciclística em muitas cidades e a predominância do automóvel como principal meio de transporte. No entanto, observa-se um crescimento recente nesse mercado, especialmente em áreas urbanas onde a bicicleta elétrica está a ser promovida como solução para reduzir congestionamentos e emissões de carbono (Gorenflo et al., 2017).

A regulamentação da bicicleta elétrica varia conforme a região, influenciando diretamente a sua adoção e integração nas infraestruturas urbanas. Na União Europeia, a legislação estipula que as Pedelec devem ter uma potência máxima de 250W e assistência limitada a 25 km/h, sendo equiparadas legalmente às bicicletas convencionais. Já as S-Pedelec, que podem atingir velocidades superiores, são classificadas como motociclos e exigem matrícula, seguro e capacete específico para a sua condução (Petzoldt et al., 2017).

Na China, onde a bicicleta elétrica tem sido amplamente adotada, a regulamentação apresenta diferenças significativas. Inicialmente, muitas bicicletas elétricas não possuíam restrições rígidas, resultando numa rápida proliferação desses veículos. No entanto, nos últimos anos, o governo chinês implementou normas mais rigorosas, incluindo limites de peso (máximo de 40 kg) e velocidade (20 km/h) para que as bicicletas elétricas sejam legalmente equiparadas às convencionais (Wei et al., 2013). Bicicletas que excedem esses limites são consideradas fora do padrão e enfrentam restrições mais severas.

Este ponto apresentou uma visão geral da adoção da bicicleta elétrica em diferentes contextos geográficos e regulamentares, evidenciando a sua crescente importância na mobilidade sustentável. Essas variações legais impactam a forma como as bicicletas elétricas são incorporadas nos sistemas de mobilidade urbana e influenciam as políticas de infraestrutura ciclável adotadas em diferentes países.

No próximo ponto, será discutido o impacto da assistência elétrica na superação de barreiras físicas e na expansão do perfil de utilizadores. Em seguida, serão analisadas as implicações ecológicas e a relação da bicicleta elétrica com políticas de sustentabilidade. O último ponto abordará os desafios da sua incorporação nos sistemas de transporte existentes.

2.2.1.1.1. Redução do Esforço, Acessibilidade e Segurança

A bicicleta elétrica destaca-se no contexto da mobilidade urbana pela sua capacidade de reduzir o esforço físico exigido ao ciclista, tornando-se, assim, mais acessível a um público vasto. A assistência elétrica permite que os utilizadores percorram maiores distâncias e enfrentem desafios urbanos, como declives acentuados e trajetos extensos, sem que o esforço necessário se torne um fator desmotivador (Fyhri & Fearnley, 2015). Esse auxílio motorizado proporciona uma experiência de deslocação mais eficiente e confortável, minimizando a fadiga e ampliando as possibilidades de uso da bicicleta no dia a dia, inclusive para deslocações pendulares e atividades do quotidiano.

A redução do esforço físico favorece a adoção da bicicleta elétrica por diferentes perfis de utilizadores, incluindo pessoas idosas, indivíduos com menor aptidão física e utilizadores com necessidades específicas de mobilidade. Segundo Wolf e Seebauer (2014), a acessibilidade das bicicletas eletricamente assistidas explica o seu crescimento entre utilizadores acima dos 60 anos, especialmente em países onde o ciclismo já é consolidado como meio de transporte urbano, como a Áustria, Bélgica e Suécia (Astegiano et al., 2015; Hiselius & Svensson, 2017). Esse efeito reforça a ideia de que a bicicleta elétrica está alinhada com o conceito de “todas as idades e habilidades” ("all ages" ou "from 8 to 80"), segundo o qual este meio de transporte pode ser utilizado por pessoas de todas as idades sem grandes limitações físicas (Fyhri et al., 2017).

Além de tornar o esforço físico menos exigente, a assistência elétrica também reduz dificuldades associadas à dinâmica do tráfego urbano, como a necessidade de arrancar após uma paragem. Em cidades com tráfego intenso e interseções frequentes, a necessidade de parar e recomeçar a pedalar pode ser um fator desmotivador para o uso da bicicleta convencional. Plazier et al. (2017) destacam que a facilidade de arranque proporcionada pela assistência elétrica é um fator determinante para a adoção desse tipo de veículo, pois elimina uma das principais dificuldades enfrentadas pelos ciclistas em ambientes urbanos.

Outro fator relevante é a capacidade da bicicleta elétrica de facilitar o transporte de carga e passageiros. A assistência elétrica permite que os utilizadores transportem compras, equipamentos e até crianças sem que o esforço adicional se torne um obstáculo (Fyhri et al., 2017). Este aspeto é

particularmente importante para deslocações diárias, consolidando a bicicleta elétrica não apenas como meio de lazer, mas também como alternativa viável para trajetos casa-trabalho e deslocações para instituições de ensino.

A assistência elétrica também minimiza uma das barreiras comuns ao ciclismo urbano: a transpiração excessiva. Muitos utilizadores evitam deslocar-se de bicicleta para o trabalho ou compromissos formais devido ao esforço físico intenso, que pode resultar em suor excessivo e desconforto. O auxílio do motor elétrico reduz esse problema, tornando o uso diário da bicicleta mais conveniente e acessível (Fyhri & Fearnley, 2015).

O impacto da assistência elétrica na mobilidade urbana pode ser observado através da diferença de velocidade e alcance entre bicicletas convencionais e bicicletas eletricamente assistidas (Pedelec). Estudos indicam que a velocidade média praticada pelas bicicletas convencionais se situa entre 7,5 km/h e 10,5 km/h, enquanto as Pedelecs operam entre 13,0 km/h e 17,0 km/h, permitindo deslocações mais rápidas e eficientes (CROW, 2016; Dozza et al., 2016; Langford et al., 2015). Além disso, a distância percorrida por cada viagem também aumenta significativamente, passando de valores médios de 5 km a 7,5 km nas bicicletas convencionais para 9,7 km a 10 km nas bicicletas eletricamente assistidas (Plazier et al., 2017; Wei et al., 2013). A Tabela 2 apresenta um comparativo entre bicicletas mecânicas convencionais, bicicletas com assistência elétrica (Pedelec) e as S-Pedelecs, destacando as diferenças em termos de velocidade média e distância de deslocação. Os dados reforçam o impacto da assistência elétrica na mobilidade urbana, evidenciando a sua relevância na ampliação do alcance e eficiência das viagens.

Tabela 2: Principais características dos tipos de bicicletas.

Bicicletas	**Velocidades**	**Distâncias de viagens**
Convencional	10,5 km/h - Langford *et al.* (2015)	5,0 km - Rybarckyz e Gallagher (2014) 7,5 km - Groot (2007)
Pedelec (Assistência Elétrica)	13,0 km/h - Langford *et al.* (2015) 17,0 km/h - Dozza *et al.* (2016)	9,7 km - Plaizer *et al.* (2017) 10 km - Wei *et al.* (2013)
S-pedelec *(Over-standard)*	Acima de 45 km/h - Petzoldt *et al.* (2017) e Wei *et al.* (2013)	20 km - Wei *et al.* (2013)

A crescente adoção da bicicleta elétrica no meio urbano levanta questões sobre segurança viária, nomeadamente no que diz respeito ao comportamento dos ciclistas, às velocidades praticadas e à interação com outros modos de transporte. O aumento da velocidade média das bicicletas elétricas

em relação às convencionais pode gerar desafios adicionais, principalmente nas interseções e na partilha da infraestrutura ciclável e rodoviária (Langford et al., 2015).

Estudos realizados na Alemanha por Petzoldt et al. (2017) demonstraram que, embora o risco global de envolvimento em conflitos de tráfego seja semelhante entre bicicletas convencionais e elétricas, os ciclistas de bicicletas eletricamente assistidas apresentam um risco superior em interseções. Isto ocorre devido à diferença na perceção da velocidade por parte dos condutores de automóveis, que podem subestimar a aproximação das bicicletas elétricas, aumentando o risco de colisões. Essa discrepância entre a velocidade real das bicicletas elétricas e a velocidade percebida pelos condutores de automóveis também é apontada por Dozza et al. (2016) como um fator que pode intensificar os conflitos com o tráfego motorizado.

Outro fator relevante é a probabilidade de lesões em caso de acidente. Estudos indicam que os utilizadores de bicicletas elétricas têm maior risco de sofrer ferimentos graves, principalmente devido à maior velocidade média desenvolvida e ao peso adicional do veículo. Na Holanda, Schepers et al. 2014) analisaram a segurança das bicicletas elétricas em comparação com as bicicletas convencionais, considerando o risco individual dos ciclistas. Os resultados demonstraram que, embora a utilização de bicicletas elétricas possa aumentar o risco de acidentes individuais, a sua adoção generalizada pode reduzir o risco global para os utilizadores da via, uma vez que substitui modos motorizados mais pesados e velozes.

O comportamento dos utilizadores também desempenha um papel fundamental na segurança viária. Um estudo realizado por Langford et al. (2015) nos Estados Unidos demonstrou que os condutores de bicicletas elétricas e convencionais apresentam taxas semelhantes de infrações, incluindo a circulação em sentido oposto ao regulamentado e o avanço em interseções semaforizadas. Contudo, como as bicicletas elétricas operam a velocidades mais elevadas, tais infrações podem resultar em acidentes de maior gravidade. Na China, Wu et al. (2012) verificaram que os utilizadores de bicicletas elétricas tendem a atravessar irregularmente interseções semaforizadas, especialmente quando viajam sozinhos. Esse comportamento aumenta o risco de colisões e destaca a necessidade de medidas de sensibilização e infraestrutura adaptada para melhorar a segurança.

Apesar disso, há argumentos que sustentam que a bicicleta elétrica pode contribuir para a segurança viária. O auxílio do motor elétrico permite arranques mais rápidos após uma paragem, reduzindo a vulnerabilidade do ciclista em interseções (Langford et al., 2015).Além disso, a possibilidade de

percorrer distâncias maiores e utilizar vias cicláveis mais seguras pode incentivar um comportamento mais responsável por parte dos ciclistas, minimizando infrações e melhorando a previsibilidade do tráfego (Popovich et al., 2014).

Dado o impacto da bicicleta elétrica na segurança rodoviária, torna-se essencial o desenvolvimento de políticas públicas e infraestruturas adequadas para mitigar os riscos associados à sua utilização. Medidas como a adaptação da regulamentação de circulação, o aumento da fiscalização e a criação de campanhas educativas podem contribuir para um ambiente urbano mais seguro e inclusivo, reduzindo conflitos entre diferentes tipos de utilizadores.

Outro aspeto relevante para a segurança da bicicleta elétrica é o incentivo ao uso de equipamentos de proteção individual, como capacetes e iluminação adequada. Estudos indicam que a utilização do capacete pode reduzir significativamente o risco de lesões graves em caso de acidente, sendo especialmente recomendada para utilizadores de bicicletas elétricas devido às velocidades mais elevadas alcançadas (Schepers et al., 2014). Além disso, a infraestrutura ciclável deve ser adaptada para acomodar esses veículos, considerando a sua velocidade média superior à das bicicletas convencionais. Em algumas cidades, ciclovias segregadas para bicicletas elétricas e convencionais têm sido testadas como forma de reduzir conflitos entre diferentes tipos de utilizadores (Petzoldt et al., 2017).

Por fim, é essencial que haja uma adaptação das normas de trânsito para contemplar as particularidades da bicicleta elétrica. Algumas jurisdições já estabeleceram regulamentações específicas para as S-Pedelec, que podem alcançar velocidades superiores a 45 km/h, exigindo matrícula e seguro para a sua condução (Petzoldt et al., 2017). A definição clara das regras de circulação pode ajudar a minimizar conflitos e melhorar a segurança dos utilizadores, promovendo uma convivência mais harmoniosa entre bicicletas elétricas, veículos motorizados e peões.

2.2.1.1.2. Impactos Ambientais e Mobilidade Sustentável

A crescente adoção da bicicleta elétrica no meio urbano tem sido amplamente debatida no contexto da mobilidade sustentável, especialmente pelo seu potencial de reduzir a dependência dos veículos motorizados individuais e promover um sistema de transportes mais equitativo (Bjørnarå et al., 2017; Hiselius & Svensson, 2017). Ao possibilitar deslocações mais rápidas e acessíveis, este modo de transporte contribui para a redução das emissões poluentes, a diminuição da poluição sonora e a inclusão de diferentes grupos populacionais na mobilidade ativa.

A relevância da bicicleta elétrica na sustentabilidade dos transportes urbanos está associada à sua capacidade de substituir modos de transporte mais poluentes. Estudos indicam que a sua utilização pode levar a uma redução significativa das emissões de CO_2, contribuindo diretamente para a mitigação dos impactos ambientais do setor dos transportes. Hiselius e Svensson (2017) concluíram que a adoção deste meio de transporte pode resultar numa redução média de 272 kg de CO_2 por pessoa por ano, o que equivale a uma diminuição de 14 a 20% das emissões individuais no setor dos transportes. De forma semelhante, Pierce et al. (2013) analisaram a implementação de bicicletas elétricas em deslocações pendulares e visitas domiciliárias no Reino Unido, registando uma redução anual ainda mais expressiva, de 748 kg de CO_2 por utilizador.

Além da redução das emissões de carbono, as bicicletas elétricas também desempenham um papel relevante na minimização da poluição sonora e na melhoria da qualidade do ar urbano. O ruído gerado pelo tráfego rodoviário é um dos principais problemas ambientais nas cidades, e a substituição de automóveis e motociclos por bicicletas elétricas pode contribuir para a criação de ambientes urbanos mais silenciosos e saudáveis (Hiselius & Svensson, 2017). Adicionalmente, a utilização da bicicleta elétrica não gera poluentes locais, como NO_x e partículas finas, que são responsáveis por diversos problemas respiratórios e cardiovasculares. Dessa forma, a sua adoção pode ajudar a mitigar os impactos da poluição atmosférica em centros urbanos, promovendo benefícios tanto ambientais como de saúde pública (Gorenflo et al., 2017).

Para além dos benefícios ambientais, a bicicleta elétrica contribui significativamente para a inclusão social, ampliando o acesso à mobilidade para diferentes perfis de utilizadores e reduzindo barreiras associadas ao esforço físico. Estudos indicam que a assistência elétrica possibilita o uso da bicicleta por pessoas com menor aptidão física, idosos e indivíduos com necessidades especiais, promovendo maior autonomia e independência (Astegiano et al., 2015; Wolf & Seebauer, 2014). Hiselius e Svensson (2017) destacam que, na Suécia, o acesso à bicicleta elétrica tem incentivado o uso da mobilidade sustentável, especialmente entre residentes de áreas suburbanas, reduzindo a necessidade de transporte motorizado.

A equidade no acesso ao transporte é outro aspeto essencial da mobilidade urbana sustentável. Embora as bicicletas elétricas tenham um custo de aquisição superior ao das bicicletas mecânicas convencionais, a longo prazo revelam-se mais económicas do que o automóvel ou os transportes públicos, uma vez que não exigem combustível e possuem custos operacionais reduzidos (Fyhri et

al., 2017).Esta característica torna-as uma alternativa acessível a grupos socioeconómicos com menor capacidade financeira, reduzindo desigualdades no acesso à mobilidade (Plazier et al., 2017).

Os sistemas de partilha de bicicletas elétricas surgem como uma estratégia eficaz para democratizar ainda mais o acesso a este meio de transporte. Em diversas cidades europeias, programas de Mobilidade como Serviço (*Mobility-as-a-Service* – MaaS) têm integrado bicicletas elétricas nos sistemas de transporte público, permitindo que uma pessoa utilize o modo ciclável, sem necessidade de aquisição (Jittrapirom et al., 2017). Esta abordagem facilita a adoção das bicicletas elétricas em deslocações pendulares, tornando-as uma opção viável para um público mais amplo e reforçando a aceitação social deste meio de transporte.

A introdução da bicicleta elétrica pode aumentar significativamente a participação de grupos que, tradicionalmente, não utilizavam bicicletas como meio de transporte. Fyhri e Fearnley (2015), ao analisarem a adoção da bicicleta elétrica na Noruega, verificaram que este meio de transporte contribui para a inclusão de idosos e residentes em áreas montanhosas, permitindo deslocações mais longas e reduzindo o esforço físico necessário. De forma semelhante, Wei et al. (2013) identificaram que a bicicleta elétrica pode atuar como complemento ao transporte público, facilitando o acesso a estações de metro e autocarro e, assim, reduzindo desigualdades territoriais no acesso a oportunidades de emprego, educação e lazer.

Para além do impacto positivo na mobilidade inclusiva, a bicicleta elétrica pode também contribuir para a saúde pública. Apesar de exigir menos esforço do que uma bicicleta convencional, estudos indicam que os utilizadores de bicicletas elétricas ainda realizam um nível significativo de atividade física. Bjørnarå et al., 2017) destacam que, ao facilitar deslocações mais longas e frequentes, a bicicleta elétrica pode incentivar estilos de vida mais ativos, promovendo benefícios para a saúde individual e reduzindo custos com cuidados médicos.

A autonomia das baterias também se revela um aspeto relevante na adoção da bicicleta elétrica. Diferente dos automóveis elétricos, nos quais a limitação da autonomia representa um dos maiores desafios para a adoção em larga escala (Graham-Rowe et al., 2012), as bicicletas elétricas são menos afetadas por essa restrição. A maioria das viagens diárias pode ser realizada com uma única carga, e a autonomia geralmente não é um entrave significativo, desde que a infraestrutura de carregamento seja adequada (Wolf & Seebauer, 2014). Xing et al., 2010 argumentam que, mais do que a autonomia da bateria, o fator crítico para a bicicleta elétrica deve ser a distância média das viagens realizadas pelos utilizadores.

Embora apresentem benefícios ambientais, as bicicletas elétricas não estão isentas de impactos ecológicos. A principal preocupação relaciona-se com a produção, utilização e descarte das baterias, que contêm metais como chumbo, níquel, cádmio e lítio (Araújo, 2012). Apesar de as baterias de lítio serem menos prejudiciais, a sua produção e reciclagem continuam a representar desafios ambientais significativos (Gorenflo et al., 2017). Ainda assim, as bicicletas elétricas constituem uma alternativa mais sustentável do que os automóveis, sobretudo devido à sua elevada eficiência energética: em comparação com os veículos elétricos de maior porte, requerem menor capacidade de armazenamento e consomem apenas uma fração da eletricidade necessária para a sua operação (Lin et al., 2017). Assim, o seu impacto ambiental deve ser cuidadosamente considerado, garantindo-se que a sua adoção esteja alinhada com os objetivos de uma mobilidade sustentável.

Contudo, apesar das vantagens associadas à acessibilidade, alguns desafios ainda precisam ser superados para que a bicicleta elétrica atinja todo o seu potencial. Um dos fatores mais críticos é a infraestrutura urbana, que nem sempre está preparada para acomodar um número crescente de ciclistas, especialmente em áreas onde o uso da bicicleta ainda não é amplamente disseminado (Wolf & Seebauer, 2014).

Para que a bicicleta elétrica cumpra efetivamente o seu papel na promoção de uma mobilidade urbana mais sustentável e inclusiva, torna-se essencial investir em ciclovias adequadas, estacionamentos seguros, pontos de carregamento e sistemas eficientes de recolha e reciclagem de baterias (Hiselius & Svensson, 2017). Paralelamente, a sustentabilidade desta solução de mobilidade depende do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes de armazenamento de energia, sendo que avanços como baterias de estado sólido ou sistemas de reutilização e reaproveitamento de baterias podem reduzir significativamente os impactos ambientais associados à mobilidade elétrica leve (Franke & Krems, 2013).

2.2.1.1.3. Integração e Transferência Modal

A integração da bicicleta elétrica com as infraestruturas urbanas e os sistemas de transporte público é um fator determinante para a sua adoção e sucesso como meio de mobilidade sustentável. Embora a bicicleta elétrica apresente vantagens significativas, a sua utilização em larga escala depende de condições adequadas de circulação, estacionamento e articulação com outros modos de transporte (Hiselius & Svensson, 2017; Wolf & Seebauer, 2014). A existência de infraestruturas bem planeadas não só incentiva o uso da bicicleta elétrica, como também maximiza os seus benefícios ambientais e sociais, promovendo uma mobilidade urbana mais eficiente e acessível.

Para que a bicicleta elétrica seja uma alternativa viável ao automóvel e aos transportes públicos, é fundamental que as cidades disponham de infraestruturas adequadas para a sua circulação e estacionamento. Estudos demonstram que a qualidade das ciclovias e a segurança da rede ciclável estão diretamente relacionadas com a adoção da bicicleta elétrica como meio de transporte regular (Hiselius & Svensson, 2017; Wolf & Seebauer, 2014).

A necessidade de infraestruturas adaptadas torna-se ainda mais evidente quando se considera que a bicicleta elétrica circula a velocidades superiores às das bicicletas convencionais. De acordo com Langford et al. (2015), a velocidade média das bicicletas eletricamente assistidas pode variar entre 13 km/h e 17 km/h, valores significativamente mais elevados do que os registados para bicicletas mecânicas. Esta diferença de velocidade pode gerar conflitos na partilha do espaço ciclável, especialmente em ciclovias congestionadas ou em infraestruturas subdimensionadas (Dozza et al., 2016).

Além disso, a falta de estacionamentos seguros é um dos principais entraves à adoção da bicicleta elétrica. Devido ao seu maior valor económico e ao risco de furto, os utilizadores tendem a evitar estacioná-las em locais públicos sem condições adequadas de segurança (Fyhri et al., 2017). Dessa forma, a expansão de parques de estacionamento seguros e a inclusão de pontos de carregamento de baterias são medidas fundamentais para incentivar o uso da bicicleta elétrica no meio urbano.

A necessidade de infraestruturas de estacionamento adequadas para bicicletas elétricas tem levado ao desenvolvimento de soluções mais seguras e acessíveis em diferentes contextos urbanos. Em áreas próximas a interfaces de transporte público, como estações de comboios e metro, têm sido implementados cacifos para bicicletas, que oferecem proteção contra furtos e intempéries, incentivando a intermodalidade (Figura 18).



Figura 18: Detalhe de cacifo para bicicletas em estação de comboios em Estugarda (Fonte: fotografia própria, 2018).

Outro aspeto central da integração da bicicleta elétrica no sistema de mobilidade urbana é a sua articulação com os transportes públicos. Ela pode atuar como modo complementar ao transporte coletivo, aumentando a acessibilidade de áreas onde a oferta de transporte público é limitada (Plazier et al., 2017; Wei et al., 2013). Em particular, a bicicleta elétrica é uma solução eficiente para o primeiro e último quilómetro das viagens, permitindo que os utilizadores se desloquem até às estações de metro, autocarro ou comboio de forma rápida e confortável. Wei et al. (2013) destacam que esta integração pode reduzir a dependência do automóvel, especialmente em zonas suburbanas ou em áreas com fraca cobertura de transportes públicos.

Várias cidades europeias têm apostado na integração da bicicleta elétrica com os transportes públicos. Os sistemas de partilha de bicicletas elétricas, frequentemente inseridos em estratégias de Mobilidade como Serviço (MaaS), permitem que os utilizadores combinem diferentes modos de transporte numa mesma viagem, reduzindo a necessidade do automóvel particular (Jittrapirom et al., 2017). Esses sistemas já demonstraram ser eficazes na promoção da intermodalidade e no aumento da adoção da bicicleta elétrica.

Contudo, a eficiência desta integração depende de infraestruturas adequadas para o transporte e estacionamento de bicicletas elétricas nos terminais de transportes públicos. Estudos apontam que a existência de estacionamentos seguros junto a estações de metro e comboio, bem como a possibilidade de transportar bicicletas elétricas nos vagões e autocarros, são fatores determinantes para o sucesso da intermodalidade (Wolf & Seebauer, 2014).

A integração da bicicleta elétrica com as infraestruturas e sistemas de transporte urbano ainda enfrenta desafios significativos que limitam a sua adoção em larga escala. Um dos principais entraves é a insuficiência de investimentos na expansão e melhoria das ciclovias, resultando em redes inadequadas para acomodar tanto bicicletas elétricas como convencionais de forma segura. A falta de infraestrutura apropriada leva a conflitos no espaço ciclável, especialmente devido à diferença de velocidades entre os diferentes tipos de bicicletas (Wolf & Seebauer, 2014).

Além disso, a escassez de estacionamentos seguros e de pontos de carregamento de baterias representa outro obstáculo à adoção da bicicleta elétrica. Devido ao seu maior valor económico e ao risco de furto, os utilizadores hesitam em estacioná-las em locais sem segurança adequada, o que restringe a sua utilização para deslocações diárias (Fyhri et al., 2017).

Apesar destes desafios, as oportunidades para a integração da bicicleta elétrica são amplas, sobretudo em países que já implementaram políticas de incentivo à mobilidade ciclável. A Holanda e a Suíça são exemplos de nações que adotaram medidas estratégicas para integrar a bicicleta elétrica nos sistemas urbanos, promovendo a expansão da infraestrutura ciclável e garantindo melhores condições para o seu estacionamento e carregamento (Kroesen, 2017).

A bicicleta elétrica tem um forte potencial para substituir deslocações realizadas por automóveis e transportes públicos, embora o seu impacto sobre os modos ativos seja mais ambíguo. Em particular, Cairns et al. (2017) e Fyhri et al. (2017) identificaram uma redução significativa no uso do automóvel e do transporte público, acompanhada por um aumento na utilização dos modos ativos, sugerindo que a bicicleta elétrica pode incentivar deslocações mais sustentáveis ao reduzir a dependência de meios motorizados.

Por outro lado, Gorenflo et al. (2017) e Plazier et al. (2017) apontam que a bicicleta elétrica pode competir fortemente com o transporte público, mas apresenta um impacto menos expressivo na substituição do automóvel. Estes resultados indicam que, em determinados contextos, a bicicleta elétrica pode ser vista como um complemento aos transportes coletivos em vez de uma alternativa direta ao carro particular. Kroesen (2017) e Lin et al. (2017) reforçam esta perspetiva, destacando que a bicicleta elétrica pode gerar uma leve redução no uso do automóvel e do transporte público, mas com menor impacto nos modos ativos.

Desta forma, os padrões de substituição modal sugerem que a adoção da bicicleta elétrica pode contribuir para a transição para formas de mobilidade mais sustentáveis, desde que integrada em políticas de transporte adequadas. A tendência observada em vários estudos demonstra que, enquanto a bicicleta elétrica pode reduzir a utilização de veículos motorizados, a sua relação com os modos ativos depende do perfil dos utilizadores e das infraestruturas disponíveis. Assim, a sua introdução pode beneficiar deslocações intermodais, promovendo maior flexibilidade e eficiência no transporte urbano.

Os padrões de viagem associados às bicicletas elétricas diferem dos das bicicletas convencionais em termos de distância e tempo de deslocação. Estudos mostram que as viagens realizadas por bicicletas elétricas são, em média, 50% mais longas do que as feitas por bicicletas convencionais (Cairns et al., 2017). Além disso, a duração média das viagens situa-se entre 20 e 30 minutos, embora alguns grupos de utilizadores realizem deslocações superiores a 60 minutos (Astegiano et al., 2015).

A Figura 19 ilustra a distribuição das distâncias percorridas por diferentes modos de transporte urbano, incluindo a bicicleta elétrica, comparando a sua abrangência com outros meios, como transporte público, automóveis e motociclos. No contexto da investigação de Guidon et al. (2019), a bicicleta elétrica apresenta-se como um potencial competidor para o autocarro, o comboio ligeiro e táxis.

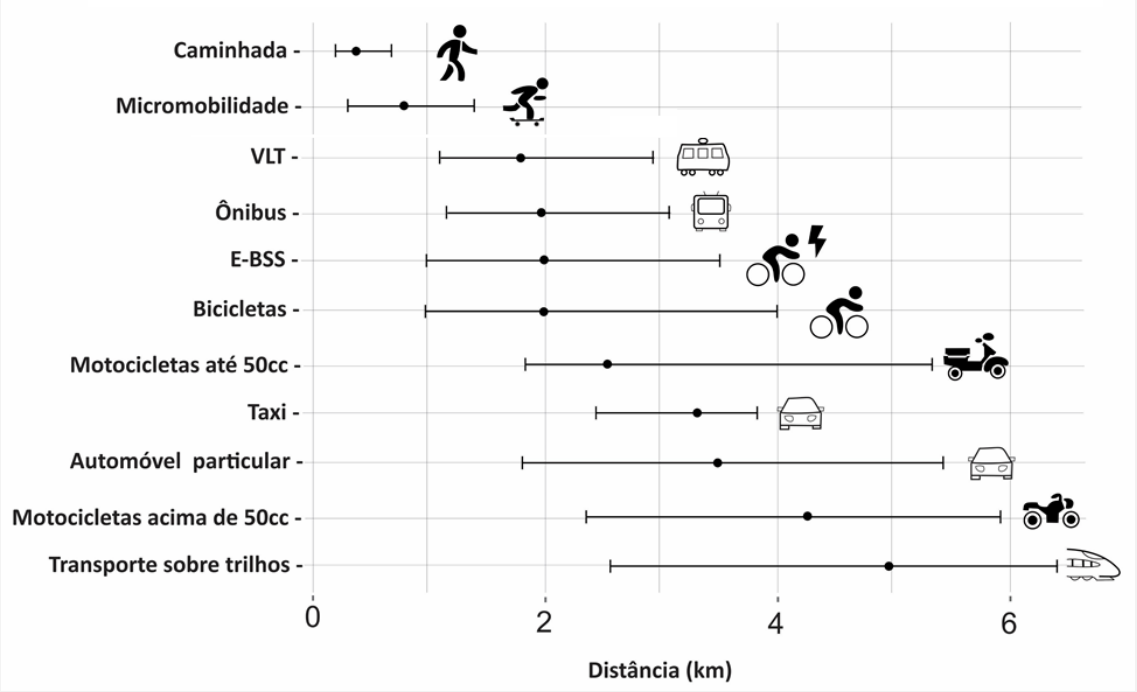


Figura 19: Distribuição das distâncias percorridas por diferentes modos de transporte (Fonte: adaptado de de Guidon et al., 2019)

A relevância da bicicleta elétrica na acessibilidade urbana pode ser verificada em diversos estudos internacionais. Na Noruega, por exemplo, Fyhri & Fearnley, (2015) analisaram o impacto da introdução das bicicletas elétricas e concluíram que estes veículos aumentaram significativamente as distâncias percorridas pelos utilizadores, reforçando a sua capacidade de tornar o ciclismo um meio de transporte acessível para deslocações mais longas. Na Inglaterra, Cairns et al. (2017) verificaram que a introdução das bicicletas elétricas resultou num aumento da atividade ciclável mesmo em cidades com condições pouco favoráveis, como perfis montanhosos e ventos fortes.

A dependência do contexto territorial e urbano influencia a função da assistência elétrica. Em regiões de baixa densidade populacional, como zonas rurais, a bicicleta elétrica proporciona deslocamentos contínuos a velocidades mais elevadas, ampliando a sua autonomia. Já em áreas urbanas densamente povoadas, os fluxos de bicicletas são frequentemente interrompidos, e a assistência elétrica facilita o arranque após paragens, tornando o uso da bicicleta mais eficiente e menos extenuante (Plazier et al., 2017). No contexto chinês, Lin et al. (2017) realizaram uma investigação

comparando a bicicleta elétrica a outros modos de transporte. Os resultados indicaram que este meio de transporte oferece maior flexibilidade em termos de tempo de viagem e acessibilidade em relação aos autocarros. Além disso, comparativamente ao metro e ao comboio, a bicicleta elétrica destaca-se pelo menor custo e maior rapidez, evitando os inconvenientes do congestionamento no sistema. Em relação ao motociclo, evidencia-se pelo custo operacional reduzido, enquanto, quando comparada à caminhada, a sua principal vantagem é a redução do esforço físico.

Apesar do seu potencial sustentável, a transferência da bicicleta convencional para a bicicleta elétrica pode ter um efeito menos positivo no longo prazo, especialmente em contextos com forte cultura ciclística. Lee et al. (2015) argumentam que, embora a bicicleta elétrica reduza as emissões de poluentes, a sua adoção pode diminuir a prática de exercício físico em comparação com a bicicleta mecânica convencional. Da mesma forma, Fyhri & Fearnley, (2015) destacam que, em regiões onde o ciclismo já está consolidado, a substituição da bicicleta convencional pela elétrica pode impactar negativamente os benefícios de saúde pública.

Outro fenómeno que pode ocorrer, particularmente em regiões sem uma cultura ciclística consolidada, é o retorno das viagens para o transporte motorizado individual. Este risco é maior em cidades com infraestrutura ciclável precária e baixo nível de serviço de transporte público, onde a bicicleta elétrica pode não se consolidar como uma alternativa viável ao automóvel, resultando numa possível reversão modal (Ling et al., 2015). Portanto, para cumprir o seu papel na melhoria das condições de mobilidade urbana, a bicicleta elétrica necessita de um suporte infraestrutural adequado (Hiselius & Svensson, 2017; Wolf & Seebauer, 2014), nomeadamente no que diz respeito a infraestruturas de circulação, facilidades para estacionamento e recarga de baterias, bem como sinalização adequada (Astegiano et al., 2015).

2.2.1.2. Sistemas de Bicicletas Partilhadas

Os sistemas de bicicletas partilhadas (*Bike-Sharing Systems* – BSS) têm vindo a consolidar-se como uma solução de mobilidade sustentável em diversas cidades ao redor do mundo. A sua implementação não só tem contribuído para a redução dos congestionamentos e para a integração eficiente com outros modos de transporte, como também tem promovido mudanças nos padrões de deslocação urbana e na acessibilidade ao transporte ciclável. Neste subcapítulo, explora-se a evolução dos modelos operacionais dos BSS, os benefícios que oferecem para a mobilidade urbana e intermodalidade, a relação entre a oferta e a cobertura do serviço, bem como o seu papel na avaliação da ciclabilidade. Além disso, aborda-se a crescente importância dos sistemas de bicicletas

elétricas partilhadas (*Electric Bike-sharing Systems* – e-BSS) como uma alternativa para superar desafios relacionados com topografia, distâncias mais longas e inclusão de novos perfis de utilizadores.

2.2.1.2.1. Evolução e modelos operacionais

Os sistemas de bicicletas partilhadas (BSS) têm evoluído significativamente desde a sua conceção inicial, refletindo avanços tecnológicos e mudanças nas dinâmicas urbanas. A evolução destes sistemas pode ser dividida em quatro gerações, cada uma marcada por inovações que visaram melhorar a acessibilidade, segurança e eficiência operacional (Manzi & Saibene, 2018).

A primeira geração surgiu na década de 1960, em Amsterdão, através do projeto "*Witte Fietsen*", que disponibilizava bicicletas à população de forma gratuita e sem qualquer infraestrutura de controlo. Contudo, devido à ausência de um sistema de monitorização e restrições ao uso, o modelo revelou-se insustentável, sofrendo com elevados índices de furto e vandalismo (Tironi, 2015). Com o objetivo de mitigar esses problemas, a segunda geração implementou estações fixas (dock stations) e mecanismos básicos de bloqueio, garantindo um maior controlo sobre a retirada e devolução das bicicletas. Um dos primeiros exemplos de sucesso foi o sistema introduzido em Copenhaga, que exigia um pequeno depósito monetário para a utilização da bicicleta. Além disso, estas estações foram estrategicamente instaladas em polos geradores de viagens, como universidades e zonas comerciais, facilitando a integração com outras formas de transporte (Fishman, 2016).

A transição para a terceira geração trouxe avanços tecnológicos fundamentais, permitindo uma gestão mais eficiente dos sistemas. A implementação de cartões de acesso, associada a pagamentos eletrónicos e monitorização digital, reduziu o uso indevido e melhorou a segurança. Adicionalmente, esta geração destacou-se pela sua integração com os transportes públicos, posicionando as estações de bicicletas junto a paragens de metro e autocarro, e estabelecendo um modelo de negócio baseado em assinaturas e taxas variáveis (Manzi & Saibene, 2018).

A quarta e mais recente geração caracteriza-se por uma expansão sem precedentes dos sistemas de bicicletas partilhadas, atingindo não apenas grandes centros urbanos, mas também cidades de menor dimensão. Os principais avanços incluem o desenvolvimento de sistemas sem estações fixas, o rastreamento das bicicletas por GPS e a introdução de bicicletas elétricas, permitindo viagens mais longas e reduzindo o esforço físico necessário para a sua utilização (Parkes et al., 2013). Nesse contexto, uma diferenciação relevante entre os modelos operacionais diz respeito à distinção entre os sistemas com estações fixas (*docked*) e os sistemas sem estações fixas (*dockless* ou *freefloat*). Os

primeiros requerem que as bicicletas sejam retiradas e devolvidas em estações, permitindo um maior controlo sobre a sua distribuição, mas podendo limitar a flexibilidade dos utilizadores. Já os sistemas sem estações fixas possibilitam o estacionamento da bicicleta em qualquer ponto dentro de uma área delimitada, recorrendo a tecnologia GPS e aplicações móveis para localização e desbloqueio do veículo (Fishman, 2016).

A Figura 20 apresenta a evolução das gerações dos sistemas de bicicletas partilhadas sob a forma de um cladograma, destacando as principais características que cada nova geração herdou das anteriores e as inovações que marcaram a sua diferenciação. A representação visual permite compreender a transição entre os modelos e como fatores como segurança, tecnologia e integração multimodal influenciaram a transformação dos BSS ao longo do tempo.

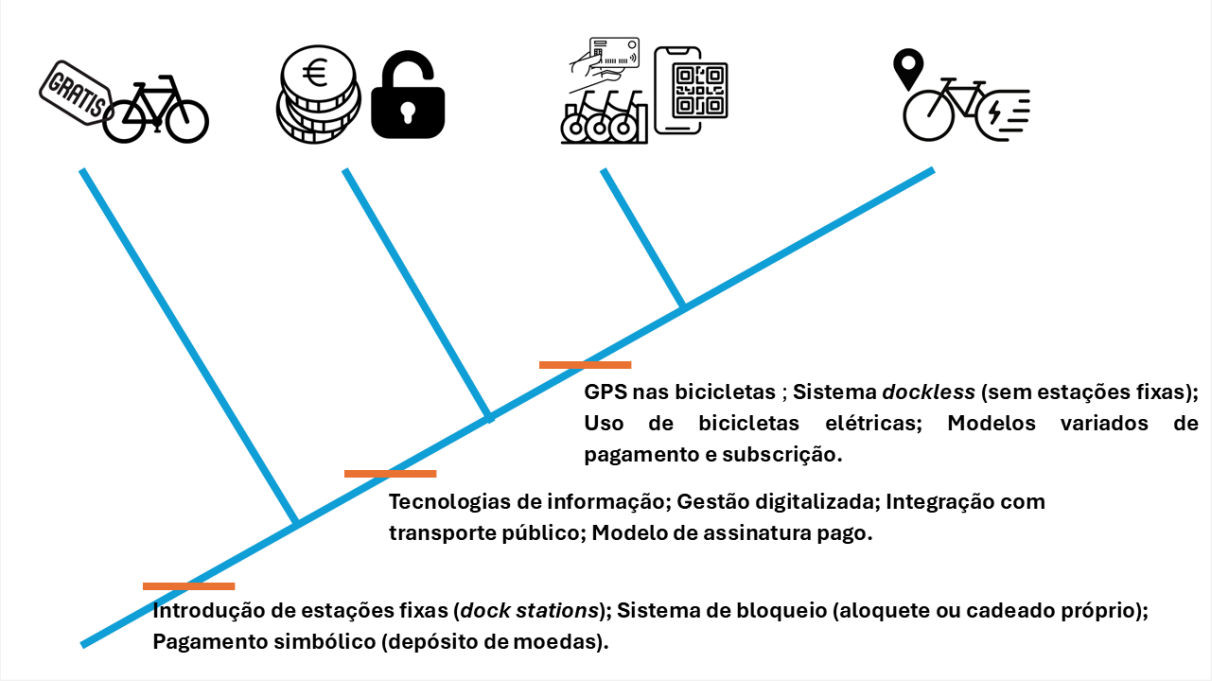


Figura 20: Cladograma para os sistemas de bicicletas partilhadas.

Embora os modelos sem estações fixas ofereçam maior conveniência e acessibilidade, também enfrentam desafios operacionais, como a necessidade de uma melhor regulamentação para evitar o estacionamento desordenado e a dispersão irregular das bicicletas no espaço urbano. Alguns sistemas híbridos têm sido adotados, combinando a flexibilidade dos sistemas sem estações fixas com zonas específicas para estacionamento, de modo a minimizar os impactos negativos na organização das cidades (Romanillos et al., 2018).

A crescente adoção dos sistemas *dockless* tem gerado desafios urbanos que requerem soluções regulatórias para evitar impactos negativos na mobilidade e no espaço público. Em algumas cidades, têm sido implementadas zonas delimitadas de estacionamento, seja por demarcações físicas, como sinalizações no pavimento (Figura 21), seja por restrições georreferenciadas, forçando os utilizadores a deixarem os veículos apenas em áreas específicas indicadas na aplicação móvel.

Estas medidas visam reduzir a desorganização do estacionamento, tornando o funcionamento do sistema semelhante ao dos sistemas com estações. Em zonas de elevado fluxo de pessoas, como áreas turísticas, a regulamentação torna-se ainda mais crucial para evitar a obstrução do espaço pedonal e a poluição visual, sendo comum o uso de sinalização específica para orientar os utilizadores (Figura 22).



Figura 21: Delimitação do estacionamento de bicicletas (Beryl) em Bournemouth, através de marcas no pavimento (Fonte: fotografia própria, 2019).



Figura 22: Identificação de "Drop Zone" em Lisboa, para organizar o estacionamento de bicicletas partilhadas e evitar obstruções no espaço público (Fonte: fotografia própria, 2020).

No entanto, quando a regulamentação é ineficaz ou inexistente, problemas como vandalismo, acumulação irregular de veículos e uso indevido tornam-se recorrentes. A flexibilidade dos sistemas *dockless* pode facilitar atos de depredação, bem como o estacionamento intencionalmente oculto para reserva de uso privado, comprometendo a rotatividade e distribuição equilibrada dos veículos (Figura 23). Além disso, a concentração excessiva de bicicletas e trotinetes em determinados locais pode comprometer a fluidez do trânsito pedonal e intensificar a poluição visual, especialmente em áreas de grande atração turística (Figura 24).



Figura 23: Exemplo de vandalismo de bicicleta partilhada em Bruxelas (Fonte: fotografia própria, 2018).



Figura 24: Acumulação desordenada de bicicletas partilhadas em zona turística de Lisboa (Fonte: fotografia própria, ano).

Com base nas características descritas, a Tabela 3 apresenta uma síntese comparativa entre os sistemas com e sem estações, destacando as suas principais diferenças em termos de infraestrutura, acessibilidade e impacto urbano, aspetos relevantes para o planeamento e a gestão da mobilidade sustentável.

Tabela 3: Comparação entre sistemas de bicicletas partilhadas quanto à infraestrutura, acessibilidade, impacto urbano e principais desafios.

Aspeto	Com Estação	Sem Estação
Infraestrutura	Requer estações fixas, com pontos de engate e quiosques de pagamento; implica custos iniciais mais elevados e necessidade de espaço físico dedicado.	Não requer estações; a tecnologia (GPS e bloqueio) está integrada na bicicleta, reduzindo custos de instalação e ocupação do espaço público.
Acessibilidade	Pode integrar-se a cartões de transporte público, permitindo o uso por diferentes perfis de utilizadores, inclusive os que não possuem smartphone.	Depende geralmente de smartphone e cartão de crédito, podendo excluir parte da população; permite maior flexibilidade quanto ao início e fim da viagem.
Impacto Urbano	Garante maior organização do espaço público, com menor risco de estacionamento desordenado; contudo, a expansão é mais lenta e dispendiosa.	Pode gerar problemas de estacionamento irregular e sobrecarga do espaço público, exigindo regulamentação municipal e fiscalização.
Principais Desafios	Apresenta custos elevados de instalação e menor flexibilidade de expansão; depende de investimento público ou de parcerias privadas estruturadas.	Exige regulamentação para evitar excesso de bicicletas, má utilização do espaço e vandalismo; a redistribuição das bicicletas é logisticamente complexa.

2.2.1.2.2. Auxílio à redução do congestionamento e à intermodalidade

A crescente implementação dos sistemas de bicicletas partilhadas (BSS) nas cidades tem demonstrado impactos significativos na redução do congestionamento rodoviário e na promoção da intermodalidade no transporte urbano. Esses sistemas configuram-se como alternativas sustentáveis aos modos tradicionais de deslocação, promovendo uma mobilidade mais eficiente e alinhada com os objetivos de diminuição da dependência do automóvel.

O crescimento verificado entre 2004 e 2014, com o número de sistemas ativos no mundo a aumentar de 13 para 855, evidencia essa transformação, destaca-se e a China, seguida por Itália e Espanha, como os países com maior número de implementações (Fishman, 2016). A expansão está associada a fatores como o aumento do preço dos combustíveis, o agravamento dos congestionamentos urbanos e a procura crescente por soluções de transporte mais sustentáveis (Manzi & Saibene, 2018).

- *Redução do congestionamento rodoviário*

O impacto dos BSS na redução do congestionamento é frequentemente destacado como um dos principais benefícios da sua implementação. A substituição de viagens de curta distância, tradicionalmente realizadas por automóveis particulares ou táxis, por deslocações em bicicletas partilhadas permite aliviar o tráfego em áreas urbanas densas. Essa substituição pode ocorrer de forma direta, quando o utilizador opta pela bicicleta em vez do automóvel, ou indireta, ao integrar o BSS com o transporte público, reduzindo a necessidade de veículos individuais nos trajetos finais das viagens (Martin & Shaheen, 2014).

Wang e Zhou (2017) indicam que as cidades que contam com sistemas de bicicletas partilhadas registam uma redução significativa dos congestionamentos, especialmente nos horários de ponta. Em contraste, em cidades onde não há BSS, um aumento populacional de 1% leva a um crescimento de 0,69% na taxa de congestionamento, evidenciando um impacto direto na deterioração da fluidez do tráfego urbano. No entanto, nas cidades onde os BSS estão implementados, esse mesmo crescimento populacional resulta num aumento de apenas 0,03% no congestionamento, ou seja, uma redução de mais de 95% no impacto causado pelo crescimento demográfico, demonstrando a capacidade dos BSS de mitigar significativamente os efeitos da expansão populacional sobre a mobilidade urbana.

Além disso, a introdução de sistemas de partilha também tem influência na distribuição do tráfego ao longo do dia. Hamilton e Wichman (2018) verificaram que os BSS ajudam a reduzir a concentração

de deslocações motorizadas nos períodos de pico, favorecendo uma melhor utilização da infraestrutura viária e aliviando a pressão sobre o sistema de transportes.

- *Integração com o transporte público*

A complementaridade entre os BSS e o transporte público é um aspeto fundamental na análise dos benefícios desses sistemas. Em muitas cidades, a sobrecarga dos transportes coletivos, aliada à falta de conectividade entre determinados pontos urbanos, cria desafios para os utilizadores. Os sistemas de bicicletas partilhadas, em especial os sistemas de bicicletas elétricas partilhadas (Electric bike-sharing systems – e-BSS), surgem como uma solução para esses problemas, permitindo deslocações mais eficientes entre diferentes modos de transporte e facilitando o acesso a zonas não totalmente cobertas pela rede de transportes públicos (Campbell et al., 2016).

Os BSS assumem um papel central na resolução do chamado "*last mile problem*", que consiste na dificuldade dos passageiros em percorrer os últimos quilómetros entre a estação de transporte e o destino final (Fishman et al., 2013). Ao proporcionar esta ligação final de forma rápida e acessível, tornam o transporte público mais atrativo e reduzem a dependência de veículos motorizados particulares.

Um exemplo relevante de integração bem-sucedida é o biciMAD, em Madrid, que permite o acesso às bicicletas partilhadas através do mesmo cartão utilizado no metro e nos autocarros (Romanillos et al., 2018). Esta solução demonstra como a integração tarifária e operacional entre os diferentes modos de transporte pode promover uma mobilidade mais eficiente e sustentável. A distribuição estratégica das estações de bicicletas partilhadas em pontos de acesso aos sistemas de transportes públicos, ilustrada na Figura 25 e na Figura 26, reforça a importância do planeamento urbano na promoção da intermodalidade e na otimização das infraestruturas de mobilidade



Figura 25: Estação de bicicletas partilhadas (Gira) próxima à paragem de autocarros em Lisboa (Fonte: fotografia própria, 2020).



Figura 26: Estação de bicicletas partilhadas (MOL Bubi) ao lado de um acesso ao metro de Budapeste (Fonte: fotografia própria, 2019).

- *Impactos ambientais e na saúde pública*

Além dos benefícios no congestionamento e na intermodalidade, os BSS também desempenham um papel crucial na redução da pegada ecológica do transporte urbano. Ao incentivar o uso da bicicleta, esses sistemas contribuem para a diminuição das emissões de gases poluentes e do consumo de combustíveis fósseis, ajudando a melhorar a qualidade do ar nas cidades. Médard de Chardon et al. (2017) referem que os sistemas de bicicletas partilhadas podem proporcionar uma redução significativa das emissões de CO_2, especialmente quando substituem deslocações em automóveis particulares. Além disso, a redução da poluição sonora e da ocupação do espaço público por veículos privados são aspetos frequentemente associados à implementação desses sistemas.

Outro impacto relevante é o incentivo à prática de atividade física, promovendo benefícios diretos para a saúde pública. Handy et al. (2014) argumentam que o aumento do uso da bicicleta está associado à melhoria da condição física dos utilizadores, contribuindo para a redução de doenças cardiovasculares e do sedentarismo. No entanto, para que esses benefícios sejam maximizados, é essencial que as cidades invistam em infraestruturas cicláveis seguras e bem distribuídas, garantindo condições adequadas para a utilização contínua dos BSS.

2.2.1.2.3. Cobertura e acessibilidade dos polos geradores de viagens

A eficácia dos sistemas de bicicletas partilhadas (BSS) está diretamente relacionada com a cobertura territorial, ou seja, a distribuição das estações ou da frota de bicicletas em relação aos principais polos geradores de viagens. A localização estratégica desses sistemas influencia não apenas a taxa de utilização, mas também o seu impacto na mobilidade urbana e a capacidade de se integrarem como uma solução de transporte sustentável.

Os polos geradores de viagens, como centros empresariais, universidades, estações de transporte público, zonas comerciais e turísticas, destacam-se como zonas de elevada atratividade para deslocações urbanas. A proximidade entre esses polos e as infraestruturas dos BSS é um fator determinante para a adesão ao sistema. Estudos demonstram que a utilização de bicicletas partilhadas é significativamente maior em estações localizadas próximas a infraestruturas cicláveis e a menos de 500 metros de polos de elevada circulação de pessoas (Bachand-Marleau et al., 2012).

Além disso, a cobertura territorial e a taxa de adesão aos BSS são influenciadas por um conjunto de fatores urbanos e operacionais. A presença de ciclovias e faixas exclusivas desempenha um papel essencial, uma vez que contribui para a segurança dos utilizadores e incentiva a utilização do serviço (Faghih-Imani et al., 2014). Da mesma forma, a densidade urbana e o uso do solo afetam a procura pelos BSS: áreas mais densamente povoadas e com elevada atividade comercial registam maior volume de utilizadores, enquanto zonas periféricas exigem um planeamento mais detalhado para assegurar uma cobertura eficiente (Médard de Chardon et al., 2017).

O modelo operacional dos BSS também influencia a relação entre oferta, cobertura e acessibilidade. Sistemas com estações fixas (*docked*) exigem um planeamento criterioso para garantir uma distribuição homogénea das infraestruturas e evitar lacunas na cobertura. Por outro lado, os sistemas sem estações fixas (*dockless* ou *free-float*), por permitirem estacionamento flexível, podem oferecer maior acessibilidade em regiões com menor densidade de estações fixas, mas exigem regulamentação adequada para evitar estacionamento desordenado (Fishman, 2016).

Outro fator determinante na adesão aos BSS é a distância entre as estações. Uma excessiva dispersão das infraestruturas pode desencorajar a utilização do sistema, enquanto uma distribuição equilibrada favorece a acessibilidade e aumenta a regularidade de uso (Bachand-Marleau et al., 2012). Além disso, a topografia da cidade influencia a adoção dos BSS, sendo que terrenos acidentados tendem a desmotivar a utilização das bicicletas convencionais.

Neste contexto, os sistemas de bicicletas elétricas partilhadas (e-BSS) surgem como uma alternativa viável para garantir deslocações em zonas com relevo mais acentuado (Fishman & Cherry, 2016).A Tabela 4 apresenta um resumo dos principais fatores que influenciam a cobertura dos sistemas de bicicletas partilhadas, destacando as suas implicações na acessibilidade e na taxa de adesão dos utilizadores.

Tabela 4: principais fatores que influenciam a cobertura dos sistemas de bicicletas partilhadas.

Fator	Descrição
Infraestrutura ciclável	A presença de ciclovias e faixas exclusivas favorece o uso dos BSS, pois aumenta a segurança e o conforto dos utilizadores.
Densidade urbana e uso do solo	Áreas mais densamente povoadas e com atividades comerciais têm maior procura por BSS, enquanto zonas periféricas exigem maior planeamento para garantir a cobertura adequada.
Distância entre estações	Estações muito afastadas podem desencorajar a utilização do serviço; por outro lado, uma distribuição equilibrada melhora a acessibilidade.
Topografia	Regiões com declives acentuados reduzem a adesão aos BSS convencionais, sendo que os e-BSS podem minimizar esse efeito.
Padrões de deslocação	Durante horários de pico, há um fluxo intenso de bicicletas de áreas residenciais para zonas comerciais e empresariais, exigindo estratégias de redistribuição da frota.

Para além dos aspetos físicos e infraestruturais, os padrões de deslocação influenciam a distribuição da frota nos BSS. Nos horários de ponta, há intenso fluxo de bicicletas das zonas residenciais para áreas comerciais, provocando sobrecarga em algumas estações e escassez noutras. Este fenómeno exige estratégias de ajustamento da frota (*rebalancing*), realizado por veículos motorizados, como camiões, que repõem unidades em estações vazias e aliviam o excesso nas sobrecarregadas. (Fishman et al., 2014). Na Figura 27 é demonstrada uma operação de movimentação de bicicletas entre estações para mitigar situações de desequilíbrio na distribuição de bicicletas e garantir a disponibilidade de veículos em diferentes áreas das cidades.



Figura 27: Operação de movimentação de bicicletas entre estações em Barcelona (Fonte: fotografia própria, 2019).

Além das variações na procura ao longo do dia, os fatores ambientais também influenciam a necessidade de redistribuição. O clima e a topografia afetam diretamente o padrão de deslocação dos utilizadores, sendo que cidades com relevo acidentado tendem a sofrer com o acúmulo de bicicletas em zonas mais baixas, uma vez que muitos utilizadores utilizam as bicicletas apenas para descidas. Para minimizar esse

problema, algumas cidades evitam a instalação de estações em áreas elevadas, enquanto os sistemas de bicicletas elétricas partilhadas (e-BSS) surgem como uma solução alternativa, permitindo deslocações mais confortáveis em terrenos inclinados (Fishman, 2016; Jurdak, 2013).

Outro fator determinante no ajustamento da frota é o tamanho e a capacidade das estações. Estações maiores oferecem maior flexibilidade para o estacionamento das bicicletas, mas podem reduzir a densidade da cobertura territorial. Além disso, sistemas que apresentam variações significativas no tamanho das estações tendem a ter custos operacionais mais elevados, devido à necessidade constante de redistribuição dos veículos para evitar concentrações excessivas ou falta de oferta em determinadas zonas (Médard de Chardon et al., 2017).

Para além das questões operacionais e infraestruturais, a acessibilidade dos sistemas de bicicletas partilhadas deve ser analisada também sob a perspetiva da equidade no transporte urbano. Embora os BSS sejam frequentemente apresentados como uma solução inclusiva e acessível, estudos indicam que a sua utilização ainda apresenta diferenças significativas entre grupos socioeconómicos e de género (Fishman, 2016). Em cidades onde a cultura ciclável não está consolidada, a participação feminina nos BSS é significativamente inferior à masculina, devido a fatores como segurança viária, perceção de risco e acesso limitado a infraestruturas de qualidade.

A existência de ciclovias seguras e bem distribuídas é apontada como elemento-chave para promover maior equilíbrio na adesão entre géneros. (Fishman, 2016). Além do fator de género, há também evidências de desigualdade socioeconómica na utilização dos BSS. O custo de adesão pode representar uma barreira para utilizadores de baixa renda, especialmente em sistemas que operam com assinaturas anuais ou tarifas de utilização elevadas (Goodman & Cheshire, 2014), nestes casos, políticas públicas que subsidiam o acesso ao sistema ou integram os BSS com tarifas sociais de transporte público podem contribuir para a democratização do serviço e para a promoção da equidade no acesso à mobilidade sustentável.

- *O papel do BSS como critério para avaliação da ciclabilidade*

A presença e o desempenho dos sistemas de bicicletas partilhadas (BSS) podem ser utilizados como indicadores da ciclabilidade urbana, ou seja, da capacidade de uma cidade em oferecer condições seguras, confortáveis e eficientes para o uso da bicicleta como meio de transporte. A adesão aos BSS reflete não apenas a atratividade do sistema, mas também a qualidade da infraestrutura ciclável e a perceção de segurança dos utilizadores em relação ao ambiente urbano (Fishman et al., 2014). Para

avaliar os BSS como critério de ciclabilidade, devem ser consideradas variáveis como a densidade e distribuição das estações, a conectividade com outros modos de transporte e os padrões de utilização do sistema (Médard de Chardon et al., 2017). Um dos principais indicadores usados é o número de viagens por dia e por bicicleta (*trip per day per bike* – TPB), que permite identificar áreas de maior ou menor adesão e compreender os fatores que influenciam essa variação.

Estudos mostram que estações situadas em áreas com ciclovias segregadas e vias com menor volume de tráfego motorizado tendem a apresentar taxas mais elevadas de utilização, enquanto locais com infraestrutura inadequada registam menor adesão. No entanto, a relação entre perceção de infraestrutura ciclável e utilização dos BSS não é homogénea: utilizadores frequentes tendem a ser menos dependentes de infraestrutura bem estruturada, enquanto os não utilizadores apontam a falta de ciclovias e as condições de segurança como principais fatores de desmotivação (Fishman et al., 2015).

Outro aspeto relevante é a segurança rodoviária. Apesar de utilizadores de bicicletas partilhadas serem menos propensos ao uso de capacete, há evidências de que a condução destes veículos pode ser mais segura devido à postura ereta, que aumenta o campo de visão, e à maior visibilidade no trânsito, o que leva condutores motorizados a adotarem uma condução mais cautelosa (Fishman, 2016).

A introdução dos e-BSS tem impulsionado a expansão da ciclabilidade urbana, ao permitir ultrapassar barreiras relacionadas com o esforço físico e a topografia das cidades (Fishman & Cherry, 2016). Há indicações de que eles possibilitam viagens entre 25% e 100% mais longas do que as realizadas com bicicletas convencionais, ampliando a área de atuação dos BSS e tornando a bicicleta uma opção viável para um maior número de utilizadores (Campbell et al., 2016).

Além do relevo, os e-BSS são relevantes em cidades com climas extremos ou configuração urbana dispersa, onde a bicicleta convencional pode ter limitações. A assistência elétrica reduz o impacto do vento contrário e das temperaturas elevadas sobre o esforço do ciclista, aumentando a adesão em condições adversas (Campbell et al., 2016). A Figura 28 e a Figura 29 ilustram diferenças entre estações de sistemas convencionais e de e-BSS, evidenciando variações no número de docas, na quantidade de bicicletas disponíveis e na área ocupada. Essas diferenças reforçam a necessidade de planeamento específico para os e-BSS, incluindo recarga de baterias e logística adequada ao maior peso das bicicletas elétricas.



Figura 28: Estação de bicicletas convencionais partilhadas (Santander) em Londres (Fonte: fotografia própria, 2021).



Figura 29: Estação de bicicletas elétricas partilhadas (BiciMAD) em Madrid (Fonte: fotografia própria, 2019).

2.2.2. Sistemas digitais e a experiência do ciclista

A digitalização da mobilidade urbana tem impulsionado a adoção de tecnologias inovadoras na utilização da bicicleta, promovendo maior eficiência, segurança e acessibilidade. Ferramentas como aplicações móveis, sensores inteligentes e plataformas de partilha de dados desempenham um papel fundamental na otimização das deslocações em bicicleta, permitindo a personalização de percursos, a integração com outros modos de transporte e a recolha de informações sobre padrões de deslocação.

Adicionalmente, a análise avançada de *Big Data* e Inteligência Artificial aprimora a formulação de políticas públicas e a gestão da infraestrutura urbana, permitindo maior eficiência na adaptação da rede ciclável às necessidades dos utilizadores.

Diante desse cenário, este ponto examina a influência das tecnologias digitais na promoção do ciclismo, explorando seus impactos e funcionalidades essenciais. Primeiramente, discute-se como essas ferramentas incentivam o uso da bicicleta e promovem a sua integração nos sistemas de mobilidade urbana. Em seguida, analisam-se as principais funcionalidades oferecidas pelas aplicações digitais, como planeamento de trajetos, gamificação e recolha de dados. Por fim, aborda-se a relação entre essas soluções e o planeamento urbano, destacando a importância da recolha e análise de dados para o desenvolvimento de políticas de mobilidade sustentável.

2.2.2.1. Papel das Soluções Digitais na Promoção da Bicicleta

A incorporação de tecnologias digitais tem desempenhado um papel central na promoção da mobilidade sustentável, e a gamificação surge como uma estratégia complementar para incentivar o uso da bicicleta. Ferramentas como aplicações móveis e plataformas baseadas em *Big Data* desempenham um papel essencial na superação de desafios relacionados ao ciclismo, como a insuficiência de infraestrutura

adequada, barreiras comportamentais e dificuldades na integração intermodal (Navarro et al., 2013; Schwanen, 2015).

A promoção do ciclismo não depende exclusivamente da infraestrutura física, mas também de soluções tecnológicas que aumentam a conveniência e a segurança do utilizador (Meireles & Ribeiro, 2020). Aplicações móveis oferecem informações em tempo real sobre trajetos, previsões meteorológicas, localização de infraestruturas de apoio e métricas personalizadas, tornando o ciclismo uma opção mais viável e eficiente (Reck et al., 2022; Schwanen, 2015).

Além disso, a integração das bicicletas com sistemas digitais amplia o acesso ao ciclismo, tornando-o mais atrativo (Behrendt, 2018; Bieliński & Ważna, 2020). Paralelamente às melhorias práticas, estratégias de gamificação e incentivos financeiros têm demonstrado impacto significativo na adoção da bicicleta como meio de transporte. Mecanismos interativos, como desafios, rankings e recompensas baseadas em quilometragem percorrida, têm-se revelado eficazes na promoção da mobilidade ativa (Bigazzi & Berjisian, 2021; de Kruijf et al., 2018).

A atribuição de incentivos financeiros pode reforçar o compromisso dos utilizadores com a bicicleta como alternativa ao automóvel (de Kruijf et al., 2018).Além do fator económico, a personalização da experiência do utilizador também desempenha um papel crucial. Aplicações que oferecem descontos em estabelecimentos comerciais para ciclistas regulares, demonstram como soluções digitais podem tornar a bicicleta uma opção mais vantajosa em comparação com outros meios de transporte urbanos (Meireles & Ribeiro, 2020).

Para além dos incentivos comportamentais, o aproveitamento de *Big Data* tem sido determinante para melhorar a integração multimodal e otimizar o planeamento da mobilidade ciclável, possibilitando uma abordagem mais eficiente ao desenvolvimento urbano. Sensores inteligentes, dados de GPS e rastreamento em tempo real proporcionam uma visão detalhada dos padrões de deslocação, auxiliando na otimização da infraestrutura ciclável e na identificação de pontos críticos de congestionamento e segurança (Reck et al., 2022; Schwanen, 2015).

As aplicações digitais são fundamentais nesse processo, pois agregam informações dos utilizadores para gerar mapas dinâmicos das deslocações urbanas. Essas ferramentas possibilitam uma análise detalhada das áreas de maior fluxo ciclável, orientando decisões estratégicas na expansão das ciclovias e na implementação de medidas de segurança (Meireles & Ribeiro, 2020). Além disso, a recolha sistemática

de dados pode prever tendências de mobilidade e auxiliar na formulação de políticas públicas de incentivo ao uso da bicicleta (Kazemzadeh & Ronchi, 2022).

A intermodalidade tem sido um elemento-chave para o fortalecimento do uso da bicicleta. Aplicações digitais facilitam a integração da bicicleta com outros meios de transporte, como metro, autocarros e comboios, promovendo uma rede de mobilidade mais eficiente. Essas soluções também têm sido implementadas em sistemas de bicicletas partilhadas (BSS e E-BSS), permitindo que os utilizadores localizem e desbloqueiem bicicletas através de aplicações móveis, tornando o serviço mais acessível (Bieliński & Ważna, 2020; Zhou et al., 2022).

Além disso, várias cidades já adotaram interfaces físicas informativas em terminais de transporte e espaços públicos estratégicos, fornecendo informações em tempo real sobre ciclovias, disponibilidade de bicicletas partilhadas e condições do tráfego (Schwanen, 2015). A disponibilização de dados em tempo real já é amplamente utilizada em outros sistemas urbanos, como a gestão de estacionamento automóvel, evidenciando o potencial de adaptação dessa tecnologia para o ciclismo.

A Figura 30 e a Figura 31 ilustram exemplos desse tipo de aplicação, que poderia ser utilizada para informar a disponibilidade de bicicletários e estações, contribuindo para a melhoria da experiência dos ciclistas urbanos. No entanto, a ausência de interoperabilidade entre diferentes plataformas digitais ainda representa um desafio significativo, dificultando a implementação de sistemas de mobilidade unificados (Zhang et al., 2018).



Figura 30: Sinalização Rodoviária a exibir a disponibilidade de espaços para estacionamento de automóveis em Bournemouth (Fonte: fotografia própria, 2019).



Figura 31: Dispositivo digital a exibir a disponibilidade de espaços para estacionamento de automóveis na Póvoa de Varzim (Fonte: fotografia própria, 2021).

Funcionalidades Essenciais das Aplicações para Ciclistas

As aplicações móveis desempenham um papel central na experiência do ciclista, podendo ser concebidas em diferentes modelos e enfrentando desafios tecnológicos que influenciam a sua adoção. Essas aplicações oferecem funcionalidades que vão além da navegação, incluindo a recolha de dados para o planeamento da mobilidade sustentável (Meireles & Ribeiro, 2020).

A eficiência dessas ferramentas depende do modelo de aplicação, da acessibilidade e da usabilidade, fatores que podem representar barreiras tecnológicas à adoção generalizada dessas soluções. As plataformas podem ser classificadas como sistemas fechados, que se concentram na experiência individual do utilizador e fornecem métricas personalizadas, ou como sistemas colaborativos, que promovem a partilha de dados entre ciclistas, urbanistas e autoridades, contribuindo para a melhoria contínua da infraestrutura ciclável.

Apesar das vantagens, a adoção dessas aplicações pode ser limitada por barreiras económicas e tecnológicas. Muitas plataformas adotam um modelo em que funcionalidades básicas são gratuitas, enquanto recursos avançados, como planeamento detalhado e análise de desempenho, exigem pagamento, o que pode restringir o acesso de determinados utilizadores e impactar a adesão ao serviço (Meireles & Ribeiro, 2020). Além disso, o consumo elevado de bateria e a necessidade de conexão constante à internet representam desafios à sua utilização em locais com infraestrutura digital limitada (Kazemzadeh & Bansal, 2021; Schwanen, 2015).

Para além das funcionalidades básicas, algumas aplicações oferecem planeamento personalizado e monitorização do desempenho, incorporando elementos de gamificação para aumentar o engajamento dos utilizadores. O planeamento de trajetos é uma das funcionalidades mais valorizadas nas aplicações digitais para ciclistas, permitindo a escolha de percursos com base em critérios como distância, tempo de viagem, inclinação do terreno e tipo de pavimento (Navarro et al., 2013). A precisão e a atualização contínua dos dados são fatores essenciais para garantir a fiabilidade dessas ferramentas, justificando a crescente adoção de *Big Data*, GPS e Inteligência Artificial na gestão dessas plataformas (Reck et al., 2022).

Algumas aplicações destacam-se nesse contexto, oferecendo percursos adaptados a diferentes perfis de utilizadores e permitindo a escolha entre rotas mais rápidas, mais seguras ou mais panorâmicas. Outras plataformas também possibilitam a personalização da experiência, permitindo que os ciclistas evitem ruas movimentadas, priorizem ciclovias segregadas ou ajustem trajetos de acordo com a autonomia das bicicletas elétricas (Behrendt, 2018; Meireles & Ribeiro, 2020; Plazier et al., 2017).

Além do planeamento de percursos, a monitorização do desempenho é uma funcionalidade amplamente utilizada, permitindo o registo de métricas como distância percorrida, velocidade média, calorias queimadas e emissões de CO_2 evitadas (de Kruijf et al., 2018). Esses dados reforçam a perceção dos benefícios da bicicleta como meio de transporte diário e incentivam a sua adoção contínua (Meireles & Ribeiro, 2020).

Além de auxiliarem os ciclistas na análise do seu próprio desempenho, essas informações são também valiosas para o planeamento urbano, permitindo que urbanistas compreendam padrões de deslocação e aprimorem a infraestrutura ciclável. A gamificação também tem demonstrado impacto positivo no aumento da frequência do uso da bicicleta. Enquanto algumas plataformas utilizam desafios, rankings e conquistas para promover a competição saudável entre utilizadores, incentivando a mobilidade ativa, outras incorporam sistemas de recompensas económicas, oferecendo benefícios em estabelecimentos comerciais para ciclistas regulares (Meireles & Ribeiro, 2020).

De Kruijf et al. (2018) demonstram que programas de incentivo financeiro, como o implementado nos Países Baixos, no qual ciclistas foram recompensados proporcionalmente à distância percorrida, podem ser eficazes na redução do uso do automóvel.

A recolha de dados desempenha um papel fundamental na melhoria contínua da infraestrutura ciclável. Através de aplicações digitais, essa recolha não se limita à análise passiva, mas é complementada pela participação ativa dos utilizadores, permitindo um mapeamento mais preciso da mobilidade sustentável. Através de GPS, sensores de Internet das coisas (*Internet of Things* – IoT) e *Big Data*, essas plataformas conseguem mapear padrões de deslocação, identificar zonas de alto fluxo ciclável e apontar problemas na infraestrutura urbana (Reck et al., 2022; Zhou et al., 2022). Isso traz a possibilidade para que urbanistas e gestores públicos utilizem dados para planear a expansão da rede ciclável e implementar medidas de segurança mais eficazes (Meireles & Ribeiro, 2020).

A recolha contínua de informações também possibilita a avaliação do impacto de políticas públicas, permitindo ajustes baseados em evidências (Plazier et al., 2017). Além da recolha automatizada, algumas aplicações incentivam a participação ativa dos ciclistas na melhoria da infraestrutura urbana. Plataformas de crowdsourcing permitem que os utilizadores reportem problemas como falhas na pavimentação, ciclovias obstruídas ou interseções perigosas (Sjöman et al., 2020). Esse modelo colaborativo melhora a qualidade dos dados disponíveis e possibilita intervenções mais ágeis e eficientes (Kazemzadeh & Bansal, 2021).

Outro aspeto relevante é a utilização de dados para medir o impacto ambiental do ciclismo urbano. Algumas aplicações já incorporam indicadores ambientais que permitem estimar a redução de emissões de CO_2 associada à substituição de viagens motorizadas por deslocações de bicicleta. Essas informações não só reforçam a conscientização dos ciclistas sobre os benefícios da mobilidade sustentável, mas também servem como base para campanhas públicas de incentivo ao uso da bicicleta (Shen et al., 2018; Zhang et al., 2018).

Contudo, a recolha de dados também levanta desafios, particularmente no que se refere à privacidade dos utilizadores e à interoperabilidade entre plataformas. A fragmentação dos dados entre múltiplos operadores sistemas partilhados e aplicações privadas dificulta a formulação de estratégias unificadas de mobilidade urbana. Além disso, a ausência de regulamentação clara sobre o uso de informações pessoais pode gerar preocupações quanto à segurança e ao anonimato dos ciclistas (Meireles & Ribeiro, 2020).

Dessa forma, é essencial que sejam implementadas políticas de proteção de dados e normas de interoperabilidade entre os sistemas digitais, garantindo a maximização dos benefícios da recolha de informações sem comprometer a privacidade dos utilizadores.

2.2.2.2. Aplicações Digitais e Planeamento Urbano

A digitalização da mobilidade aprimora a experiência dos ciclistas e, simultaneamente, fornece dados essenciais para a monitorização do uso da bicicleta e a formulação de políticas públicas. A transformação digital da mobilidade tem possibilitado uma abordagem mais dinâmica e baseada em dados para o planeamento urbano.

As aplicações móveis e plataformas digitais não só otimizam a experiência dos ciclistas individuais, como também fornecem informações fundamentais para a monitorização do tráfego ciclável e a formulação de políticas públicas (Meireles & Ribeiro, 2020; Reck et al., 2022).

A recolha contínua de dados permite identificar zonas de maior fluxo de ciclistas, padrões de utilização e pontos críticos na infraestrutura, auxiliando os municípios na tomada de decisões estratégicas (Kazemzadeh & Bansal, 2021). A monitorização da mobilidade ciclável por meio de sensores e contadores digitais tem sido uma ferramenta essencial nesse processo, fornecendo dados quantitativos sobre o uso da infraestrutura.

A Figura 32 apresenta um contador de ciclistas instalado em espaço urbano, ilustrando a importância da recolha sistemática de informações para o planeamento urbano e a otimização da rede ciclável.



Figura 32: Contador de ciclistas em Vilamoura, exibindo o número de passagens diárias e anuais (Fonte: fotografia própria, 2020).

Além disso, as informações recolhidas por aplicações móveis têm sido utilizadas para avaliar o impacto de políticas públicas, permitindo ajustes baseados em evidências concretas. Algumas cidades recorrem a sistemas digitais para medir a eficácia de incentivos ao uso da bicicleta, restrições ao tráfego automóvel e investimentos em infraestrutura ciclável (Meireles & Ribeiro, 2020)

A integração da bicicleta com outros modos de transporte representa outro aspeto fundamental na relação entre aplicações digitais e planeamento urbano, contribuindo para a construção de redes de mobilidade mais eficientes. A digitalização dos sistemas de bicicletas partilhadas tem sido essencial para a criação de redes intermodais eficientes, permitindo que os utilizadores combinem deslocações de bicicleta com transportes públicos, como metro e autocarros. Algumas cidades já implementaram bilhética integrada e plataformas de *MaaS*, possibilitando que os utilizadores planeiem e paguem deslocações intermodais numa única aplicação.

2.3. MÉTODOS DE ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Os processos de decisão procuram satisfazer um ou múltiplos objetivos e são conduzidos com base na avaliação de um ou vários critérios. No âmbito da análise de decisão, frequentemente, diferentes critérios precisam de ser ponderados e combinados; os métodos utilizados para essa integração constituem a Análise de Decisão Multicritério (*Multicriteria Decision Analysis* – MCDA) (Silva et al., 2004). A complexidade crescente dos problemas exige abordagens estruturadas para a tomada de decisão, permitindo considerar simultaneamente múltiplas dimensões e preferências. Assim, a MCDA apoia decisões em contextos sem solução única e objetiva, nos quais é necessário equilibrar fatores por vezes conflitantes (Malczewski & Rinner, 2015).

A estruturação do problema é crucial para a aplicação da MCDA. A decomposição hierárquica de sistemas complexos é amplamente utilizada para organizar fatores que influenciam a decisão, do mais geral ao mais específico (Saaty & Vargas, 2012). Esta estruturação permite analisar de forma sistemática as preferências dos decisores e promover avaliações consistentes e replicáveis. A necessidade de lidar com incerteza e diversidade de critérios torna críticas as escolhas sobre como combinar critérios, se considerar todos ou apenas alguns e em que medida um critério pode compensar outro (Silva et al., 2004).

Os métodos de análise multicritério dividem-se, em geral, em duas categorias: métodos de decisão multiatributo (MADM) e métodos de decisão multiobjetivo (MODM); apenas a primeira categoria será analisada aqui. Enquanto os MADM tratam problemas com um conjunto discreto de alternativas avaliadas por múltiplos critérios, os MODM aplicam-se à otimização contínua, procurando compromissos entre funções objetivo concorrentes (Malczewski & Rinner, 2015).

Entre os métodos MADM mais utilizados destacam-se a Combinação Linear Ponderada *(Weighted Linear Combination* – WLC), o Processo de Análise Hierárquica (AHP) e o Processo de Análise em Rede (ANP) e os métodos de sobreclassificação (*outranking*), como ELECTRE e PROMETHEE. A WLC baseia-se na atribuição de pesos aos critérios e na agregação por soma ponderada. O AHP e o ANP estruturam o problema em níveis hierárquicos (ou em rede) e recorrem a comparações par a par para derivar prioridades (Saaty & Vargas, 2012). Já os métodos de sobreclassificação constroem relações de dominância entre alternativas, permitindo preferências parciais e a exclusão de opções dominadas (Malczewski & Rinner, 2015). Nos pontos seguintes exploram-se os principais aspetos da MCDA, com análise aprofundada dos métodos de decisão multiatributo.

2.3.1. A estruturação de um problema de decisão

A formulação de um problema de decisão constitui um passo essencial na Análise de Decisão Multicritério (MCDA), pois define os elementos que sustentam todo o processo. Uma estruturação bem delineada permite organizar a informação de forma sistemática, garantindo que objetivos, critérios e alternativas sejam estabelecidos de modo coerente. Esta etapa inicial assegura que o modelo seja compreensível e aplicável na comparação entre opções distintas (Malczewski & Rinner, 2015).

A definição dos fatores incluídos na estruturação é um dos aspetos mais críticos. A hierarquia decisória deve captar a complexidade da situação, evitando tanto o excesso de detalhes, que dificulta a análise,

como a omissão de aspetos relevantes. O contexto da decisão, os fatores que influenciam a escolha e a identificação das partes envolvidas são elementos centrais desta fase (Saaty & Vargas, 2012).

A organização hierárquica de objetivos, atributos e partes interessadas é amplamente utilizada para estruturar problemas decisórios. Esta abordagem facilita a compreensão das inter-relações entre os elementos e permite comparar alternativas de forma estruturada. A hierarquia pode ser desdobrada em sub-hierarquias, desde que partilhem um elemento comum no nível mais elevado. A flexibilidade do modelo possibilita aprofundar determinados aspetos quando necessário, mantendo outros num plano mais genérico (Saaty & Vargas, 2012).

Os critérios de decisão são parâmetros que servem para avaliar e comparar alternativas. Podem ser classificados como exclusões ou fatores. As exclusões funcionam como restrições que eliminam opções inviáveis, como áreas de preservação ambiental interditas a projetos de expansão urbana. Os fatores, por sua vez, são variáveis que determinam o grau de adequação de uma alternativa a um objetivo específico. Outro elemento central é a definição das regras de decisão, que estabelecem como os critérios serão combinados na avaliação das alternativas. Estas regras podem incluir normalização e agregação, originando um índice composto que permite comparar opções (Silva et al., 2004).

A estruturação de um problema requer a consideração de múltiplos elementos interligados, desde a definição de objetivos até à organização das alternativas e critérios. A Figura 33 ilustra as etapas deste processo e as suas interdependências, facilitando a compreensão da lógica necessária para garantir coerência ao modelo e aplicação estruturada dos métodos multicritério. A definição de prioridades dentro da hierarquia exige a comparação de critérios, subcritérios e alternativas em relação ao nível superior. Este procedimento permite que a decisão seja tomada de forma transparente e rastreável, refletindo as preferências dos decisores. Após a análise do impacto de cada elemento, podem ser removidos aqueles com influência reduzida sobre o objetivo geral, simplificando a avaliação sem comprometer a robustez do processo (Saaty & Vargas, 2012).

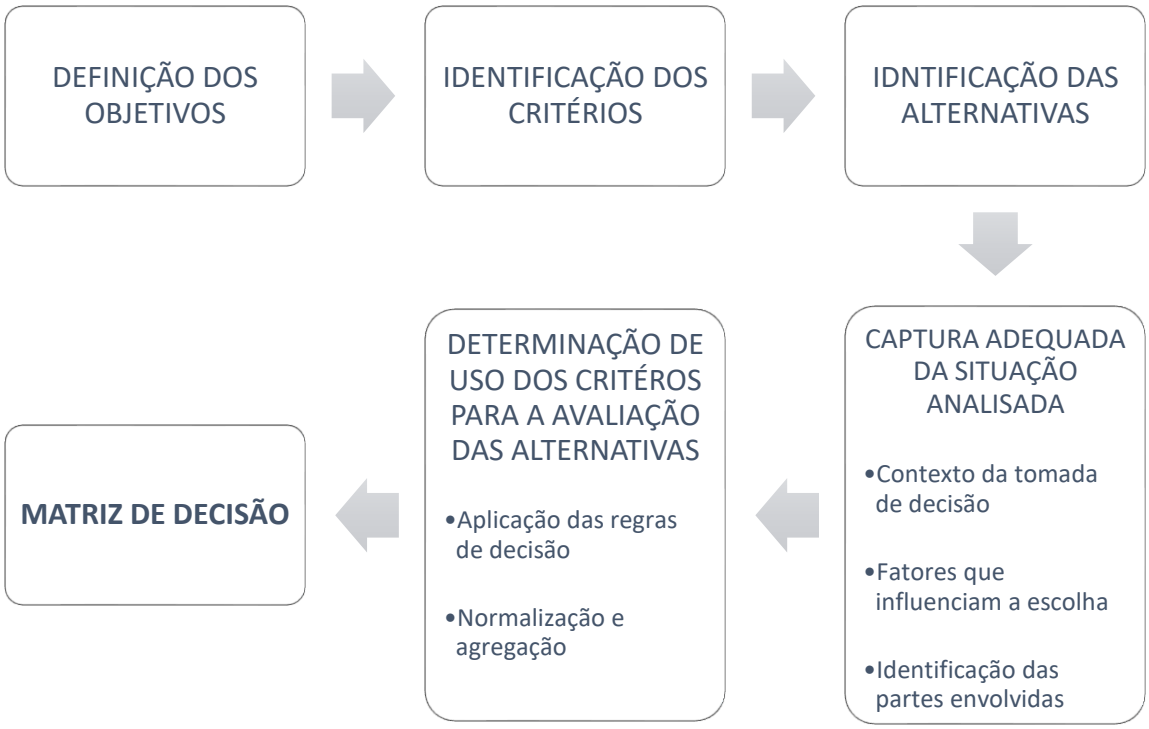


Figura 33: Fluxograma da estruturação do problema de decisão.

2.3.2. Elementos dos Métodos de Análise Multicritério

A avaliação multicritério assenta em elementos fundamentais que asseguram um processo decisório estruturado e transparente. Nos pontos seguintes são apresentados, de forma sistemática, o papel dos decisores, os critérios de avaliação, as alternativas de decisão e a matriz de decisão, com base em Malczewski & Rinner (2015).

2.3.2.1. Decisor

O decisor é a entidade responsável pela tomada de decisão, podendo corresponder a um indivíduo, a um grupo de indivíduos ou a uma organização. Nas decisões individuais, um único agente estabelece os objetivos, define os critérios e seleciona a alternativa considerada mais adequada. Já as decisões em grupo envolvem múltiplos participantes e podem exigir processos formais de agregação de preferências. O grau de consenso dentro do grupo determina a natureza da decisão. Quando existe uma estrutura única de objetivos, preferências e crenças, trata-se de uma decisão individual, mesmo que participem vários agentes. Porém, quando esses elementos variam entre os membros, o processo passa a ser coletivo, exigindo técnicas para consolidar diferentes pontos de vista.

Para além dos decisores diretos, muitas decisões multicritério envolvem grupos de interesse que influenciam o processo de acordo com as suas necessidades e objetivos. Estes grupos podem ser constituídos por indivíduos, organizações ou coletivos informais, sendo geralmente classificados em três

categorias: proponentes da decisão, partes impactadas pela decisão e entidades mediadoras. Enquanto alguns participam ativamente na formulação do problema e na avaliação das alternativas, outros apenas reagem às decisões tomadas, tornando o processo mais complexo e sujeito a múltiplas influências.

2.3.2.2. Critérios

Os critérios constituem os parâmetros utilizados para avaliar e comparar alternativas nos métodos de análise multicritério. Cada critério representa um atributo relevante para a decisão e deve ser formulado de modo a garantir que o processo seja estruturado e coerente. Para que um conjunto de critérios seja eficaz, estes devem cumprir os seguintes requisitos (Malczewski & Rinner, 2015):

- Completo: cobrir todos os aspetos do problema de decisão;
- Operacional: aplicável de forma significativa na análise;
- Decomponível: passível de ser dividido em partes para simplificar o processo;
- Não-redundante: evitar problemas de dupla contagem;
- Mínimo: manter o número de critérios o menor possível.

Os critérios podem ser classificados em objetivos e atributos. Os objetivos representam estados desejáveis do sistema e definem a direção da avaliação, podendo ser expressos como maximização ou minimização de determinada variável. Já os atributos correspondem a métricas quantificáveis ou qualitativas associadas a um objetivo, permitindo a sua avaliação no conjunto de alternativas disponíveis. A distinção entre estes dois conceitos é essencial: enquanto os objetivos definem a intenção geral da decisão, os atributos traduzem-na em aplicação prática.

A estruturação dos critérios segue um modelo hierárquico, em que os objetivos mais gerais ocupam os níveis superiores e são gradualmente desdobrados. Esta organização facilita a decomposição do problema, permitindo que cada elemento seja analisado isoladamente antes de ser integrado no processo decisório. A Figura 34 apresenta um diagrama dessa hierarquia, ilustrando a forma como os critérios se organizam desde os objetivos gerais até aos atributos que fundamentam a avaliação das alternativas. Tal estrutura favorece uma decisão mais transparente e sistemática, facilitando a comparação entre cenários e a priorização dos fatores mais relevantes para a escolha final.

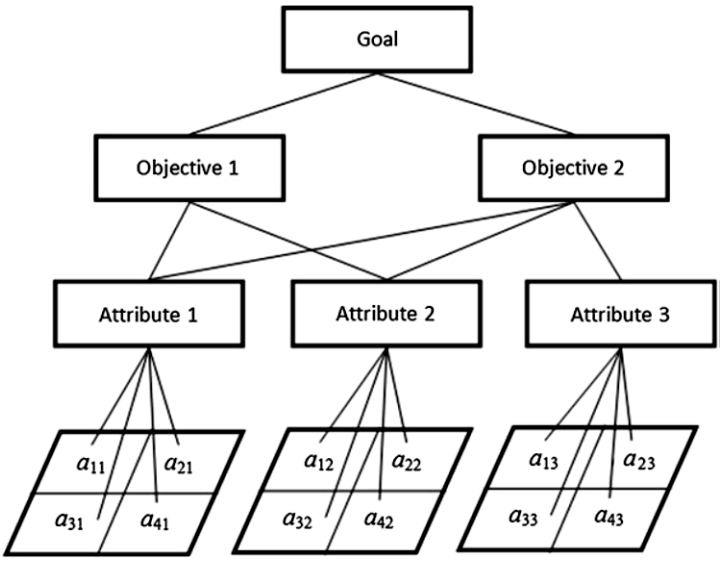


Figura 34: Representação hierárquica de um problema de decisão multicritério (Fonte: Malczewski e Rinner, 2015).

2.3.2.3. Alternativas de Decisão

As alternativas de decisão representam os diferentes cursos de ação possíveis dentro de um problema decisório. No contexto da Análise de Decisão Multicritério (MCDA), cada alternativa deve ser claramente definida para permitir a sua avaliação face aos critérios estabelecidos. A formulação e organização corretas das alternativas garantem que o processo decisório se desenvolva sobre um conjunto completo e representativo de opções, evitando vieses ou omissões que possam comprometer a qualidade da decisão.

A definição das alternativas deve ser conduzida de forma sistemática, assegurando que todas as opções consideradas sejam viáveis dentro das condições do problema. Além disso, para que a comparação entre alternativas seja possível, cada uma deve possuir atributos mensuráveis, permitindo a sua avaliação segundo os critérios definidos. A caracterização pode assumir formas distintas consoante o tipo de problema: variáveis binárias, que expressam decisões do tipo "sim/não"; valores discretos, quando há um conjunto finito de opções; ou variáveis contínuas, usadas sobretudo em problemas de otimização, em que os valores podem variar dentro de um intervalo definido.

A organização das alternativas no modelo decisório é geralmente realizada através de uma matriz de decisão, que estrutura a relação entre cada alternativa e os critérios avaliativos. Este formato permite que o processo seja conduzido de modo sistemático, assegurando que todas as variáveis relevantes sejam analisadas de forma estruturada e comparável. A matriz organiza a informação necessária para a avaliação das alternativas, apresentando o desempenho de cada uma em relação ao conjunto de critérios. Formalmente, a matriz de decisão é representada como uma matriz $\mathrm{m} \times n$:

$$\mathrm{D} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:

- m corresponde ao número de alternativas consideradas;
- n representa o número de critérios utilizados na avaliação;
- Cada a_{ij} indica o desempenho da alternativa A_1 quando avaliada segundo o critério C_j.

Esta estrutura permite que os decisores comparem sistematicamente as alternativas disponíveis, identificando as opções mais adequadas de acordo com os objetivos do problema.

Uma característica essencial da matriz de decisão é a diversidade de unidades de medida dos critérios utilizados na avaliação. Alguns critérios podem ser expressos em valores monetários, enquanto outros recorrem a escalas temporais, percentuais ou qualitativas. Para garantir comparabilidade, recorre-se frequentemente a técnicas de normalização, que ajustam os valores a uma escala comum sem distorcer as relações entre alternativas. Os principais métodos de normalização incluem(Malczewski & Rinner, 2015):

- Reescalonamento linear: transforma os valores dos critérios para um intervalo comum, como [0, 1] ou [0, 100];
- Padronização estatística: baseia-se na média e desvio-padrão dos valores de cada critério;
- Funções de utilidade: convertem os valores dos critérios em uma escala de preferências definida pelo decisor.

A matriz de decisão não só organiza a informação, como também fornece uma base estruturada para a aplicação dos diferentes métodos de MCDA. Com a matriz devidamente normalizada, os decisores podem empregar técnicas de avaliação e classificação das alternativas. Em processos de decisão em grupo, a matriz pode ainda ser expandida para incluir múltiplos decisores, agregando diferentes perspetivas sobre os pesos dos critérios e o desempenho das alternativas.

Assim, a matriz de decisão assume-se como uma ferramenta essencial para garantir transparência, rastreabilidade e consistência no processo, assegurando que a seleção final seja fundamentada numa análise estruturada e criteriosa.

2.3.3. Métodos de Análise de decisão Multiatributo

A Análise de Decisão Multicritério (MCDA) disponibiliza diferentes métodos para avaliar alternativas com base em múltiplos critérios, assegurando transparência e coerência no processo decisório. Entre os mais utilizados destacam-se a Combinação Linear Ponderada (WLC), o Processo de Análise Hierárquica (AHP) e de Análise em Rede (ANP), os métodos do ponto ideal, como o TOPSIS, e os métodos de sobreclassificação, como o ELECTRE e o PROMETHEE.

A WLC agrega os critérios por meio de uma soma ponderada. O AHP/ANP organiza o problema numa estrutura hierárquica ou em rede, recorrendo a comparações par a par para definir prioridades. Os métodos do ponto ideal classificam as alternativas pela sua proximidade a um ponto ideal e distância a um anti-ideal. Já os métodos de sobreclassificação estabelecem relações de dominância entre alternativas, permitindo preferências parciais e a exclusão de opções que não satisfaçam determinados limiares.

Nos tópicos seguintes apresentam-se os fundamentos e aplicações de cada método, seguidos de uma comparação que sintetiza as suas principais diferenças.

2.3.3.1. Combinação Linear Ponderada (WLC)

A Combinação Linear Ponderada (WLC) é um dos métodos mais utilizados em análise multicritério pela sua simplicidade computacional e facilidade de interpretação. Baseia-se na agregação linear dos critérios de avaliação, ponderados segundo a sua importância relativa no processo decisório. Assim, cada alternativa recebe uma pontuação composta que reflete a sua adequação aos critérios estabelecidos, permitindo a comparação direta entre as opções disponíveis Malczewski e Rinner (2015) Silva et al. (2004). Matematicamente, a WLC é representada pela equação (2):

$$\mathrm{V}(A_i) = \sum_{k=1}^{n} w_k v\,(a_{ik}) \qquad (2)$$

Onde:

- $V(Ai)$ representa a pontuação final da alternativa A_i;
- w_k é o peso atribuído ao critério k;
- $v(a_{ik})$ é a função de valor que traduz o desempenho da alternativa A_i no critério k;
- n é o número total de critérios avaliados.

O modelo WLC assenta em dois pressupostos fundamentais. O primeiro é o da linearidade, que assume que a contribuição marginal de um critério para a avaliação global da alternativa é constante, ou seja, a importância relativa de uma unidade adicional permanece inalterada em qualquer ponto da escala. O segundo é o da aditividade, que implica independência mútua entre critérios, de modo que o impacto de um não depende dos valores assumidos pelos restantes. Estes pressupostos tornam o método flexível e amplamente aplicável, mas podem limitar a sua utilização em contextos onde a interdependência entre critérios seja significativa.

Outro aspeto essencial é a função de valor, responsável por transformar os valores brutos numa escala padronizada. Este procedimento garante comparações consistentes entre alternativas e evita que diferenças de unidade de medida distorçam os resultados, assegurando que a pontuação final reflita adequadamente as preferências do decisor.

Apesar da sua popularidade, a WLC apresenta limitações. O principal desafio reside na suposição de compensação total entre critérios, que admite que um desempenho fraco possa ser integralmente compensado por outro forte. Em decisões onde alguns critérios são considerados críticos, tal suposição pode ser inadequada. Por isso, a aplicação do método requer análise criteriosa dos pesos e das relações entre critérios, de modo a evitar distorções na escolha da alternativa mais adequada.

2.3.3.2. Processo Analítico Hierárquico e Processo Analítico de Redes (AHP/ANP)

O Processo de Análise Hierárquica (AHP) é um dos métodos mais utilizados em análise multicritério. Baseia-se na decomposição estruturada do problema, permitindo organizar os elementos decisórios em níveis hierárquicos, nos quais as alternativas são avaliadas em função de critérios e subcritérios. A sua aplicação assenta em três princípios fundamentais: decomposição, em que o problema é estruturado hierarquicamente; julgamento comparativo, em que os elementos são avaliados através de comparações par a par; e síntese de prioridades, que combina as avaliações num ranking geral das alternativas.

A estrutura do AHP é composta por objetivos, critérios, subcritérios e alternativas, organizados numa hierarquia decisória. As comparações par a par são registadas numa matriz, em que cada elemento a_{ij} exprime a relação de importância entre os critérios i e j:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

A prioridade relativa das alternativas é obtida pela seguinte expressão:

$$V(A_i) = \sum_{k=1}^{n} w_l \, w_k \, (l) v \, (a_{ik}) \tag{4}$$

Onde:

- $v(a_{ik})$ representa a função de valor da alternativa A_i no critério k;
- w_l são o peso atribuído ao objetivo l;
- $w_k(l)$ é o peso do critério k dentro do objetivo l.

O Processo de Análise em Rede (ANP), também desenvolvido por Saaty, constitui uma extensão do AHP projetada para lidar com dependências e interações entre os elementos do problema de decisão. Ao contrário do AHP, que assume independência entre critérios e alternativas, o ANP permite modelar relações interdependentes através de uma rede de influências.

Os elementos são organizados em agrupamentos (clusters), que podem influenciar-se mutuamente por conexões diretas ou recíprocas. Para representar estas interações, utiliza-se uma supermatriz (*supermatrix*), composta pelas prioridades obtidas nas comparações par a par dentro de cada agrupamento:

$$W = \begin{bmatrix} W_C & 0 \\ W_A & W_B \end{bmatrix} \tag{5}$$

Onde:

- W_C representa as relações entre critérios;
- W_A e W_B contêm as influências entre alternativas e critérios;
- O zero indica que não há relação direta entre os critérios e os objetivos de decisão.

Esta supermatriz é ponderada de acordo com as influências relativas entre os agrupamentos e elevada a potências sucessivas até à convergência, fornecendo os pesos finais das alternativas e incorporando os efeitos das interdependências.

A escolha entre AHP e ANP depende da natureza do problema. O AHP é mais indicado quando existe uma estrutura hierárquica clara, enquanto o ANP é preferível em contextos com realimentação entre critérios e interdependências complexas. Ambos oferecem uma abordagem sistemática que permite considerar múltiplos fatores na decisão de forma estruturada e coerente.

2.3.3.3. Ideal Point Methods

Os *Ideal Point Methods* constituem uma abordagem consolidada na análise multicritério, baseada no conceito de identificar uma solução teórica ótima que apresente o melhor desempenho possível em todos os critérios avaliados. A avaliação das alternativas faz-se em função da sua proximidade ao *ideal point* e da sua distância ao *anti-ideal point*. Assim, quanto mais próxima uma alternativa estiver do *ideal point* e mais afastada do *anti-ideal point*, melhor será a sua classificação no conjunto decisório. Esta metodologia oferece um procedimento objetivo para classificar alternativas em problemas complexos de decisão multicritério (Malczewski & Rinner, 2015).

A formulação matemática segue o princípio de calcular a distância de cada alternativa ao ideal point. A métrica utilizada pode ser a distância L_p, definida por:

$$L_p(A_i) = \left[\sum_{k=1}^{n} w_k |t_k - v(a_{ik})|^p\right]^{\frac{1}{p}} \quad (6)$$

Onde:

- $L_p(A_i)$ representa a métrica de separação da alternativa A_i;
- w_k o peso atribuído ao critério k;
- $v(a_{ik})$ corresponde ao valor atribuído à alternativa A_i no critério k;
- t_k é o valor de referência ideal para o critério k, ou seja, o melhor desempenho observado entre todas as alternativas;
- p é um parâmetro que define a norma da distância.

Entre as variações destes métodos destaca-se o TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), A sua principal inovação consiste em captar tanto o desempenho positivo (proximidade ao *ideal point*) como o desempenho negativo (afastamento do *anti-ideal point*), tornando a análise mais equilibrada e abrangente. O índice de proximidade relativa ao ideal no TOPSIS é expresso como:

$$L_p^{\pm}(A_i) = \frac{L_p^{-}(A_i)}{L_p^{+}(A_i) + L_p^{-}(A_i)} \quad (7)$$

Onde:

- $L_p^{+}(A_i)$ representa a métrica de proximidade relativa ao ideal da alternativa A_i;
- $L_p^{-}(A_i)$ é a distância da alternativa A_i ao ponto anti-ideal.

As alternativas são então ordenadas com base nos valores de $L_p^{\pm}(A_i)$, sendo considerada melhor a opção que apresentar maior proximidade ao ideal point e maior afastamento do *anti-ideal point*.

O TOPSIS distingue-se por ser um método intuitivo e de fácil implementação, permitindo uma classificação objetiva das alternativas sem necessidade de comparações par a par, ao contrário do AHP. Entre as suas principais vantagens, destacam-se a avaliação quantitativa clara e a ordenação direta das alternativas com base em métricas bem definidas. A flexibilidade na escolha das funções de normalização e das métricas de distância torna-o aplicável a uma ampla gama de problemas. Contudo, o método pode ser sensível à forma como os critérios são normalizados e ponderados, exigindo atenção na definição dos pesos para evitar distorções.

De forma geral, os *Ideal Point Methods*, em especial o TOPSIS, constituem uma ferramenta robusta de apoio à decisão multicritério, oferecendo um enquadramento matematicamente estruturado para identificar a alternativa mais próxima da solução ideal.

2.3.3.4. ELECTRE e PROMETHEE:

Os métodos de sobreclassificação (*Outranking Methods*) constituem uma classe de técnicas de análise multicritério baseadas na comparação par a par das alternativas relativamente a cada critério de avaliação. A sua abordagem fundamental reside no facto de a estrutura de preferências do decisor poder ser representada por relações de sobreclassificação, estabelecidas ao comparar pares de alternativas. Este tipo de método é particularmente útil quando não se pretende uma agregação estrita de todos os critérios num único valor final, permitindo a identificação de preferências parciais entre as opções disponíveis(Malczewski & Rinner, 2015).

A sobreclassificação ocorre quando uma alternativa A_i é, pelo menos, tão boa quanto uma alternativa A_j na maioria dos critérios e não existe uma contradição forte nos restantes. Para determinar esta relação, recorrem-se a índices de concordância e discordância, que avaliam em que medida uma alternativa supera outra. Dois dos métodos mais difundidos desta abordagem são o ELECTRE e o PROMETHEE.

O ELECTRE (*ELimination Et Choice Translating REality*) corresponde a uma família de técnicas que evoluiu para diferentes versões, cada uma direcionada para problemas específicos, como seleção de alternativas, ordenação e classificação. A ideia central consiste em verificar se uma alternativa supera outra com base na análise conjunta dos índices de concordância e discordância dos critérios considerados (Malczewski & Rinner, 2015).

$$c_{ij}^{+} = \sum_{k \in q} w_k + \sum_{k \in p} 0.5\, w_k \tag{8}$$

onde:

- q representa os critérios nos quais A_i supera A_j;
- p representa os critérios nos quais A_i e A_j são equivalentes;
- w_k é o peso associado ao critério k.

A discordância, por sua vez, avalia se existe uma forte objeção contra a sobreclassificação de A_i sobre A_j, considerando a diferença de desempenho entre as alternativas. O índice de discordância é dado por:

$$c_{ij}^{-} = \frac{\max(\text{diferença entre } A_j \text{ e } A_i)}{\text{intervalo total da escala}} \tag{9}$$

Com base nestes índices, estabelece-se uma relação de sobreclassificação a partir de limiares de concordância e discordância. O ELECTRE é amplamente utilizado em contextos em que a decisão não pode ser representada por uma simples agregação aditiva de critérios, permitindo a identificação de relações de preferência parcial entre alternativas (Malczewski & Rinner, 2015).

O PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) segue uma abordagem distinta dentro dos Outranking Methods. Diferentemente do ELECTRE, que depende de limiares de concordância e discordância, o PROMETHEE introduz o conceito de funções de preferência para cada critério, permitindo maior refinamento na avaliação das diferenças entre alternativas (Malczewski & Rinner, 2015).

A relação de superação entre alternativas é quantificada pelo índice de preferência:

$$P(A_i, A_j) = \sum_{k=1}^{n} w_k p_k(a_i, a_j) \tag{10}$$

onde:

- w_k representa o peso do critério k;
- $p_k(a_i, a_j)$ é a função de preferência do critério k, que pode assumir diferentes formatos, como função usual, em U, em V, degrau ou gaussiana.

Para avaliar as alternativas, o PROMETHEE introduz duas métricas principais:

$$F^{+}(A_i) = \frac{\sum_{j=1, j\neq i}^{m} P(A_i, A_j)}{m-1} \quad (11)$$

$$F^{-}(A_i) = \frac{\sum_{j=1, j\neq i}^{m} P(A_j, A_i)}{m-1} \quad (12)$$

Onde:

- $F^{+}(A_i)$ (fluxo positivo) mede a força com que uma alternativa supera as demais;
- $F^{-}(A_i)$ (fluxo negativo) mede o grau em que a alternativa é superada pelas demais.

No PROMETHEE I, estas métricas permitem uma ordenação parcial das alternativas. No PROMETHEE II, a ordenação torna-se completa com o cálculo do fluxo líquido de preferência:

$$F(A_i) = F^{+}(A_i) - F^{-}(A_i) \quad (13)$$

Onde as alternativas com maiores valores de $F(A_i)$ são consideradas as mais preferidas. O PROMETHEE é amplamente aplicado devido à sua flexibilidade e simplicidade na definição de funções de preferência, possibilitando captar diferentes níveis de compensação entre critérios (Malczewski & Rinner, 2015).

Tanto o ELECTRE como o PROMETHEE são métodos robustos de análise multicritério, permitindo comparações diretas entre alternativas sem necessidade de as agregar num único índice de desempenho. Cada um, contudo, apresenta características próprias. O ELECTRE é adequado a problemas em que a ordenação absoluta não é essencial, mas sim a eliminação de opções claramente inferiores. A sua abordagem baseada em índices de concordância e discordância é útil em contextos de incerteza e imprecisão nos dados.

O PROMETHEE, por sua vez, oferece uma ordenação mais completa das alternativas e um maior controlo sobre a modelação das preferências através das funções de preferência. A escolha entre os dois métodos depende da estrutura do problema e das preferências do decisor quanto ao grau de compensação entre critérios e à forma de tratamento das relações de sobreclassificação.

2.3.3.5. Comparação dos Métodos

Os métodos de análise de decisão multiatributo podem ser comparados com base na estruturação das preferências, na forma de agregação dos critérios e na abordagem utilizada para classificar as alternativas. Neste contexto, WLC, AHP/ANP, ELECTRE, PROMETHEE e TOPSIS apresentam características distintas que influenciam a sua adequação a diferentes contextos decisórios.

O WLC é um dos métodos mais simples, baseado na agregação linear ponderada dos critérios, permitindo plena compensação entre eles. Apesar da sua facilidade de implementação, pode ser inadequado em cenários onde é necessário restringir compensações excessivas entre critérios de pesos distintos. Além disso, não fornece mecanismos para avaliar a consistência das preferências do decisor.

O AHP/ANP destaca-se por estruturar o problema de forma hierárquica e por oferecer um procedimento rigoroso para a atribuição de pesos aos critérios através de comparações par a par. Esta abordagem permite avaliar a coerência das preferências, conferindo maior robustez ao processo decisório. O AHP, contudo, pode ser desafiante em problemas de grande escala devido ao número elevado de comparações necessárias. O ANP, ao permitir interdependências entre critérios e alternativas, expande as capacidades do AHP, mas também introduz maior complexidade computacional.

Os *Outranking Methods*, como o ELECTRE e o PROMETHEE, adotam uma abordagem distinta, estabelecendo relações de dominância entre alternativas sem exigir a compensação total dos critérios. No ELECTRE, as decisões baseiam-se em índices de concordância e discordância, sendo vantajoso em contextos com critérios não diretamente comparáveis. No entanto, a definição dos limiares de concordância e discordância pode ser arbitrária e influenciar os resultados. O PROMETHEE diferencia-se pela introdução de funções de preferência, permitindo modelar diferentes graus de compensação entre critérios. A sua aplicabilidade é favorecida por uma estrutura mais intuitiva do que a do ELECTRE, embora a definição dos pesos e das funções de preferência continue a ser um desafio.

Os *Ideal Point Methods*, como o TOPSIS, avaliam alternativas com base na minimização da distância ao *ideal point* e na maximização da distância ao *anti-ideal point*. Esta abordagem permite uma classificação segundo a proximidade das soluções ao melhor desempenho possível em todos os critérios. Apesar da sua simplicidade conceptual e eficiência na ordenação de alternativas, o método pode ser sensível à escolha do modelo de normalização dos dados e à distribuição dos critérios na análise.

Na Tabela 5 apresenta-se uma síntese comparativa dos métodos discutidos, destacando as suas principais características, vantagens e limitações. Esta tabela fornece uma visão geral das abordagens e auxilia na compreensão das razões que justificam a seleção do método mais adequado ao contexto deste trabalho.

Entre os métodos comparados, o AHP assume particular relevância por combinar simplicidade de aplicação com rigor metodológico, razão pela qual será aprofundado no ponto seguinte.

Tabela 5: Tabela Comparativa dos Métodos Multicritério.

Método	Características Principais	Vantagens	Limitações
AHP	Comparação par-a-par, critérios hierárquicos	Simples, estruturado e amplamente aceito na literatura; permite avaliar múltiplos critérios de forma intuitiva; facilita a participação de especialistas e stakeholders	Pode demandar muitas comparações em problemas extremamente complexos, mas softwares especializados mitigam essa questão
ANP	Expansão do AHP considerando interdependência entre critérios	Modelo mais abrangente, lidando com relações complexas entre critérios	Maior complexidade de aplicação em comparação ao AHP;
ELECTRE	Sobreclassificação de alternativas com base em limiares	Adequado para problemas qualitativos e não requer compensação direta entre critérios	Definição de limiares pode ser subjetiva e afetar os resultados;
PROMETHEE	Sobreclassificação com ranking completo baseado em fluxos de preferência	Resultados claros e adaptáveis a diferentes contextos	Necessidade de converter critérios em funções de preferência pode tornar sua aplicação trabalhosa; interpretação mais complexa do que AHP.
TOPSIS	Mede a distância de cada alternativa ao ponto ideal e ao ponto anti-ideal	Considera simultaneamente a melhor e a pior solução possível, fornecendo uma visão clara das alternativas	Sensível à escala dos critérios e depende fortemente da normalização dos dados, podendo levar a distorções se não for bem ajustado
WLC	Ponderação simples e linear dos critérios	Extremamente simples e rápido de aplicar	Não considera interdependências entre critérios, tornando-se limitado para problemas mais sofisticados

2.4. PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP)

2.4.1. Origem e práticas do AHP

O Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* – AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970 como um método estruturado de apoio à decisão em problemas complexos com múltiplos critérios. Fundamentado na teoria da medição, o AHP permite estabelecer escalas de razão a partir de comparações par a par, possibilitando a quantificação integrada de elementos subjetivos e objetivos no processo decisório (Saaty & Vargas, 2012).

A metodologia organiza o problema através de uma estrutura hierárquica, na qual o objetivo principal é decomposto em níveis sucessivos de critérios, subcritérios e alternativas. Esta segmentação facilita a análise das relações entre elementos, permitindo julgamentos mais precisos e sistemáticos (Malczewski

& Rinner, 2015). As preferências entre elementos do mesmo nível hierárquico são determinadas mediante comparações par a par, utilizando uma escala de razão predefinida. Os valores obtidos geram matrizes de julgamento, das quais são extraídos os pesos relativos de critérios e alternativas, originando a priorização das opções disponíveis.

Um aspeto fundamental do AHP é a sua capacidade de avaliar a coerência dos julgamentos emitidos pelos decisores. Para tal, o método incorpora um mecanismo de verificação da consistência das comparações, assegurando resultados robustos e matematicamente justificados (Saaty & Vargas, 2012). Além disso, a abordagem facilita a síntese de preferências individuais em processos coletivos, permitindo integrar avaliações de diferentes especialistas de forma estruturada.

Ao longo das últimas décadas, o AHP consolidou-se como um método amplamente aceite e aplicado em diversos contextos. A sua abordagem hierárquica, combinada com a possibilidade de incorporar julgamentos subjetivos de forma sistemática, torna-o uma ferramenta essencial em problemas complexos que exigem clareza, transparência e fundamentação matemática na priorização de alternativas.

2.4.1.1. Domínios de Aplicação e Participação de Especialistas no AHP

O AHP tem sido amplamente utilizado em diferentes áreas do conhecimento, tanto de forma isolada como em combinação com outros métodos, para apoiar decisões complexas. A sua aplicação recorre frequentemente a especialistas, cujos perfis e números variam de acordo com a natureza do problema e os objetivos da investigação. Os estudos analisados foram organizados em quatro grandes domínios: planeamento urbano e transportes, recursos naturais e sustentabilidade, gestão de projetos e produtividade, e planeamento estratégico e segurança.

No planeamento urbano e transportes, o AHP tem sido aplicado tanto à definição de prioridades em políticas de mobilidade como à avaliação de soluções inovadoras de transporte. Entre os exemplos encontram-se a sua integração com Delphi em processos participativos (Le Pira et al., 2017), a avaliação de propostas de transporte público (Nalmpantis et al., 2019) e a análise da qualidade do transporte urbano a partir da perceção de utilizadores (Güner, 2018). Em megacidades, foi utilizado para classificar tipologias de desenvolvimento orientado ao transporte (Su et al., 2021) e em estudos de logística para avaliar o transporte de cargas sobredimensionadas (Wolnowska & Konicki, 2019). Em escala internacional, o método apoiou a comparação de corredores comerciais da *Belt and Road Initiative* (Yang et al., 2018) e a otimização de cabines de comboios de alta velocidade (Chin et al., 2019).

Na área de recursos naturais e sustentabilidade, o método tem apoiado decisões que conciliam dimensões ambientais, económicas e sociais. Destacam-se aplicações na avaliação de rodovias verdes (Huang & Yeh, 2008), na seleção de sistemas de tratamento de água de lastro (Pelorus & Karahalios, 2017), na análise de responsabilidade social no setor aéreo (Karaman & Akman, 2018), em soluções de gestão hídrica e estabilidade de encostas (Banihabib et al., 2017; Kil et al., 2016) e na avaliação da sustentabilidade hidroelétrica (Gómez Romero et al., 2019). Em combinação com GIS, foi usado no planeamento de parques florestais urbanos (Zheng et al., 2019).

Em gestão de projetos e produtividade, o AHP tem sido aplicado à identificação de fatores críticos de sucesso na manufatura aditiva com lógica fuzzy (Yeh & Chen, 2018), à construção de mapas tecnológicos em inovação (H. Lee & Geum, 2017). e à priorização de fatores de produtividade na construção civil (Doloi, 2008). Estes trabalhos evidenciam a capacidade do método para alinhar aspetos técnicos, estratégicos e organizacionais.

No domínio do planeamento estratégico e segurança, as aplicações incluem a avaliação de desempenho logístico portuário (Ha et al., 2017; Ha & Yang, 2017), a análise de segurança aeronáutica (Havle & Kılıç, 2019), o desenvolvimento de índices de segurança residencial com mapeamento cognitivo (Oliveira et al., 2018). e a análise de acidentes marítimos (Uğurlu et al., 2017). Estes exemplos reforçam o papel do AHP na mitigação de riscos e na melhoria da eficiência operacional em contextos críticos.

A participação de especialistas nos estudos é um elemento central para a qualidade dos resultados. O número de participantes variou de pequenos grupos técnicos a grandes amostras representativas. Em problemas de natureza altamente técnica, privilegiaram-se equipas reduzidas de especialistas experientes, como engenheiros de recursos hídricos (Banihabib et al., 2017) ou pilotos de aviação (Havle & Kılıç, 2019). Em estudos com dimensão social ou multidisciplinar, recorreu-se a grupos maiores, como estudantes universitários (Güner, 2018) ou stakeholders do setor de transportes (Le Pira et al., 2017).

Os perfis profissionais também se diversificam conforme o setor. Engenheiros civis, ambientais e florestais predominaram em estudos de infraestrutura e recursos naturais (Kil et al., 2016) (Banihabib et al., 2017). Urbanistas, engenheiros de transportes e representantes públicos participaram em investigações sobre mobilidade urbana (Le Pira et al., 2017; Nalmpantis et al., 2019). Em segurança aeronáutica e marítima, envolveram-se profissionais operacionais (Havle & Kılıç, 2019; Uğurlu et al., 2017), enquanto trabalhos focados em inovação industrial contaram com executivos seniores (Yeh & Chen, 2018). Também se registaram casos de inclusão de utilizadores finais, como passageiros de

comboios de alta velocidade (Chin et al., 2019) ou estudantes em transportes urbanos (Güner, 2018), enriquecendo a análise com perspetivas práticas.

De forma geral, não existe um número fixo de especialistas ideal. A dimensão e a composição dos grupos devem ajustar-se ao contexto do estudo, equilibrando profundidade técnica e diversidade de perspetivas. A qualidade da experiência dos especialistas, seja por formação académica, prática profissional ou vivência direta do sistema analisado, é determinante para assegurar resultados robustos.

A Tabela 6 apresenta uma síntese dos trabalhos revistos, destacando os domínios de aplicação e a participação de especialistas.

Tabela 6: Síntese de trabalhos envolvendo AHP.

Área	Referência	Nº	Perfil dos especialistas
Planeamento Estratégico e Segurança	Uğurlu et al. (2017)	16	Gestores de segurança, inspetores de frota e superintendentes.
	Ha e Yang (2017)	10	Operadores e autoridades portuárias, académicos e prestadores de serviços logísticos.
	Ha et al. (2017)	28	Diretores e gestores seniores especializados em planeamento estratégico e gestão portuária.
	Oliveira et al. (2018)	8	Especialistas em segurança residencial, como urbanistas, polícias, administradores de imóveis e cidadãos, com mais de 10 anos de experiência.
	Havle e Kılıç (2019)	3	Pilotos experientes, incluindo comandantes e oficiais seniores, com mais de 10.000 horas de voo no Atlântico Norte.
Gestão de Projetos e Produtividade	Doloi (2008)	19	Profissionais de nível gerencial no setor da construção, como gestores de projeto, supervisores de obra e subcontratados principais, com experiência variada de 5 a 20 anos.
	Lee e Geum (2017)	5	Especialistas em investigação e desenvolvimento com mais de 5 anos de experiência.
	Yeh e Chen (2018)	18	Executivos seniores de empresas de manufatura com mais de 10 anos de experiência em produção, marketing e investigação.
Recursos Naturais e Sustentabilidade	Huang e Yeh (2008)	25	Académicos e profissionais da indústria com cerca de 10 anos de experiência, incluindo engenheiros, arquitetos paisagistas e planeadores ambientais.
	Banihabib et al. (2017)	40	Engenheiros e investigadores especializados em recursos hídricos.
	Kil et al. (2016)	38	Engenheiros civis e especialistas ambientais, incluindo arquitetos paisagistas e engenheiros florestais, com mais de 10 anos de experiência.
	Pelorus & Karahalios (2017)	10	Inspetores de frota, capitães e auditores marítimos com certificações académicas e experiência relevante no setor.
	Karaman e Akman (2018)	31	Gestores séniores no setor aéreo, com experiência em responsabilidade social corporativa e gestão.

Área	Referência	Nº	Perfil dos especialistas
	Gómez Romero et al. (2019)	64	Especialistas com formação superior e experiência média de 10 anos em projetos hidrelétricos.
	Zheng et al. (2019)	-	Validação de critérios e pesos por análises de consistência, sem envolvimento direto de especialistas.
Planeamento Urbano e Transportes	Le Pira et al. (2017)	7	Académicos em segurança e planeamento urbano, representantes de associações de ciclistas e stakeholders do setor de transporte público.
	Güner (2018)	255	Estudantes universitários utilizadores regulares de transporte público, com idades entre 18 e 25 anos.
	Yang et al. (2018)	117	Decisores políticos, operadores logísticos, transportadores, académicos e analistas económicos.
	Nalmpantis et al. (2019)	12	Engenheiros de transporte, urbanistas e representantes da administração pública com experiência em mobilidade urbana.
	Wolnowska e Konicki (2019)	-	Especialistas em logística e planeamento urbano, com base em análises técnicas de autoridades de transporte.
	Chin et al. (2019)	78	Passageiros frequentes de cabines de segunda classe, com experiência em viagens no serviço avaliado.
	Su et al. (2021)	25	Especialistas em planeamento urbano, geografia de transportes e gestão do uso do solo, incluindo académicos e profissionais do setor público

2.4.2. Os fundamentos do AHP

O AHP baseia-se em princípios matemáticos rigorosos para transformar julgamentos subjetivos em valores quantitativos, proporcionando um método estruturado para a tomada de decisões multicritério. O método permite a decomposição de um problema complexo numa hierarquia decisória, facilitando a análise dos diferentes níveis de decisão e a priorização das alternativas (Saaty & Vargas, 2012). Esta secção explora de forma detalhada os fundamentos do AHP, destacando os aspetos que garantem a sua coerência e robustez.

2.4.2.1. Escalas de Razão e Comparações Par-a-Par

No AHP, a medição fundamenta-se no conceito de razão, isto é, na comparação entre dois elementos para determinar diretamente a intensidade de preferência de um sobre o outro, sem necessidade de atribuir individualmente dois valores para depois calcular a sua razão. Em termos simples, o decisor atribui, utilizando a escala fundamental de 1 a 9, um único valor que representa a razão entre as prioridades relativas dos elementos comparados.

Uma escala de razão é definida como um conjunto de números que se mantém invariante sob a multiplicação por uma constante positiva. Isto significa que a razão entre quaisquer dois valores permanece a mesma, independentemente da unidade de medida utilizada. Para padronizar os registos obtidos, se os valores originais de um conjunto de n elementos forem denotados por w_i^*(valor bruto do elemento i), os valores normalizados w_i^* são calculados por:

$$wi = \frac{w_i^*}{\sum_{j=1}^{n} w_j^*}, \qquad para\ i = 1, \dots, n, \tag{14}$$

Onde:

- w_i^* é a registo original do elemento i;
- $\sum_{j=1}^{n} w_j^*$ representa a soma de todas os registos;

Em vez de atribuir separadamente os valores w_i e w_j para calcular a razão entre eles, procede-se à atribuição direta de um valor a_{ij} à razão entre os elementos i e j, utilizando a escala fundamental com valores de 1 a 9. A partir destas comparações, constrói-se a matriz de julgamentos A definida por:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \tag{15}$$

onde, por definição, $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$

A extração dos pesos relativos é realizada resolvendo o problema de autovalores (*eigenvalues*):

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} w_j = \lambda_{max} w_i, \qquad i = 1, \dots, n, \tag{16}$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1, \qquad i = 1 \tag{17}$$

Onde:

- $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ é o vetor de prioridades (*eigenvector*);
- λ_{max} é o maior autovalor da matriz A.

Se os julgamentos par a par forem perfeitamente consistentes, isto é, se para quaisquer três elementos i, j e k se verificar que $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$, então a matriz A é dita consistente. Neste caso, cada entrada a_{ij} corresponde exatamente à razão entre w_i e w_j, e o principal autovalor satisfaz $\lambda_{\text{max}} = n$, onde n é o número total de elementos comparados.

Na prática, pequenas inconsistências são inevitáveis devido à subjetividade dos julgamentos. Para quantificar esta incoerência, define-se o Índice de Consistência (IC):

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{18}$$

Para avaliar se o nível de inconsistência é aceitável, compara-se o IC com um valor de referência chamado Índice Aleatório (IA), que representa o valor médio de IC obtido em matrizes preenchidas aleatoriamente. O resultado dessa comparação é o Rácio de Consistência (RC):

$$RC = \frac{IC}{IA} \tag{19}$$

O Índice Aleatório foi originalmente calculado por Saaty a partir de simulações empíricas, e continua a ser a base para a avaliação da aceitabilidade dos resultados do AHP. Se RC for maior que 0,10 recomenda-se a revisão dos julgamentos, pois um nível elevado de inconsistência pode comprometer a validade dos resultados. A verificação da consistência assegura que as comparações sejam lógicas e coerentes, permitindo que os pesos extraídos representem fielmente as preferências dos decisores.

2.4.2.2. Sensibilidade do Autovetor Principal

A sensibilidade do autovetor principal (*principal eigenvector*) a perturbações diz respeito à capacidade do AHP de manter pesos consistentes, mesmo quando existem pequenas variações ou imprecisões nos julgamentos. Em outras palavras, o método é robusto se os resultados obtidos não sofrem alterações significativas devido a pequenas discrepâncias nas avaliações par a par realizadas pelos decisores.

Essa estabilidade tende a ocorrer quando existe um elemento dominante na hierarquia de prioridades, que se destaca claramente dos restantes. Também se verifica em contextos com número reduzido de elementos comparados e em que estes são homogéneos em características e importância. Nessas condições, mesmo que ocorram pequenas variações nos julgamentos, os pesos extraídos permanecem consistentes, reforçando a fiabilidade do AHP como ferramenta de apoio à decisão.

2.4.2.3. Homogeneidade e Agrupamento

A precisão dos julgamentos no AHP depende da comparação entre elementos homogéneos, ou seja, com características e magnitudes semelhantes. Comparar elementos muito distintos pode gerar inconsistências significativas. Para lidar com este problema, aplica-se o princípio do agrupamento (*clustering*), que organiza os elementos em subconjuntos homogéneos antes das comparações.

O agrupamento estabelece uma sequência progressiva de comparações: em vez de comparar diretamente elementos muito distintos, avaliam-se grupos equilibrados em etapas sucessivas. Após a

análise em cada nível, os resultados são integrados para formar a avaliação global, garantindo que a escala fundamental reflita com maior precisão as preferências dos decisores.

Este processo pode ser aplicado separadamente para cada critério de decisão, pois a organização dos elementos varia consoante a dimensão analisada. Em muitos casos, um ou dois níveis de agrupamento são suficientes; em estruturas mais complexas, podem ser necessários três ou quatro níveis. A hierarquização dos grupos assegura que elementos menos relevantes não exerçam impacto desproporcional na decisão final.

Além disso, o agrupamento permite avaliar comparações entre elementos desejáveis e indesejáveis, assegurando coerência e consistência ao processo. Assim, a aplicação dos princípios de homogeneidade e agrupamento contribui para reduzir a variabilidade dos resultados e evitar comparações inadequadas.

2.4.3. Decisões em Grupo

A tomada de decisão em grupo no AHP envolve a necessidade de integrar diferentes perspetivas e preferências individuais para alcançar um resultado coletivo. Em processos decisórios com múltiplos participantes, os julgamentos podem variar significativamente, tornando essencial a aplicação de métodos estruturados que consolidem essas avaliações de forma coerente e representativa (Malczewski & Rinner, 2015).

Existem duas abordagens principais para lidar com as avaliações individuais dentro do AHP:

Agregação dos julgamentos: cada decisor fornece comparações par a par, e os valores são combinados para gerar uma única matriz de comparação de grupo. O método mais comum é a média geométrica, que preserva a coerência dos julgamentos e mantém a reciprocidade das comparações (Saaty & Vargas, 2012).

Agregação dos pesos: cada decisor constrói a sua própria matriz, e os vetores de prioridades individuais são agregados posteriormente. A combinação pode ser feita por média ponderada, atribuindo diferentes pesos aos decisores segundo a sua experiência ou relevância no processo. Esta abordagem preserva a diversidade de opiniões antes da consolidação final (Malczewski & Rinner, 2015).

A escolha entre estas abordagens depende do contexto e do nível de consenso existente no grupo. Quando há alinhamento natural entre os decisores, a agregação dos julgamentos é suficiente. Quando existem divergências significativas, a agregação dos pesos pode ser mais apropriada, permitindo que diferenças individuais sejam refletidas no cálculo final

O índice de consenso de grupo (*Group Consensus Index*), implementado em plataformas como o AHP-OS, complementa a análise da consistência interna ao medir o grau de acordo entre os decisores. Baseado na entropia de Shannon normalizada, este índice assume valores entre 0 (sem consenso) e 1 (consenso total). Segundo Goepel (2018), valores superiores a 0,75 indicam consenso elevado, entre 0,50 e 0,75 correspondem a consenso moderado, e inferiores a 0,50 revelam consenso reduzido. A fórmula é dada por:

$$C_g = 1 - \frac{H}{H_{máx}} \tag{20}$$

em que:

- H: representa a entropia de Shannon da distribuição dos vetores de prioridade individuais;
- $H_{máx} = \log(n)$: é a entropia máxima possível para n elementos.

A entropia H é dada por:

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log(p_i) \tag{21}$$

Onde p_i representa a proporção da prioridade atribuída ao elemento i, obtida após a normalização dos vetores de prioridade individuais.

Além da agregação matemática das preferências, a decisão em grupo pode ser construída a partir de processos de interação entre os participantes. Em alguns casos, os decisores discutem os critérios e alternativas até atingirem consenso, garantindo legitimidade ao resultado. Em outros, cada decisor expressa os seus julgamentos individualmente, que depois são combinados matematicamente para produzir um resultado representativo.

O AHP, portanto, permite estruturar decisões coletivas de forma lógica e transparente, assegurando coerência e representatividade na síntese das preferências individuais (Goepel, 2018; Malczewski & Rinner, 2015; Saaty & Vargas, 2012).

2.5. SÍNTESE CONCLUSIVA DO ESTADO DA ARTE

A revisão do estado da arte revela a crescente relevância dos índices de ciclabilidade como ferramentas para avaliar a qualidade da infraestrutura ciclável e promover a mobilidade sustentável. Apesar dos avanços, estes índices ainda apresentam limitações que comprometem a sua aplicabilidade em diferentes contextos, como a ausência de indicadores ambientais, a integração insuficiente dos sistemas

de bicicletas partilhadas, a necessidade de adaptação à crescente utilização de bicicletas elétricas e a subvalorização do impacto das tecnologias digitais na mobilidade.

A adoção dos e-BSS altera padrões de deslocação e amplia o alcance da bicicleta como meio de transporte, reforçando a importância de infraestruturas seguras e eficientes para todos os utilizadores. Também as tecnologias digitais desempenham um papel cada vez mais relevante na promoção do uso da bicicleta e na otimização das redes cicláveis, mas os índices existentes ainda não incorporam adequadamente esses aspetos.

Outro desafio é a falta de mecanismos flexíveis que permitam a adaptação dos índices às especificidades de diferentes realidades urbanas, o que limita a sua utilidade. Torna-se, assim, essencial desenvolver metodologias mais sistemáticas e adaptáveis, capazes de integrar fenómenos emergentes aos critérios habitualmente utilizados.

A inclusão das perspetivas dos *stakeholders* é igualmente importante para assegurar avaliações alinhadas com as necessidades locais. Neste contexto, destaca-se na literatura a utilização do AHP como uma abordagem capaz de estruturar e ponderar critérios de forma transparente, permitindo atribuir pesos relativos, incorporar novas variáveis e agregar diferentes perspetivas. Estes aspetos revelam o seu potencial contributo para a atualização dos índices de ciclabilidade, assegurando a sua utilidade como instrumentos de planeamento e gestão da mobilidade urbana.

CAPÍTULO 3

UM MODELO DE AVALIAÇÃO DA CICLABILIDADE

3.1. INTODUÇÃO

A avaliação da ciclabilidade em redes urbanas exige uma abordagem metodológica estruturada, de modo a estabelecer e integrar múltiplos critérios capazes de capturar as condições oferecidas para a bicicleta enquanto meio de transporte.

Neste âmbito, apresenta-se neste capítulo uma proposta de um indicador de ciclabilidade, que terá por base um modelo de avaliação multicritério. Para esse efeito serão detalhadas todas as etapas do processo metodológico, bem como os procedimentos utilizados na recolha e tratamento dos dados e o respetivo processo de análise dos resultados obtidos.

A metodologia proposta para o Índice de Ciclabilidade (IC) foi organizada nas seguintes etapas sequenciais:

1. Desenvolvimento da rede ciclável num Sistema de Informação Geográfico (SIG)
2. Seleção e caracterização dos critérios, subcritérios e indicadores que compõem o IC;
3. Determinação dos pesos do modelo de avaliação multicritério do IC;
4. Cálculo e afetação do IC a cada segmento da rede viária (SIG).

Na Figura 35 apresenta-se o esquema do processo metodológico subjacente ao desenvolvimento do Índice de Ciclabilidade e respetiva implementação num SIG, evidenciando as etapas e as principais atividades de cada uma delas.

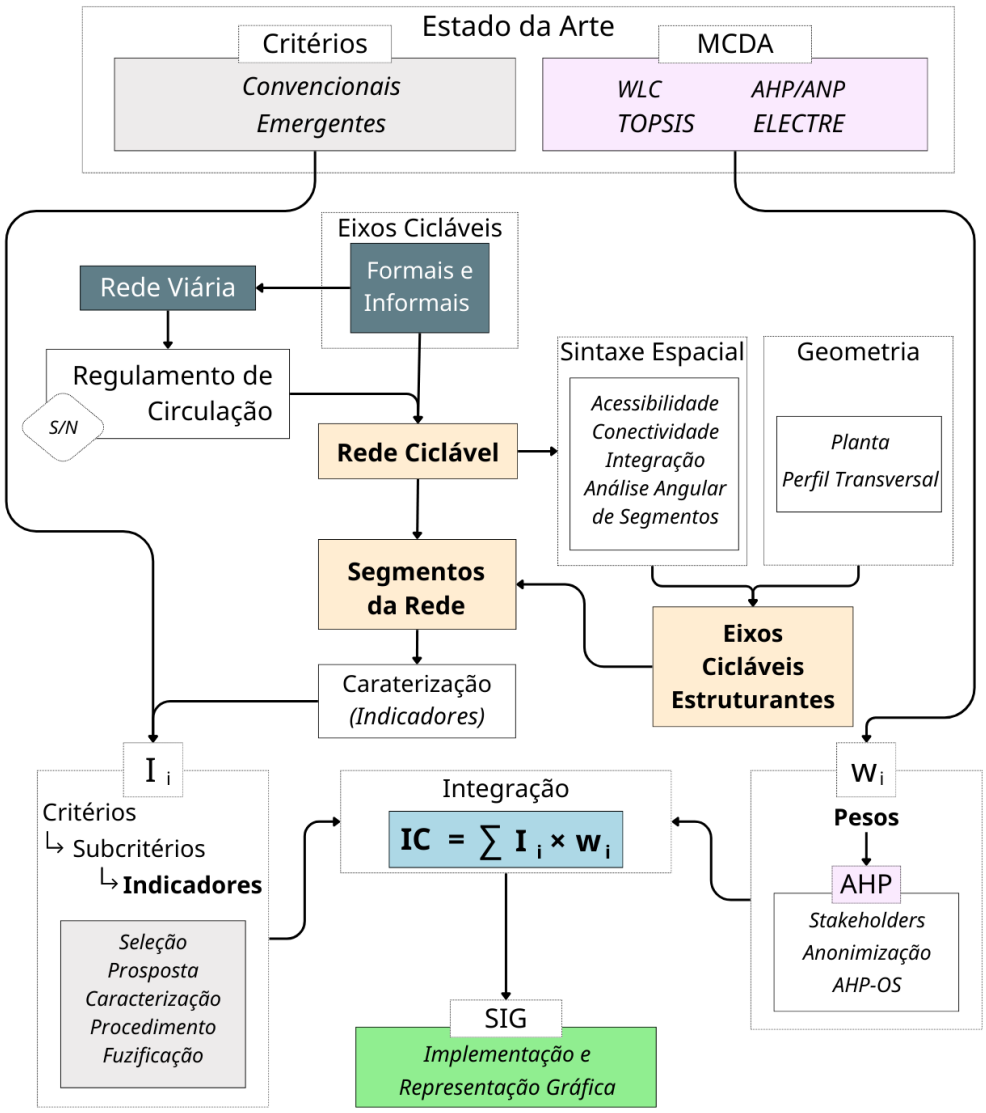


Figura 35: Fluxograma do modelo de avaliação da ciclabilidade em redes urbanas.

Nos pontos seguintes deste capítulo serão, inicialmente, apresentados os critérios, subcritérios e atributos/ indicadores utilizados para a avaliação da ciclabilidade, incluindo o processo de fuzzyficação dos indicadores. Em seguida, será descrito o processo de determinação dos pesos (importância relativa dos critérios, subcritérios e indicadores) do modelo. Posteriormente, serão detalhados os procedimentos metodológicos envolvidos na definição de rede ciclável tendo por base um Sistema de Informação Geográfica. Por fim, aborda-se a composição do índice e sua representação gráfica.

3.2. DEFINIÇÃO DA REDE CICLÁVEL

A rede ciclável é constituída por um conjunto de infraestruturas destinadas ao uso da bicicleta, de forma a permitir deslocações seguras, eficientes e atrativas para os seus utilizadores. Neste contexto é possível identificar diferentes tipologias de vias cicláveis, tendo por base critérios como coexistência, partilha e segregação, dando origem às seguintes tipologias:

- Ciclovias (via destinada exclusivamente à circulação de velocípedes e outros meios de mobilidade suave, fisicamente separada da faixa de rodagem);
- Faixas cicláveis (faixa da via pública destinada exclusivamente à circulação de bicicletas, delimitada por sinalização horizontal (pintura) e eventualmente balizadores);
- Vias partilhadas com prioridade ciclável (Via onde o automóvel pode circular, mas a prioridade é do ciclista. Normalmente, este tipo de via apresenta um limite de velocidade de 30 km/h);
- via partilhada com peões (Extensão de um passeio onde é permitida a circulação de velocípedes, devidamente sinalizado (sinal H50 do Código da Estrada. Nestes troços, o ciclista deve dar prioridade absoluta ao peão e circular a velocidade moderada);
- Ecovia (Infraestrutura ciclável em espaço segregado, normalmente associada a percursos de lazer e turismo, fora da malha viária principal);
- Rota ciclável – ciclorrota – (Percurso sinalizado recomendado para bicicletas, sem via dedicada). Pode incluir pictogramas no pavimento e sinalização vertical. Este tipo de via apresenta uma estrutura menos formal e não é identificada em mapas, assumindo neste trabalho a designação de componente informal da rede ciclável);
- Via banalizada ou de coexistência (Troço de rua ou estrada onde não existe infraestrutura ciclável dedicada (nem ciclovia, nem faixa ciclável), mas onde o espaço é deliberadamente desenhado para permitir a coexistência segura entre automóveis, bicicletas e peões. Nestas situações também se inclui a circulação em todo o tipo de vi rodoviária devendo o ciclista cumprir as regras do Código de Estrada).

Em suma, a rede ciclável será constituída por todos os troços da rede viária (ruas e estradas) onde a circulação da bicicleta é legalmente permitida, bem como por outros percursos em que esta circula de forma partilhada ou segregada em relação aos restantes modos de transporte, sejam estes percursos formais ou informais.

Na abordagem à génese da rede, esta deve ser entendida como a agregação de elementos em três níveis, conforme pode ser observado na Figura 36. O nível microscópico é constituído pelo conjunto de

segmentos e interseções (componentes elementares). A agregação de dois ou mais segmentos e das respetivas interseções origina um eixo viário. Nesta fase, torna-se necessário verificar um conjunto de condições previamente definidas, de forma a garantir que segmentos consecutivos possam ser considerados partes de um mesmo eixo. Uma vez satisfeitas estas condições, os eixos são formalmente estabelecidos, permitindo a composição da rede pela reunião de todos os segmentos e eixos definidos.

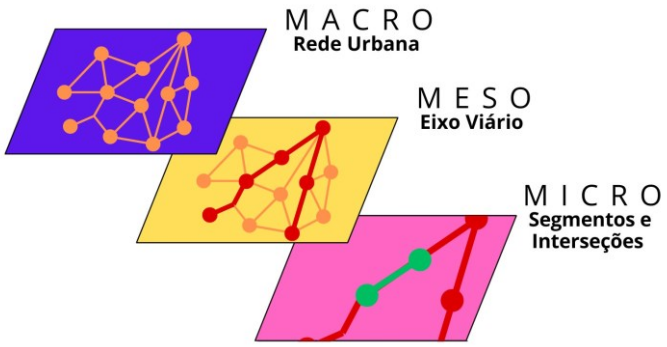


Figura 36: Níveis e elementos de análise.

A decomposição da rede urbana em três níveis revela-se de extrema utilidade, pois possibilita a captura de uma vasta gama de características do território, expressas na própria rede que podem ser avaliadas por indicadores que se relacionam, direta ou indiretamente, com o potencial de utilização da bicicleta como meio de transporte regular nas deslocações urbanas.

O processo de definição e identificação dos principais eixos cicláveis baseia-se nas seguintes etapas:

- Avaliação da permissão de circulação de bicicletas;
- Avaliação topológica e geométrica (traçado);
- Avaliação das características do perfil transversal e da continuidade da infraestrutura ciclável.

Caso a avaliação da permissão de circulação de bicicletas seja negativa, o segmento da rede em análise é automaticamente excluído da composição da rede ciclável. Em sentido inverso, uma avaliação positiva permite o avanço para a etapa subsequente do processo. Constituem exemplos paradigmáticos de segmentos excluídos nesta etapa da génese dos eixos aqueles que correspondem a autoestradas e seus respetivos acessos, nos quais a circulação de velocípedes é legalmente proibida, encontrando-se tal restrição devidamente sinalizada (Figura 37).



Figura 37: Sinal de proibição C4e: Trânsito proibido a peões a animais e a veículos não automóveis.

A segunda etapa corresponde à avaliação topológica e geométrica da rede, com vista à identificação dos principais eixos cicláveis, tendo por base a aplicação de uma análise de Sintaxe Espacial. Esta análise incidirá sobre a rede ciclável que resulta da primeira etapa, ou seja, uma rede composta exclusivamente por segmentos onde a circulação de bicicletas é possível.

Segundo Hillier & Iida (2005), a Sintaxe Espacial permite traduzir a forma como os indivíduos se movimentam e posicionam no espaço em ambientes desconhecidos, assente no pressuposto que estas tendem a minimizar as distâncias percorridas nas suas deslocações, fenómeno que também se observa na mobilidade ciclável.

Importa referir que a definição da rede ciclável será realizada num Sistema de Informação Geográfico (SIG), tendo por base dados de fonte aberta provenientes da plataforma *OpenStreetMap* (OSM). Por se tratar de dados da OSM, as linhas representam os percursos possíveis e não o eixo geométrico longitudinal da via (*Road Centre Line*), podendo existir múltiplas linhas associadas a um mesmo segmento, o que pode gerar distorções nos resultados (Hillier et al., 2012). Para contornar esta questão, procedeu-se a uma verificação sistemática da rede, na qual todas as linhas redundantes foram eliminadas, mantendo-se na base de dados apenas uma única linha por segmento da área de estudo.

As métricas da análise de segmentos usadas nesta etapa foram: *angular connectivity*, *step depth*, *total angular depth*, *Integration* e *choice* (*betweeness*). A conectividade angular representa o ângulo de deflexão acumulado ao longo de um caminho formado por um conjunto de segmentos. No contexto dos segmentos A, B, C e D da Figura 38, a conectividade angular do segmento B é igual à soma das deflexões α e β, ponderadas consoante a segmentação adotada (*Tulip Analysis*). Neste estudo, a análise considerou uma segmentação de 1024 bins.

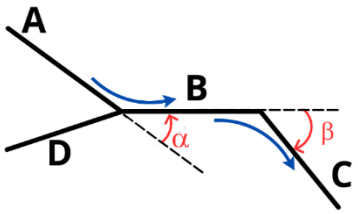


Figura 38: Exemplo de conectividade angular para o segmento B.

A *step depth* considera o percurso mais curto, em termos angulares, entre um segmento selecionado (origem) e os restantes segmentos da área de estudo (destinos). O total angular depth é o somatório acumulado destes caminhos angulares mais curtos para todos os segmentos do sistema. A integração reflete o potencial de movimento em cada segmento, considerando todos os caminhos angulares mais curtos entre todos os pares de origem e destino. A métrica choice (betweeness) indica a probabilidade de cada segmento ser utilizado na composição de um caminho, representando o fluxo o potencial em cada espaço da rede.

Durante esta etapa metodológica, testaram-se diferentes combinações destas métricas, com o objetivo de identificar os conjuntos de segmentos que melhor representassem rotas de movimentos significativas, conforme sugerido por Turner (2001). Segundo o mesmo autor, para uma análise angular que considere apenas as relações locais entre os segmentos, fundamental para determinar rotas principais de movimento em redes urbanas, é necessário definir um raio limite. Para a área do caso de estudo foi fixado em 3.500 metros.

Este valor baseia-se na distância ótima associada à utilização do modo ciclável, estimada em 7 km, considerando a relação entre tempo de deslocamento e viabilidade operacional das bicicletas convencionais e elétricas. Conforme ilustrado na Figura 2 (Capítulo 1), esta faixa representa um equilíbrio entre eficiência e esforço físico, garantindo que os deslocamentos se mantenham competitivos face a outros modos de transporte. A análise das distâncias típicas dos diferentes modos (Figura 19) evidencia que, entre 4 e 7 km, poderá ocorrer uma alteração modal: a bicicleta perde competitividade e os veículos motorizados individuais, como automóveis e motociclos, tornam-se predominantes.

A adoção deste valor como referência metodológica assegura uma delimitação realista e funcional da área de estudo, considerando tanto o desempenho das bicicletas como as condições do meio urbano. Todo o processo foi realizado com o software UCL DepthMapX®, que uma das ferramentas em formato aberto mais usadas para a realização de análises de Sintaxe Espacial.

A terceira e última etapa corresponde à avaliação das características e continuidade do perfil transversal e alinhamento dos segmentos da infraestrutura ciclável. O objetivo é analisar a variação das características do espaço de circulação dos segmentos. Para tal, verificou-se a existência de elementos que indicam alterações significativas entre as secções de segmentos consecutivos, como a largura do passeio, o número de vias ou a existência de estacionamento.

Quando alterações semelhantes são identificadas a montante e a jusante de uma interseção, considera-se a existência de uma quebra de continuidade, impondo-se a definição de um novo eixo a partir desse ponto. Concluída a avaliação dos perfis transversais representativos de um segmento, procede-se à análise da tipologia da infraestrutura ciclável. Neste trabalho, são consideradas as seguintes tipologias: Ciclovia; Faixa ciclável; Via partilhada com peões; Coexistência (com tráfego automóvel). Sempre que ocorra uma mudança na tipologia da infraestrutura ciclável, entende-se que há uma quebra de continuidade, o que exige o estabelecimento de um novo eixo a partir da interseção correspondente.

É importante salientar que, nos segmentos, em que a rede ciclável coincide com a rede viária, existe uma relação direta entre as características do perfil transversal e a tipologia da infraestrutura ciclável. Ambas são influenciadas pelas dimensões do espaço disponível (nomeadamente a largura), fator determinante para a definição de soluções de desenho viário.

A avaliação da tipologia da infraestrutura ciclável também deve ser considerada nos casos onde a rede ciclável não coincide com a rede viária. Exemplos incluem percursos localizados em áreas isoladas, como parques públicos, ou afastadas de arruamentos, como as pistas cicláveis (ciclovias) adjacentes a cursos de água ou regiões costeiras. Nestes casos, é presumível que a infraestrutura ciclável configure um eixo próprio, uma vez que não está associada a um arruamento.

3.3. CRITÉRIOS, SUBCRITÉRIOS E INDICADORES

Com base na revisão da literatura, foram selecionados e definidos os critérios frequentemente utilizados e consolidados nos atuais índices de ciclabilidade. Simultaneamente, foram identificadas lacunas associadas a fenómenos emergentes no âmbito da mobilidade ciclável, o que justificou a inclusão de novos critérios, como os sistemas de partilha, as bicicletas elétricas e as tecnologias digitais. Esta etapa permitiu a identificação dos critérios, subcritérios e indicadores (atributos/ fatores), além de ter orientado os procedimentos metodológicos adotados para a caracterização, levantamento e análise desses elementos, servindo como base conceptual para o desenvolvimento do modelo proposto de um novo Índice de Ciclabilidade.

Entre os critérios adotados, três merecem destaque pelo seu carácter inovador face às abordagens tradicionalmente utilizadas: i) Qualidade Ambiental, ii) Sistemas Partilhados e iii) Sistemas Digitais.

O critério Qualidade Ambiental integra aspetos como a poluição do ar, a poluição sonora e os fatores alergénicos, refletindo preocupações ambientais que impactam diretamente a experiência do ciclista. O critério Sistemas Partilhados contempla a oferta e a integração de serviços de bicicletas partilhadas,

incluindo a cobertura de polos geradores de viagens e as formas de acesso aos sistemas. Já o critério Sistemas Digitais avalia o impacto das tecnologias na mobilidade ciclável, analisando a disponibilidade de informações sobre viagens, o custo de utilização e as funcionalidades oferecidas pelos serviços digitais.

A estruturação dos critérios seguiu uma abordagem abrangente e adaptável a diferentes contextos urbanos. Foram considerados sete critérios principais, com o objetivo de caracterizar as diferentes dimensões da mobilidade ciclável em redes viárias: i) Ambiente Envolvente; ii) Infraestrutura; iii) Segurança; iv) Qualidade Ambiental; v) Multimodalidade; vi) Sistemas Partilhados; e vii) Sistemas Digitais.

A Tabela 7 apresenta a estrutura completa dos indicadores utilizados na proposta de um novo Índice de Ciclabilidade desenvolvida nesta investigação, incluindo os critérios e respetivos subcritérios. Além disso, a tabela especifica a entidade geométrica de análise de cada indicador, nomeadamente ao nível do ambiente SIG. Esta classificação permite uma análise integrada, considerando diferentes escalas e incidências ao longo da rede.

Tabela 7: Estrutura hierárquica com a discriminação do nível de cada indicador.

CRITÉRIO	SUB-CRITÉRIO	INDICADOR	NÍVEL
Ambiente Envolvente	Proteção climatérica	Ocorrência de árvores em alinhamento	Segmento
	Corpos d'água	Ocorrência de corpos d'água adjacentes ao eixo	Segmento
	Áreas verdes adjacentes	Ocorrência de parques adjacentes ao eixo	Segmento
	Uso do solo	Diversidade de destinos	Segmento
Infraestrutura	Nível de segregação	Tipologia da infraestrutura ciclável	Segmento
	Pavimento	Regularidade da superfície	Segmento
	Geometria da via	Declive do troço	Segmento
		Largura da infraestrutura ciclável	Segmento
		Número de faixas de rodagem	Segmento
	Infraestrutura de apoio	Ocorrência de pontos de carregamento para bicicletas elétricas	Área (avaliado no segmento por buffer do ponto)
		Ocorrência de pontos para manutenção	Área (avaliado no segmento por buffer do ponto)
		Ocorrência de balneários	Área (avaliado no segmento por buffer do ponto)
	Estacionamento	Densidade de estacionamentos para bicicletas	Segmento (ocorrência de pontos no buffer do eixo)
		Tipologia do estacionamento para bicicletas	Segmento (ocorrência de pontos no buffer do eixo)
	Integração eixo-rede	Conectividade do eixo ciclável	Eixo
		Linearidade do eixo ciclável	Eixo
	Interseções	Densidade de interseções	Eixo
	Iluminação pública	Distância entre postes de iluminação pública	Segmento
Segurança	Conflitos com a faixa de estacionamento e paragens bus	Largura da faixa separadora	Segmento
		Orientação do estacionamento	Segmento
		Configuração da paragem bus em relação ao eixo ciclável	Segmento
		Densidade de entradas/saídas ao longo do eixo	Segmento

CRITÉRIO	SUB-CRITÉRIO	INDICADOR	NÍVEL
	Conflito com o acesso aos edifícios	Tipologia da interseção	Segmento (ocorrência de ponto adjacente ao segmento)
	Conflito nas interseções	Ocorrência de proteção física para ciclistas	Segmento (ocorrência de ponto adjacente ao segmento)
	Exposição ao tráfego	Volume de tráfego	Segmento
		Proporção de pesados	Segmento
		Velocidade do tráfego motorizado	Segmento
	Sinistralidade	Média de acidentes no eixo	Eixo
	Criminalidade	Número de registos de furtos e roubos	Eixo
Qualidade Ambiental	Poluição do ar	Nível de concentração de PM_{10}	Área (avaliado no segmento associação)
		Nível de concentração de óxidos de azoto (N_{ox})	Área (avaliado no segmento associação)
	Fatores alergogénicos	Nível de alergenicidade das espécies presentes no eixo	Segmento
	Poluição sonora	Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno	Segmento ou eixo
Multimodalidade	Ligação ao transporte público	Tipo de ligação do eixo ciclável aos sistemas de transporte público	Segmento ou eixo
	Estacionamento em paragens e terminais	Número de vagas para bicicletas	Área (avaliado no segmento por buffer do ponto)
	Ligação ao transporte público	Regulamentação do transporte de bicicletas no transporte público	Área (avaliado no segmento associação)
Sistemas Partilhados	Atributos dos sistemas partilhados	Tipologia do sistema partilhado	Área (avaliado no segmento associação)
		Forma de retirada/devolução	Segmento (ocorrência de ponto adjacente ao segmento)
		Tipo de localização da estação ou zona regulamentada	Segmento (ocorrência de ponto adjacente ao segmento)
	Oferta de sistemas partilhados	Densidade de estações	Segmento (ocorrência de pontos no buffer do eixo)
		Proporção de vagas por bicicleta	Área (avaliado no segmento associação)
	Cobertura dos polos geradores de viagem pelos BSS	Proporção de destinos no eixo acessíveis por BSS	Área (avaliado no segmento por buffer do ponto)
Sistemas Digitais	Solução dos sistemas digitais	Ocorrência e tipologia da solução digital	Segmento (ocorrência de ponto adjacente ao segmento)
		Ocorrência de interface física informativa	Segmento (ocorrência de ponto adjacente ao segmento)
	Custo de utilização	Necessidade de pagamento pelo uso	Área (avaliado no segmento por associação)
	Funções dos serviços	Tipologia das funções	Área (avaliado no segmento por associação)
	Informações por viagem	Número de medidas disponíveis sobre a viagem	Área (avaliado no segmento por associação)

3.3.1. Processo de recolha de dados dos indicadores

A caracterização e processo de recolha de dados dos indicadores/atributos utilizados na avaliação do novo Índice de Ciclabilidade foram organizados em três níveis, garantindo que a análise decorra em escalas distintas e complementares. Esta abordagem visa refletir a dinâmica de utilização e características de uma rede ciclável, nomeadamente ao nível da rede, do eixo/alinhamento e do segmento/trecho.

Ao nível rede, a análise considera a rede ciclável como um todo, avaliando a sua distribuição espacial, conectividade e integração com o meio urbano. Indicadores aplicados nesta escala permitem aferir a

acessibilidade da infraestrutura ciclável em relação a polos geradores de viagens, a interação com outros modos de transporte e a qualidade ambiental da envolvente.

Ao nível dos eixos (alinhamentos constituídos por um conjunto de sucessivo de segmentos/trechos), a análise foca-se nos eixos estruturantes da rede ciclável, capturando aspetos como a continuidade, as características geométricas e a presença de infraestrutura dedicada. Esta escala é essencial para compreender a fluidez e a segurança do percurso, bem como para avaliar elementos como a iluminação, o declive e as interseções ao longo dos eixos cicláveis.

Já, ao nível do segmento, a análise incide sobre trechos isolados da rede, permitindo uma avaliação mais detalhada de variáveis associadas a especificidades locais do perfil transversal como a largura da via, tipo de pavimento, sinalização e conflitos com outros modos de transporte. Esta escala visa sobretudo identificar pontos críticos e propor intervenções específicas para melhoria da infraestrutura a um nível micro.

A consideração dos diferentes níveis da rede permite uma avaliação mais abrangente da ciclabilidade, assegurando que as métricas adotadas captem perspetivas relativas à forma, à função e ao uso da rede no contexto urbano.

O processo de recolha de dados foi organizado em duas etapas complementares, combinando fontes institucionais, dados em base aberta (*open data*) e levantamentos de campo. Na primeira etapa, foram analisados documentos e relatórios técnicos publicados pelo município. Os dados recolhidos foram organizados num Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando a rede viária da área de estudo a partir de shapefiles extraídas da plataforma OpenStreetMap (OSM). A rede viária em formato digital foi analisada e detalhadamente comparada com a rede real, permitindo a realização de correções necessárias para garantir uma representação o mais fidedigna possível do contexto viário e territorial da área de estudo.

A segunda etapa consistiu na recolha de dados/informação através da visualização de ruas (*Street View Imagery* – SVI), sobretudo para o levantamento de indicadores/atributos relativos às características do perfil transversal da rua e outros elementos do espaço urbano. Esta análise serviu de elemento base para orientar a fase de verificação e levantamento presencial no campo. As campanhas de levantamentos *in loco* tinham como principal objetivo verificar as características de cada segmento da rede ciclável e recolher outros dados e informação que não estavam disponíveis nas fontes oficiais ou não tinham sido recolhidos por observação das SVI devido a questões de baixa visibilidade.

O levantamento das características da maioria dos indicadores foi complementado com dados obtidos e validados através de múltiplos métodos de recolha. A forma específica de recolha de dados para cada indicador é detalhada nas fichas técnicas (*factsheets)* apresentadas no anexo F. Para ilustrar o processo adotado, apresenta-se de seguida um exemplo referente ao indicador largura da infraestrutura ciclável (INF-4). Este parâmetro foi recolhido em campo com base no número de sentidos de circulação e na largura efetiva da faixa destinada à bicicleta.

Processo de levantamento:

Para cada segmento da rede ciclável foram recolhidas as seguintes informações:

- O número de sentidos de circulação (único ou duplo).
- A largura efetiva da infraestrutura ciclável (em metros).

Nos casos em que os sentidos de circulação ocorrem em lados distintos, a largura aferida correspondeu à do sentido com maior dimensão.

Procedimento de cálculo:

A função de pertinência aplicada ao indicador é do tipo função crescente, assumindo que quanto maior a largura, melhor é a condição oferecida. A função matemática é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}\,, \qquad para\ a \leq x \leq c \tag{22}$$

Onde:

- x: valor observado da largura (m);
- a: parâmetro de controlo inferior (2,0 m – sentido único; 2,5 m – sentido duplo);
- c: parâmetro de controlo superior a partir do qual $\mu(x) = 1$ (2,5 m – sentido único; 4,5 m – sentido duplo).

Exemplo aplicado:

Para exemplificar o processo, considerou-se um troço da Avenida 25 de Abril (Figura 39), nas proximidades da rotunda com a Rua Belarmino Pereira, onde a largura total da ciclovia atinge 2,50 m em sentido duplo.

Aplicando a função de pertinência definida:

$$\mu(2{,}50) = \frac{(x-a)}{(c-a)} = \frac{(2{,}5-2{,}5)}{(4{,}5-2{,}5)} = \frac{0}{2} = \boxed{0}$$

Se o valor observado for inferior ao parâmetro de controlo inferior, a função de pertinência assume valor zero, se for superior ao parâmetro de controlo superior, assume valor um.

O resultado indica que o troço avaliado encontra-se no limiar mínimo definido para infraestruturas bidirecionais, pelo que o indicador assume valor zero.



Figura 39: Ciclovia na Av. 25 de Abril (troço junto à rotunda com a Rua Belarmino Pereira).

3.3.2. Fuzificação dos indicadores

Em função da variabilidade da natureza e das métricas dos indicadores foi necessário proceder à utilização de variáveis fuzzy para que o seu impacto fosse comparável. Este processo designou-se de fuzificação dos indicadores consistiu fundamentalmente no uso de dois tipos de variáveis: discretas e contínuas, envolvendo a conversão de um conjunto de valores expressos numa determinada escala para um conjunto comparável expresso numa escala normalizada.

Deste modo, o resultado do processo de fuzificação expressa o grau de pertinência a um conjunto (designado por *fuzzy membership*) que varia de 0 a 1, indicando um crescimento contínuo desde a não-pertença até a pertença total, com base no critério submetido à fuzificação.

Este processo envolveu a aplicação de funções que regem a variação entre o ponto de inflexão inicial, a partir do qual os valores do critério começavam a contribuir para a decisão, e o ponto de inflexão final, além do qual novos valores não adicionavam mais influência à decisão.

A Figura 40 apresenta as diferentes formas das funções de pertença (*fuzzy*) utilizadas, e as suas formulações estão detalhadas nas expressões a seguir, com a identificação dos pontos de controlo (a, b, c). A seleção dos pontos de controlo foi um aspeto crítico do processo de fuzificação, pois permitiu calibrar eficazmente as funções para diferentes critérios e realidades (Eastman et al., 1998).

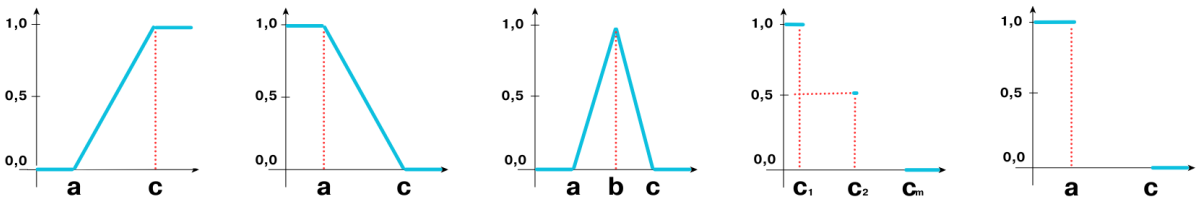


Figura 40: Formatos das funções de pertença e parâmetros de controlo.

$$\mu(x,a,c) = min\left(1, max\left(0, \frac{x-a}{c-a}\right)\right) \quad (23)$$

$$\mu(x,a,c) = min\left(1, max\left(0, \frac{c-x}{c-a}\right)\right) \quad (24)$$

$$\mu(x,a,b,c) = min\left(max\left(0, \frac{x-a}{b-a}\right), max\left(0, \frac{c-x}{c-b}\right)\right) \quad (25)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ x \in \{\ característica\ \ presente\} \\ 0, & caso\ contrário \end{cases} \quad (26)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} v_1, & se\ x = c_1 \\ v_2, & se\ x = c_2 \\ & \vdots \\ v_m, & se\ x = c_m \end{cases} \quad (27)$$

A escolha das funções apropriadas depende da natureza do indicador considerado. Neste estudo, foram utilizadas funções crescentes, decrescentes, compostas, dicotómicas e por categorias. A seguir, apresentam-se exemplos de normalização considerando indicadores que correspondem a cada caso:

A. Ocorrência de Corpos d'Água Adjacentes ao Eixo (Classificação dicotómica – presença/ausência)

O indicador assume apenas dois valores, dependendo da presença ou ausência de uma determinada característica. A função é definida como:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1\,, & se\ a\ caracterísitica\ está\ presente \\ 0\,, & caso\ contrário \end{cases}$$

Assim, definiu-se que um troço será considerado como contendo um corpo d'água se houver um lago, rio, mar ou espelho d'água de grandes dimensões próximo ao eixo ciclável. Se esta condição for atendida, então $\mu(x) = 1$; caso contrário, $\mu(x) = 0$.

B. Orientação do Estacionamento (Ordenação – hierarquização por importância)

A normalização por ordenação baseia-se na hierarquização das categorias conforme a sua relevância. Os valores atribuídos seguem uma escala definida, expressa matematicamente por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ a\ condição\ mas\ favorável\ está\ presente \\ v_1, & se\ a\ condição\ intermediária\ 1\ está\ presente \\ v_2, & se\ a\ condição\ intermediária\ 2\ está\ presente \\ 0, & se\ a\ condição\ menos\ favorável\ esta\ presente \end{cases}$$

No indicador de orientação do estacionamento, os valores foram atribuídos considerando a relação entre a configuração do estacionamento e a visibilidade relativa aos ciclistas. A hierarquia foi definida da seguinte forma:

- Não há estacionamento: $\mu(x) = 1$ (melhor condição para ciclistas).
- Estacionamento paralelo: $\mu(x) = 0{,}67$ (prejuízo moderado).
- Estacionamento oblíquo: $\mu(x) = 0{,}33$ (prejuízo alto).
- Estacionamento perpendicular: $\mu(x) = 0$ (prejuízo significativo).

C. Largura da Infraestrutura ciclável (Função crescente)

A função crescente é utilizada, pois um aumento na variável aumenta o valor do indicador. Os seguintes pontos de controlo foram definidos:

- $a = 2{,}5$ m **:** Largura mínima aceitável para tráfego bidirecional.
- $c = 4{,}5$ m **:** Largura ideal, onde a adequação atinge $\mu(x) = 1$.

Para um troço com $x = 3{,}5\ m$, aplica-se a expressão matemática da função crescente:

$$\mu(3{,}5{,}2{,}5{,}4{,}5) = \min\left(1, \max\left(0, \frac{3{,}5 - 2{,}5}{4{,}5 - 2{,}5}\right)\right)$$

$$\frac{3{,}5 - 2{,}5}{4{,}5 - 2{,}5} \rightarrow \frac{1}{2} \rightarrow 0{,}5$$

$$\max(0{,}0{,}5) \rightarrow 0{,}5$$

$$min(1{,}0{,}5) \rightarrow 0{,}5$$

D. Densidade de Entradas/Saídas (Função decrescente)

A função decrescente é utilizada, pois um aumento na variável reduz o valor do indicador. Os seguintes pontos de controlo foram definidos:

- $a = 15$ acessos/100 m: A partir deste valor, o impacto na ciclabilidade começa a ser negativo.
- $c = 30$ acessos/100 m: Valor a partir do qual $\mu(x) = 0$, indicando interferência excessiva.

Para um segmento com 22 entradas/saídas por 100 m, aplica-se a expressão matemática da função decrescente:

$$\mu(22{,}15{,}30) = \min\left(1, \max\left(0, \frac{30-22}{30-15}\right)\right)$$

$$\frac{30-22}{30-15} \rightarrow \frac{8}{15} \rightarrow 0{,}53$$

$$\max(0{,}0{,}53) \rightarrow 0{,}53$$

$$\min(1{,}0{,}53) \rightarrow 0{,}53$$

E. Ocorrência de árvores em alinhamento (Função composta)

A função composta é utilizada, pois existe um intervalo ótimo, ou seja, há um valor ideal e tanto valores abaixo quanto acima desse intervalo reduzem o valor do indicador. Os seguintes pontos de controlo foram definidos:

- $a = 8$ árvores/100 m: Abaixo deste valor, a cobertura arbórea é insuficiente e $\mu(x) = 0$.
- $b = 14$ árvores/100 m: Intervalo ótimo, onde $\mu(x) = 1$
- $c = 20$ árvores/100 m: Acima deste valor, a adequação começa a diminuir novamente.

Para um troço com 10 árvores por 100 m, aplica-se a expressão matemática da função composta:

$$\mu(10{,}8{,}14{,}20) = \min\left(\max\left(0, \frac{10-8}{14-8}\right), \max\left(0, \frac{20-10}{20-14}\right)\right)$$

$$\frac{10-8}{14-8} \rightarrow \frac{2}{6} \rightarrow 0{,}33 \ (\text{função crescente, lado esquerdo da função mínima})$$

$$\max(0; 0{,}33) \rightarrow 0{,}33$$

$$\frac{20-10}{20-14} \rightarrow \frac{10}{6} \rightarrow 1{,}67 (função decrescente, lado direito da função mínima)$$

$$Como\ o\ valor\ máximo\ da\ função\ de\ pertinência\ é\ 1, ajusta-se: \max(0; 1) \rightarrow 1$$

$$\min(0{,}33; 1) \rightarrow \boxed{0{,}33}$$

3.4. ATRIBUIÇÃO DOS PESOS

3.4.1. Definição da importância relativa dos critérios e subcritérios do modelo

Nesta fase, procedeu-se à atribuição de pesos aos critérios e subcritérios do modelo, recorrendo ao método AHP operacionalizado através da plataforma AHP-OS (Goepel, 2018), que assegurou a recolha estruturada das avaliações comparativas da importância entre critérios, a verificação da consistência e a consolidação dos resultados.

O procedimento iniciou-se com o convite e recrutamento dos especialistas, pré-selecionados com base na sua experiência e conhecimento no campo do planeamento e da mobilidade urbana. Após a aceitação do convite, os participantes preencheram um formulário complementar destinado à recolha de

informações de caracterização geral, utilizadas exclusivamente para fins de agrupamento e análise comparativa dos das avaliações comparativas (julgamentos). Os detalhes desta classificação são apresentados no capítulo referente ao estudo de caso.

Para garantir o anonimato dos participantes, cada especialista recebeu um código individual, incluído no convite inicial. Este código permitiu o acesso tanto ao formulário de caracterização geral como à plataforma AHP-OS. Desta forma, os julgamentos realizados permaneceram sempre associados aos códigos e não à identidade dos participantes, permitindo relacionar respostas com perfis de forma agregada, mas sem identificar diretamente cada especialista.

Os especialistas efetuaram comparações par a par entre os elementos de cada nível hierárquico (critérios, subcritérios e indicadores), avaliando a contribuição relativa de cada elemento para o nível imediatamente superior. Estas comparações foram expressas de acordo com a escala fundamental de Saaty (1 a 9), dando origem a matrizes recíprocas, em que cada elemento cumpre a relação:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ij} = 1 \tag{28}$$

A partir destas matrizes, os pesos relativos de cada critério foram obtidos através do cálculo do Eigenvector principal associado ao maior Eigenvalue, resultando na seguinte relação:

$$A \cdot w = \lambda_{máx} \cdot w \tag{29}$$

em que A representa a matriz de comparações par a par (julgamentos); w o vetor de prioridades; e λmax o maior Eigenvalue da matriz A. O vetor w foi posteriormente normalizado de forma que a soma dos pesos fosse igual a 1.

A consistência dos julgamentos foi verificada através do Índice de Consistência (IC), calculado pela seguinte expressão:

$$IC = \frac{\lambda_{\text{max}} - n}{n - 1} \tag{30}$$

onde n corresponde ao número de elementos comparados na matriz.

Posteriormente, o Índice de Consistência foi convertido na Razão de Consistência (RC), que avalia a fiabilidade dos julgamentos obtidos:

$$RC = \frac{IC}{IA} \tag{31}$$

Onde RI representa o Índice Aleatório (*Random Index*), determinado em função da ordem n da matriz, de acordo com os valores de referência propostos por Saaty.

Para exemplificar o procedimento de cálculo, apresenta-se a matriz de julgamentos obtida para o subcritério Qualidade Ambiental, no qual foram considerados três fatores: poluição do ar, fatores alergénicos e poluição sonora. Esta matriz exemplifica a forma como os especialistas realizaram as comparações par a par, atribuindo pesos relativos a cada fator de acordo com a sua importância para a avaliação global do subcritério.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 \\ 0{,}20 & 1 & 0{,}20 \\ 1 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

O somatório dos valores das colunas resultou em:

$$(2{,}20;\ 11{,}00;\ 2{,}20)$$

Dividindo cada elemento da matriz pela soma da respetiva coluna obtém-se a matriz normalizada:

$$A_{norm} = \begin{bmatrix} 0{,}455 & 0{,}455 & 0{,}455 \\ 0{,}091 & 0{,}091 & 0{,}091 \\ 0{,}455 & 0{,}455 & 0{,}455 \end{bmatrix}$$

O vetor de prioridades é calculado pela média de cada linha:

$$w = (0{,}455;\ 0{,}091;\ 0{,}455)$$

Os valores resultantes correspondem às prioridades relativas dos três fatores, indicando que a poluição sonora e a poluição do ar têm o mesmo peso (45,5%), enquanto os fatores alergénicos apresentam um peso bastante inferior (9,1%). O rácio de consistência (CR) obtido foi de 0,0%, confirmando a plena consistência dos julgamentos atribuídos pelo especialista.

Após a aplicação deste procedimento a todas as matrizes de julgamentos, a consistência interna foi avaliada com base no Índice de Consistência (IC) e na Razão de Consistência (CR), conforme referido acima e definido na Secção 2.4.

Na literatura, considera-se geralmente aceitável um valor de CR < 0,10. Contudo, a plataforma AHP-OS (Goepel, 2018), utilizada neste trabalho, adota um critério adaptativo proposto por (Antonio Alonso & Teresa Lamata, 2006), ajustado ao número de elementos comparados. Assim, sempre que os valores ultrapassaram os limites recomendados, os especialistas foram convidados pela própria plataforma a rever os seus julgamentos, assegurando maior flexibilidade sem comprometer a robustez dos resultados.

Após a validação das matrizes individuais, procedeu-se à agregação das avaliações, através da média geométrica. Este procedimento, amplamente recomendado na literatura, preserva a reciprocidade das comparações e atenua o impacto de julgamentos extremos, conduzindo ao *group priority vector*.

Complementarmente, foi calculado um índice de consenso de grupo, baseado em medidas de entropia, que sintetiza o grau de convergência entre os especialistas e que já foi descrito na Secção 2.4. A inclusão deste índice neste ponto assegura que os resultados obtidos refletem não apenas a coerência matemática dos julgamentos, mas também o nível de concordância entre os participantes.

Deste modo, o processo descrito permitiu determinar os pesos relativos dos critérios, subcritérios e indicadores do modelo de avaliação da ciclabilidade, garantindo fiabilidade e transparência. Os resultados consolidados são apresentados e discutidos no caso de estudo desta tese.

3.5. COMPOSIÇÃO DO ÍNDICE DE CICLABILIDADE E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

Após a organização da rede ciclável em segmentos e eixos estruturantes, procedeu-se ao processo de recolha, caracterização e processamento das variáveis associadas aos indicadores. Esta etapa foi realizada através de campanhas presenciais e do recurso a ferramentas de análise espacial, permitindo uma caracterização detalhada das condições existentes em cada componente da rede.

Para a atribuição de pesos aos critérios e subcritérios, utilizou-se o Processo Analítico Hierárquico (AHP), operacionalizado numa plataforma digital. Este procedimento possibilitou determinar a importância relativa de cada indicador, subcritério e critério que compõem o Índice de Ciclabilidade, assegurando um processo de avaliação estruturado e metodologicamente fundamentado.

Por fim, avançou-se para a etapa final do processo metodológico, aqui descrita, que consistiu na elaboração da proposta do novo Índice de Ciclabilidade e no respetivo mapeamento e representação gráfica dos resultados ao nível dos segmentos da rede ciclável.

Nesta fase, os valores dos indicadores calculados para cada segmento/troço da rede ciclável foram organizados numa tabela de atributos, o que permitiu a sua representação gráfica em ambiente SIG. Para a modelação espacial, tratamento e processamento dos dados, recorreu-se à extensão ArcMap do software ArGIS (ESRI), amplamente utilizado para análise e representação de informação geoespacial.

A base de dados do SIG foi estruturada no sistema de coordenadas WGS84, de forma a assegurar a respetiva compatibilidade com outros conjuntos de dados provenientes de outras fontes. A integração da informação foi realizada através da associação entre as tabelas de atributos e a geometria das entidades

espaciais, garantindo uma correspondência precisa entre cada troço da rede e os dados recolhidos ao longo da investigação.

No ArcMap, o tratamento e processamento dos dados foram realizados com recurso a diversas ferramentas disponíveis na *ArcToolbox*, destacando-se as seguintes:

- Spatial Analyst: utilizado para análise espacial e cálculo dos índices de aptidão para ciclabilidade;
- Field Calculator: aplicado na fuzzyficação dos valores dos indicadores de cada critério e no processamento de cálculo da equação do Índice de Ciclabilidade;
- Overlay Analysis: empregado na sobreposição e combinação de diferentes camadas de informação geográfica;
- Cartographic Tools: utilizado para a edição final dos mapas e refinamento da visualização cartográfica.

O Índice de Ciclabilidade foi calculado através do somatório do produto entre o valor normalizado de cada indicador de cada critério e o respetivo peso resultante da aplicação da AHP (*global priorities*), de acordo com a seguinte expressão matemática:

$$IC = \sum_{i=1}^{n} (C_i \cdot W_i) \tag{32}$$

Onde:

- C_i representa o valor normalizado de um critério para um determinado troço;
- W_i corresponde ao peso associado ao critério.

O índice resultante, com valores compreendidos entre 0 e 1, permite avaliar a ciclabilidade de cada segmento da rede em função do grau de adequação aos parâmetros considerados. A representação gráfica dos resultados foi organizada por classes de desempenho, estruturadas numa escala categórica com 10 classes. Para facilitar a interpretação visual e territorial, estas classes foram associadas a gradientes cromáticos progressivos.

Independentemente da aplicabilidade prática de determinados indicadores a cada segmento, todos os critérios e subcritérios definidos no modelo foram incluídos na composição do Índice de Ciclabilidade. Para os indicadores cuja aplicação depende da pertença a eixos cicláveis (e.g., conectividade, linearidade e densidade de interseções), os segmentos não integrados em eixos definidos receberam o valor mínimo da função de pertinência (*fuzzy*). Esta condição reflete a ausência de estrutura funcional e de integração da rede ciclável, garantindo que a falta de continuidade e fragmentação seja traduzida em pontuações mais baixas no índice.

Por fim, importa realçar que nos casos em que não foi possível obter dados para o cálculo de determinados indicadores, procedeu-se à redistribuição proporcional do peso correspondente entre os restantes subcritérios do mesmo critério. Esta abordagem foi adotada apenas quando se verificou a impossibilidade de operacionalização dos indicadores previstos, assegurando-se, assim, a preservação da coerência interna e da estrutura ponderada do modelo.

CAPÍTULO 4

CASO DE ESTUDO: APLICAÇÃO DO MODELO NA PÓVOA DE VARZIM

4.1. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

O município da Póvoa de Varzim integra a Área Metropolitana do Porto (AMP), localizada no Litoral Norte de Portugal e composta por dezassete municípios. Com uma área aproximada de 2.040 km² e uma população de cerca de 1,7 milhões de habitantes, a AMP constitui um importante aglomerado urbano do país.

A Póvoa de Varzim, com 64.257 residentes distribuídos por 82,2 km² (INE, 2021), representa cerca de 4% da superfície da AMP e situa-se no seu extremo norte (Figura 41).

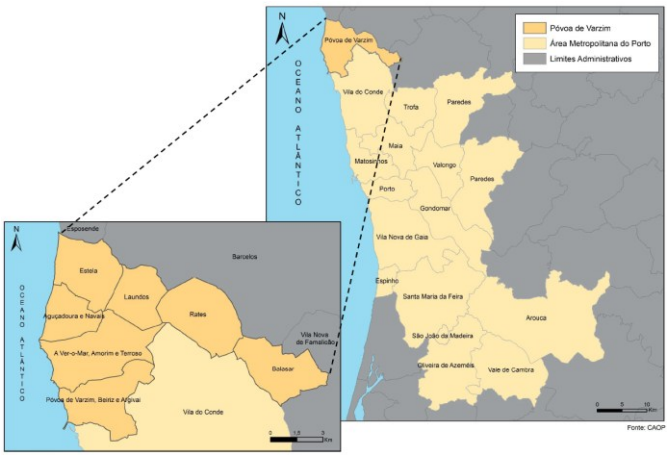


Figura 41: Localização do município da Póvoa de Varzim no contexto da Área Metropolitana do Porto, com destaque para as freguesias que compõem o concelho (Fonte: C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

A área de estudo é constituída pela região central da cidade, sendo delimitada: a norte, por um hiato da mancha urbana; a leste, pela autoestrada - A28; a sul, pela cidade de Vila do Conde, com a qual forma uma conurbação; e a oeste, pelo oceano Atlântico.

A análise dos fluxos pendulares confirma a posição periférica da Póvoa de Varzim no contexto da AMP, enquanto evidência uma forte interligação com o concelho vizinho de Vila do Conde (C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

O gráfico da Figura 42 apresenta a evolução da repartição modal no município ao longo da última década. Assim, entre os Censos de 2011 e 2021, verificou-se um aumento superior a 5% na utilização do automóvel como principal meio de deslocação, reforçando a dependência da população da Póvoa de Varzim face ao transporte individual motorizado. Em contrapartida, os modos ativos registaram uma ligeira redução, com destaque para a diminuição das deslocações a pé e da utilização de veículos de duas rodas, sobretudo a bicicleta.

Por outro lado, importa referir que a distância média percorrida por deslocação é de 9,2 km, valor próximo da média da AMP, enquanto o tempo médio de viagem se situa nos 18 minutos, ligeiramente inferior à média da AMP (20 minutos) (C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

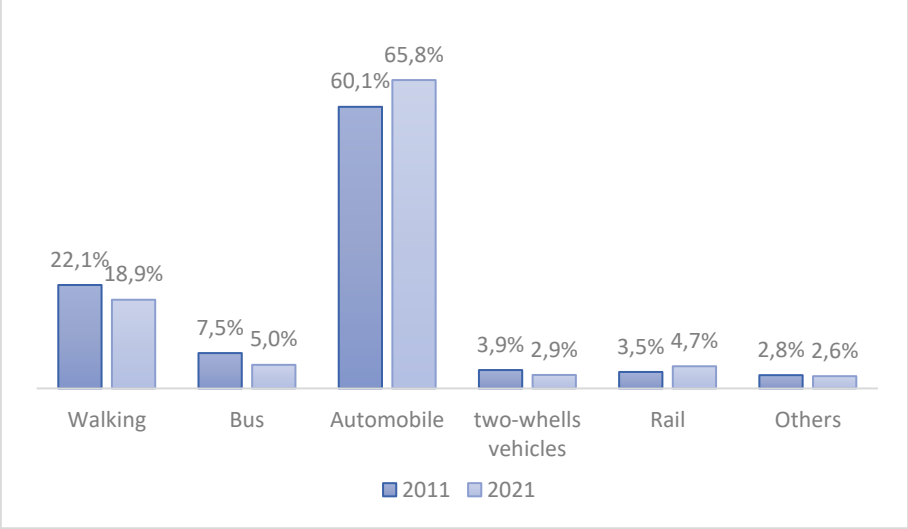


Figura 42: Evolução da repartição modal no concelho da Póvoa de Varzim entre 2011 e 2021, com base nos dados dos Censos de 2021 (Fonte: elaboração própria com base nos dados dos Censos - INE, 2021).

4.1.1. Caracterização territorial e demográfica

No plano administrativo, o concelho da Póvoa de Varzim é atualmente composto por sete freguesias ou uniões de freguesias, resultantes da reorganização territorial de 2013: União das Freguesias da Póvoa de Varzim, Beiriz e Argivai; União das Freguesias de Aver-o-Mar, Amorim e Terroso; União das Freguesias

de Aguçadoura e Navais; e ainda as freguesias autónomas de Estela, Laúndos, Rates e Balasar (C.M. Póvoa de Varzim, 2019).

Para além das suas características geofísicas, a identidade do território é fortemente influenciada pelas práticas tradicionais ligadas ao mar e ao campo. O turismo balnear consolidou-se como vetor económico determinante, alicerçado na extensa frente atlântica, no Porto de Pesca, na Fortaleza, no Casino e nos bairros históricos que compõem a malha urbana central.

Esta centralidade funcional reflete-se na distribuição populacional, marcada por uma elevada concentração de população na zona sudoeste do concelho, coincidente com o núcleo urbano da cidade da Póvoa de Varzim. Tal configuração, representada na Figura 43, reforça a importância da área de estudo no contexto municipal, ainda que outras localidades, como Aguçadoura, também se destacam por registar níveis relevantes de densidade habitacional (C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

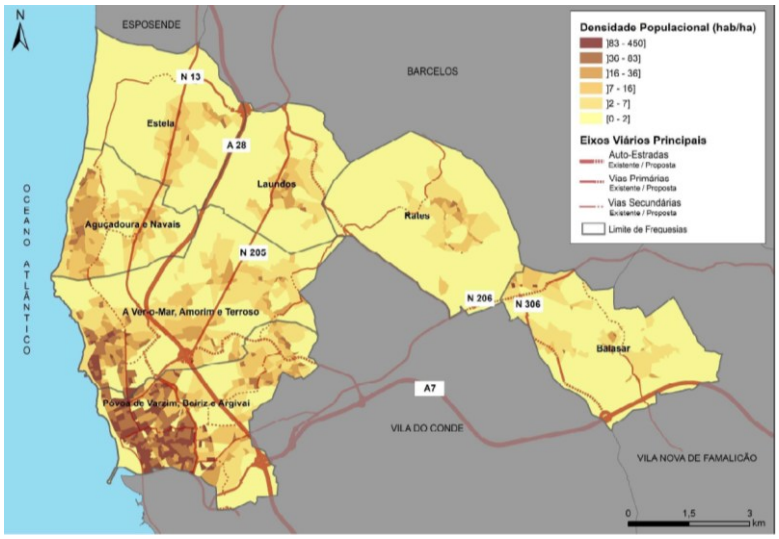


Figura 43: Densidade populacional (hab./ha) e principais eixos viários no concelho da Póvoa de Varzim (Fonte: C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

A estrutura etária da população revela uma predominância da faixa entre os 25 e os 64 anos, geralmente associada à idade ativa, o que acentua a relevância desta população nas dinâmicas de mobilidade quotidiana.

Embora se observe uma tendência de redução da mobilidade com o avanço da idade, dados do INE (2017) indicam que 55,6% da população entre os 65 e os 84 anos permanece "móvel". Este valor, embora inferior aos 73,7% registados na faixa dos 25 aos 44 anos, sublinha a importância da população sénior nas deslocações diárias (C. M. Póvoa de Varzim, 2022; INE, 2017)

4.1.1.1. Rede viária e transportes no concelho

A estrutura viária da Póvoa de Varzim caracteriza-se pela predominância de quatro eixos rodoviários principais com orientação norte-sul (N-S): M501, N13, A28 e N205, que desempenham um papel estruturante na mobilidade intra e intermunicipal. No eixo este-oeste (E-O), destaca-se a M523, que assegura a conexão entre as freguesias de a Aver-o-Mar, Amorim e Beiriz.

Complementando esta malha viária, a rede de transporte coletivo rodoviário é operada por quatro empresas principais, que garantem o serviço das linhas urbanas, municipais e intermunicipais. A cobertura territorial é considerada suficientemente abrangente para as necessidades da população, sobretudo nas áreas urbanizadas do concelho, ainda que existam limitações nas zonas periféricas, resultantes da dispersão e da baixa densidade populacional (C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

No que respeita à mobilidade interna, as deslocações intramunicipais apresentam uma distância média de 3,8 km e um tempo médio de 13,1 minutos, ambos inferiores aos valores médios registados na Área Metropolitana do Porto (C. M. Póvoa de Varzim, 2022). Estes indicadores revelam um contexto particularmente favorável à adoção de modos suaves, nomeadamente da bicicleta, como meio de transporte quotidiano. No entanto, conforme referido anteriormente, a repartição modal evidencia uma crescente dependência do transporte individual motorizado. A reduzida utilização do modo ciclável aponta para uma desarticulação entre a infraestrutura existente e as reais necessidades dos utilizadores, frequentemente agravada por barreiras culturais, como a resistência à adoção da bicicleta como meio de transporte, fenómeno também identificado noutras cidades portuguesas.

No que se refere às externalidades da mobilidade, destaca-se a exposição ao ruído proveniente do tráfego rodoviário, que afeta diretamente a qualidade do ambiente urbano. A análise dos níveis sonoros confirma o tráfego rodoviário como a principal fonte de ruído, com maior intensidade nas vias com tráfego elevado e menor proteção acústica. A autoestrada A28, que atravessa o concelho (direção norte-sul), destaca-se como o principal foco de emissão de ruído, seguida das estradas nacionais N13, N205 e N206. A área urbana central da cidade regista os níveis mais elevados de exposição, devido à conjugação entre densidade de tráfego, velocidade média praticada e ausência de barreiras sonoras eficazes (C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

4.1.2. Estrutura urbana da cidade da Póvoa de Varzim

A configuração territorial da cidade da Póvoa de Varzim estrutura-se a partir de uma rede viária hierarquizada, de uma rede ecológica de espaços verdes urbanos e de um conjunto de centralidades

urbanas, constituídas por equipamentos públicos e polos de serviços, que sustentam um modelo de ocupação policêntrico (C.M. Póvoa de Varzim, 2019).

Estes elementos encontram-se espacialmente distribuídos segundo uma lógica funcional, refletida na organização dos diferentes tipos de uso do solo representados na Figura 44. A morfologia urbana predominante corresponde à ocupação residencial contínua, frequentemente associada a intervenções de requalificação e densificação em áreas já urbanizadas.

Destaca-se, ainda, a presença de áreas verdes e grandes equipamentos de uso coletivo, cuja distribuição estratégica contribui para a organização espacial da cidade e para a integração funcional dos diferentes espaços urbanos.

Por fim, observa-se uma intensificação do uso sazonal das habitações, fenómeno que influencia a mobilidade real e gera variações na procura por infraestruturas e serviços, impondo desafios adicionais à gestão da mobilidade e do território (C. M. Póvoa de Varzim, 2022)

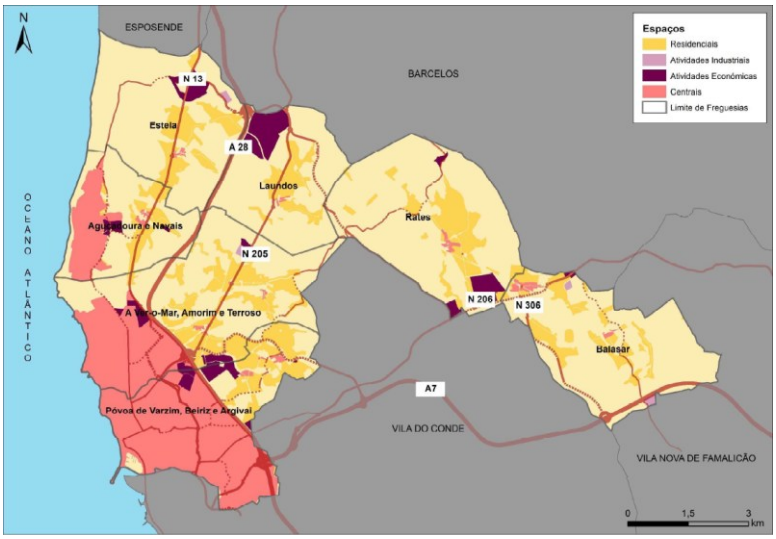


Figura 44: Estrutura funcional do uso do solo no concelho da Póvoa de Varzim (Fonte: C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

Para além das suas características urbanas e territoriais, que tornam a cidade da Póvoa de Varzim um caso relevante para a avaliação da ciclabilidade, a proximidade geográfica em relação à Universidade do Minho, instituição na qual se realizou este trabalho de doutoramento, constituiu um fator determinante para a seleção e definição da área de estudo. Esta condição facilitou a realização de campanhas exploratórias e de levantamento de dados in loco, uma vez que garantiu o acesso frequente ao território e o contacto com atores locais.

A Póvoa de Varzim é um exemplo representativo de cidade média portuguesa, apresentando oferta multimodal de transportes e desafios típicos da transição para uma mobilidade mais sustentável. A área

de estudo foi delimitada com base nas orientações do Plano de Urbanização da Póvoa de Varzim, abarcando as principais áreas residenciais, as zonas de maior centralidade e equipamento com maior atratividade da cidade (Figura 45).

Para efeitos de análise, o território da área de estudo foi subdividida em sete zonas (Figura 46), definidas segundo critérios morfológicos, históricos e de uso dominante.

- Zona 1 – corresponde ao núcleo originário da cidade, localizado na zona sul da área de estudo, onde persistem ruelas estreitas e tortuosas da Póvoa medieval do século XIV.
- Zona 2 – constitui a região central, dominada pelo sector dos serviços e pelo comércio tradicional.
- Zonas 3 e 4 – localizam-se na faixa costeira, a norte e a sul da região central, respetivamente. Ambas são densamente urbanizadas, com ruas paralelas à linha da costa. A Zona 3 apresenta um carácter balnear, destacando-se os edifícios de grande porte na sua vertente setentrional.
- Zona 5 – situa-se a leste da faixa costeira, correspondendo a uma área de urbanização recente que integra o Parque da Cidade.
- Zona 6 – de carácter marcadamente rural;
- Zona 7 – com tipologias de ocupação diversificadas, refletindo diferentes fases de crescimento urbano.

Esta fragmentação interna reflete a diversidade morfológica e funcional da cidade, resultante da sobreposição entre padrões históricos de urbanização e lógicas contemporâneas de crescimento e expansão urbana.

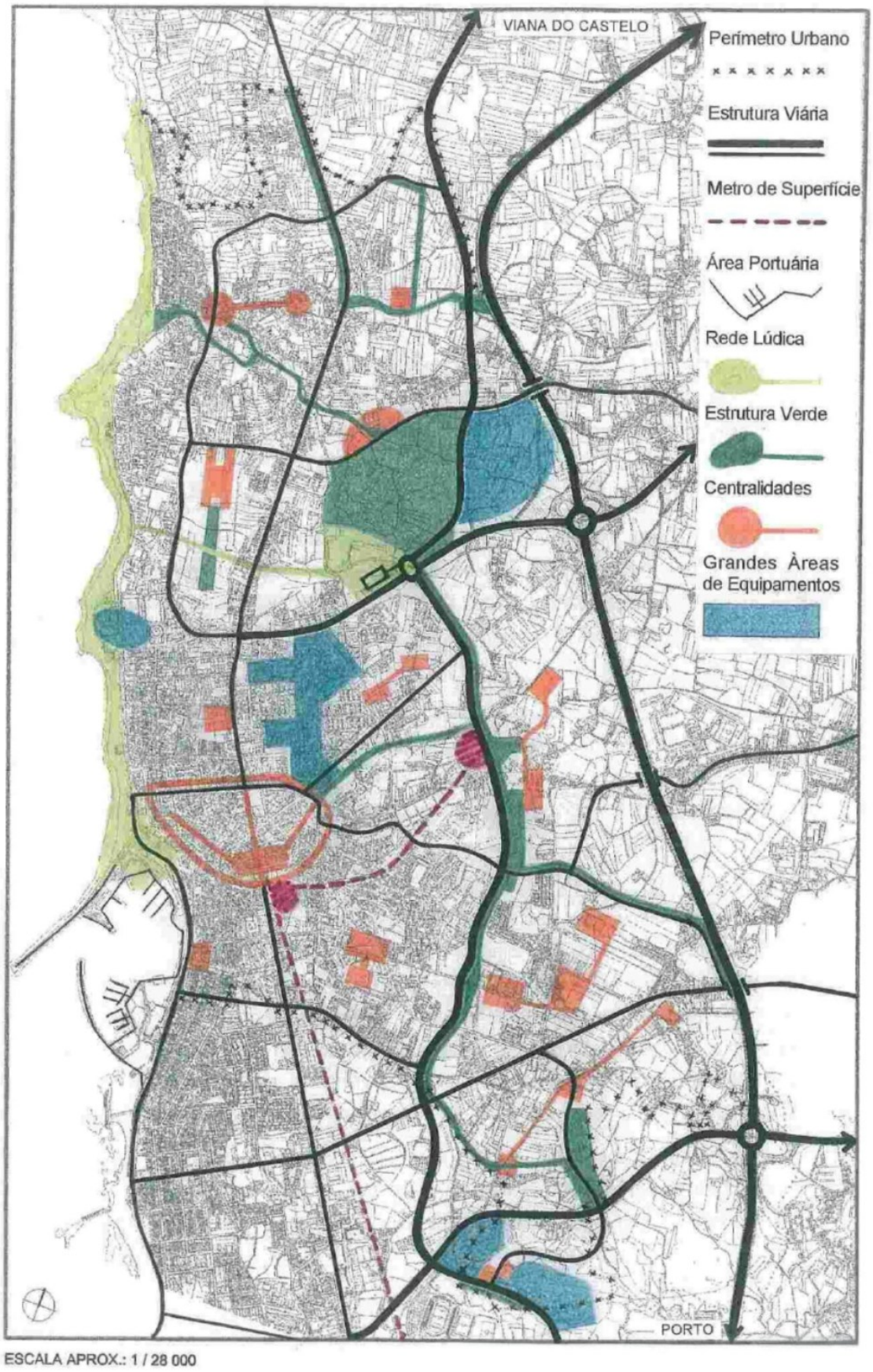


Figura 45: Modelo de organização territorial da cidade da Póvoa de Varzim (Fonte: C.M. Póvoa de Varzim, 2019).



Figura 46: Zoneamento adotado para a área de estudo, com destaque para a rede ciclável existente (Fonte: elaboração própria).

4.1.2.1. Mobilidade ativa e intermodalidade

Neste ponto apresentam-se os principais elementos da mobilidade ativa e aspectos intermodais da cidade, com destaque para a infraestrutura existente, as iniciativas municipais de promoção dos modos suaves e a integração com o transporte coletivo.

A Póvoa de Varzim constitui um caso de estudo promissor no contexto da mobilidade sustentável, tanto pela presença de infraestrutura ciclável como pelo empenho institucional na promoção de alternativas ao uso do automóvel. A rede ciclável municipal ultrapassa os 30 km de extensão, incluindo percursos como a Ciclovia Marginal, a ligação Parque da Cidade–Marginal, a Avenida 25 de Abril, Penouces–Marginal, Penalves–Estação de Metro e a ligação Póvoa–Balasar. Esta rede reflete uma estratégia municipal orientada para a reversão do modelo tradicional de mobilidade centrado no transporte motorizado.

A geografia local e o carácter balnear reforçam o potencial ciclável da cidade. A suavidade do relevo, as distâncias moderadas e o clima ameno favorecem o uso quotidiano da bicicleta. A rede viária urbana organiza-se em torno de eixos estruturantes que articulam as zonas residenciais, centrais, industriais e balneares. Destaca-se, nesse sentido, a N13 como principal eixo distribuidor, complementado pelo IC1,

pela Avenida do Mar, pela Avenida 25 de Abril e pela Avenida Mouzinho de Albuquerque, que que asseguram ligações estratégicas e integração modal (C.M. Póvoa de Varzim, 2019).

A promoção da mobilidade ativa tem sido apoiada por intervenções no espaço urbano, como a implementação das Zonas 30, localizadas sobretudo nas imediações das escolas e no centro da cidade (Figura 47). Estas áreas visam moderar o tráfego, reforçar a segurança dos utilizadores vulneráveis e fomentar a convivência entre modos. Paralelamente, a requalificação do Bairro da Matriz resultou na criação de 17 vias pedonais (C. M. Póvoa de Varzim, 2022). A cidade dispõe ainda de uma rede de acessos pedonais que liga equipamentos e serviços urbanos, potenciando o uso do passadiço costeiro e da frente marítima.

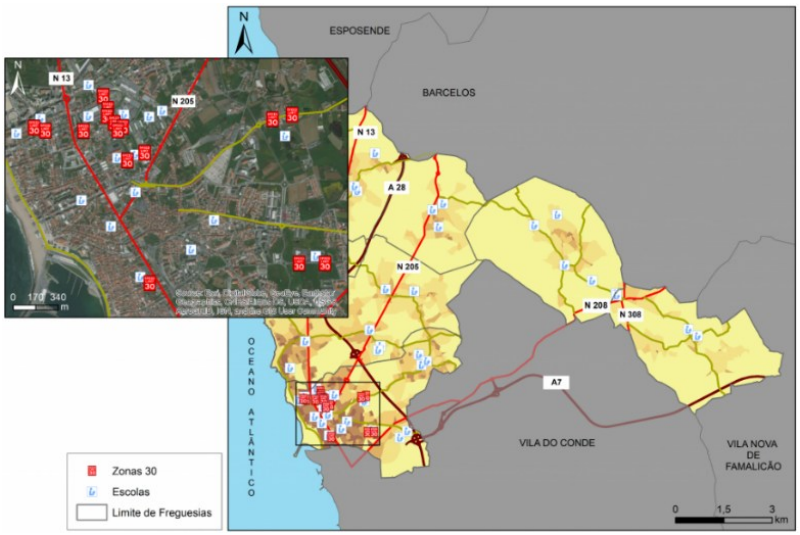


Figura 47: Zonas 30 e localização de escolas no concelho da Póvoa de Varzim, com destaque para a área urbana central (Fonte: C. M. Póvoa de Varzim, 2022).

A rede ciclável organiza-se em três eixos principais: o anel ciclável urbano (com 5,3 km), centrado na Avenida 25 de Abril e com ligação a equipamentos escolares e desportivos; a Ecopista (com cerca de 18 km), que reutiliza o antigo ramal ferroviário até Vila Nova de Famalicão, atravessando várias freguesias; e a Ecovia litoral, que acompanha o contorno atlântico até ao limite do município com Esposende, conciliando mobilidade utilitária e recreativa.

A localização da rede e dos principais cicloparques encontra-se representada na Figura 46. A integração entre modos suaves e transportes coletivos é reforçada pela instalação de cicloparques em pontos estratégicos da cidade, como a Câmara Municipal, a Biblioteca e a Estação de Metro. O município dispõe de duas interfaces principais: a Estação de Metro e o Centro Coordenador de Transportes (Central de Camionagem), que constitui a principal interface rodoviária do concelho.

4.2. LEVANTAMENTO E CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS

4.2.1. Eixos Cicláveis Definidos

A definição dos eixos estruturantes da rede ciclável constitui uma etapa crucial para a avaliação da ciclabilidade. Esta delimitação permite organizar os segmentos da rede viária em unidades de análise coerentes, reduzindo a fragmentação dos resultados e assegurando que os indicadores sejam calculados de forma consistente ao longo de percursos contínuos. Tal abordagem evita enviesamentos decorrentes da análise isolada de segmentos curtos ou desarticulados, permitindo uma leitura mais representativa da rede e facilitando a interpretação dos resultados ao nível estratégico do planeamento urbano.

De acordo com a metodologia descrita no capítulo 3, torna-se necessário definir os eixos estruturantes da rede ciclável, uma vez que o levantamento e caracterização de alguns indicadores do Índice de Ciclabilidade são realizados a este nível de análise. Para além disso, parte dos resultados será analisada e discutida com base nos eixos cicláveis estruturantes.

A Figura 48 apresenta o resultado da análise de sintaxe espacial para a métrica NACH (*normalized choice*), obtida no software UCL DepthMapX®, que serve de suporte à definição dos eixos cicláveis estruturantes da rede.

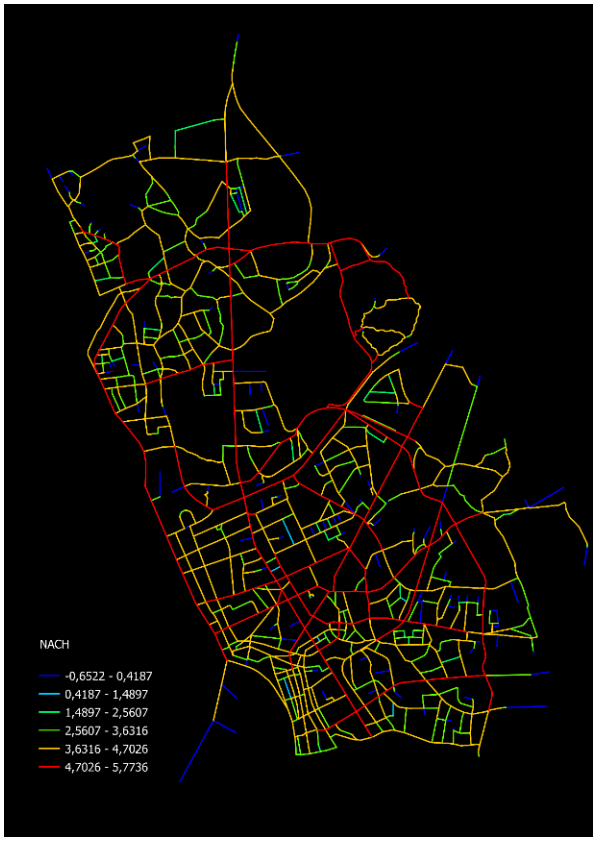


Figura 48: Mapa Sintático da zona de estudo (métrica NACH).

A estrutura da rede ciclável considerada nesta investigação foi construída a partir da rede viária urbana da área de estudo, organizada num conjunto de eixos definidos segundo critérios previamente estabelecidos na metodologia. Estes eixos representam subconjuntos coerentes da rede viária que configuram unidades espaciais de análise da ciclabilidade, integrando os resultados da análise de sintaxe espacial e as características dos perfis transversais das ruas que compõem os segmentos analisados.

O resultado do processo de seleção e definição dos eixos cicláveis encontra-se representado no mapa da Figura 49.

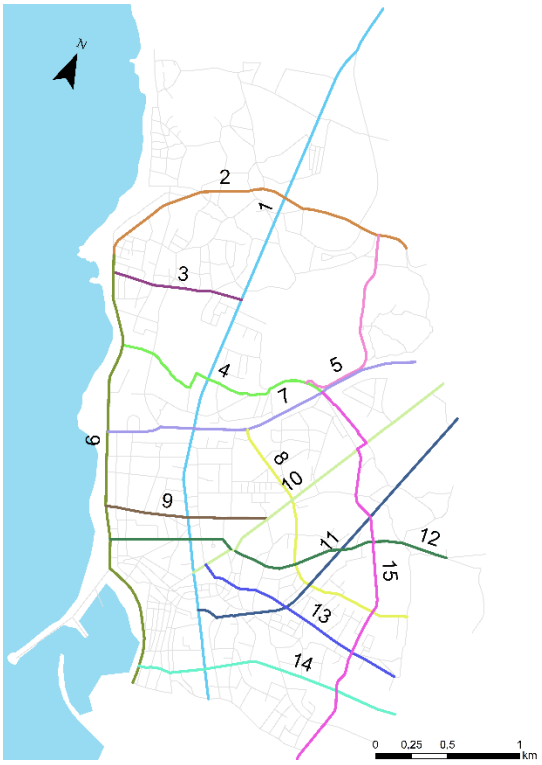


Figura 49: Eixos cicláveis definidos na área de estudo.

Embora a metodologia proporcione um critério estruturado para a definição e seleção dos eixos, observou-se a necessidade de ajustes interpretativos, denominados ajustes finos, realizados após uma análise criteriosa do traçado obtido. Estes ajustes consistiram em intervenções manuais e pontuais sobre o conjunto de segmentos previamente selecionado, com os seguintes objetivos:

i) reforçar a coerência espacial dos eixos, evitando fragmentação excessiva;
ii) articular segmentos descontínuos (integração de segmentos intermédios entre troços claramente alinhados), garantindo continuidade funcional;
iii) expandir o traçado até zonas de reconhecida relevância para a rede, mesmo que os segmentos finais não tivessem sido selecionados pelo modelo inicial.

Essas decisões foram fundamentadas pela interpretação do território e conhecimento empírico da sua estrutura funcional, respeitando a lógica metodológica previamente definida.

No total, foram definidos 15 eixos cicláveis, cujas características gerais, como número, extensão e identificação dos arruamentos, se encontram sistematizadas na Tabela 8.

Importa salientar que o procedimento de definição dos eixos cicláveis adotado neste estudo apresenta carácter replicável, podendo ser aplicado em outros contextos urbanos. A combinação entre análise de sintaxe espacial, verificação da continuidade das secções transversais e ajustes interpretativos garante um método sistemático, mas suficientemente flexível para se adaptar às especificidades morfológicas de diferentes territórios.

Tabela 8: Extensão dos eixos e seus arruamentos.

Eixo	Extensão	Arruamento
1	5098,25 m	Praça Marquês de Pombal; Rua Almirante Reis; Rua Gomes de Amorim; Rua Paulo Barreto
2	2313,18 m	Avenida dos Pescadores; Avenida Nossa Senhora das Neves; Rua de José André; Rua do Barão a Ver o Mar; Rua José Ferreira Coelho
3	912,83 m	Rua Agro Velho; Rua Cidade da Póvoa
4	1646,57 m	Rua Cidade de Barcelos; Rua da Cidade de Braga; Rua da Cova do Coelho; Rua da Imprensa Regional; Rua Engenheiro Ezequiel Campos
5	1391,43 m	Rua do Graceiro; Rua do Parque da Cidade
6	3082,27 m	Avenida dos Banhos; Avenida dos Pescadores; Rua da Caverneira; Rua da Imprensa Regional; Rua do Alto de Martim Vaz; Rua do Varzim Sport Clube
7	2248,49 m	Avenida do Mar; Avenida Vasco da Gama
8	1939,64 m	Rua Alexandre Pinheiro Torres; Rua Dona Maria I; Rua General Humberto Delgado
9	1126,63 m	Rua Doutor Leonardo Coimbra; Rua Elias Garcia
10	2121,79 m	Largo da Misericórdia; Rua Bonitos de Amorgim; Rua da Cidade do Porto; Rua do Comendador Francisco Quintas
11	2397,64 m	Rua António Leite Dourado; Rua do doutor Leandro Rodrigues
12	2407,98 m	Avenida Mouzinho de Albuquerque; Largo da Misericórdia; Rua Almeida Brandão; Rua Doutor Josué Trocado; Rua Padre José Amorim
13	1544,54 m	Rua da Amadinha; Rua da Igreja; Rua da Sacra Família; Rua Rocha Peixoto
14	1857,77 m	Rua Belarmino Pereira; Rua Coronel Oudinott; Rua de Penalves; Rua Padre Manuel Moreira da Silva; Rua Pereira Azurar
15	2925,52 m	Avenida 25 de Abril

4.2.2. Criação da Base de Dados

A criação da base de dados correspondeu à consolidação da informação espacial e temática necessária à aplicação do modelo de avaliação do Índice de Ciclabilidade. O objetivo foi estruturar, num ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), todas as variáveis associadas aos critérios, subcritérios e indicadores definidos na Secção 3.3 (Tabela 7).

O processo iniciou-se com a adaptação da rede viária digital obtida a partir do *OpenStreetMap* (OSM), que serviu de base cartográfica para a identificação e delimitação da rede ciclável. Esta rede foi cuidadosamente revista e ajustada com base em observações de campo e imagens de satélite, garantindo a correspondência entre a representação digital e a realidade.

Cada troço de rua compreendido entre duas interseções foi considerado como um segmento, representando a unidade mínima de análise. A estes segmentos foram associados os valores correspondentes a todos os indicadores definidos.

Os indicadores foram inseridos nas tabelas de atributos da rede e organizados de acordo com o nível hierárquico do modelo. Cada indicador recebeu um código único (por exemplo, INF-4, SEG-2, QUA-3), permitindo a posterior integração com os pesos derivados do processo AHP.

A base de dados foi estruturada num SIG, onde as tabelas de atributos correspondentes aos segmentos da rede ciclável foram preenchidas com apoio da visualização cartográfica para orientação e verificação espacial. Os dados foram posteriormente tratados em ambiente externo para a fuzzificação dos indicadores, sendo depois reintegrados ao SIG para a representação espacial e elaboração dos mapas.

A Figura 50 apresenta o ambiente de trabalho utilizado na construção e organização da base de dados, mostrando as camadas temáticas e as tabelas de atributos associadas aos segmentos da rede ciclável. Esta representação evidencia a correspondência entre a informação recolhida e a componente espacial da rede, que serviu de suporte à análise e à posterior definição dos eixos cicláveis descrita na Secção 4.2.1

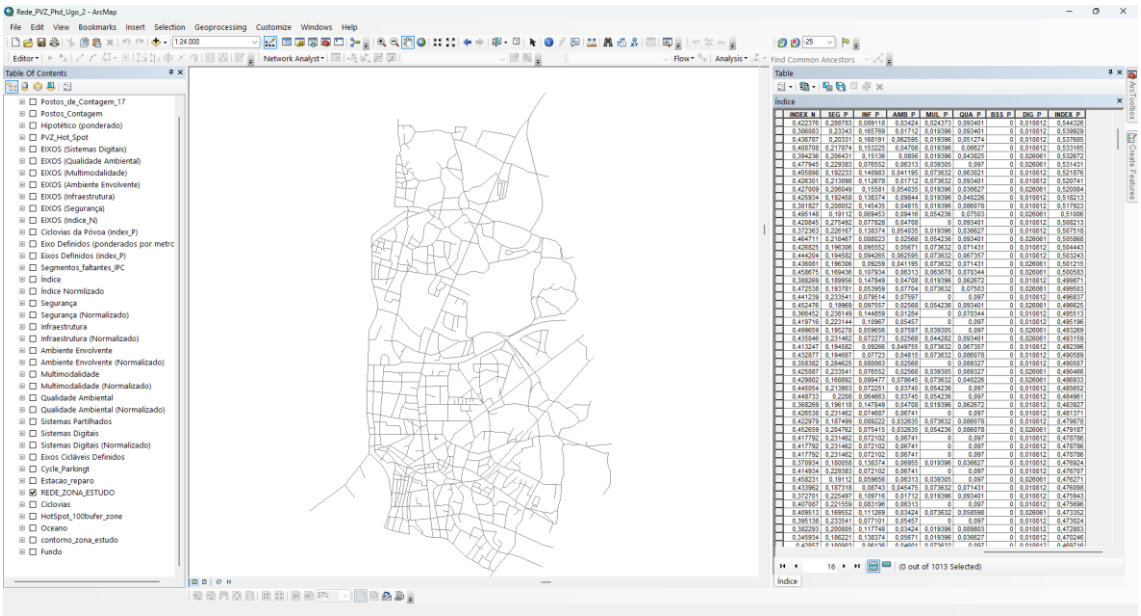


Figura 50: Ambiente de trabalho SIG.

4.3. PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO: DETERMINAÇÃO DOS PESOS DO ÍNDICE DE CICLABILIDADE

4.3.1. Perfil dos Stakeholders

O processo de comparação par-a-par foi complementado por um formulário que recolheu dados demográficos, profissionais e informações sobre práticas associadas ao uso da bicicleta, permitindo traçar o perfil dos *stakeholders* envolvidos na AHP (Figura 51). A partir desta caracterização, foi possível identificar três grupos distintos de especialistas:

i) Académicos, constituído por investigadores e docentes universitários, cujo conhecimento teórico aprofundado abrange áreas como o planeamento urbano, a mobilidade e transportes;
ii) Profissionais do setor público e privado, incluindo engenheiros, arquitetos e planeadores, com experiência prática na conceção e implementação de infraestruturas e políticas de mobilidade; e
iii) Representantes de utilizadores e ciclistas, englobando ciclistas experientes e membros de organizações dedicadas à promoção do uso da bicicleta, que acrescentam a perspetiva do utilizador frequente.

Participaram neste estudo 30 *stakeholders*, cuja caracterização geral revela uma predominância do género masculino (67%) face ao feminino (33%). A distribuição por grupo profissional demonstra que a maioria pertence ao meio académico (40%), seguido dos profissionais do setor público e privado (37%) e dos representantes de utilizadores e ciclistas (23%).

Relativamente à faixa etária (Figura 52), verifica-se que a maioria dos *stakeholders* (43%) se situa entre os 41 e os 50 anos, indicando uma prevalência de indivíduos com experiência consolidada e em fases intermédias da carreira profissional. A faixa dos 31 aos 40 anos representa cerca de 27% dos participantes, enquanto 20% têm menos de 30 anos e 10% têm mais de 50 anos. Esta distribuição etária sugere que o painel de especialistas é composto, em grande parte, por indivíduos que combinam conhecimento técnico e experiência prática, que é um aspeto fundamental para assegurar a qualidade dos julgamentos realizados na AHP.

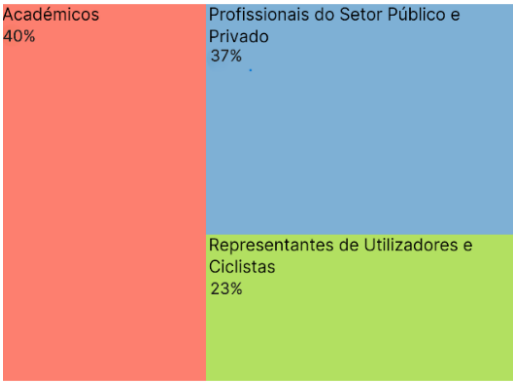


Figura 51: Grupos derivados do Painel de stakeholders.

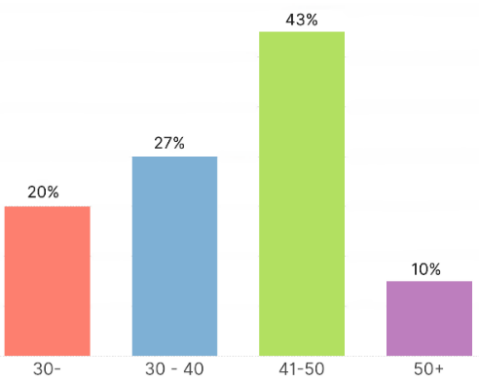


Figura 52: Distribuição dos stakholders por faixas etárias

A frequência semanal da utilização da bicicleta varia significativamente entre os grupos, conforme ilustrado na Figura 53. Entre os académicos, observa-se uma distribuição diversificada: 17% nunca utilizam a bicicleta, 42% pedalam menos de um dia por semana (raramente). No grupo dos profissionais, predomina um uso moderado, com 36% a pedalar entre 1 e 6 dias por semana (às vezes e muitas vezes). Já entre os representantes de utilizadores e ciclistas destaca-se um uso mais intensivo, com 71% a pedalar entre 3 e 7 dias por semana (muitas vezes e sempre). Estes resultados refletem uma diversidade de hábitos entre os *stakeholders* evidenciando uma proporção considerável de utilizadores regulares, ao mesmo tempo que outros mantêm uma utilização mais esporádica.

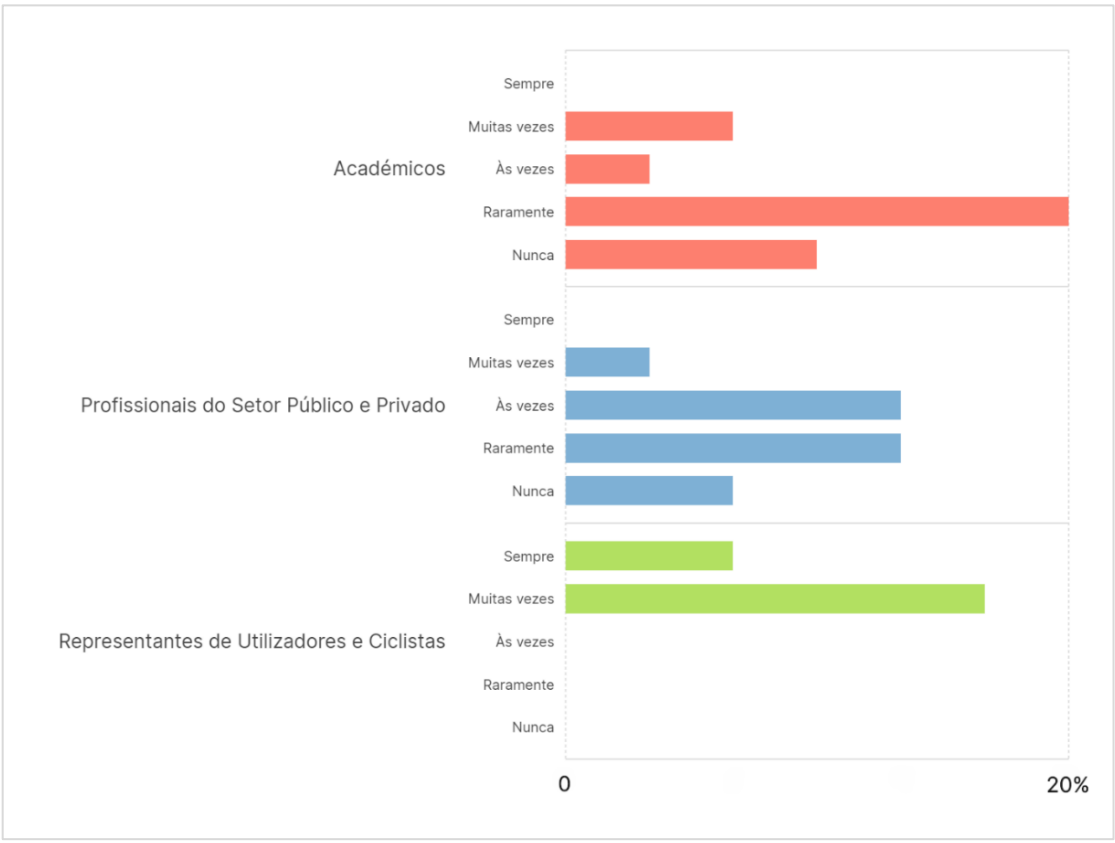


Figura 53: Frequência de uso da bicicleta entre os stakeholders.

Os principais motivos apontados para o uso da bicicleta (Figura 54) foram as deslocações pendulares (23%), o lazer (30%) e a prática de desporto (17%). Estes dados indicam que a bicicleta é percebida tanto como uma atividade recreativa e desportiva quanto como um meio de transporte. A maioria dos *stakeholders* exercem atividade profissional no distrito de Braga (56%), seguido do Porto (30%), enquanto Lisboa e Coimbra representam 7% cada, ilustrada na Figura 55.

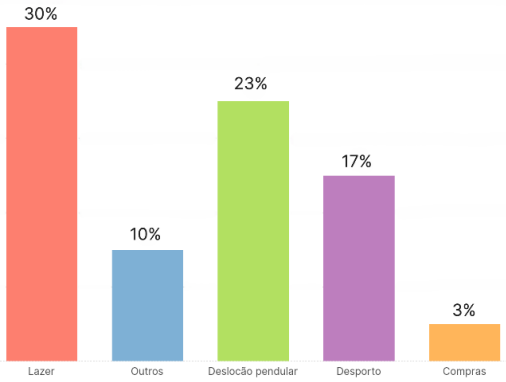


Figura 54: Principais motivos de uso da bicicleta.

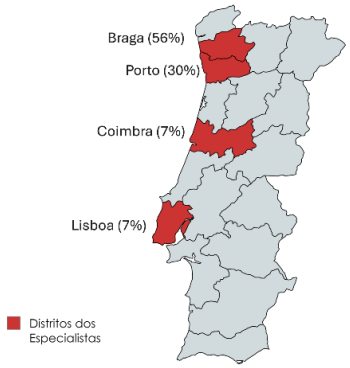


Figura 55: Local de atuação profissional dos stakeholders.

Por último, importa referir que os especialistas têm um nível de escolaridade correspondente ao nível superior, sendo 70% licenciados ou mestres e 30% doutores.

A diversidade demográfica, de hábitos e práticas profissionais dos especialistas constitui um suporte robusto e fiável para a interpretação dos resultados que serão apresentados nos pontos seguintes.

4.3.2. Pesos Definidos para Critérios e Subcritérios

O método AHP permitiu determinar os pesos globais atribuídos aos elementos da hierarquia definida para o Índice de Ciclabilidade, representando assim a prioridade relativa conferida a cada critério e subcritério. A operacionalização deste processo foi realizada por meio da plataforma digital AHP-OS (https://bpmsg.com/ahp/ahp-group.php), descrita na sua atualização mais recente por Goepel (2018).

Este subtópico está organizado em quatro partes. Inicia-se com a avaliação da consistência dos julgamentos individuais, seguida da apresentação dos pesos atribuídos aos critérios e aos subcritérios da hierarquia. Por fim, procede-se à discussão dos resultados obtidos, com base nos padrões observados e nas suas possíveis implicações.

A recolha dos julgamentos foi efetuada diretamente na plataforma AHP-OS, que assegurou a comparação par-a-par entre os elementos da hierarquia e a verificação automática da consistência.

A Figura 56 ilustra um exemplo de comparação par a par em que o sistema indicou a necessidade de ajuste dos julgamentos, enquanto a Figura 57 apresenta a mesma interface após a obtenção de um valor aceitável para o rácio de consistência (CR). Por fim, a Figura 58 mostra a matriz consolidada de comparação par a par, com os pesos relativos e o rácio de consistência final resultantes do processo de agregação.

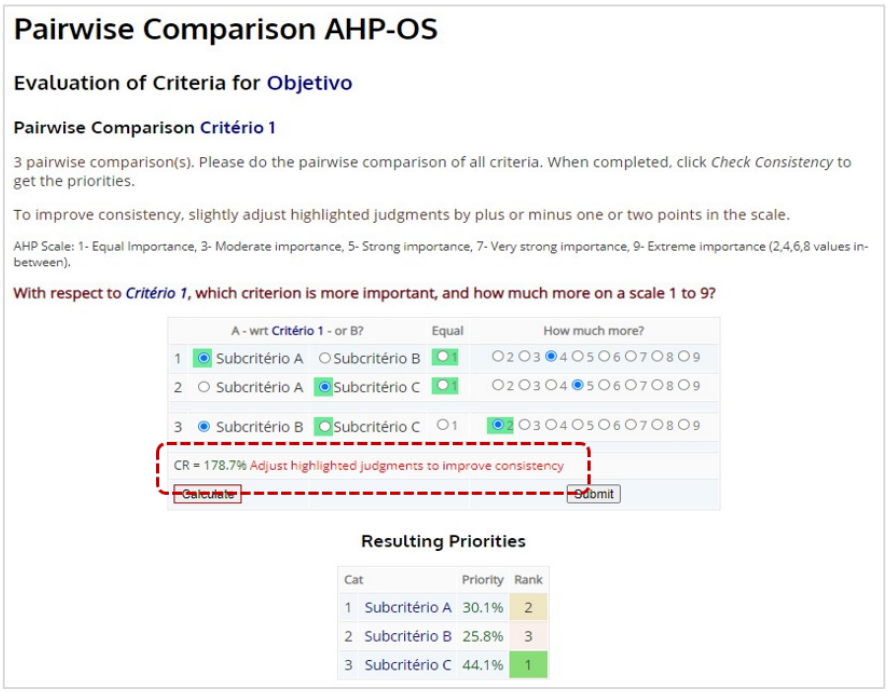


Figura 56: Situação em que foram necessários ajustes nos julgamentos.

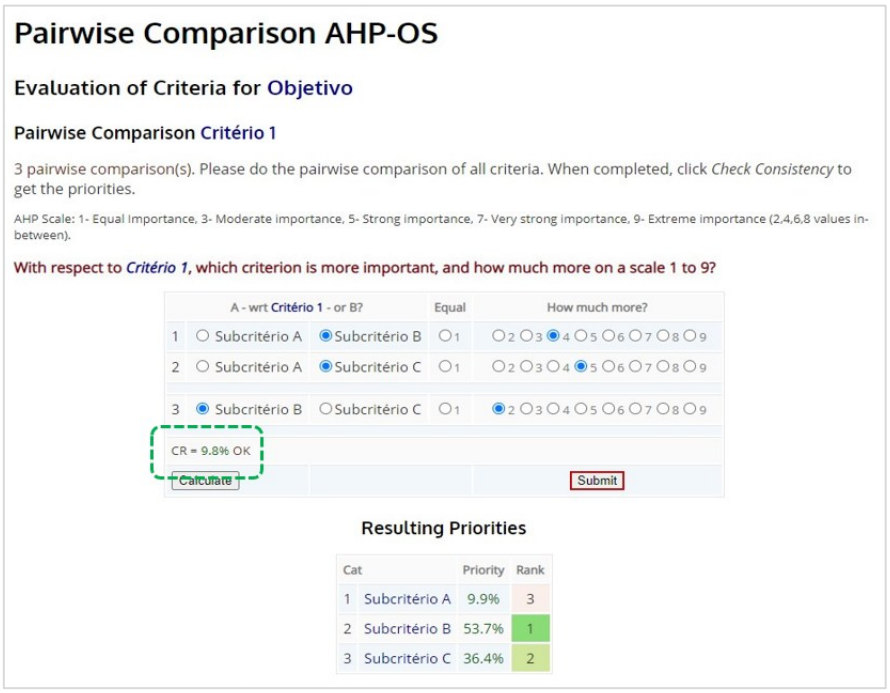


Figura 57: Interface da plataforma na etapa da comparação par a par, destaque para CR aceitável (modo de visualização do participante).

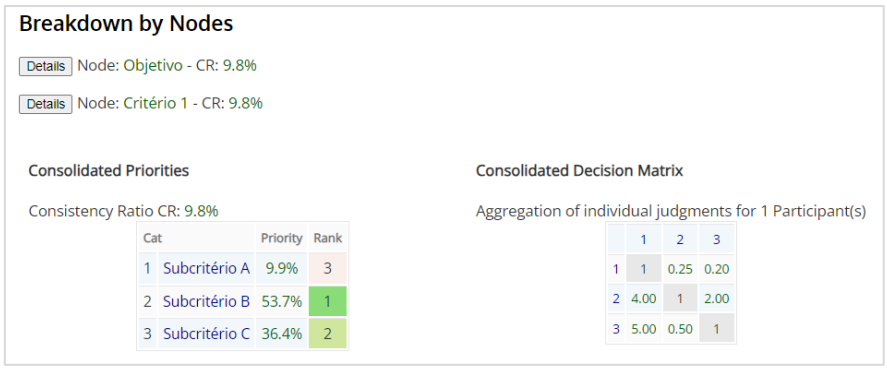


Figura 58: Matriz de comparação par a par preenchida (visualização parcial do modo do editor).

Um exemplo completo do cálculo encontra-se descrito no anexo D e no anexo E, incluindo a derivação dos pesos para um subcritério e a agregação dos critérios principais, de modo a ilustrar detalhadamente as etapas do procedimento.

4.3.2.1. Avaliação da Consistência dos Julgamentos Individuais

A verificação da consistência interna dos julgamentos individuais constitui uma etapa fundamental para assegurar a robustez do processo decisório. Os valores dos rácios de consistência (CR) e dos respetivos índices de consistência (IC), calculados para cada matriz de comparação entre critérios e entre os subcritérios, encontram-se apresentados em tabelas no anexo C.

De acordo com Saaty e Vargas (2012), considera-se aceitável um CR inferior ou igual a 0,10. Valores superiores a este limiar indicam inconsistências relevantes nos julgamentos, que podem comprometer a validade das prioridades obtidas. Embora o CR seja influenciado pela dimensão da matriz, o índice de consistência (IC) pode ser considerado como um indicador complementar em análises que envolvem matrizes de diferentes tamanhos.

Os resultados revelam um elevado nível de consistência nos julgamentos individuais, com a maioria dos especialistas a apresentar valores de CR inferiores ao limiar em quase todas as matrizes avaliadas. Entre os critérios, todos os participantes registaram CR menor ou igual a 0,10, com valores de IC entre 0,008 e 0,129, reforçando a homogeneidade e a qualidade dos julgamentos neste nível hierárquico.

Entre os subcritérios, embora a consistência se mantenha elevada na maioria dos casos, foram identificados julgamentos com CR superior a 0,10, sobretudo nas matrizes de Infraestrutura, Segurança, Qualidade Ambiental e Sistemas Partilhados. Destacam-se os casos dos especialistas 3A (CR=1,491), 19B (CR=5,317), ambos em Qualidade Ambiental, e 21C (CR=0,585) em Multimodalidade.

As matrizes com menor número de elementos apresentaram, em geral, valores reduzidos de CR e IC, confirmando a relação esperada entre a ordem da matriz e a facilidade de manter julgamentos consistentes. Por outro lado, matrizes mais extensas concentraram os maiores valores de inconsistência, reforçando a importância de considerar o peso da complexidade nas avaliações.

Apesar de alguns casos pontuais de inconsistência (CR superior a 0,10), todos os julgamentos individuais foram mantidos na agregação. A utilização da média geométrica, conforme implementada na plataforma AHP-OS, atenua o impacto de valores extremos (Goepel, 2018). Em contextos de grupo, admite-se a inclusão de julgamentos menos consistentes para preservar a diversidade de perspetivas (Saaty & Vargas, 2012). Deste modo, pode-se considerar que a robustez global foi assegurada também na agregação dos julgamentos.

A Figura 59 mostra que a maioria dos especialistas apresenta rácios de consistência (CR) inferiores ao limiar de 0,10 (linha cheia), embora existam casos pontuais de maior inconsistência, especialmente nas matrizes referentes à Infraestrutura e Segurança. A concentração dos valores em torno da mediana reforça a homogeneidade geral dos julgamentos, enquanto os *outliers* evidenciam situações específicas de maior variabilidade.

Para uniformizar a apresentação gráfica e facilitar a leitura da distribuição dos CR, o eixo horizontal foi limitado ao valor 1, realçando a dispersão central dos dados e mantendo visíveis os casos com CR superiores a 0,10. Apenas dois julgamentos excederam o valor 1, ambos na matriz da Qualidade Ambiental (especialistas 3A e 19B). Os IC não foram representados graficamente, uma vez que os padrões identificados coincidem com os observados nos CR. Além disso, a influência do número de elementos nas matrizes já foi discutida anteriormente.

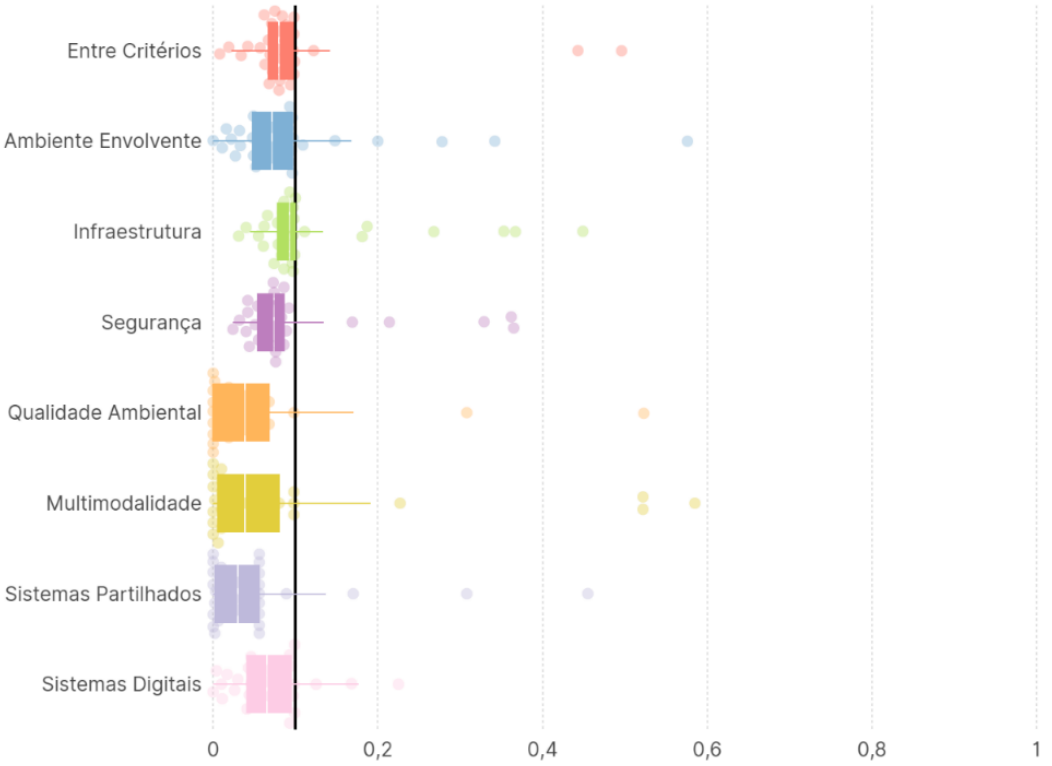


Figura 59: Rácios de consistência (CR) por matriz de julgamento. Boxplots com linha de referência no limiar de aceitabilidade (CR = 0,10).

4.3.2.2. Critérios

A Figura 60 apresenta os pesos atribuídos aos sete critérios principais do modelo de avaliação do Índice de Ciclabilidade, com base nos julgamentos dos especialistas. Os valores estão normalizados para que a sua soma corresponda a 1 e refletem a prioridade relativa de cada critério em relação ao objetivo global.

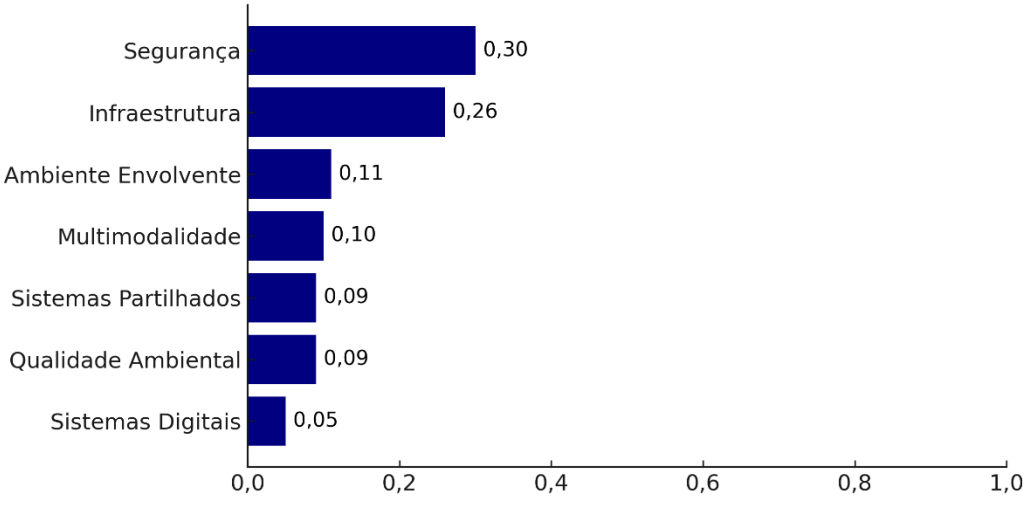


Figura 60: Distribuição dos pesos dos critérios principais do índice de ciclabilidade.

A distribuição dos pesos revela uma clara diferenciação entre os critérios mais valorizados e os de menor relevância. O critério da Segurança destacou-se como o mais relevante (0,2970), seguido da Infraestrutura (0,2560). Em conjunto, estes dois critérios representam mais de metade da importância total, evidenciando a perceção da sua centralidade na avaliação da ciclabilidade. Em contraste, os Sistemas Digitais (0,0510) e os Sistemas Partilhados (0,0880) receberam os menores pesos, indicando que estes foram considerados menos determinantes na perceção global do desempenho de uma rede ciclável.

A consistência interna dos julgamentos atribuídos à matriz de comparação dos critérios foi elevada. O rácio de consistência (CR) da matriz agregada foi de 0,004, significativamente inferior ao limiar recomendado de 0,10. O índice de consistência (IC) foi de 0,00528, reforçando a robustez dos resultados. O índice de consenso de grupo obtido foi de 0,690, considerado moderado segundo Goepel (2018). Este resultado revela um bom alinhamento entre os especialistas, apesar da complexidade envolvida na comparação entre sete elementos distintos, que tende a dificultar a consistência e a convergência dos julgamentos.

4.3.2.3. Subcritérios

1. Ambiente Envolvente

A Figura 61 apresenta os pesos atribuídos aos quatro subcritérios deste critério. O Uso do Solo foi o mais valorizado (0,3200), seguido pela Proteção Climatérica (0,2900) e Áreas Verdes Adjacentes (0,2700). O Corpo de Água obteve o menor peso (0,1190), ficando claramente abaixo dos restantes.

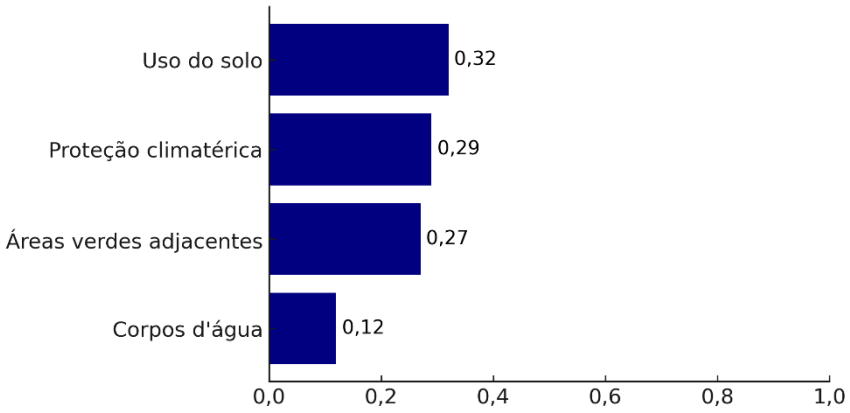


Figura 61: Pesos dos subcritérios do critério Ambiente Envolvente.

Os resultados mostram uma preferência por aspetos ligados à perceção direta do ambiente urbano. A valorização do uso do solo sugere refletir a importância atribuída à diversidade funcional e vitalidade dos espaços. A proteção climatérica e as áreas verdes são vistas como fatores que aumentam o conforto e atratividade.

A coerência interna da matriz foi elevada. O CR da matriz agregada foi de 0,011 e o IC de 0,0099, ambos dentro dos limites recomendados. O índice de consenso de grupo (0,557) indica um alinhamento moderado entre os especialistas, apesar de subsistirem divergências na priorização dos subcritérios.

Importa referir que esta matriz inclui apenas quatro elementos, o que tende a facilitar a obtenção de coerência e consenso. Ainda assim, a menor valorização atribuída a Corpos de água, em comparação com os demais subcritérios, poderá ter contribuído para um ligeiro afastamento na convergência das opiniões.

2. Infraestrutura

A Figura 62 apresenta os pesos dos oito subcritérios de Infraestrutura, revelando uma distribuição relativamente equilibrada entre os diferentes elementos. O Nível de Segregação foi o mais relevante (0,1970), seguido pela Integração Eixo-Rede (0,1620) e Pavimento e Geometria da Via, ambos com peso idêntico (0,1470). Os subcritérios com menor peso foram Infraestrutura de Apoio (0,0650) e Iluminação Pública (0,0660).

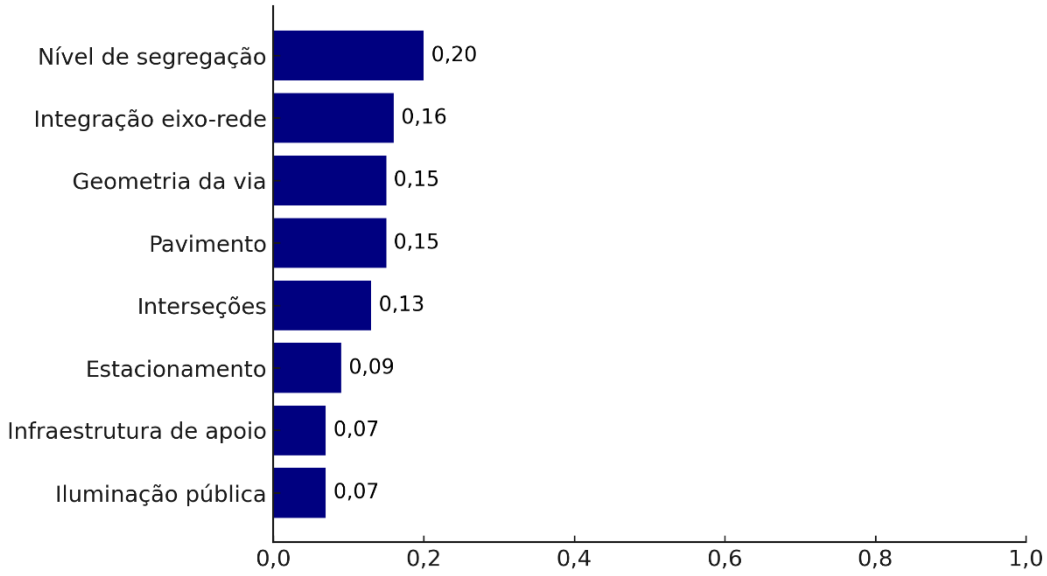


Figura 62: Pesos dos subcritérios do critério Infraestrutura.

Os resultados evidenciam a valorização de componentes infraestruturais da rede ciclável com impacto direto na segurança e na continuidade dos percursos. O destaque atribuído ao nível de segregação indica a importância das infraestruturas dedicadas, com menor exposição a conflitos com outros modos.

A integração dos eixos na rede é reconhecida como essencial para a conectividade e eficiência da rede ciclável. A qualidade do pavimento e a geometria da via refletem preocupações com o conforto e a fluidez das deslocações, aspetos que influenciam diretamente a experiência do utilizador.

Por outro lado, subcritérios como infraestrutura de apoio (e.g., pontos de manutenção e carregamentos de bicicletas elétricas) e iluminação pública foram considerados menos importantes, podendo indicar que são vistos como elementos complementares em relação à infraestrutura principal.

A matriz de comparação apresentou um elevado nível de consistência, com um CR de 0,006 e um IC de 0,00846, ambos bem abaixo do limiar de aceitabilidade. O índice de consenso de grupo foi de 0,557, indicando um nível moderado de alinhamento entre os especialistas, semelhante ao observado no critério anterior. Apesar da complexidade da matriz (oito elementos), os resultados demonstram robustez e coerência dos julgamentos.

3. Segurança

A Figura 63 apresenta os pesos atribuídos aos seis subcritérios do critério Segurança, revelando uma hierarquia clara na perceção dos especialistas sobre os fatores que mais influenciam a segurança do ciclista urbano. O subcritério Exposição ao Tráfego foi considerado o mais relevante (0,2820), seguido pela Sinistralidade (0,2560) e Conflito nas Interseções (0,1790). Com menor relevância surgem os subcritérios Conflito com Estacionamento e Paragens de Autocarros (0,0830), Criminalidade (0,1300) e Conflito com Acesso a Edifícios (0,0690).

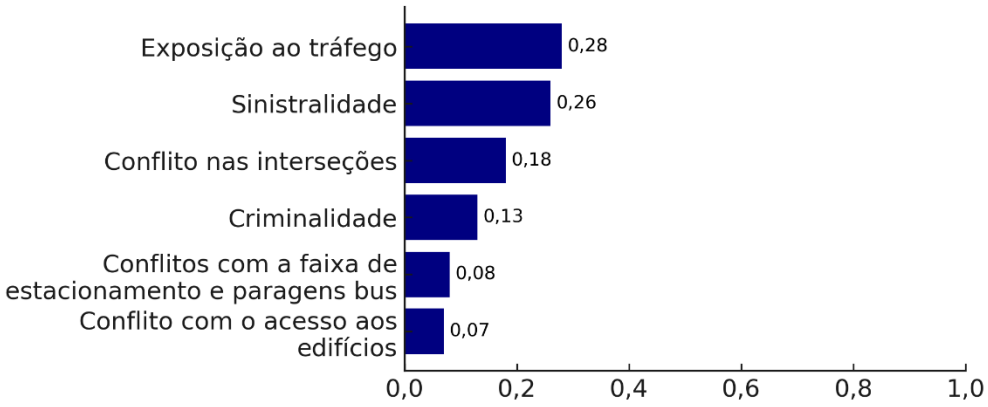


Figura 63: Pesos dos subcritérios do critério Segurança.

A distribuição dos pesos demonstra um foco nos elementos objetivos e estruturais da segurança viária. A preocupação com a exposição ao tráfego motorizado associada à proximidade, velocidade e volume de veículos, evidencia a importância atribuída à separação física e à mitigação do risco direto. A sinistralidade remete para uma atenção à segurança histórica ou estatística, enquanto os conflitos nas interseções refletem a perceção da vulnerabilidade dos ciclistas nestas zonas de cruzamento.

Subcritérios como criminalidade ou conflitos com estacionamento e paragens foram considerados menos determinantes. Tal pode dever-se ao facto de estarem mais associados à perceção subjetiva do risco do que a ameaças diretas à integridade física.

A matriz agregada apresentou um CR de 0,004 e um IC de 0,00496, demonstrando uma excelente coerência nos julgamentos. O índice de consenso de grupo foi de 0,622, refletindo um consenso moderado, próximo do limite superior desse intervalo. Este resultado indica uma orientação relativamente convergente entre os especialistas, apesar da diversidade dos seus perfis.

4. Qualidade Ambiental

A Figura 64 apresenta os pesos atribuídos aos três subcritérios do critério Qualidade Ambiental. A Poluição do Ar foi identificado como o mais relevante (0,5310), seguido de Poluição Sonora (0,3020). Os Fatores Alergénicos obtiveram o menor peso (0,1680), revelando uma diferença considerável em relação aos demais subcritérios.

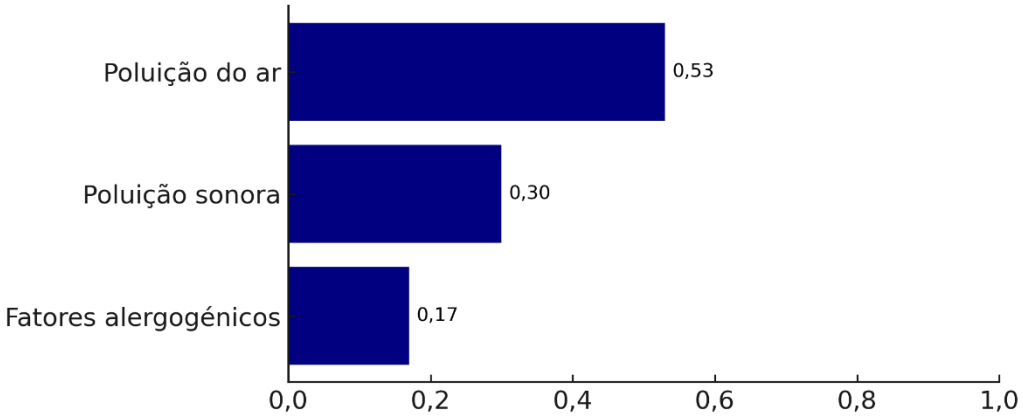


Figura 64: Pesos dos subcritérios do critério Qualidade Ambiental.

A distribuição dos pesos evidencia a valorização de impactos diretos e mensuráveis na saúde e no conforto dos ciclistas. A forte priorização da poluição do ar sugere preocupação com a exposição a partículas nocivas e com a qualidade do ar nas vias cicláveis. A poluição sonora, para além do desconforto que provoca, pode ser interpretada como um indicador indireto da intensidade do tráfego rodoviário.

Já os fatores alergénicos foram menos valorizados, possivelmente pela sua menor perceção imediata ou pelo facto de afetarem apenas grupos específicos de utilizadores. Apesar disso, continuam a ser relevantes para garantir condições adequadas ao uso da bicicleta em todas as estações do ano.

A matriz de comparação apresentou uma consistência perfeita, com CR e IC iguais a 0,000, refletindo total coerência nos julgamentos. O índice de consenso de grupo foi moderado (0,645). Este resultado é consistente com o número reduzido de elementos da matriz, o que tende a facilitar o alinhamento entre os especialistas. A clara dominância da poluição do ar poderá também ter contribuído para essa convergência.

5. Multimodalidade

A Figura 65 apresenta os pesos dos subcritérios do critério Multimodalidade, com uma distribuição relativamente equilibrada entre os três elementos avaliados. O subcritério Ligação ao Transporte Público foi o subcritério mais valorizado (0,3730), seguido do Estacionamento em Paragens e Terminais (0,3350) e da Regulamentação do Transporte de Bicicletas no Transporte Público (0,2920).

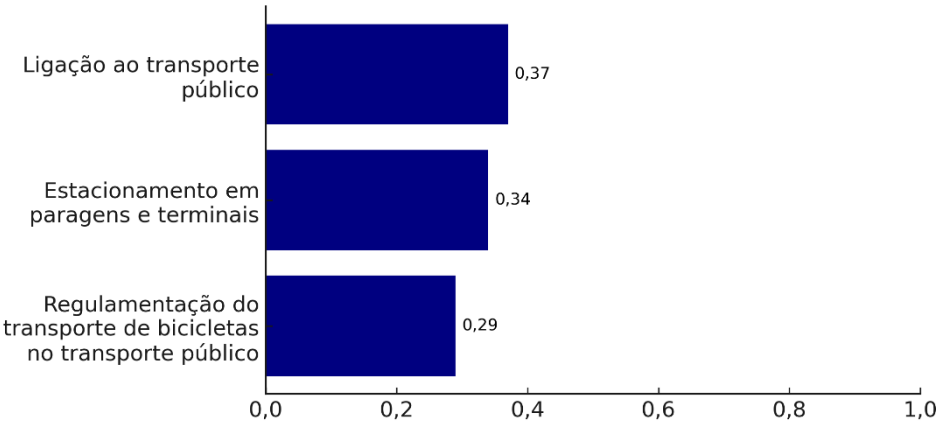


Figura 65: Pesos dos subcritérios do critério Multimodalidade.

Os resultados mostram que os especialistas atribuem grande importância à integração entre bicicleta e transporte público. A prioridade dada à ligação física entre modos destaca a relevância de infraestruturas de transbordo eficientes para incentivar o uso da bicicleta nas deslocações pendulares.

A disponibilidade de estacionamento seguro próximo das paragens e terminais surge como o segundo fator mais importante, reforçando a utilidade de promover soluções intermodais para deslocações de curta e média distância. A regulamentação do transporte de bicicletas no interior dos veículos foi considerada ligeiramente menos relevante, presumivelmente pela complexidade da sua aplicação em determinados contextos.

A matriz de comparação apresentou boa consistência, com um CR de 0,013 e um IC de 0,00754, ambos dentro dos limites aceitáveis. O índice de consenso de grupo moderado (0,547) sugere alguma divergência na perceção da relevância relativa dos subcritérios, possivelmente associada à heterogeneidade do painel de especialistas.

6. Sistemas Partilhados

A Figura 66 apresenta os pesos atribuídos aos três subcritérios do critério Sistemas Partilhados. A Cobertura dos Polos Geradores de Viagem pelos BSS foi o subcritério mais valorizado (0,3650), seguido da Oferta de Sistemas Partilhados (0,3470) e dos Atributos dos Sistemas Partilhados (0,2880).

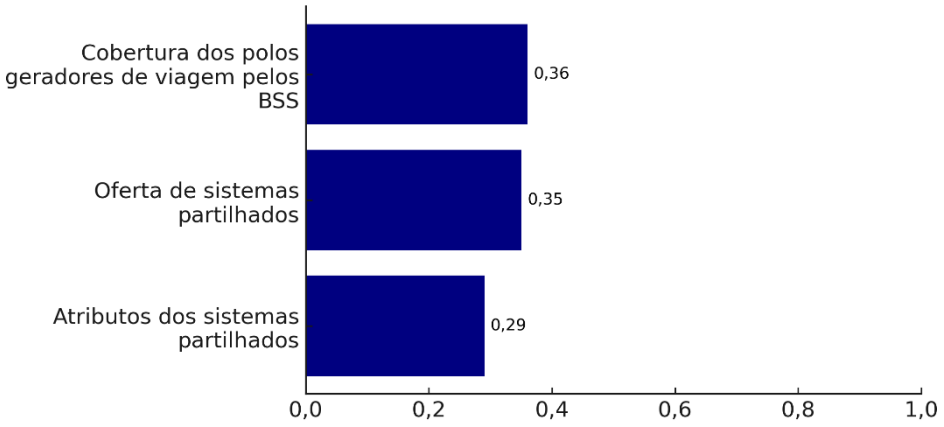


Figura 66: Pesos dos subcritérios do critério Sistemas Partilhados.

A distribuição dos pesos evidencia a importância da dimensão territorial e da acessibilidade dos sistemas. O destaque dado à presença de estações em locais estratégicos e interfaces de transporte demonstra a valorização da sua integração funcional nas deslocações urbanas.

Em seguida, surgem a quantidade e a dispersão dos pontos de oferta, apontando para preocupações com a escala e a disponibilidade real do serviço. Já os atributos técnicos dos sistemas (e.g., tipo de bicicleta ou interface de utilização), apesar de serem considerados menos prioritários, apresentam um peso muito semelhante aos restantes.

A matriz de comparação apresentou consistência perfeita, com um CR e um IC iguais a zero, evidenciando uma total coerência nos julgamentos. O índice de consenso de grupo foi moderado (0,615). A simplicidade da matriz (apenas três elementos) pode ter favorecido o alinhamento das respostas.

Este resultado é particularmente relevante no contexto português, onde os sistemas de bicicletas partilhadas ainda não se encontram amplamente disseminados, estando sobretudo concentrados nas cidades de maior dimensão.

7. Sistemas Digitais

A Figura 67 apresenta os pesos atribuídos aos quatro subcritérios do critério Sistemas Digitais. O subcritério mais valorizado foi o Custo de Utilização (0,2990), seguido por Funções dos Serviços (0,2490), Solução dos Sistemas Digitais (0,2400) e, por fim, Informações por Viagem (0,2120), revelando uma distribuição relativamente equilibrada entre as preferências dos especialistas.

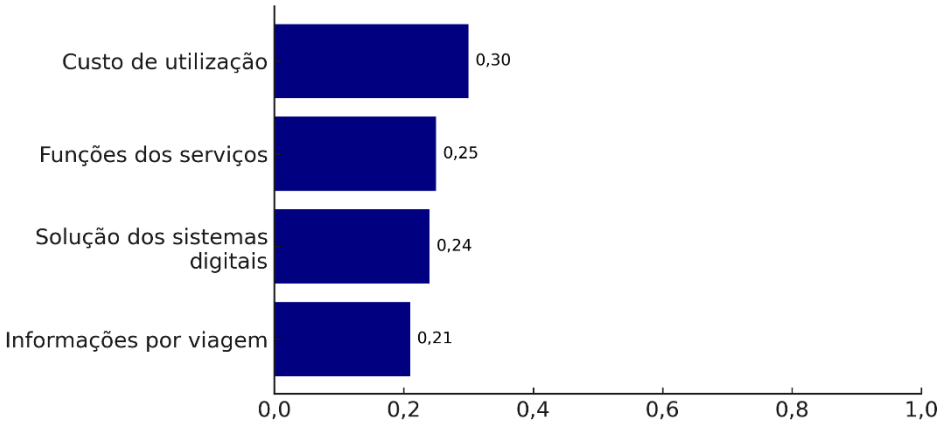


Figura 67: Pesos dos subcritérios do critério Sistemas Digitais.

Os resultados indicam que, embora este critério tenha obtido o menor peso global entre os sete avaliados, os especialistas reconheceram aspetos relevantes no domínio digital. A questão económica foi considerada o fator mais determinante, refletindo preocupações com a fenómenos de equidade e a atratividade dos serviços digitais para diferentes perfis de utilizadores.

Em seguida, foi valorizada a disponibilidade de acesso por diferentes canais digitais, nomeadamente a existência simultânea de aplicações móveis e plataformas digitais online. Também foi destacada a oferta de funcionalidades adicionais, como ferramentas de navegação ou registo de percursos, enquanto as informações por viagem (e.g., distância percorrida, calorias gastas ou emissões evitadas) foram consideradas menos prioritárias, indicando uma preferência por soluções com utilidade prática imediata.

A matriz de comparação apresentou excelente coerência, com um CR de 0,001, e um IC de 0,0009. O índice de consenso de grupo foi moderado (0,514), ainda que próximo do limite inferior desse intervalo. Este resultado, aliado à distribuição relativamente uniforme dos pesos, sugere a existência de alguma dispersão nas perceções individuais, o que é natural dada a diversidade de experiências dos especialistas e o carácter ainda emergente destas soluções em muitas cidades.

4.3.2.4. Discussão dos Resultados da AHP

Os resultados obtidos através do AHP permitiram identificar com clareza os critérios considerados mais relevantes para a avaliação da ciclabilidade urbana. Esta discussão procura aproximar os resultados quantitativos da sua aplicabilidade no planeamento de políticas e intervenções destinadas a promover o uso da bicicleta como modo de transporte.

No âmbito dos fatores físicos do ambiente urbano, os especialistas destacaram elementos que influenciam diretamente a decisão de usar a bicicleta para a realização de viagens regulares em meio urbano. O uso misto do solo, a presença de áreas verdes e a proteção (abrigo) às condições climatéricas foram considerados essenciais para a criar condições mais atrativas para os utilizadores da bicicleta. Estes resultados reforçam a necessidade de políticas urbanas que promovam espaços mais acolhedores, adaptados e favoráveis à mobilidade ativa, nomeadamente a ciclável.

Observou-se ainda que os critérios relativos à segurança e infraestrutura ciclável receberam melhor avaliações, i.e., foram considerados de maior prioridade. A ênfase na segregação e na redução da exposição ao tráfego motorizado, na integração dos eixos cicláveis e na qualidade do pavimento reflete uma orientação clara para soluções que assegurem percursos seguros e contínuos.

Em relação à qualidade ambiental, a poluição do ar foi identificada como o principal fator limitador da ciclabilidade urbana. Este resultado aponta para a necessidade de reduzir a exposição dos ciclistas a emissões nocivas à saúde de poluentes atmosféricos, seja pela criação de zonas de emissões reduzidas, seja pela seleção criteriosa de percursos. Apesar de apresentar um peso global inferior, este critério destaca a crescente atenção dada às dimensões de saúde pública e bem-estar associadas à mobilidade ativa.

No que diz respeito à multimodalidade, a ligação física ao transporte público e a disponibilidade de estacionamento seguro em paragens e terminais de transporte público forma apontados como elementos fundamentais para promover o aumento da ciclabilidade. Estes fatores são considerados cruciais para permitir a integração eficiente entre diferentes modos de transporte, ampliando o alcance, a acessibilidade e a atratividade do uso da bicicleta.

Quanto aos sistemas partilhados, os especialistas valorizaram principalmente a cobertura territorial e a oferta dos serviços, demonstrando a relevância da localização estratégica das estações e da dimensão da rede. Os atributos técnicos dos sistemas foram reconhecidos como importantes, mas tiveram menor influência na priorização global, sendo vistos como elementos complementares.

No domínio dos sistemas digitais, observou-se uma menor expressão no modelo global, embora com uma distribuição equilibrada dos subcritérios. O custo de utilização destacou-se como o aspeto mais relevante, sugerindo a necessidade de garantir a equidade e acessibilidade económica

dos serviços. As funcionalidades tecnológicas e as informações sobre as viagens realizadas foram consideradas úteis, mas não essenciais, reforçando a ideia de que estas soluções são vistas como apoio à experiência ciclável e não como requisito central.

De forma geral, os resultados traduzem uma abordagem prática da ciclabilidade, centrada nas condições físicas e de segurança como alicerces de estratégias eficazes para a promoção do uso da bicicleta. Elementos tecnológicos, serviços digitais e os sistemas partilhados assumem um papel secundário e complementar, cuja eficácia depende da existência prévia de uma infraestrutura ciclável segura, contínua e bem integrada e articulada com o sistema global de mobilidade e o território urbano.

A comparação entre os resultados obtidos pelo AHP e as perceções recolhidas através do inquérito, apresentado a seguir no ponto 4.4, evidencia uma proximidade relevante entre ambas as abordagens. Essa proximidade ajuda a compreender o facto de, apesar de terem sido identificadas diferenças significativas em casos específicos por género, idade, escolaridade, propósito da viagem e modo de transporte, estas se traduziram apenas variações discretas de importância atribuída aos critérios.

Por fim, é importante relacionar estes resultados com a hierarquia definida através do método AHP, utilizada para definir os pesos dos critérios no modelo de avaliação. Conforme ilustrado na Figura 60, o painel de *stakeholders* atribuiu maior peso à segurança e à infraestrutura, seguidos pelos restantes critérios em ordem decrescente. O inquérito confirmou a importância dessas dimensões, mas revelou um dado adicional: a multimodalidade surge como o critério mais valorizado entre os inquiridos, superando ligeiramente todos os demais.

Em síntese, os dois métodos não são contraditórios, mas complementares: o AHP fornece a estrutura normativa de pesos para aplicação do modelo, enquanto o inquérito revela as perceções sociais, evidenciando a importância global atribuída a todos os critérios e mostrando que, do ponto de vista dos utilizadores, a diferenciação entre eles é pouco marcada.

Esta uniformidade pode estar associada à baixa utilização efetiva da bicicleta na Póvoa de Varzim, o que limita a experiência prática da maioria dos inquiridos. Assim, ainda que os ciclistas estejam sobrerrepresentados no inquérito face à sua real repartição modal, a ausência de contacto quotidiano com a bicicleta por grande parte da população tende a reduzir a capacidade de discriminar de forma mais clara os diferentes critérios de avaliação.

4.4. INQUÉRITO À POPULAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.4.1. Preparação e implementação dos inquéritos

Com o objetivo de caracterizar e explorar os padrões de mobilidade, bem como analisar a forma como a população da Póvoa de Varzim avalia a importância dos critérios, subcritérios e indicadores que compõem e integram o modelo do Índice de Ciclabilidade, foi realizado um inquérito à população da cidade. Este inquérito, de carácter exploratório, visou ainda recolher informação sobre os perfis sociodemográficos e de deslocação, bem como sobre a perceção relativa da importância dos critérios utilizados na avaliação da ciclabilidade.

Neste contexto apresenta-se no esquema da Figura 68, a estrutura e os principais grupos de questões do inquérito, cuja versão completa se encontra no anexo A.

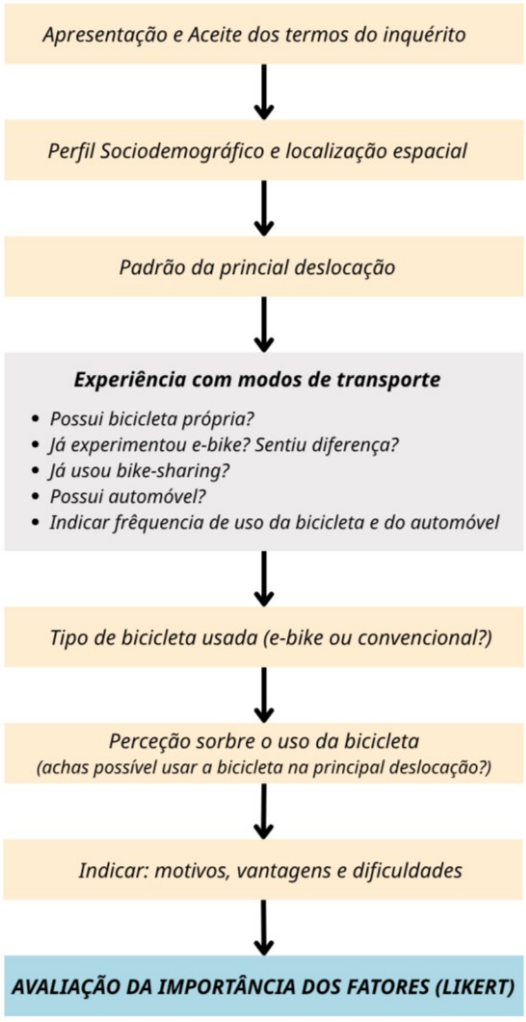


Figura 68: Estrutura do inquérito aplicado à população da Póvoa

Os dados recolhidos permitem identificar tendências relevantes e diferenças significativas entre grupos de respondentes, oferecendo uma base útil para interpretar a atratividade e o potencial da mobilidade ciclável no contexto urbano da cidade.

A apresentação dos resultados está organizada em três partes principais: i) a caracterização sociodemográfica e padrões de deslocação; ii) a avaliação da perceção da ciclabilidade por indicador e agregada por critérios; iii) a análise de diferenças estatísticas entre grupos de respondentes com recurso a testes não paramétricos.

A campanha de recolha de dados decorreu num período ainda marcado pelos constrangimentos da pandemia, o que condicionou o contacto direto com a população e acentuou a habitual relutância em participar em inquéritos.

Para ultrapassar e mitigar estes obstáculos, foi implementada uma estratégia de divulgação diversificada, que combinou diferentes meios de comunicação. Foram realizadas abordagens presenciais em pontos de fluxo, afixados de cartazes em estabelecimentos comerciais locais, distribuídos cartões de visita e implementadas campanhas de divulgação nas redes sociais, todas remetendo os participantes para um endereço digital único de acesso ao questionário. A Figura 69, a Figura 70 e a Figura 71 apresentam exemplos de materiais utilizados nesta estratégia de comunicação.



Figura 69: Cartaz afixado nos estabelecimentos.



Figura 70: Cartão de visitas distribuído na abordagem corpo-a-corpo.



Figura 71: Mosaico das imagens usadas na campanha das Redes Sociais.

Apesar dos esforços de diversificação na recolha de respostas, verificou-se uma sobrerrepresentação de utilizadores de bicicleta face à repartição modal real do concelho (inferior a 3% em 2021, segundo os Censos). Esta diferença evidencia um certo enviesamento da amostra.

No entanto, este facto acaba por reforçar o interesse e relevância dos resultados obtidos, uma vez que é expectável que estes participantes possuam um nível de conhecimento mais aprofundado sobre as principais características da mobilidade ciclável na cidade, incluindo problemas, constrangimentos e vantagens do uso da bicicleta neste contexto urbano. Assim, ainda que de forma involuntária, esta sobrerepresentação confere valor adicional às expostas obtidas, sobretudo no que respeita à avaliação dos critérios, subcritérios e indicadores que compõe o Índice de Ciclabilidade.

Por outro lado, importa referir que no tratamento da variável idade, foi necessário excluir os respondentes com menos de 18 anos. Adicionalmente, a idade foi reclassificada em dois grupos: até 39 anos e igual ou superior a 40 anos. Conforme indicado na literatura (Wolf & Seebauer, 2014), esta decisão teve como objetivo distinguir fases da vida associadas a diferentes rotinas de deslocação e perceções relativas ao uso da bicicleta.

Relativamente ao item “principal propósito da deslocação”, a categoria ‘outros’ foi excluída da análise por agregar respostas heterogéneas e pouco frequentes, o que inviabilizava a sua comparação com as restantes categorias.

Considerando estes ajustes preliminares, a secção seguinte apresenta a caracterização sociodemográfica e os padrões de deslocação da população inquirida, constituindo a base para a análise subsequente das perceções de ciclabilidade.

4.4.2. Caracterização Sociodemográfica e Padrões de Deslocação

A amostra recolhida integra um total de 405 respondentes. Em termos de género, a distribuição revelou-se relativamente equilibrada, com uma ligeira predominância do sexo feminino (52,1%) face ao masculino (47,9%). Este resultado aproxima-se da estrutura populacional do município da Póvoa de Varzim registada nos Censos de 2011, onde as mulheres representavam 51,9% da população e os homens 48,1%. Assim, pode considerar-se que a amostra é representativa da composição populacional no que respeita ao género, reforçando a fiabilidade das análises subsequentes.

Relativamente à idade, após a exclusão dos menores de dezoito anos, a variável foi recodificada em dois grupos: 41,6% dos respondentes têm entre 18 e 39 anos, enquanto 58,4% têm 40 anos ou mais. Esta distribuição sugere uma ligeira predominância de adultos em fases da vida em que se registam rotinas de deslocação estáveis e forte dependência de modos de transporte motorizados, mas também revela uma participação significativa de adultos mais jovens, tradicionalmente mais recetivos a novas soluções de mobilidade, incluindo o uso da bicicleta elétrica ou partilhada.

Em relação ao nível de escolaridade (Figura 72), observa-se uma predominância de indivíduos com ensino secundário (39,5%) e licenciatura (34,1%). Os graus de mestrado e doutoramento representam 19,5% da amostra, enquanto 6,7% possuem apenas o ensino básico. A ausência de escolaridade formal revelou-se residual. Este perfil educacional elevado pode indicar maior consciência ambiental e predisposição para adotar modos de transporte alternativos, o que pode influenciar positivamente a perceção da ciclabilidade e das políticas de mobilidade sustentável.

Quanto à situação profissional (Figura 73), a maioria dos participantes declarou estar empregada (67,9%), seguida por estudantes (20,7%). Em menor proporção, encontram-se os desempregados (6,7%) e reformados (4,7%). Esta estrutura confirma que a amostra é composta maioritariamente por indivíduos em plena atividade económica, o que é relevante para a análise, pois este grupo tende a realizar deslocações regulares em horários de ponta, onde as condições de segurança e infraestrutura ciclável são particularmente críticas.

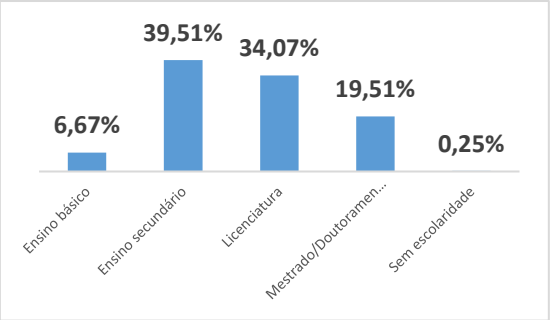


Figura 72: Distribuição dos níveis de escolaridade dos inquiridos.

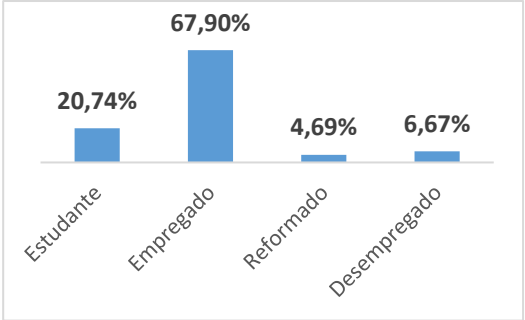


Figura 73: Situação profissional dos inquiridos.

No que respeita ao rendimento mensal (Figura 74), verifica-se que a maior parte dos respondentes aufere até dois salários-mínimos: 32,4% declararam rendimentos até um salário-mínimo e 33,1% entre um e dois salários-mínimos. Entre dois e três salários-mínimos situam-se 20,7% da amostra, ao passo que apenas 13,8% declararam rendimentos superiores a três salários-mínimos. Esta distribuição sugere que uma parte significativa da amostra poderá ver na bicicleta uma alternativa económica ao transporte motorizado, sobretudo num contexto de custos crescentes com combustíveis e estacionamento.

Relativamente ao propósito da principal deslocação diária (Figura 75), destaca-se claramente a deslocação pendular para o trabalho ou escola (75,2%), evidenciando a importância de condições adequadas de ciclabilidade para este tipo de viagens. As restantes finalidades apresentam menor expressão: lazer (8,4%), desporto (7,4%), compras (5,8%) e levar crianças à escola (3,2%). A predominância de viagens utilitárias reforça o carácter funcional da mobilidade estudada, em detrimento de deslocações puramente recreativas.

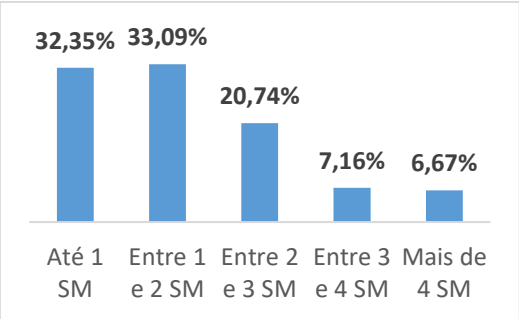


Figura 74: Distribuição do rendimento mensal dos inquiridos.

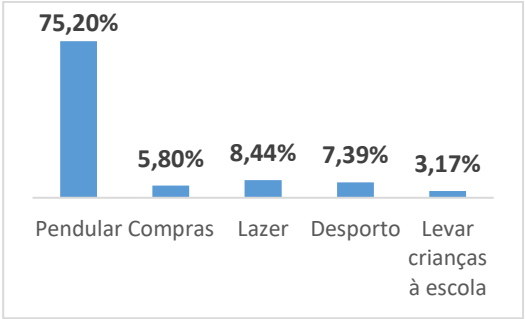


Figura 75: Propósito da principal deslocação diária dos inquiridos.

No que diz respeito ao modo de transporte habitual (Figura 76), observa-se a predominância do automóvel (49,6%), evidenciando uma forte dependência do transporte individual motorizado. A bicicleta, embora com uma representação relevante (20,7%), ainda surge em segundo plano, seguida pela deslocação a pé (18,5%). O transporte coletivo apresenta uma utilização reduzida

(11,1%), o que pode sinalizar limitações na oferta ou perceções de ineficiência deste serviço. Esta dependência do automóvel é um desafio para a promoção da mobilidade ciclável, exigindo políticas integradas que tornem a bicicleta uma alternativa competitiva.

Por fim, no que respeita à distância percorrida na principal viagem diária (Figura 77), 44,7% dos inquiridos declararam percorrer distâncias superiores a sete quilómetros), 29,1% indicaram deslocações de média distância (entre três e sete quilómetros) e 26,2% de curta distância (menos de três quilómetros).

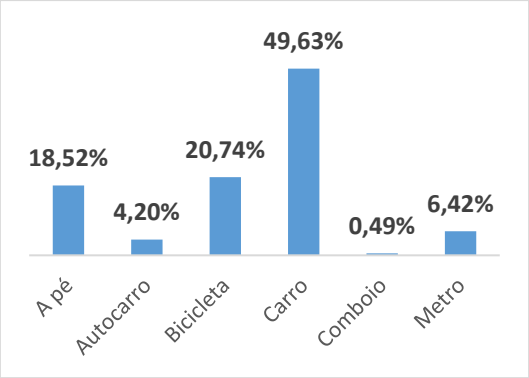


Figura 76: Modo de transporte habitual dos inquiridos.

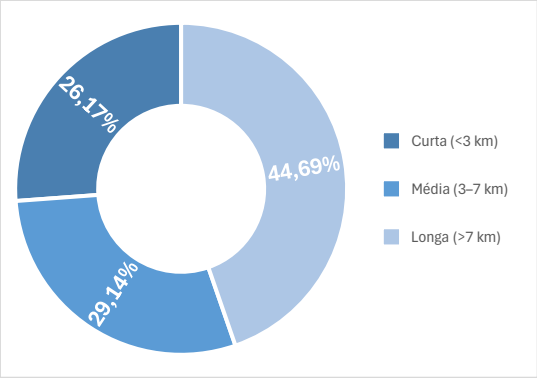


Figura 77: Distância da principal viagem diária.

4.4.3. Resultados por Indicador (Likert)

O critério Ambiente Envolvente foi avaliado através de seis indicadores relacionados com a presença de elementos naturais e comerciais ao longo dos percursos. A Tabela 9 apresenta os valores descritivos de cada indicador, incluindo medidas de tendência central e de dispersão.

Tabela 9: Resultados descritivos dos indicadores do critério Ambiente Envolvente.

Indicador	Média	Mediana	Moda	P25	P75
Existência de árvores para dar sombra	5,20	6	7	4	7
Existência de vegetação no percurso (canteiros, jardineiras, etc.) – questões estéticas	4,68	5	7	4	6
Atravessamento ou existência de áreas verdes (parques) ao longo do percurso	5,21	5	7	4	7
Existência de corpos de água (mar, rio, ribeiras...) ao longo do percurso	4,65	5	7	3	6
Existência de elementos paisagísticos relacionado com água (espelhos de água, fontes, ...) ao longo do percurso	4,58	5	7	3	6
Existência de espaços comerciais e, ou de serviços ao longo do percurso	4,35	4	4	3	6

Destacam-se, neste critério, os aspetos associados com o conforto térmico e a proximidade de áreas verdes urbanas, que foram os mais valorizados pelos inquiridos. Em contrapartida, os elementos ligados à presença de água no ambiente urbano registaram perceções mais heterogéneas, variando entre avaliações muito altas e outras de menor relevância.

Por fim, os fatores relacionados com o uso do solo, nomeadamente a presença de espaços comerciais e de serviços ao longo do percurso, surgem como dimensão de menor peso, sendo percecionados como secundários face à valorização dos elementos naturais.

O critério Infraestrutura foi avaliado através de quinze indicadores que abrangem as diversas dimensões da rede ciclável, desde as condições físicas da via até elementos de apoio ao ciclista e à continuidade do percurso. A Tabela 10 apresenta os resultados descritivos, considerando medidas de tendência central e de dispersão.

Tabela 10: Resultados descritivos dos indicadores do critério Infraestrutura.

Indicador	Média	Mediana	Moda	P25	P75
Existência de ciclovias, pistas ou faixas cicláveis	6,52	7	7	6	7
Tipo de pavimento	6,12	7	7	5	7
Declive do percurso	5,66	6	7	5	7
Número de vias de tráfego na estrada/rua	5,81	6	7	5	7
Existência de pontos para manutenção (trocar pneus, consertos rápidos...) no percurso	4,82	5	7	3	7
Existência de pontos para carregar bicicletas elétricas ao longo percurso	4,61	5	7	3	7
Existência de balneário ou local para trocar de roupa no destino	4,85	5	7	4	7
Existência de estacionamento para bicicletas no destino	6,28	7	7	6	7
Tipo de estacionamento para bicicletas (ex: rack simples, rack coberto, cacifos)	5,68	6	7	5	7
Quantidade de cruzamentos no percurso	5,38	6	7	4	7
Tipologia de cruzamentos (rotunda, semáforo, prioritários...)	5,54	6	7	5	7
Variedade de rotas alternativas entre as origens e os destinos	5,31	6	7	4	7
Existência de sinalização específica para bicicletas	5,81	6	7	5	7
Facilidade em manter a velocidade durante a viagem	5,68	6	7	5	7
Iluminação pública	6,27	7	7	6	7

De forma geral, os resultados revelam níveis de valorização elevados, com médias situadas nos patamares superiores da escala e modas frequentemente no valor máximo. Entre os aspetos mais destacados encontram-se a existência de ciclovias ou faixas cicláveis, a qualidade do pavimento, a iluminação pública e a disponibilidade de estacionamento para bicicletas no destino. Estes resultados confirmam que as condições básicas da infraestrutura são determinantes para a perceção de segurança e funcionalidade da rede ciclável.

Os indicadores relativos com declives, número de vias de tráfego e tipologia de cruzamentos registaram valores intermédios, sugerindo que, embora relevantes, têm impacto variável consoante o contexto da deslocação.

Em contraste, os indicadores relativos ao apoio específico ao ciclista, como pontos de manutenção, locais de carregamento para bicicletas elétricas ou balneários, registaram menor valorização, sendo percebidos como, embora úteis, não constituem prioridade imediata para os utilizadores.

Por fim, os indicadores ligados à continuidade e fluidez do percurso, como a variedade de rotas alternativas, a sinalização específica e a facilidade em manter a velocidade, receberam uma apreciação positiva, mas moderada, possivelmente refletindo tanto a experiência prática dos utilizadores como a expectativa de maior consistência na rede existente.

O critério Multimodalidade foi avaliado através de quatro indicadores que medem a integração entre a rede ciclável e os sistemas de transporte coletivo. A Tabela 11 apresenta os resultados descritivos.

Tabela 11: Resultados descritivos dos indicadores do critério Multimodalidade.

Indicador	Média	Mediana	Moda	P25	P75
Paragens de autocarro (embarque/desembarque dos passageiros)	5,20	5	7	4	7
Proximidade a uma estação de transporte público em relação ao percurso ciclável	5,54	6	7	5	7
Possibilidade de levar a bicicleta no metro ou autocarro	6,08	7	7	6	7
Existência de estacionamento para bicicletas junto às paragens de transporte público (autocarro, comboio e metro)	6,04	7	7	6	7

Observou-se uma valorização elevada deste critério, com medianas concentradas nos níveis superiores da escala e modas invariavelmente no valor máximo. Destacam-se os indicadores que reforçam a intermodalidade, como a possibilidade de transportar a bicicleta nos transportes públicos e a existência de estacionamento junto a paragens e estações, aspetos considerados fundamentais para a complementaridade entre modos.

Em segundo plano, surgem fatores ligados à integração espacial, como a proximidade de estações e paragens de autocarro, que, embora valorizados, não foram considerados tão determinantes quanto a garantia de intermodalidade efetiva.

O critério Qualidade Ambiental foi avaliado através de três indicadores que abordam efeitos adversos associados às condições ambientais do meio urbano. A Tabela 12 apresenta os resultados descritivos.

Tabela 12: Resultados descritivos dos indicadores do critério Qualidade Ambiental.

Indicador	Média	Mediana	Moda	P25	P75
Existência de árvores com elevados níveis de polens	3,91	4	4	2	5
Poluição proveniente do tráfego automóvel (fumo, odor...)	5,19	6	7	4	7
Ruído proveniente do tráfego automóvel	4,75	5	7	3	7

Os resultados revelam uma valorização intermédia, com perceções mais consistentes relativamente aos efeitos do tráfego automóvel, como poluição atmosférica e o ruído, identificados como os fatores mais relevantes.

Por outro lado, os elementos associados a condições naturais adversas, como a presença de pólen, receberam menor valorização, sugerindo que são vistos como menos impactantes na experiência ciclável diária.

O critério Segurança foi avaliado com base em seis indicadores relacionados com a interação entre ciclistas, veículos automóveis e fatores de risco presentes no espaço urbano. A Tabela 13 apresenta os resultados descritivos.

Tabela 13: Resultados descritivos dos indicadores do critério Segurança.

Indicador	Média	Mediana	Moda	P25	P75
Quantidade (volume) de veículos automóveis	5,92	6	7	5	7
Quantidade de veículos pesados nas correntes de tráfego	6,08	7	7	6	7
Velocidade dos veículos automóveis	6,23	7	7	6	7
Automóveis a entrar/sair de garagens de edifícios	5,43	6	7	4	7
Acidentes de viação ocorridos ao longo do percurso	5,59	6	7	5	7
Ocorrências de furtos ou roubos ao longo do percurso	5,84	7	7	5	7

Os resultados revelam uma valorização elevada, com medianas concentradas nos níveis superiores da escala. Os aspetos mais destacados foram os ligados ao tráfego automóvel, como a velocidade e a presença de veículos pesados, reconhecidos como condicionantes centrais da segurança ciclável.

Também recebeu forte valorização a dimensão da segurança pública, em particular a perceção de risco de furtos ou roubos ao longo do percurso, o que reforça a sua relevância na decisão de utilização da bicicleta.

Os indicadores relacionados com riscos de interação, como a entrada e saída de veículos em garagens ou acidentes de viação, obtiveram uma valorização mais baixa, ainda que positiva,

indicando que são percecionados como menos determinantes face aos aspetos diretamente associados ao tráfego rodoviário.

O critério Sistemas Partilhados foi avaliado através de cinco indicadores que analisam a presença e o funcionamento das estações de bicicletas partilhadas. A Tabela 14 apresenta os resultados descritivos,

Tabela 14: Resultados descritivos dos indicadores do critério Sistemas Partilhados.

Indicador	Média	Mediana	Moda	P25	P75
Existência de estação de bicicletas partilhadas junto das origens	5,52	6	7	4	7
Existência de estações de bicicletas partilhadas próximas dos destinos	5,57	6	7	5	7
Local onde a estação de bicicletas partilhadas está instalada	5,56	6	7	5	7
Facilidade em inserir/retirar a bicicleta das docas de bike sharing ou estacionamento	5,59	6	7	5	7
Disponibilidade de bicicleta e, ou lugares vagos nas estações de bike sharing	5,68	6	7	5	7

Os resultados mostram uma valorização relativamente homogénea, com medianas em níveis altos e modas no valor máximo. Destacam-se a oferta de bicicletas e a disponibilidade de lugares vagos, bem como a facilidade de utilização das infraestruturas de estacionamento, aspetos fundamentais para a eficiência do sistema.

Os fatores associados à localização das estações, tanto nas origens como dos destinos, também foram muito valorizados, embora de forma ligeiramente mais moderada, sugerindo que a perceção de eficiência operacional pesa mais do que a mera proximidade física.

O critério Sistemas Digitais foi avaliado com base em cinco indicadores relacionados com ferramentas tecnológicas de apoio ao ciclista. A Tabela 15 apresenta os resultados descritivos.

Tabela 15: Resultados descritivos dos indicadores do critério Sistemas Digitais.

Indicador	Média	Mediana	Moda	P25	P75
Existência de aplicações móveis ou plataformas digitais para planeamento de viagens de bicicleta	4,87	5	5	4	7
Plataforma/aplicação móvel gratuita para promover o uso da bicicleta	5,80	7	7	5	7
Existência de aplicações móveis (locais) para navegação em tempo real	5,31	6	7	4	7
Informações fornecidas pela aplicação móvel (ex: velocidade, distância percorrida, ganho de elevação)	5,15	5	7	4	7
Existência de painéis digitais informativos para a bicicleta ao longo do percurso/ruas	5,08	5	7	4	7

Observa-se uma valorização positiva, mas menos expressiva do que noutros critérios, refletindo perceções diferenciadas quanto à utilidade destes recursos. Os aspetos mais destacados foram os ligados a iniciativas digitais de promoção do uso da bicicleta, que receberam forte apreciação por parte dos inquiridos.

As funcionalidades de navegação e apoio em tempo real também foram valorizadas, sugerindo interesse dos utilizadores em ferramentas tecnológicas que aumentam a conveniência e a autonomia, ainda que não sejam consideradas indispensáveis.

Por sua vez, os indicadores associados ao planeamento prévio e à disponibilização de informação em painéis digitais obtiveram menor valorização, sendo percecionados como recursos complementares, com impacto mais limitado na experiência ciclável quotidiana.

De uma forma geral, a análise por indicador permitiu identificar padrões de valorização diferenciados. Os critérios da infraestrutura, segurança e multimodalidade foram os mais consistentes e fortemente valorizados, confirmando a sua centralidade na experiência ciclável. Em contrapartida, critérios complementares, como sistemas digitais e equipamentos de apoio, foram avaliados de forma mais moderada, sinalizando oportunidades de melhoria futura e de sensibilização dos utilizadores para o seu potencial contributo.

4.4.4. Importância atribuída aos critérios

Após a análise individual dos indicadores, procedeu-se à avaliação da importância relativa de cada critério de ciclabilidade. Para este efeito, as respostas ao inquérito foram tratadas com base no agrupamento das afirmações avaliadas numa escala de Likert de sete pontos.

Cada bloco de perguntas foi associado a um dos sete critérios definidos no modelo: Ambiente Envolvente (questões 1 a 6), Infraestrutura (7 a 21), Multimodalidade (22 a 25), Qualidade Ambiental (26 a 28), Segurança (29 a 34), Sistemas Digitais (35 a 39) e Sistemas Partilhados (40 a 44).

Este procedimento permitiu sintetizar num único valor a perceção dos inquiridos relativamente a cada critério, garantindo comparabilidade entre eles. O facto de cada critério resultar da média de várias afirmações explica a presença de valores intermédios (não inteiros), apesar da utilização de uma escala discreta de um até sete.

No que respeita à multimodalidade, tanto na amostra total (405 respondentes) como no grupo de ciclistas (84 respondentes), este critério destacou-se como o mais valorizado. A média foi de 6,02 na amostra global e de 6,19 entre ciclistas, com mais de metade dos inquiridos a atribuírem a pontuação máxima. Trata-se, assim, de uma dimensão consensual, colocada no topo das prioridades por todos os grupos.

Em segundo lugar surge a segurança, também com valores muito elevados. A amostra total registou uma média de 5,89, enquanto entre ciclistas este valor foi ligeiramente superior (5,98), com uma proporção mais expressiva de avaliações máximas. Estes resultados confirmam a centralidade da segurança como dimensão estruturante da ciclabilidade, aproximando-se dos níveis de valorização da multimodalidade.

O critério da infraestrutura ocupa a terceira posição na hierarquia de importância, com uma média de 5,84 na amostra global e de 5,95 entre ciclistas. Em ambos os casos, observa-se uma forte concentração nas pontuações mais altas, reforçando a relevância deste critério, ainda que ligeiramente abaixo da segurança e da multimodalidade.

Os sistemas partilhados e os sistemas digitais apresentam valores igualmente significativos, embora em patamares intermédios. Na amostra total, as médias foram de 5,61 e 5,36, respetivamente. Entre ciclistas, os valores aumentam para 5,62 e 5,83, revelando perceções mais positivas. A valorização dos sistemas partilhados é particularmente relevante, dado que o território estudado não dispõe atualmente deste serviço, sugerindo uma predisposição favorável à sua adoção futura. Já a maior valorização dos sistemas digitais por ciclistas regulares indica a utilidade acrescida que estes recursos tecnológicos oferecem a quem já utiliza a bicicleta no quotidiano.

Os critérios do ambiente envolvente e da qualidade ambiental surgem como os menos destacados, embora apresentem médias próximas ou superiores a cinco (5,06 na amostra total e 5,31 entre ciclistas para o ambiente envolvente; 4,82 e 4,94 para a qualidade ambiental). Estes resultados sugerem que aspetos paisagísticos ou ambientais são percecionados como dimensões complementares, com menor peso face a preocupações mais imediatas, como a infraestrutura, a segurança e a integração modal.

A Tabela 16 a seguir sintetiza os valores de média, mediana e moda atribuídos a cada critério pela amostra total e pelo grupo de ciclistas (utilizadores da bicicleta).

Tabela 16: Médias, medianas e modas atribuídas a cada critério.

	Média		Mediana		Moda	
	Amostra	Ciclistas	Amostra	Ciclistas	Amostra	Ciclistas
Ambiente Envolvente	5,06	5,31	5	6	7	7
Infraestrutura	5,84	5,95	6			
Multimodalidade	6,02	6,19	7	7		
Qualidade Ambiental	4,82	4,94	5	5		
Segurança	5,89	5,98	6	6,5		
Sistemas Digitais	5,36	5,83		6		
Sistemas Partilhados	5,61	5,62				

De forma transversal, todos os critérios obtiveram valores médios superiores a 4, com medianas e modas situadas entre 5 e 7, evidenciando que as diferenças relativas entre critérios são pouco expressivas.

4.4.5. Diferenças estatísticas entre grupos sociodemográficos

Com o objetivo de explorar diferenças na perceção dos critérios de ciclabilidade entre os grupos sociodemográficos, recorreu-se a testes não paramétricos, adequados à natureza ordinal das escalas de Likert e à distribuição assimétrica dos dados. Para as variáveis género e faixa etária, foi utlizado o teste de Mann-Whitney. Para as variáveis com mais de duas categorias, como a escolaridade, o rendimento mensal, a situação profissional, a distância da principal viagem diária e o propósito da deslocação, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis.

A Tabela 17 sintetiza os resultados obtidos, destacando apenas os critérios que apresentaram diferenças estatisticamente significativas, os respetivos valores de significância e os grupos que mais os valorizaram.

Tabela 17: Critérios com diferenças estatisticamente significativas segundo as variáveis sociodemográficas.

Variável	Critério(s) significativo(s)	p-valor	Grupo que mais valorizou
Género	Infraestrutura	0,001	Mulheres
	Ambiente Envolvente	0,001	
	Segurança	0,045	
	Sistemas Digitais	0,005	
Idade	Qualidade Ambiental	0,018	≥ 40 anos
	Segurança	0,021	
Escolaridade	Infraestrutura	0,019	Respondentes com Ensino básico
	Sistemas Partilhados	0,048	
Propósito da viagem	Ambiente Envolvente	0,04	Lazer / Desporto
	Qualidade Ambiental	0,028	Levar crianças à escola
Modo de transporte	Multimodalidade	0,011	Utentes de Metro / Autocarro

No que respeita ao género, observaram-se diferenças significativas em quatro critérios: infraestrutura ($p = 0,001$), ambiente envolvente ($p = 0,001$), segurança ($p = 0,045$) e sistemas digitais ($p = 0,005$). Em todos estes casos, as mulheres atribuíram valores médios mais elevados, revelando uma maior valorização destas dimensões.

No caso da infraestrutura, esta tendência poderá estar associada à importância atribuída a aspetos como a existência de ciclovias ou faixas cicláveis, a qualidade do pavimento ou a disponibilidade de estacionamento seguro. O mesmo se verificou no ambiente envolvente, onde a valorização poderá relacionar-se com elementos como a presença de áreas ou corpos de água.

Relativamente à segurança, destacam-se dimensões como a exposição ao tráfego automóvel, a sinistralidade e a perceção de risco ao longo do percurso. Por fim, também os sistemas digitais foram mais valorizados pelas mulheres, sugerindo maior interesse por recursos como aplicações móveis, informação em tempo real e outros mecanismos digitais de apoio à deslocação.

De forma geral, estes resultados sugerem que, no universo feminino da amostra, a ciclabilidade é particularmente influenciada por condições físicas de suporte e enquadramento urbano, bem como por garantias de segurança e ferramentas tecnológicas que aumentem o conforto e a confiança no uso da bicicleta.

Relativamente à idade, registaram-se diferenças estatisticamente significativas nos critérios qualidade ambiental ($p = 0,018$) e segurança ($p = 0,021$). Os inquiridos com 40 ou mais anos atribuíram maior importância à qualidade ambiental, valorizando fatores como a poluição do ar e o ruído, que afetam diretamente o conforto do percurso.

Também no critério da segurança se observaram valores mais elevados neste grupo etário, evidenciando uma preocupação acrescida com aspetos como a exposição ao tráfego, o risco de acidentes e outros fatores de vulnerabilidade no espaço urbano.

Em termos gerais, estes resultados sugerem que os inquiridos mais velhos apresentam uma sensibilidade mais acentuada a dimensões ambientais e de proteção pessoal, o que poderá refletir maior prudência e exigência relativamente às condições de deslocação em bicicleta.

No caso da escolaridade, registaram-se diferenças estatisticamente significativas nos critérios infraestrutura ($p = 0,019$) e sistemas partilhados ($p = 0,048$). Os respondentes com ensino básico foram os que mais valorizam estes critérios, possivelmente por reconhecerem a relevância de condições físicas adequadas, como estacionamento seguro ou segregação da via, e o potencial

dos sistemas partilhados para ampliar as opções de mobilidade. Apesar de inexistentes no concelho, esta valorização poderá indicar uma predisposição favorável para a adoção futura destes serviços. Participantes com pós-graduação surgem de seguida, enquanto os com ensino secundário e licenciatura apresentaram níveis de importância ligeiramente inferiores.

Quanto ao propósito da principal viagem diária, identificaram-se diferenças estatisticamente significativas nos critérios ambiente envolvente ($p = 0,040$) e qualidade ambiental ($p = 0,028$). As viagens de lazer e desporto apresentaram uma maior valorização de elementos como a presença de áreas verdes, corpos de água e enquadramento paisagístico. Já as viagens pendulares (trabalho/escola), que representam a maioria da amostra, mostraram menor sensibilidade a estes critérios. No caso das deslocações para levar crianças à escola, a qualidade ambiental foi especialmente valorizada, refletindo uma preocupação com a salubridade e o conforto em viagens realizadas em contexto familiar.

No que diz respeito ao modo de transporte habitual, verificou-se um efeito estatisticamente significativo no critério Multimodalidade ($p = 0,011$). Os utilizadores de metro e de autocarro foram os que mais valorizaram este critério, salientando aspetos como a ligação aos terminais de transporte coletivo e a existência de estacionamento para bicicletas em paragens e estações. Os utilizadores de bicicleta também atribuíram importância elevada à integração modal, ao passo que os automobilistas frequentes apresentaram os valores mais baixos, sugerindo uma perceção menos favorável do benefício da articulação com outros modos de transporte.

Por último, não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas para as variáveis: situação profissional, rendimento mensal e distância da principal viagem diária. No caso da distância, este resultado poderá estar relacionado com a configuração territorial da Póvoa de Varzim, cuja mancha urbana apresenta dimensões relativamente reduzidas, sendo a maior distância em linha reta entre dois pontos extremos cerca de 4,5 km. Esta característica tende a atenuar variações de perceção entre grupos, reduzindo o impacto da distância na avaliação dos critérios de ciclabilidade.

4.5. LIMITAÇÕES ESPECÍFICAS DO ESTUDO DE CASO

A natureza holística da metodologia adotada implicou a utilização de um número relativamente elevado de indicadores, com o objetivo de captar múltiplas dimensões de análise de cada critério de avaliação da ciclabilidade. No entanto, essa abrangência trouxe consigo desafios relevantes. O

volume de indicadores exigiu um esforço substancial na recolha e tratamento dos dados, tornando o levantamento de campo um processo moroso e exaustivo. Além disso, em determinadas situações, a quantidade de indicadores não se traduziu em diferenças significativas no resultado final do IC, levantando questões sobre a relação custo-benefício da sua inclusão.

A disponibilidade de dados constituiu outra limitação importante. Apesar de terem sido utilizadas plataformas de dados abertos e fontes públicas, nem sempre foi possível obter informação para todos os subcritérios definidos. Tal ocorreu, por exemplo, nos indicadores relacionados com a criminalidade e a poluição atmosférica. Nestes casos, optou-se pela utilização de proxies, obtidos a partir da combinação de outros indicadores, conforme descrito nas fichas técnicas incluídas no Anexo F. Esta solução, ainda que metodologicamente válida, pode introduzir algum enviesamento, devendo ser reconhecida como uma limitação do estudo.

Durante o desenvolvimento da investigação, registaram-se alterações na configuração da rede viária da área de estudo, nomeadamente a implementação de um novo troço na zona nordeste, entre o Lago da Pedreira e o Parque da Cidade. Apesar de ter sido definida claramente a configuração considerada para o caso de estudo, considera-se relevante assinalar esta alteração, já que poderia ter impacto na definição dos eixos e, consequentemente, nos resultados do Índice de Ciclabilidade. Assim, futuras análises deverão incluir este novo troço, com atualização e complementação do levantamento realizado.

Relativamente ao método de Análise Hierárquica de Processos (AHP), surgiram limitações associadas ao contexto pandémico, que obrigou à realização de contactos e explicações exclusivamente à distância (online). Tal poderá ter condicionado a clareza da transmissão das instruções e o envolvimento dos participantes. Além disso, alguns julgamentos apresentaram índices de consistência superiores ao limite recomendado ($\leq 0{,}1$). Esta situação foi mitigada através da agregação dos julgamentos individuais utilizando a média geométrica, técnica que reduz o impacto de julgamentos (valores) extremos. Embora tenha garantido a robustez dos resultados, o ideal seria que todos os julgamentos se situassem dentro do limite estipulado.

Por fim, no caso de estudo da cidade da Póvoa, é importante salientar que, apesar das condições potencialmente favoráveis ao uso da bicicleta (*e.g.*, clima ameno, a quota da bicicleta na repartição modal e o interesse do executivo municipal em promover a mobilidade ativa e a sustentabilidade), a ausência de sistemas de bicicletas partilhadas e soluções digitais constituiu uma limitação relevante. Estes fatores tiveram um impacto negativo na pontuação atribuída à ciclabilidade em

todos os níveis de análise (segmento, eixo e rede). Contudo, esta limitação inerente às características locais também evidencia um potencial de melhoria, passível de ser explorado de forma rápida e direcionada, conforme detalhado na Secção 4.8.7, dedicada à avaliação global e às diretrizes estratégicas para os eixos definidos.

4.6. VALIDAÇÃO DO ÍNDICE

A validação de um índice de avaliação urbana é uma etapa fundamental para assegurar a sua robustez metodológica e a sua fiabilidade enquanto instrumento de análise e apoio à decisão. Neste caso, o processo de validação do Índice de Ciclabilidade consistiu em verificar a sua capacidade de refletir de forma consistente a realidade observada no território, estabelecendo uma correlação entre os valores obtidos para o índice e os fluxos reais de utilização da bicicleta.

A análise baseou-se na comparação entre os valores do Índice de Ciclabilidade e os volumes médios horários de bicicletas registados em diferentes pontos da área de estudo, que foram obtidos a partir de contagens de tráfego desenvolvidas por (Gonçalves, 2022).

A Figura 78 apresenta a localização dos postos de contagem, evidenciando uma cobertura territorial alargada e suficientemente representativa da rede viária principal. Importa salientar que a maioria dos postos se encontra localizada em eixos que intersectam ou acompanham a rede ciclável formal da cidade, assegurando a comparabilidade entre os valores observados e os resultados do índice.

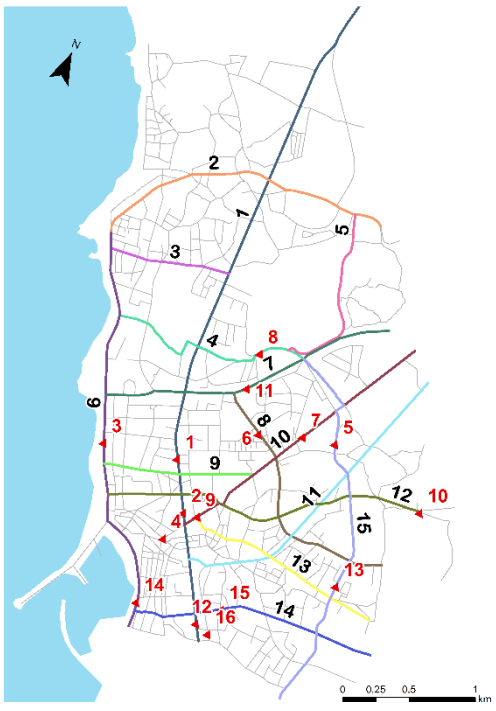


Figura 78: Localização dos postos de contagem de bicicletas na área de estudo.

Os valores registados para cada posto, incluindo volumes médios horários e os índices correspondentes, encontram-se sintetizados na Tabela 18.

Tabela 18: Postos de contagem, volumes médios horários e valores do Índice de Ciclabilidade.

Posto	Toponímia	bicicletas/hora	Valor do Índice
1	Rua de Penalves	8	0,345
2	Avenida do Mar	7	0,330
3	Rua D. Maria I	11	0,424
4	Rua Cidade do Porto	3	0,370
5	N13 – Rua Gomes de Amorim	11	0,416
6	N13 – Rua Gomes de Amorim	17	0,411
7	Rua da Caverneira	13	0,508
8	Avenida dos Banhos	28	0,620
9	N205	4	0,307
10	Av. 25 de Abril	18	0,410
11	Rua Eng. Ezequiel Campos	6	0,388
12	N13 – Rua Gomes de Amorim	16	0,415
13	Rua Manuel Silva	24	0,432
14	Av. 25 de Abril	21	0,415
15	Rua Padre José Amorim	8	0,297
16	Rua São Brás	7	0,267

A leitura espacial dos resultados permite identificar padrões claros de associação entre o índice e a estrutura ciclável existente.

- Eixos litorais e centrais: Os postos localizados na Avenida dos Banhos (8) e na Avenida 25 de Abril (10 e 14) destacam-se pelos volumes mais elevados de bicicletas e pelos índices mais consistentes, o que se explica pela sua integração na faixa ciclável costeira, de elevada continuidade e atratividade.
- Corredores estruturantes rodoviários: A N13 – Rua Gomes de Amorim (5, 6 e 12) regista também valores relevantes, refletindo a importância deste eixo viário, parcialmente dotado de infraestrutura ciclável e de caráter estruturante no sistema urbano.
- Áreas periféricas: Em contrapartida, postos localizados em zonas menos centrais, como a N205 (9), a Rua de Penalves (1), a Rua Padre José Amorim (15) e a Rua São Brás (16), registam volumes de tráfego ciclável muito reduzidos, acompanhados por valores baixos do índice. Este resultado está em linha com a ausência de ligação direta a corredores cicláveis contínuos, bem como com a menor densidade funcional destas áreas.

No conjunto, observa-se que os corredores centrais e litorais concentram a maior parte dos pontos com expressão significativa, enquanto as áreas secundárias, sobretudo a nascente e a sul,

apresentam valores inferiores. Esta diferenciação espacial reforça a capacidade do Índice de Ciclabilidade para distinguir entre contextos de maior e menor aptidão ciclável.

É ainda de destacar a heterogeneidade observada ao longo da própria N13 – Rua Gomes de Amorim, onde coexistem postos com índices e volumes consistentes (5, 6 e 12) e outros menos expressivos, o que reflete a descontinuidade parcial da infraestrutura e a diversidade de condições locais.

A validação estatística foi conduzida por meio de regressão linear simples entre o Índice de Ciclabilidade e os volumes médios horários de bicicletas. O modelo revelou uma correlação positiva e estatisticamente significativa ($R = 0{,}748$; $R^2 = 0{,}560$), indicando que mais de metade da variabilidade do índice pode ser explicada pelo fluxo real de bicicletas.

A Tabela 19 apresenta os coeficientes do modelo, onde se observa uma constante do modelo de 0,288 e um coeficiente positivo para a variável independente ($\beta = 0{,}0086$; $p < 0{,}001$), confirmando que o aumento no volume de bicicletas está associado a incrementos consistentes e proporcionais no valor do índice.

Tabela 19: Coeficientes da regressão linear entre o Índice de Ciclabilidade e o volume de bicicletas.

Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p
Constante do modelo	0,28845	0,02962	9,74	<.001
Bicicletas/hora	0,00861	0,00204	4,22	<.001

O gráfico de dispersão entre o Índice de Ciclabilidade (IC) e o volume de bicicletas (Figura 79) mostra de forma clara esta relação positiva, permitindo visualizar a tendência linear entre as duas variáveis.

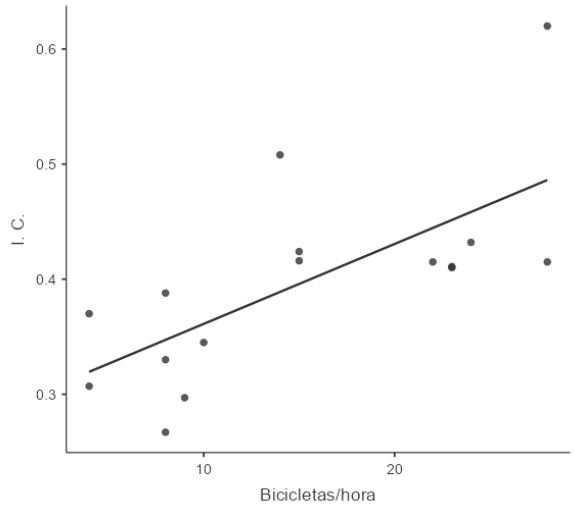


Figura 79: Relação entre o Índice de Ciclabilidade e o volume de bicicletas.

Em síntese, os resultados obtidos confirmam a validade e fiabilidade do Índice de Ciclabilidade como indicador da aptidão ciclável de redes urbanas. Para além da consistência estatística, a análise espacial demonstrou que os valores mais elevados do índice coincidem com os eixos centrais e infraestruturados da rede, enquanto os valores mais baixos ocorrem em áreas periféricas e desprovidas de continuidade ciclável.

A utilização de indicadores validados empiricamente constitui uma mais-valia para o planeamento urbano (Greenstein, 2015; Manum et al., 2017; Winters et al., 2016), permitindo avaliar com maior rigor o desempenho das redes cicláveis e orientar intervenções futuras. Neste sentido, o Índice de Ciclabilidade revela-se um instrumento robusto, com potencial de aplicação prática na gestão e promoção da mobilidade ativa em contexto urbano.

4.7. RESULTADOS DO ÍNDICE DE CICLABILIDADE PARA A REDE DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos para os sete critérios que compõem o Índice de Ciclabilidade, considerando a rede urbana da área de estudo. Para contextualizar a análise, são apresentadas duas tabelas que sintetizam as principais estatísticas descritivas de cada critério, distinguindo os valores normalizados (Tabela 20) dos valores ponderados (Tabela 21), fornecendo uma visão global da distribuição dos resultados antes da análise detalhada em cada subsecção.

Tabela 20: Estatísticas descritivas dos valores normalizados dos critérios para a rede.

	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Segurança	0,2278	0,967	0,5989	0,6067	0,1050
Infraestrutura	0,0944	0,5913	0,2875	0,2755	0,0807
Ambiente Envolvente	0	0,9375	0,1401	0,0625	0,1635
Multimodalidade	0	0,6667	0,0815	0	0,1550
Qualidade Ambiental	0,0625	1	0,8084	0,93	0,1905
Sistemas Partilhados	-	-	-	-	-
Sistemas Digitais	0,25	0,5	0,2680	0,25	0,0646

Os critérios Segurança e Qualidade Ambiental apresentam as médias mais elevadas nos valores normalizados (0,5989 e 0,8084, respetivamente), evidenciando um bom desempenho da rede nos aspetos associados à proteção do utilizador e às condições ambientais. A Multimodalidade e os Sistemas Digitais apresentam valores médios mais reduzidos (0,1401 e 0,2680), sugerindo uma fraca expressão destes elementos na ciclabilidade da rede analisada. A Infraestrutura (0,2875) e o Ambiente Envolvente (0,1401) apresentam desempenhos mais modestos, revelando limitações na qualidade física das infraestruturas e na integração urbanística dos percursos.

A análise da variabilidade (desvio padrão) revela que o Ambiente Envolvente (0,1635) e a Qualidade Ambiental (0,1905) têm maior dispersão interna, indicando discrepâncias significativas entre segmentos. Em contraste, os Sistemas Digitais registam a menor dispersão (0,0646), sugerindo uma maior homogeneidade, ainda que com valores absolutos baixos. A Infraestrutura (0,0807) e a Multimodalidade (0,1550) apresentam variabilidade intermédia, compatível com a heterogeneidade física e funcional dos percursos existentes.

Tabela 21: Estatísticas descritivas dos valores ponderados dos critérios para a rede.

	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Segurança	0,0335	0,2888	0,1774	0,1829	0,0351
Infraestrutura	0,0209	0,1715	0,0724	0,0678	0,0253
Ambiente Envolvente	0	0,0984	0,0182	0,0086	0,0186
Multimodalidade	0	0,0736	0,0092	0	0,0172
Qualidade Ambiental	0,0073	0,097	0,0789	0,0898	0,0175
Sistemas Partilhados	-	-	-	-	-
Sistemas Digitais	0,0108	0,0261	0,0119	0,0108	0,0039

Nos valores ponderados, mantém-se a tendência: Segurança (0,1774) e Qualidade Ambiental (0,0974) são os principais contributos para o índice final, seguidos da Infraestrutura (0,0724) e Ambiente Envolvente (0,0182). Os critérios da Multimodalidade (0,0292) e Sistemas Digitais (0,0119) permanecem com expressão reduzida, refletindo os pesos atribuídos pela AHP como a baixa presença destes fatores na rede.

A ausência de serviços de bicicletas partilhadas na área de estudo impede a obtenção de resultados para o critério dos Sistemas Partilhados, evidenciando uma fragilidade estrutural da rede e um potencial de melhoria através da implementação de políticas públicas que incentivem este tipo de serviço. Por outro lado, este facto é particularmente relevante no contexto da análise global da ciclabilidade, dado que a presença de sistemas partilhados constitui um critério emergente.

Esta análise preliminar confirma que a Segurança, a Qualidade Ambiental e a Infraestrutura são consideradas os pilares do desempenho de uma rede ciclável. Em contrapartida, a Multimodalidade e os Sistemas Digitais apresentam valores absolutos mais baixos, carecendo de maior desenvolvimento para potenciar a mobilidade ciclável. Nas seções seguintes, é apresentada a análise detalhada dos resultados de cada critério, recorrendo a boxplots, mapas temáticos e à distribuição do comprimento da rede por classes de valor, permitindo compreender diferenças de desempenho da ciclabilidade da rede de forma segmentada.

4.7.1. Segurança

O critério da Segurança apresenta valores normalizados que variam entre 0,2278 e 0,9670, com média de 0,5989 e mediana de 0,6067. O boxplot da Figura 80 confirma esta tendência. A mediana encontra-se numa faixa intermédia-alta, indicando que mais de metade dos segmentos apresenta desempenho satisfatório. Contudo, existem valores extremos, inferiores e superiores, que evidenciam uma rede heterogénea e a presença de segmentos com níveis de segurança bastante discrepantes.

Nos valores ponderados, observa-se uma redução significativa na escala e na variabilidade, com média de 0,1774 e mediana de 0,1829. Como seria expectável, a distribuição é menos dispersa, embora ainda com alguns valores extremos inferiores. A aplicação dos pesos definidos pela AHP resulta numa escala comprimida.

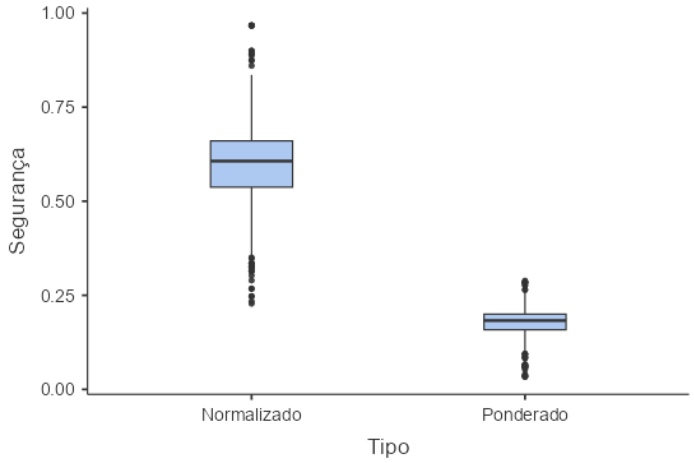


Figura 80: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Segurança (boxplot).

A representação espacial dos valores normalizados do critério (Figura 81) mostra uma distribuição heterogénea ao longo da rede ciclável. Predominam segmentos nas classes moderada (0,41–0,60) e elevada (0,61–0,80), visíveis em várias áreas da malha urbana central da cidade. Os segmentos com desempenho muito elevado (0,81–1,00), representados em azul-escuro, apesar de dispersos permitem destacar um conjunto com alguma proximidade e coerência, enquanto os de baixo desempenho (0,21–0,40) ocorrem de forma pontual e algo isolado que corresponde sobretudo a troços da N13.

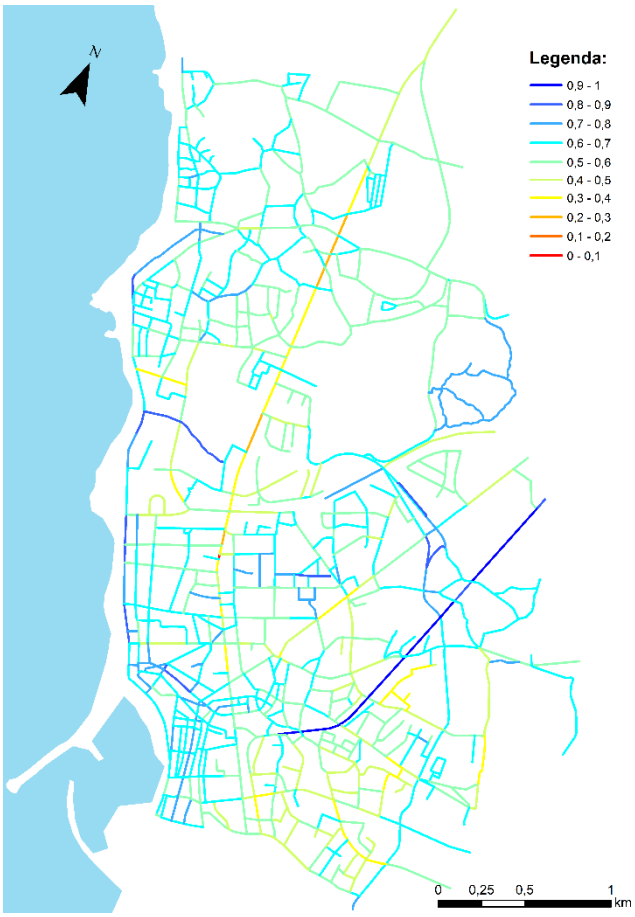


Figura 81:Representação dos valores normalizados do critério Segurança para a rede.

A Tabela 22 mostra que mais de 70 % da extensão total da rede está concentrada nas classes 0,51–0,60 (34,33 %) e 0,61–0,70 (37,50 %), confirmando a predominância de níveis intermédios de desempenho. A classe 0,41–0,50 representa 11,71 % da rede, enquanto as classes mais elevadas (0,81–1,00) correspondem apenas a 3,91 % da extensão total. Segmentos com valores inferiores a 0,40 são minoritários (4,73 %), mas merecem atenção para intervenções específicas.

Tabela 22: Rácio do comprimento da rede por classes de valor normalizado do critério Segurança.

Classe	%	Comprimento (m)
0,00 - 0,10	-	-
0,11 - 0,20	-	-
0,21 - 0,30	0,70%	834,15
0,31 - 0,40	4,03%	4.790,48
0,41 - 0,50	11,71%	13.934,34
0,51 - 0,60	34,33%	40.859,54
0,61 - 0,70	37,50%	44.630,97
0,71 - 0,80	7,82%	9.310,39
0,81 - 0,90	2,31%	2.750,29
0,91 - 1,00	1,60%	1.907,32

4.7.2. Infraestrutura

O critério Infraestrutura apresenta valores normalizados entre 0,0944 e 0,5913, com média de 0,2875 e mediana de 0,2755. A amplitude é considerável, indicando a existência de segmentos com condições físicas bastante distintas para a circulação ciclável.

O boxplot (Figura 82) evidencia que a mediana está próxima da média, com a maior parte dos valores concentrada nas classes mais baixas da escala. Existem alguns valores extremos superiores, que correspondem a segmentos com melhor desempenho, mas constituem exceções dentro da rede. De forma geral, o padrão observado confirma que a qualidade da infraestrutura é reduzida na maior parte dos segmentos analisados.

Na versão ponderada, a escala dos valores diminui de forma expressiva. A média passa para 0,0724 e a mediana para 0,0678, com distribuição menos dispersa e presença de alguns valores extremos superiores, que irá resultar numa representação mais equilibrada e homogénea deste critério ao longo da rede.

Assim, apesar do peso significativo atribuído pela AHP ao critério da infraestrutura o índice de ciclabilidade, é desde logo evidente a contribuição negativa deste critério para o desempenho da rede analisada, da contribuição da infraestrutura para.

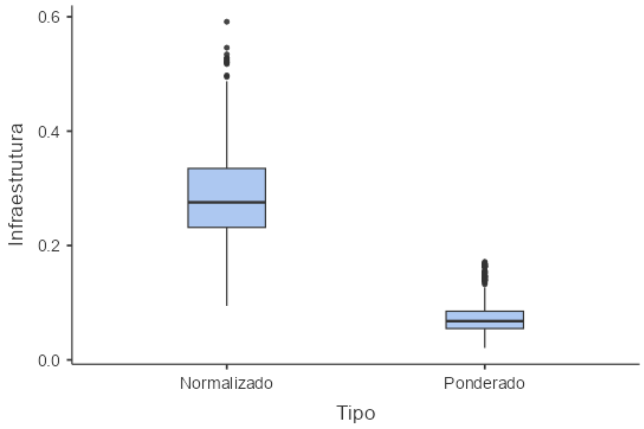


Figura 82: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Infraestrutura (boxplot).

A representação espacial dos valores normalizados (Figura 83) mostra que a maioria dos segmentos da rede se concentra nas classes mais baixas (0,11–0,40), com destaque para as faixas 0,21–0,30 (47,77 %) e 0,31–0,40 (26,60 %). Segmentos com valores superiores 0,4 são minoritários e surgem de forma pontual na malha urbana.

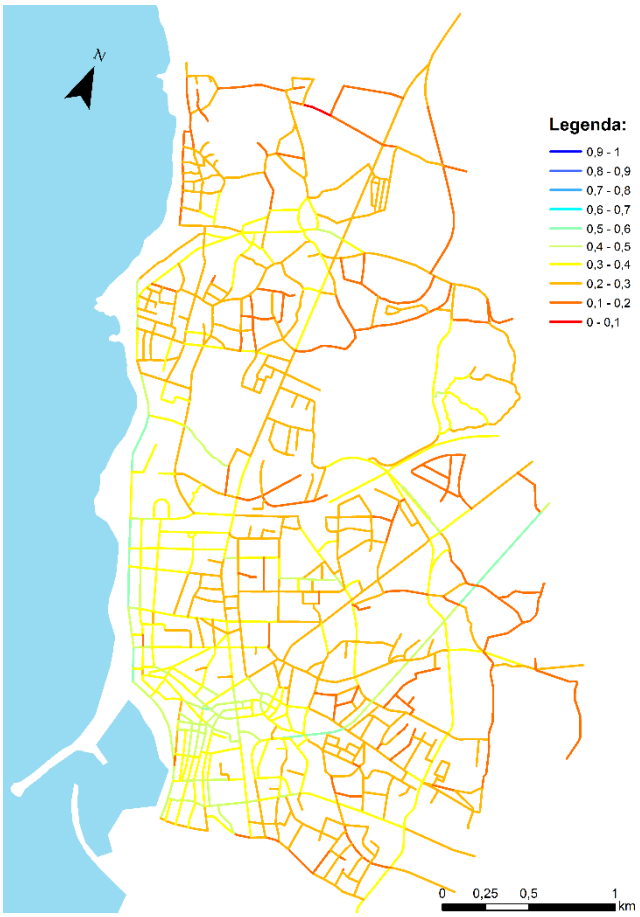


Figura 83: Representação dos valores normalizados do critério Infraestrutura para a rede.

A Tabela 23 confirma que segmentos com infraestrutura de melhor qualidade são pouco representativos, sendo residuais nas classes 0,51–0,60 (1,84 %) e 0,41–0,50 (7,82 %). A análise por zonas mostra que valores mais elevados ocorrem de forma isolada, sem concentração clara, enquanto a maior parte da rede permanece nas classes inferiores. Este padrão evidencia uma margem significativa de melhoria da infraestrutura ciclável.

Tabela 23: Rácio do comprimento da rede por classes de valor normalizado do critério Infraestrutura.

Classe	%	Comprimento (m)
0,00 - 0,10	0,15%	172,81
0,11 - 0,20	15,82%	18.826,92
0,21 - 0,30	47,77%	56.852,81
0,31 - 0,40	26,60%	31.658,69
0,41 - 0,50	7,82%	9.310,88
0,51 - 0,60	1,84%	2.195,38
0,61 - 0,70	-	-
0,71 - 0,80	-	-
0,81 - 0,90	-	-
0,91 - 1,00	-	-

4.7.3. Ambiente Envolvente

O critério Ambiente Envolvente apresenta valores normalizados entre 0,0 e 0,9375, com média de 0,1401 e mediana de 0,0625, posicionando-se predominantemente nas faixas baixa e muito baixa. A amplitude revela uma elevada disparidade entre os segmentos, com a presença de trechos que alcançam valores significativamente mais altos, traduzindo desde logo a heterogeneidade própria do território da área de estudo.

O boxplot (Figura 84) confirma esta tendência. No diagrama de valores normalizados, observa-se que a mediana se encontra na faixa baixa da "box" do diagrama, indicando que a maioria dos segmentos apresenta valores reduzidos para este critério. A dispersão é ampla e inclui diversos valores extremos superiores, que representam exceções positivas em relação ao padrão geral da rede.

Na versão ponderada, a distribuição apresenta valores ainda mais baixos e concentrados. A mediana desloca-se para próximo do limite inferior da escala, e a amplitude interquartil reduz-se de forma expressiva. Embora persistam alguns valores extremos, a sua influência é mitigada, demonstrando que a ponderação suaviza o impacto de segmentos com melhores condições ambientais.

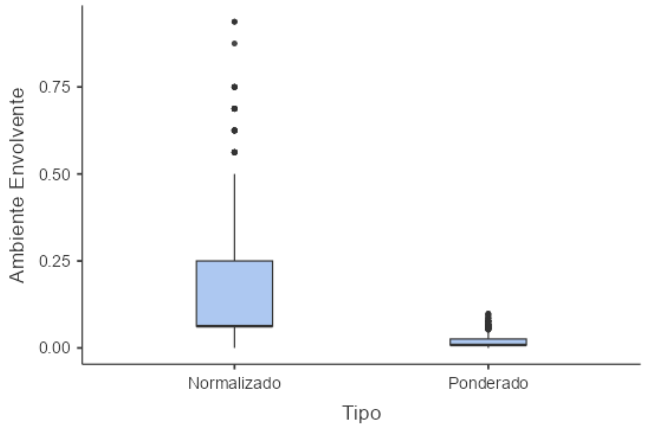


Figura 84: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Ambiente Envolvente (boxplot).

A representação espacial dos valores normalizados (Figura 85) mostra que a maior parte da rede se concentra nas classes mais baixas (entre 0,00 e 0,20). Os segmentos com valores mais elevados ocorrem de forma pontual, com maior incidência na faixa litoral, onde se observa um ambiente envolvente relativamente mais favorável. No entanto, estes casos são isolados e não configuram um padrão contínuo em toda essa extensão.

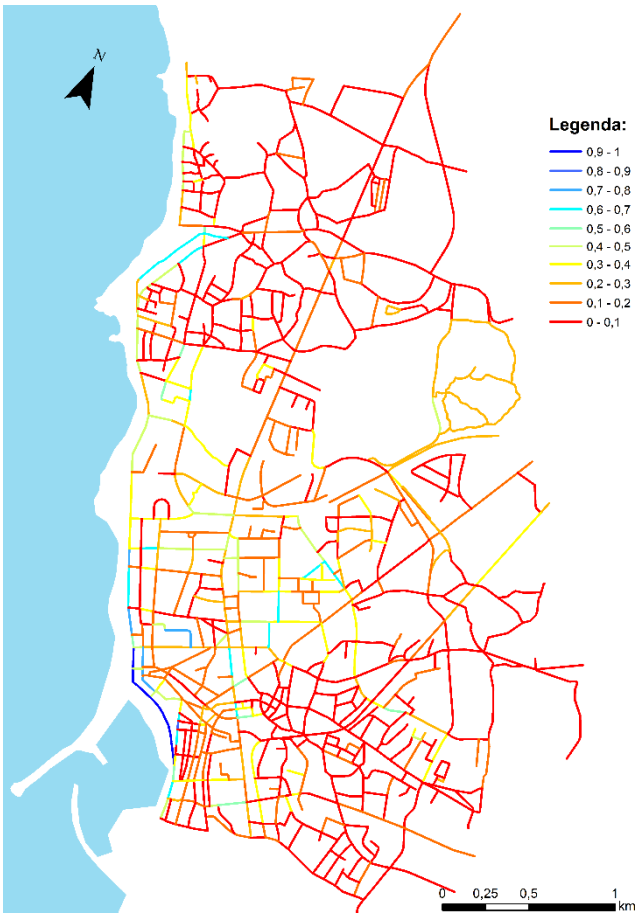


Figura 85: Representação dos valores normalizados do critério Ambiente Envolvente para a rede.

A Tabela 24 reforça esta leitura, mostrando que mais de 74 % da extensão total se encontra nas classes 0,00–0,10 (52,25 %) e 0,11–0,20 (21,96 %), enquanto apenas 11,10 % atinge a faixa 0,31–0,50. As classes acima de 0,51 representam menos de 4 % do total, confirmando que condições do ambiente envolvente mais favoráveis são raras e distribuídas de forma esparsa. Estes resultados evidenciam que este critério apresenta valores globalmente baixos que se traduz num forte potencial de melhoria para a maioria dos segmentos da rede ciclável.

Tabela 24: Rácio do comprimento da rede por classes de valor normalizado do critério Ambiente Envolvente.

EIXO	%	Comprimento (m)
0,00 - 0,10	52,25%	62.192,34
0,11 - 0,20	21,96%	26.132,52
0,21 - 0,30	10,56%	12.572,82
0,31 - 0,40	7,46%	8.875,07
0,41 - 0,50	3,64%	4.336,96
0,51 - 0,60	0,76%	898,66
0,61 - 0,70	2,02%	2.404,26
0,71 - 0,80	0,66%	788,53
0,81 - 0,90	0,04%	51,43
0,91 - 1,00	0,64%	764,89

4.7.4. Multimodalidade

O critério Multimodalidade apresenta valores normalizados entre 0 e 0,6667, com média de 0,0815 e mediana muito próxima de zero, revelando uma expressão muito reduzida na rede ciclável. A distribuição é assimétrica, com grande concentração de valores no limite inferior da escala, o que demonstra a escassez de oportunidades de articulação com outros modos de transporte.

O boxplot (Figura 86) confirma esta concentração de valores nulos ou muito baixos. A amplitude é relativamente pequena, com poucos segmentos a atingir valores superiores a 0,40, os quais correspondem a segmentos pontuais de integração mais efetiva entre modos.

Na versão dos valores ponderados, a média reduz-se para 0,0092 e a mediana mantém-se em 0,0, reforçando o carácter pouco significativo do critério no índice global de ciclabilidade. A distribuição apresenta-se ainda mais compacta e homogénea, com mínima dispersão.

A representação espacial dos valores normalizados (Figura 87) evidencia a predominância de segmentos sem qualquer integração multimodal (classes entre 0,00–0,20 (91,3 %)). Os troços com valores mais altos encontram-se junto a interfaces de transporte coletivo, como estações de metro ou paragens de autocarro, mas são casos isolados e com baixa expressão no conjunto da rede.

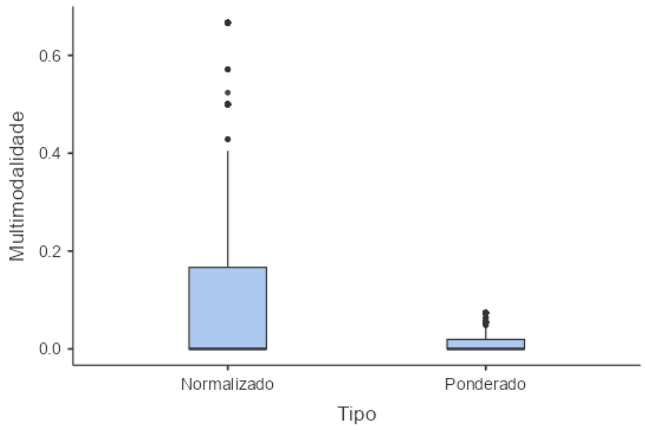


Figura 86: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Multimodalidade (boxplot).

A Tabela 25 confirma esta leitura com apenas cerca de 9 % da extensão total da rede a apresentar valores acima de 0,20. Este padrão demonstra que a rede ciclável carece de integração funcional mais robusta com outros modos de transporte, aspeto essencial para promover a intermodalidade e ampliar o alcance das deslocações de bicicleta.

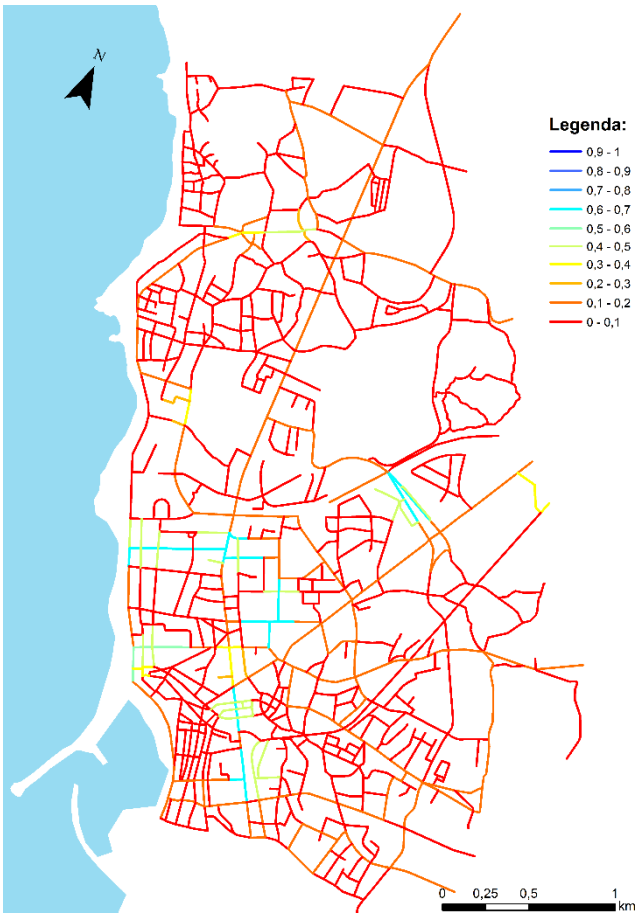


Figura 87:Representação dos valores normalizados do critério Multimodalidade para a rede.

Tabela 25: Rácio do comprimento da rede por classes de valor normalizado do critério Multimodalidade.

EIXO	%	Comprimento (m)
0,00 - 0,10	67,78%	80.666,69
0,11 - 0,20	23,49%	27.955,63
0,21 - 0,30	0,62%	741,24
0,31 - 0,40	1,19%	1.410,66
0,41 - 0,50	3,71%	4.413,03
0,51 - 0,60	0,45%	534,73
0,61 - 0,70	2,77%	3.295,50
0,71 - 0,80	-	-
0,81 - 0,90	-	-
0,91 - 1,00	-	-

4.7.5. Qualidade Ambiental

Na versão normalizada, o boxplot da Figura 88 mostra que a mediana se situa numa faixa muito elevada (próxima de 0,93). Isto indica que uma parte significativa da rede apresenta condições ambientais favoráveis para a circulação ciclável. Contudo, observam-se valores extremos inferiores e uma dispersão considerável, indicando a existência de segmentos com qualidade ambiental distinta.

Na versão ponderada, a mediana reduz-se substancialmente, refletindo o efeito dos pesos definidos pelo AHP. A distribuição concentra-se em valores mais baixos, embora persistam alguns outliers que mantêm desempenhos ambientais relativamente altos. Este resultado confirma que a ponderação atenua o impacto dos troços com melhores condições ambientais no índice final, aproximando a distribuição para valores mais modestos.

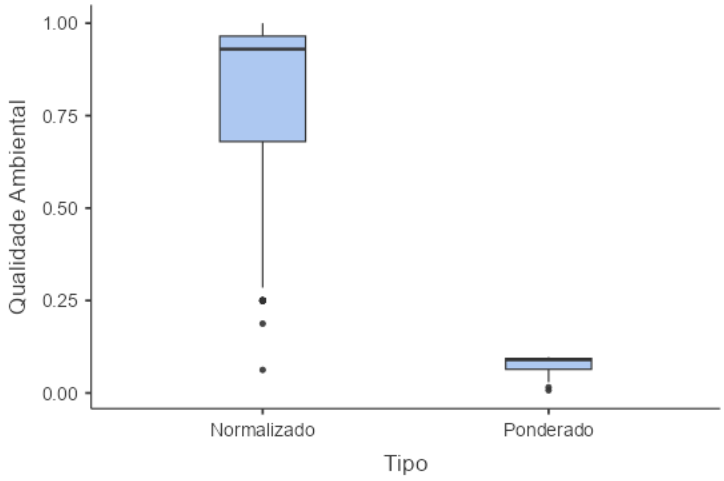


Figura 88: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do critério Qualidade Ambiental (boxplot).

A representação espacial dos valores normalizados (Figura 89) confirma a predominância de segmentos classificados na faixa 0,91–1,00, que representam 51,65 % da extensão total (Tabela 26). Este grupo corresponde à maior parte da rede com melhor desempenho ambiental, localizado principalmente em zonas periféricas e em trechos mais afastados das áreas centrais.

As classes 0,61–0,80 (15,27 %) e 0,51–0,60 (11,01 %) também representam uma proporção expressiva de segmentos (Tabela 26), reforçando que uma boa parte da rede oferece condições ambientais positivas. Por outro lado, os segmentos com classificação entre 0,00–0,40 representam menos de 7 % da extensão total da rede e surgem dispersos, sobretudo em áreas

centrais e eixos de maior densidade urbana, onde a coexistência com tráfego motorizado e a escassez de espaços verdes tendem a reduzir a qualidade ambiental.

No geral, os resultados indicam que a rede ciclável da área de estudo apresenta um desempenho ambiental globalmente favorável, com mais de dois terços da sua extensão classificados em faixas elevadas ou muito elevadas.

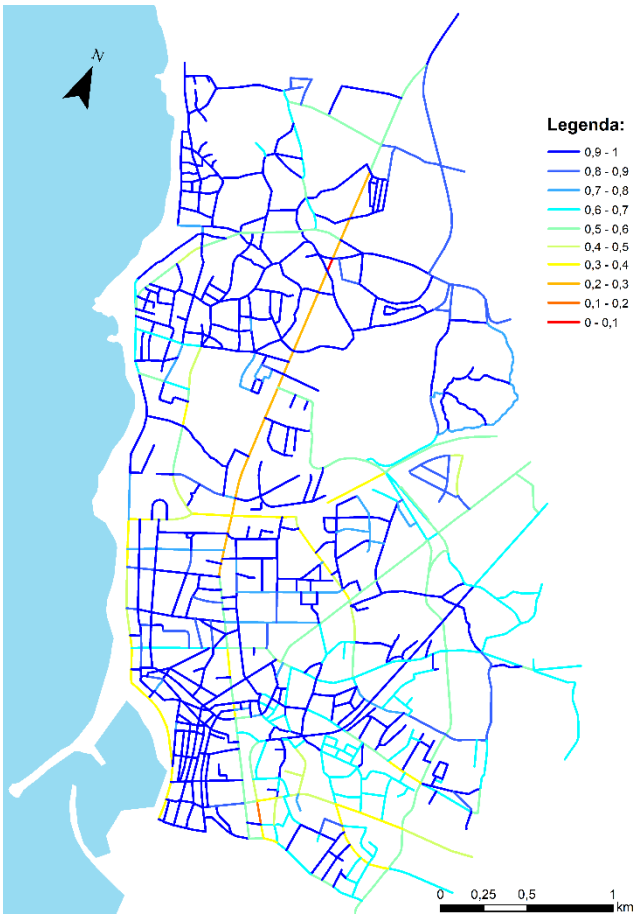


Figura 89: Representação dos valores normalizados do critério Qualidade Ambiental para a rede.

Tabela 26: Rácio do comprimento da rede por classes de valor normalizado do critério Qualidade Ambiental.

EIXO	%	extensão (m)
0,00 - 0,10	0,07%	80,21
0,11 - 0,20	0,12%	138,99
0,21 - 0,30	2,05%	2.436,62
0,31 - 0,40	4,04%	4.810,80
0,41 - 0,50	2,99%	3.557,61
0,51 - 0,60	11,01%	13.100,50
0,61 - 0,70	15,27%	18.176,58
0,71 - 0,80	5,10%	6.066,95
0,81 - 0,90	7,71%	9.172,85
0,91 - 1,00	51,65%	61.476,37

4.7.6. Sistemas Digitais

O critério dos Sistemas Digitais apresenta um comportamento distinto dos restantes, refletindo a reduzida presença e disponibilidade de recursos digitais na rede ciclável analisada. Na versão de valores normalizado, 93,73 % da extensão total da rede encontra-se na classe 0,11–0,20, enquanto apenas 6,27 % se situam na classe 0,31–0,40 (Tabela 27). Não existem segmentos classificados em classes superiores, o que confirma a baixa presença de tecnologias de apoio ao utilizador, como sistemas de informação em tempo real ou ferramentas digitais para planeamento de viagens e navegação.

O boxplot referente a este critério não oferece informação adicional relevante, dado que os valores apresentam uma distribuição muito concentrada nas classes mais baixas. A mediana mantém-se estável e apenas alguns *outliers* registam pontuações ligeiramente superiores.

A análise espacial (Figura 90) confirma a dispersão dos poucos segmentos com valores mais elevados, que surgem isolados na malha urbana. Estes troços não formam padrões/eixos contínuos e têm influência pouco significativa no resultado global do IC.

De modo geral, o critério dos Sistemas Digitais tem um impacto residual na composição do Índice de Ciclabilidade. Tal resulta tanto da baixa importância atribuída pelos *stakeholders* consultados na AHP como da escassa presença de atributos tecnológicos na infraestrutura. Este resultado revela uma fraca integração digital da rede, apontando para a necessidade de medidas específicas que promovam soluções tecnológicas de apoio ao utilizador.

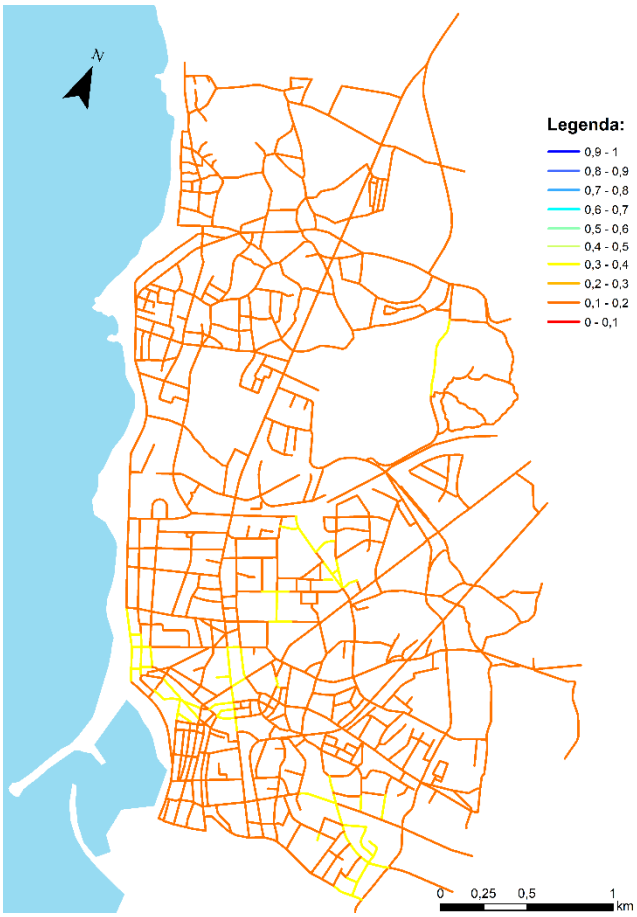


Figura 90: Representação dos valores normalizados do critério Sistemas Digitais para a rede.

Tabela 27: Rácio do comprimento da rede por classes de valor normalizado do critério Sistemas Digitais.

EIXO	%	Comprimento (m)	%
0,00 - 0,10	-	-	-
0,11 - 0,20	93,73%	111.550,8	93,73%
0,21 - 0,30	-	-	-
0,31 - 0,40	6,27%	7.466,6	6,27%
0,41 - 0,50	-	-	-
0,51 - 0,60	-	-	-
0,61 - 0,70	-	-	-
0,71 - 0,80	-	-	-
0,81 - 0,90	-	-	-
0,91 - 1,00	-	-	-

4.7.7. Índice de Ciclabilidade

O Índice de Ciclabilidade, calculado para todos os segmentos da rede da área de estudo, apresenta valores normalizados entre 0,181 e 0,528, com uma média de 0,314 e uma mediana de 0,306 (Tabela 28). Após a ponderação pelos pesos definidos pela AHP, os valores situam-se entre 0,193 e 0,612, com uma média de 0,369 e uma mediana de 0,366. Esta ponderação eleva globalmente os valores médios e medianos, evidenciando a maior influência de critérios prioritários como a Segurança, a Qualidade Ambiental e, em menor grau, a Infraestrutura.

Tabela 28: Estatísticas descritivas dos valores normalizados e ponderados do índice de ciclabilidade para a rede.

Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Normalizado	0,181435	0,528199	0,314043	0,305944	0,053135
Ponderado	0,193468	0,611955	0,368605	0,365507	0,064345

O boxplot da Figura 91 confirma esta tendência, mostrando a deslocação da distribuição ponderada para valores mais elevados, ainda que com ligeiro aumento da dispersão.

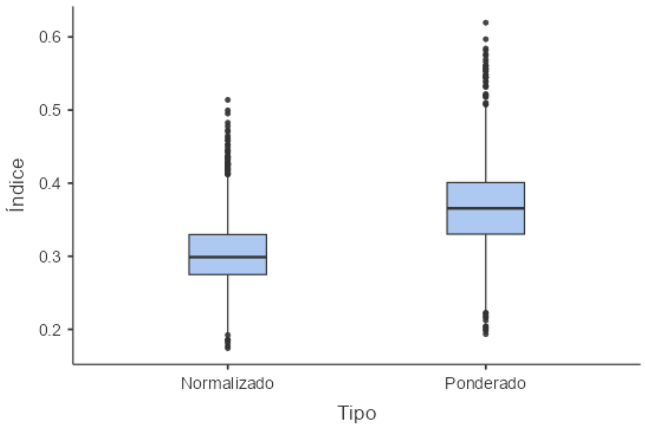


Figura 91: Distribuição dos valores normalizados e ponderados do Índice de Ciclabilidade (boxplot).

A Tabela 29 apresenta o rácio da extensão por classes de valor. No cenário normalizado, 53,9 % da rede situa-se na classe 0,21–0,30 e 38,4 % na classe 0,31–0,40. Após a ponderação, verifica-se uma redistribuição significativa: 61,8 % da rede passa a integrar a classe 0,31–0,40 e 19,2 % a classe 0,41–0,50. A proporção de segmentos nas classes mais elevadas (≥ 0,51) aumenta de 0,2 % para 5,3 %, o que demonstra a valorização dos trechos com melhor desempenho nos critérios com maior peso relativo. Este resultado demonstra que a consideração das prioridades (pesos) estabelecidas pelos *stakeholders* acentua a contribuição dos critérios mais consolidados na literatura no desempenho global da rede.

Tabela 29: Rácio do comprimento da rede por classes de valores normalizado e Ponderado do Índice de Ciclabilidade.

EIXO	Normalizado	Ponderado
0,00 - 0,10	-	-
0,11 - 0,20	**1,1%** (1.361,2 m)	**0,4%** (513,1 m)
0,21 - 0,30	**53,9%** (6.4160,3 m)	**13,2%** (15.718,0 m)
0,31 - 0,40	**38,4%** (45.674,9 m)	**61,8%** (73.586,4 m)
0,41 - 0,50	**6,4%** (7.617,9 m)	**19,2%** (22.853,8 m)
0,51 - 0,60	**0,2%** (203,3 m)	**5,2%** (6.241,9 m)
0,61 - 0,70	-	**0,1%** (104,2 m)
0,71 - 0,80	-	-
0,81 - 0,90	-	-
0,91 - 1,00	-	-

A comparação visual dos mapas dos valores normalizados e ponderados (Figura 92 e Figura 93) ilustra de forma clara a redistribuição espacial dos segmentos com melhor desempenho. No cenário ponderado, observa-se uma maior frequência de segmentos das classes 0,31–0,40 e 0,41–0,50, que passam a abranger parte substancial da malha urbana central e dos eixos que estruturam as ligações interzonais. As classes mais baixas (≤ 0,20) praticamente desaparecem, enquanto as classes mais altas (≥ 0,51) continuam restritas a uma fração reduzida da rede.

A análise por zonas revela melhorias em todas, ainda que com intensidade distinta. As zonas 1 e 2, correspondentes ao núcleo histórico e à área central de serviços, apresentam o maior incremento ao nível dos segmentos das classes médias e elevadas. As zonas 3, 4 e 5, localizadas na faixa costeira e de urbanização mais recente, registaram ganhos moderados, mantendo alguns trechos em classes baixas. Já as zonas 6 e 7, localizadas no interior da área do estudo de caso, com uma tipologia urbana mais dispersa, apresentam valores globais mais reduzidos e uma melhoria menos expressiva após a ponderação do IC.

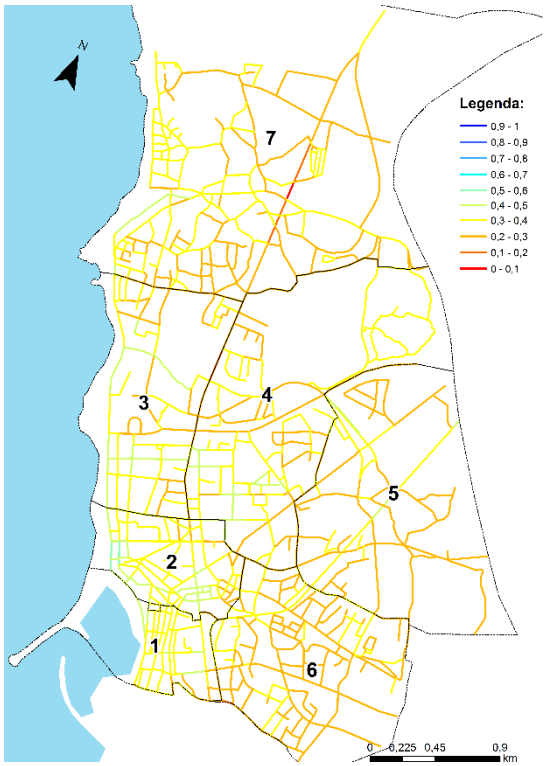


Figura 92: Representação dos valores normalizados do Índice de Ciclabilidade para a rede.

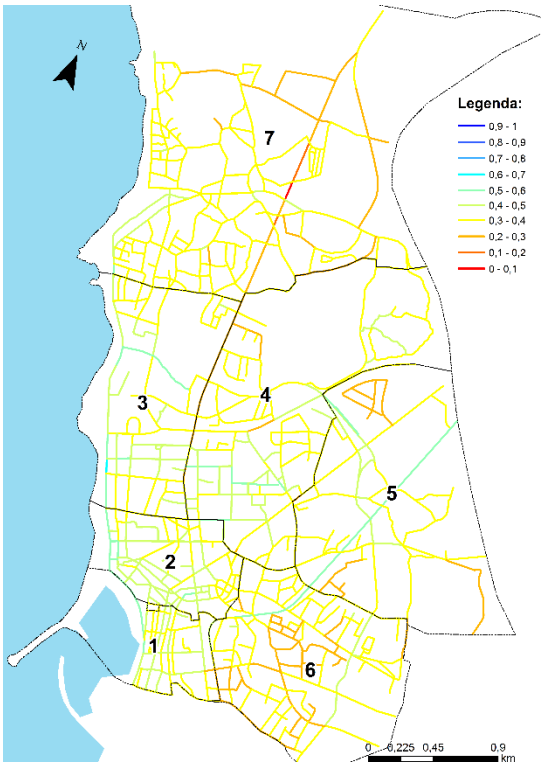


Figura 93: Representação dos valores ponderados do Índice de Ciclabilidade para a rede.

Complementarmente, a análise espacial a partir dos quadrantes, definidos pelos eixos 1 (EN13) e 7, revela a predominância de valores mais elevados no quadrante sudoeste, que integra o núcleo central e zonas adjacentes. O quadrante nordeste mantém uma maior proporção de segmentos em classes mais baixas, apesar de uma ligeira após a ponderação (IC com a aplicação dos pesos).

Em síntese, a aplicação dos pesos definidos pela AHP reforça a contribuição dos critérios melhor avaliados, elevando a média global do índice de ciclabilidade e deslocando a rede para classes de desempenho superiores. Contudo, persistem disparidades espaciais relevantes entre zonas e quadrantes, o que indica a necessidade de se definirem estratégias de intervenção direcionadas para os segmentos com menor desempenho, de forma a promover uma melhoria mais homogénea da ciclabilidade em toda a rede.

4.8. ÍNDICE DE CICLABILIDADE DA REDE DE CICLOVIAS DA PÓVOA DE VARZIM

A análise detalhada dos segmentos que compõem a rede ciclável implantada na área urbana da Póvoa de Varzim permite avaliar o desempenho atual desta infraestrutura, indicando o seu grau de consolidação e evidenciando pontos críticos para futuras intervenções. A rede integra ciclovias segregadas, faixas cicláveis, troços de coexistência com o tráfego automóvel e secções partilhadas com os peões, refletindo a diversidade de tipologias. Esta heterogeneidade traduz-se numa amplitude considerável dos valores médios e na variação observada entre segmentos.

Os resultados são apresentados em etapas complementares, que englobam estatísticas descritivas, análise gráfica da distribuição dos valores, representação cartográfica e ponderação da extensão total dos troços. A Tabela 30 resume os principais parâmetros estatísticos relativos ao Índice de Ciclabilidade calculado exclusivamente para os segmentos que integram a rede ciclável existente. Os valores variam entre 0,29 e 0,62, com uma média de 0,47, ligeiramente inferior à mediana (0,48), confirmando uma distribuição praticamente simétrica. O desvio padrão de 0,083 indica uma dispersão moderada em torno da média, coerente com a extensão territorial abrangida, a diversidade dos percursos e as diferentes condições infraestruturais que caracterizam os segmentos analisados. Em comparação com o conjunto de todos os segmentos da rede urbana, verifica-se que a média do valor do IC para os segmentos da atual rede de ciclovias é ligeiramente inferior.

Tabela 30: Estatísticas descritivas dos valores ponderados do índice de ciclabilidade para as Ciclovias da Póvoa de Varzim.

Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
0,28709	0,61955	0,473194	0,478786	0,08309

A Figura 94 mostra a distribuição de frequências do Índice de Ciclabilidade para os segmentos da rede ciclável. Verifica-se uma concentração predominante na faixa de 0,41 a 0,60, evidenciando que a maioria dos trechos apresenta um desempenho intermédio. A distribuição revela uma ligeira assimetria à esquerda, com poucos segmentos abaixo de 0,30 ou acima de 0,60, reforçando a homogeneidade global.

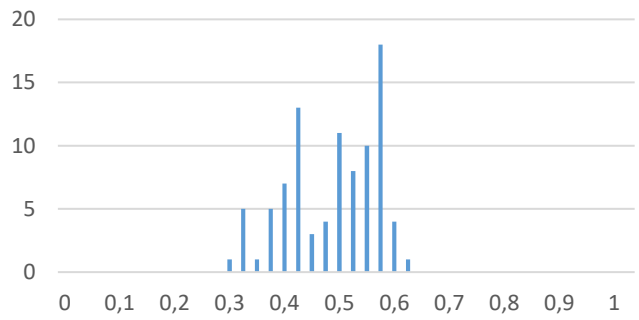


Figura 94: Distribuição de frequência dos valores do índice calculado por segmento.

A Figura 95 complementa a análise, apresentando o boxplot do Índice de Ciclabilidade da rede de ciclovias. Constata-se que o intervalo interquartil é relativamente compacto, reforçando a perceção de homogeneidade moderada entre os segmentos analisados. A mediana situa-se ligeiramente acima da média geral, enquanto a ausência de valores extremos indica que não existem trechos isolados com desempenho muito discrepante em relação ao conjunto. Este padrão é coerente com uma rede ciclável em fase inicial de implementação, sem trechos muito discrepantes em termos de qualidade.

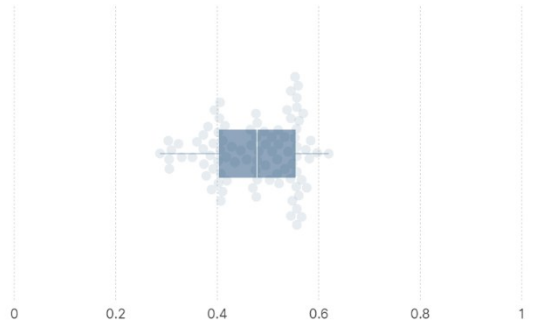


Figura 95: Boxplot do Índice de Ciclabilidade das Ciclovias da Póvoa de Varzim.

A Figura 96 apresenta a distribuição espacial do Índice de Ciclabilidade para os trechos da rede ciclável. Os valores mais altos concentram-se em corredores costeiros e alguns eixos de ligação entre o centro e as áreas de expansão urbana. Já os segmentos com valores mais baixos ocorrem em sectores com uma malha viária mais densa, na envolvente do núcleo histórico e em zonas com áreas de uso misto do solo.

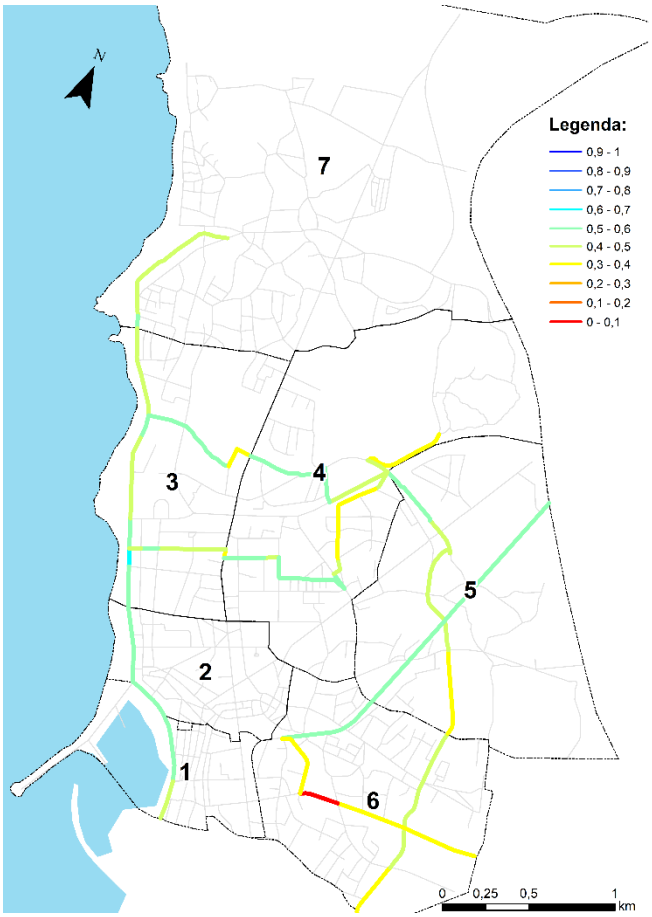


Figura 96: Mapa do Índice de Ciclabilidade da Rede de Ciclovias Existentes.

A Tabela 31 detalha a extensão da rede ciclável por classes do Índice de Ciclabilidade, confirmando que mais de 75 % da extensão total se situa na faixa de 0,41–0,60. Apesar da cobertura dos principais eixos estruturantes da rede ciclável, constata-se que há falta de maior continuidade, integração funcional e qualidade infraestrutural para alcançar patamares de desempenho superiores.

Tabela 31: Distribuição do comprimento total por classe de pontuação.

Classe do Índice	Nº. De Segmentos	Comprimento Total (m)	% do comprimento relativo às ciclovias
0,00 - 0,10	-	-	-
0,11 - 0,20	-	-	-
0,21 - 0,30	1	227,7	1,49%
0,31 - 0,40	18	335,95	2,20%
0,41 - 0,50	34	5439,93	35,69%
0,51 -0,60	37	6113,58	40,11%
0,61 -0,70	1	104,24	0,68%
0,71 -0,80	-	-	-

Classe do Índice	Nº. De Segmentos	Comprimento Total (m)	% do comprimento relativo às ciclovias
0,81 -0,90	-	-	-
0,91 - 1,00	-	-	-

A leitura dos resultados permite identificar de forma clara a relação entre o nível de ciclabilidade registado nos segmentos da rede ciclável existente, a morfologia urbana e a estrutura territorial definida no Plano de Urbanização da Póvoa de Varzim (Figura 45). Os principais eixos cicláveis coincidem com os corredores viários estruturantes, articulando a área central com zonas residenciais. Observam-se ainda inserções pontuais junto à estrutura verde e à rede de lazer prevista no modelo de ordenamento, sinalizando potencial para uma articulação mais robusta entre a rede ciclável e estes espaços.

A análise por zonas mostra restrições morfológicas relevantes nas zonas 1 e 2, (área central de serviços e centro histórico), onde o traçado viário consolidado de origem medieval, caracterizado por ruas estreitas e tortuosas, limita a continuidade da rede ciclável e explica a presença de segmentos com menor desempenho (0,31–0,40). Intervenções de requalificação das ruas e partilha do espaço podem melhorar estes valores.

Nas zonas 3 e 4, de carácter costeiro, onde predominam os percursos cicláveis paralelos à linha de costa com áreas balneares de elevada atração, observa-se uma maior continuidade e valores médios do índice mais elevados, mas carecem de integração com parques de estacionamento para bicicletas e infraestruturas de apoio, limitando o aproveitamento pleno do potencial ciclável.

A zona 5, que inclui o Parque da Cidade, destaca-se por apresentar segmentes com IC mais elevados e pela interligação com a estrutura verde e zonas de urbanização mais recente, que pode conduzir a um aumento do índice de Ciclabilidade global da cidade, embora com fragilidades nas ligações ao centro.

Nas zonas 6 e 7, os segmentos existentes são escassos, dispersos e menos articulados com os eixos viários principais, representando área de futura expansão, especialmente se integradas com corredores ecológicos e redes cicláveis intermunicipais.

A análise revela que a dispersão espacial e o desempenho mediano da rede ciclável resultam de intervenções pontuais e não de uma estratégia consolidada que tenha em vista a continuidade da rede ciclável. Desta forma, para elevar significativamente o desempenho global do Índice de

Ciclabilidade e favorecer o uso quotidiano da bicicleta como modo de transporte viável e seguro na área de estudo, identificam-se como prioritárias as seguintes ações: (i) reforçar da conectividade entre as zonas de maior utilização; (ii) requalificar os segmentos partilhados com o tráfego automóvel; e (iii) aumentar a infraestrutura ciclável segregada, sobretudo em zonas de expansão urbana.

4.9. ANÁLISE POR EIXOS ESTRUTURANTES DA REDE CICLÁVEL

Neste ponto, é apresentada uma análise comparativa do Índice de Ciclabilidade ao nível dos critérios que o compõe, aplicada aos quinze eixos estruturantes da rede ciclável definidos anteriormente (Figura 49). Estes eixos assumem particular relevância, pois poderão servir de base para o planeamento e desenho de uma rede ciclável completa para a cidade da Póvoa de Varzim. O seu papel é central, dado o nível de cobertura territorial, a capacidade de articulação entre as diferentes zonas e o potencial para a definição de corredores de circulação contínuos que suportem uma mobilidade ciclável quotidiana.

A análise utiliza os valores normalizados (após fuzificação) dos critérios do Índice de Ciclabilidade, i.e., antes da aplicação dos pesos derivados da AHP. Esta abordagem facilita a comparação entre os eixos, uma vez que elimina o fator de redução de escala associado ao peso de cada critério. Assim, os valores analisados variam de forma consistente entre 0 e 1, permitindo uma leitura mais direta do desempenho de cada eixo.

Em complemento, apresenta-se também o Índice de Ciclabilidade ponderado, que incorpora os pesos atribuídos aos critérios e reflete o desempenho global resultante do modelo multicritério.

As Figura 97 e a Figura 98 apresentam, respetivamente, a distribuição espacial dos valores normalizados e ponderados, evidenciando as diferenças de desempenho entre os quinze eixos analisados. O primeiro mapa realça o comportamento estrutural dos eixos com base nos indicadores brutos, enquanto o segundo traduz a valorização dos critérios mais relevantes no cálculo final do índice.

Apesar dos valores representarem médias não ponderadas, a Figura 97 já permite identificar padrões relevantes, com predominância de valores baixos, representados pelas cores amarela e laranja. Por sua vez, a Figura 98 mostra um aumento da proporção de eixos com valores mais elevados, refletindo o impacto das ponderações na redistribuição espacial do desempenho.

Especificamente no caso não ponderado, destacam-se valores muito baixos, assinalados a tons vermelhos, ao longo do eixo coincidente com a EN13, especialmente na sua porção setentrional. Em contraste, no eixo litoral verifica-se o predomínio de valores médios, representados por tons de verde, sugerindo um desempenho relativamente mais favorável neste setor.

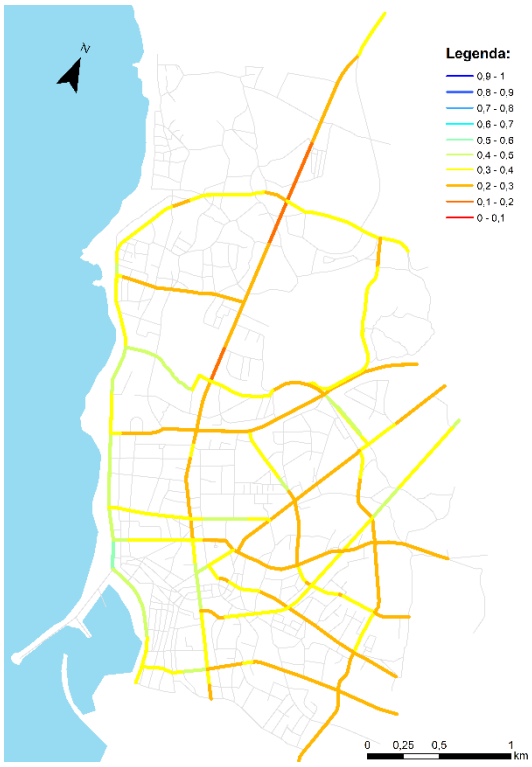


Figura 97: Representação do Índice de Ciclabilidade Normalizado para os eixos.

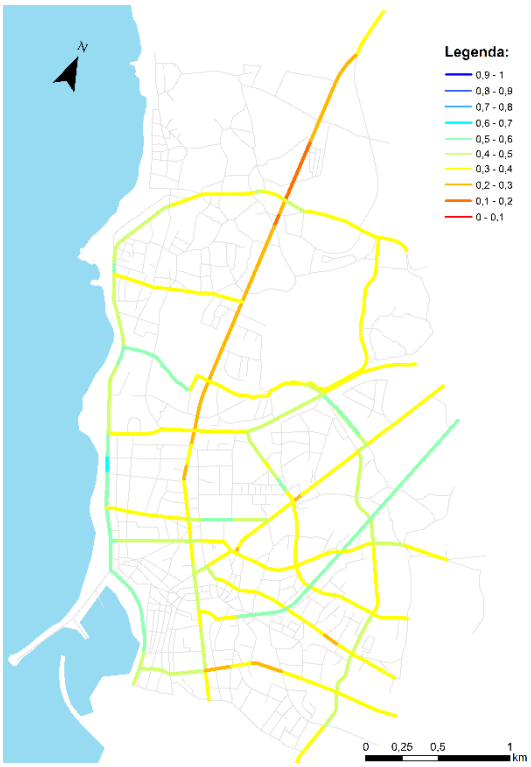


Figura 98: Representação do Índice de Ciclabilidade Ponderado para os eixos.

O mapa evidencia uma variabilidade espacial significativa, o que indica a necessidade de aprofundar a análise de forma mais detalhada, desagregando os resultados por critérios específicos. Tal abordagem permite identificar carências e potencialidades de cada eixo com maior granularidade e utilidade para o planeamento urbano. Para este efeito, foi aplicada uma análise estatística não paramétrica, recorrendo ao teste de Kruskal-Wallis, nomeadamente para avaliar a existência de diferenças significativas entre os eixos, relativamente a cada critério de avaliação da ciclabilidade.

A escolha do teste de Kruskal-Wallis justifica-se pela natureza dos dados (valores contínuos, mas não necessariamente distribuídos de forma normal) e pela necessidade de comparar múltiplos grupos (eixos). Este teste permite verificar se pelo menos um dos eixos apresenta uma distribuição de valores significativamente distinta das demais.

Os resultados, apresentados na Tabela 32, mostram que para seis dos sete critérios avaliados as diferenças entre os eixos foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$). A única exceção foi o critério dos Sistemas Digitais, para o qual não se identificaram diferenças significativas entre os eixos ($p = 0,199$). Para o critério dos Sistemas Partilhados, o teste não foi realizado, devido à inexistência de serviços de bicicletas partilhadas na área de estudo.

Em conjunto, estas constatações reforçam a hipótese de heterogeneidade e justificam a análise desagregada por critério e por eixo, apresentado nas secções seguintes. Para aprofundar a investigação após a confirmação da existência de diferenças significativas entre os eixos, foi aplicado um teste pós-hoc de comparações múltiplas, recorrendo ao teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF).

Tabela 32: Resultados do teste de Kruskal-Wallis para os critérios.

Critérios	Kruskal-Wallis	gl	p-valor
Segurança	139,1	14	<0,001
Infraestrutura	111,8	14	<0,001
Ambiente Envolvente	85,1	14	<0,001
Multimodalidade	96,4	14	<0,001
Qualidade Ambiental	110,9	14	<0,001
Sistemas Partilhados	-	-	-
Sistemas Digitais	18,2	14	0,199

Esta abordagem não paramétrica permite comparar todos os pares de eixos entre si, identificando aqueles que se destacam positiva ou negativamente em cada critério. O teste DSCF fornece, assim, uma base estatística robusta para identificar os eixos com melhor e pior desempenho, permitindo uma leitura mais fina e orientada para a definição e ações. Os resultados detalhados são discutidos nas secções seguintes, para cada critério de avaliação da ciclabilidade.

4.9.1. Segurança

O critério Segurança apresenta variações significativas entre os eixos analisados, com médias que oscilam entre 0,4103 (Eixo 1) e 0,8276 (Eixo 4). Estes resultados refletem diferenças relevantes nas condições de circulação dos diversos segmentos urbanos. Os Eixos 4 e 11 destacam-se com valores muito elevados (0,81–1,00), seguidos do Eixo 15, que apresenta um desempenho elevado (0,61–0,80). Já os eixos 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13 e 14 registam valores moderados (0,41–0,60). Nenhum eixo se enquadra nas categorias baixa (0,21–0,40) ou muito baixa (0,00–0,20), segundo os intervalos normalizados definidos.

A Tabela 33 apresenta estatísticas descritivas com as medidas de tendência central e respetivo desvio padrão. Em termos de consistência interna dos segmentos, os Eixos 9 (0,0313), 2 (0,0547) e 12 (0,0754) revelam baixa variabilidade, indicando uma distribuição interna mais homogénea dos valores de segurança. Em contraste, os Eixos 11 (0,1825), 1 (0,1159) e 4 (0,1118) apresentam elevada heterogeneidade, com diferenças marcantes nas condições observadas ao longo dos segmentos. Os restantes eixos apresentam uma variabilidade intermédia, com destaque para os Eixos 6 (0,0962) e 7 (0,1060).

Tabela 33: Estatísticas descritivas dos valores normalizados do critério Segurança por eixo.

	Mínimo	**Máximo**	**Média**	**Mediana**	**Desvio Padrão**
Eixo 1	0,2278	0,6439	0,4103	0,3895	0,1159
Eixo 2	0,4861	0,6566	0,5578	0,5401	0,0547
Eixo 3	0,4471	0,6501	0,5563	0,5438	0,0687
Eixo 4	0,6364	0,9000	0,8276	0,9000	0,1118
Eixo 5	0,5184	0,6984	0,5777	0,5600	0,0706
Eixo 6	0,5411	0,8870	0,7106	0,6930	0,0962
Eixo 7	0,4551	0,7478	0,5374	0,4928	0,1060
Eixo 8	0,4268	0,6824	0,5252	0,5152	0,0710
Eixo 9	0,5257	0,6615	0,6042	0,6015	0,0313
Eixo 10	0,3274	0,6085	0,4752	0,4668	0,0805
Eixo 11	0,5373	0,9670	0,8270	0,9295	0,1825
Eixo 12	0,4001	0,6823	0,5462	0,5567	0,0754
Eixo 13	0,3535	0,6603	0,5290	0,5343	0,0816
Eixo 14	0,3475	0,6600	0,5412	0,5765	0,0908
Eixo 15	0,6638	0,8737	0,7321	0,7438	0,0691

A análise dos boxplots da Figura 99 mostra padrões contrastantes. Os eixos 1, 6, 10 e 11 revelam maior variabilidade interna, com ampla dispersão e presença de valores extremos, sugerindo condições heterogéneas ao longo da sua extensão. O Eixo 11 apresenta uma das maiores amplitudes, incluindo segmentos com desempenhos extremos, enquanto o Eixo 6 apresenta valores distribuídos em várias classes da escala.

Em oposição, os eixos 5, 7, 8 e 9 revelam um comportamento mais homogéneo, sendo o Eixo 9 que combina melhor consistência e valores elevados. As medianas mais altas foram registadas nos eixos 4, 6, 11 e 15, com destaque para o Eixo 4, cuja distribuição se concentra na parte superior da escala. Já os eixos 1, 7 e 10 apresentam medianas inferiores a 0,5, confirmando a existência de segmentos com níveis de segurança mais baixos. O Eixo 1 alia este menor desempenho a uma variabilidade interna acentuada.

Por fim, observaram-se assimetrias em diversos casos, nomeadamente no Eixo 4, cuja cauda inferior alongada indica a presença de poucos segmentos com valores inferiores, e no Eixo 11, que combina amplitudes largas com discrepâncias acentuadas entre os segmentos.

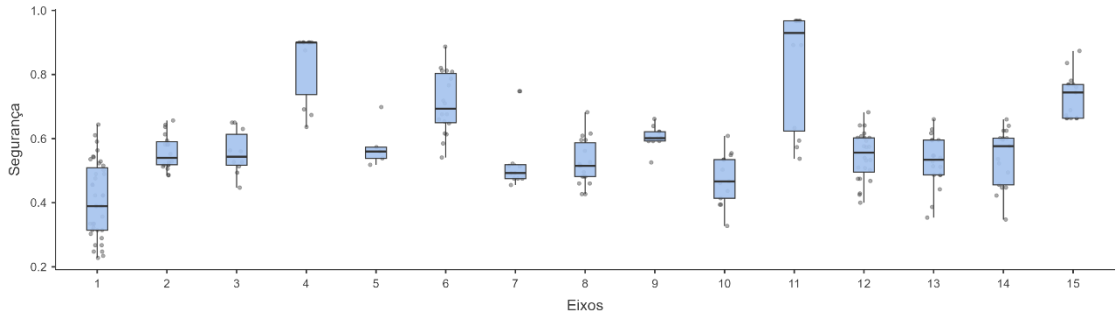


Figura 99: Distribuição dos valores normalizados do critério Segurança por eixo (boxplot).

A distribuição espacial dos valores do critério Segurança, apresentada no mapa da Figura 100, revela um padrão bastante contrastante entre os eixos da rede ciclável. Os Eixos 4, 11 e 15 destacam-se por apresentarem trechos contínuos com coloração azul-escura, correspondentes à classe muito elevada (0,81–1,00) do critério. Também se observam segmentos em tons azulados nos Eixos 5, 6 e 9, embora intercalados com áreas a verde-claro e verde-médio, o que sugere um desempenho elevado (0,61–0,80), embora menos uniforme.

Em contraste, os Eixos 1, 2, 3, 7, 8, 10 e de 12 a 14 apresentam predomínio de segmentos em verde e amarelo, correspondentes a desempenhos moderados (0,41–0,60) e baixos (0,21–0,40). Destaca-se a elevada frequência de segmentos em amarelo no Eixo 2 e a ocorrência de tons verde-claro nos Eixos 7 e 10, sinalizando fragilidades localizadas. No geral, observa-se que os valores mais elevados do critério da Segurança distribuem-se de forma dispersa, com exceção do Eixo 1, principal eixo na direção norte-sul, que concentra valores baixos nos trechos localizado a centro-norte.

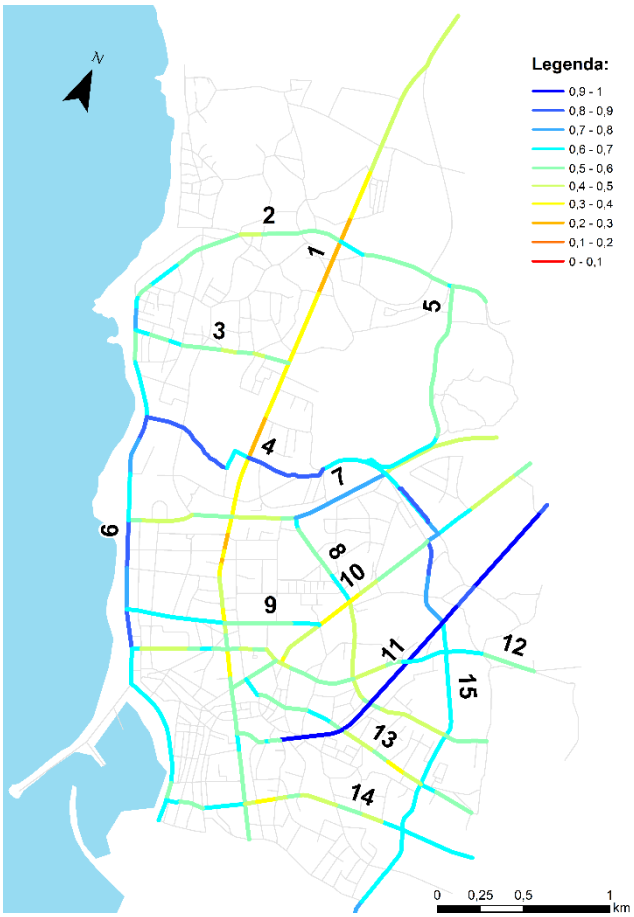


Figura 100: Representação dos valores normalizados do critério Segurança para os eixos.

A Tabela 34 apresenta a distribuição percentual do comprimento dos segmentos cicláveis por classes de valor do critério da Segurança, permitindo uma leitura detalhada do desempenho de cada eixo. Destacam-se os Eixos 4 e 11, com 56% e 80% da sua extensão, respetivamente, na classe mais elevada (0,91-1,00), corroborando o excelente desempenho identificado nas análises anteriores.

O Eixo 15 também apresenta desempenho robusto, com 65% da sua extensão situada na faixa de 0,61 a 0,80 e mais 15% acima dos 0,81, o que reforça o seu bom posicionamento global.

Por outro lado, o Eixo 1 concentra 36% da sua extensão em valores baixos (0,31–0,40), enquanto os Eixos 2, 3, 7, 8, 10 e 12 têm mais de metade da sua extensão na faixa intermédia (0,51–0,60), reforçando o diagnóstico de desempenho moderado para estes corredores.

O Eixo 13 revela uma distribuição ligeiramente mais favorável, com 47 % entre 0,51-0,60 e 26 % entre 0,61–0,70, apontando para uma melhoria face aos restantes eixos com desempenho intermédio.

É ainda relevante notar a quase ausência de segmentos nas classes muito baixa (0,00–0,20) e baixa (0,21–0,30), à exceção do Eixo 2 (18%), o que confirma uma rede globalmente segura, mas com fragilidades pontuais que requerem atenção.

Tabela 34: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado do critério Segurança.

EIXO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00 - 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,11 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,21 - 0,30	18%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,31 - 0,40	36%	-	-	-	-	-	-	-	-	16%	-	3%	8%	6%	-
0,41 - 0,50	28%	15%	18%	-	-	-	57%	51%	-	54%	-	38%	20%	27%	-
0,51 - 0,60	16%	66%	64%	-	65%	9%	17%	36%	1	30%	10%	51%	47%	32%	-
0,61 - 0,70	2%	19%	18%	36%	35%	54%	-	13%	0	-	1%	9%	26%	35%	65%
0,71 - 0,80	-	-	-	8%	-	20%	26%	-	-	-	-	-	-	-	20%
0,81 - 0,90	-	-	-	56%	-	17%	-	-	-	-	9%	-	-	-	15%
0,91 - 1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80%	-	-	-	-

A análise das comparações múltiplas, com base no teste DSCF, evidenciou um número expressivo de diferenças estatisticamente significativas entre os eixos ($p < 0,05$), sinalizando uma elevada heterogeneidade no critério Segurança.

O Eixo 1 destacou-se negativamente, apresentando diferenças em relação a onze outros eixos, todos com valores médios superiores. Este resultado confirma que este corredor apresenta condições de segurança mais frágeis em comparação com a maioria dos eixos.

Em contrapartida, os Eixos 4 e 15 revelaram um bom desempenho, diferenciando-se significativamente de diversos segmentos da rede. Estes eixos poderão servir como referência para futuras melhorias noutros corredores.

A Tabela 35 apresenta apenas os pares com diferenças estatisticamente significativas; os resultados completos encontram-se no anexo G.

Tabela 35: Comparações múltiplas (DSCF) para o critério Segurança: pares de eixos com diferenças significativas.

Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor
1<>2	59.270	0.003	2<>6	62.466	0.001	6<>10	-63.999	<.001
1<>4	68.161	<.001	2<>15	69.218	<.001	6<>12	-65.440	<.001
1<>6	82.581	<.001	3<>15	59.131	0.003	6<>13	-62.238	0.001
1<>9	67.756	<.001	4<>8	-60.024	0.002	6<>14	-58.615	0.004
1<>11	69.809	<.001	4<>11	0.7614	1.000	8<>15	66.136	<.001
1<>12	60.670	0.002	4<>12	-62.200	0.001	9<>15	63.921	<.001
1<>15	79.958	<.001	4<>13	-60.714	0.002	10<>15	63.745	<.001

Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor
2<>3	0.0679	1.000	4<>14	-59.308	0.003	12<>15	71.143	<.001
2<>4	59.350	0.003	6<>8	-64.025	<.001	13<>15	69.218	<.001
2<>5	0.9508	1.000	-	-	-	-	-	-

No conjunto, os resultados indicam condições de segurança contrastantes entre os eixos, servindo de base para a definição de diagnósticos e propostas de intervenção específicas, que serão aprofundados numa seção própria, no final da apresentação dos resultados dos critérios.

4.9.2. Infraestrutura

O critério da Infraestrutura revela uma ampla variação nos valores médios entre os diferentes eixos analisados, oscilando entre 0,2762 (Eixo 10) e 0,4613 (Eixo 11). Todos os eixos se situam nas faixas baixa (0,21–0,40) ou moderada (0,41–0,60), não se registando valores elevados ou muito elevados. Destacam-se os Eixos 6 (0,4521), 11 (0,4613) e 14 (0,3930), que apresentam os valores médios mais elevados, indiciando melhores condições infraestruturais. Em contraste, os eixos 3 (0,2832), 10 (0,2762) e 12 (0,2973) exibem os menores valores médios, sugerindo situações mais desfavoráveis e carências significativas.

A Tabela 36 apresenta os valores da estatística descritiva, que permite observar o grau de dispersão interna. Os eixos 3 (0,0226), 8 (0,0292) e 15 (0,0391) apresentam os menores desvios padrão, apontando para uma maior homogeneidade da sua extensão. Em contrapartida, os Eixos 6 (0,0810), 11 (0,0675) e 14 (0,0635) exibem maior variabilidade, refletindo disparidades entre os segmentos que os compõem. Estes resultados indicam que, mesmo nos eixos com médias mais altas, existem diferenças significativas entre as condições de infraestrutura dos seus segmentos.

Tabela 36: Estatísticas descritivas dos valores normalizados do critério Infraestrutura por eixo.

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Eixo 1	0,2347	0,4728	0,3251	0,3036	0,0549
Eixo 2	0,2883	0,4694	0,3400	0,3240	0,0496
Eixo 3	0,2474	0,3138	0,2832	0,2832	0,0226
Eixo 4	0,2566	0,4082	0,3757	0,4005	0,0529
Eixo 5	0,2158	0,3587	0,2980	0,2872	0,0613
Eixo 6	0,2668	0,5913	0,4521	0,4457	0,0810
Eixo 7	0,2755	0,4077	0,3404	0,3571	0,0489
Eixo 8	0,2705	0,4056	0,3003	0,2934	0,0292
Eixo 9	0,2474	0,4031	0,3265	0,3214	0,0431
Eixo 10	0,2372	0,3995	0,2762	0,2679	0,0403

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Eixo 11	0,3546	0,5459	0,4613	0,4847	0,0675
Eixo 12	0,2260	0,4287	0,2973	0,2985	0,0549
Eixo 13	0,2679	0,4531	0,3173	0,2934	0,0547
Eixo 14	0,2934	0,4714	0,3930	0,4100	0,0635
Eixo 15	0,3291	0,4740	0,3738	0,3750	0,0391

A análise dos boxplots da Figura 101 permite observar padrões distintos entre os eixos. Os Eixos 1, 2, 5, 11, 13 e 14 apresentam uma variabilidade interna elevada, com amplitudes interquartis elevadas e a presença de *outliers*, sugerindo uma heterogeneidade significativa. Em contrapartida, os Eixos 8, 9 e 10 exibem distribuições mais compactas, com intervalos interquartis mais pequenos, apontando para uma maior uniformidade nos níveis de infraestrutura. O Eixo 10, apesar de apresentar um dos desempenhos médios mais baixos, apresenta valores concentrados, sugerindo condições semelhantes entre os segmentos que o compõem.

As medianas mais altas são registadas nos Eixos 6, 11, 14, 15 e 4, frequentemente acima de 0,4. O Eixo 6 combina uma mediana elevada com uma baixa dispersão, indiciando um desempenho consistente. O Eixo 14 apresenta uma mediana igualmente alta, mas acompanhada de grande variabilidade interna. Em oposição, os Eixos 10, 3, 5, 8 e 12 apresentam as medianas mais baixas, todas inferiores a 0,35, indicando predomínio de condições menos favoráveis. Adicionalmente, destacam-se assimetrias e valores extremos nos Eixos 3, 4, 5, 11, 13 e 14, sendo o Eixo 3 notório pela combinação de um intervalo interquartil estreito com *outliers* em ambas as extremidades.

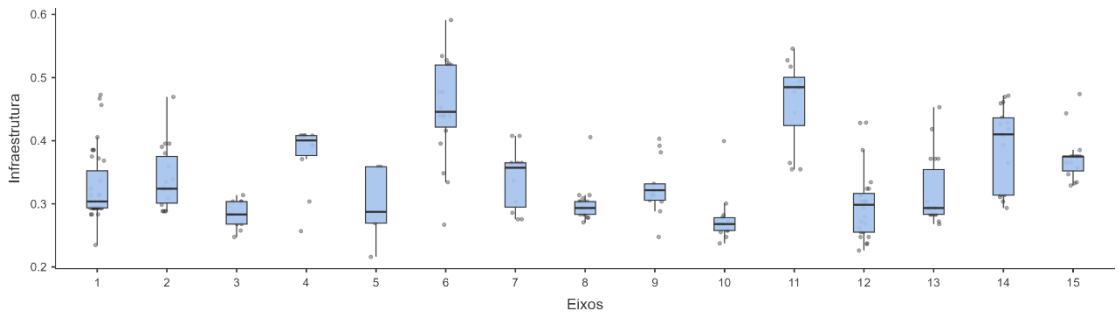


Figura 101: Distribuição dos valores normalizados do critério Infraestrutura por eixo (boxplot).

A distribuição espacial dos valores do critério Infraestrutura, ilustrada na Figura 102, revela predominância de tons amarelos e laranja-claro ao longo dos eixos cicláveis, indicando um desempenho maioritariamente baixo (0,21–0,40) e moderada (0,41–0,60). Destaca-se a ausência quase total de segmentos nas faixas elevada e muito elevada, com exceção pontual dos segmentos a verde-claro ou a azul. Os Eixos 6 e 11 apresentam alternância de cores, refletindo contrastes

internos relevantes, enquanto os Eixos 3 e 10 exibem tons mais escuros e homogéneos, indicativos sugerindo défice generalizado de infraestrutura.

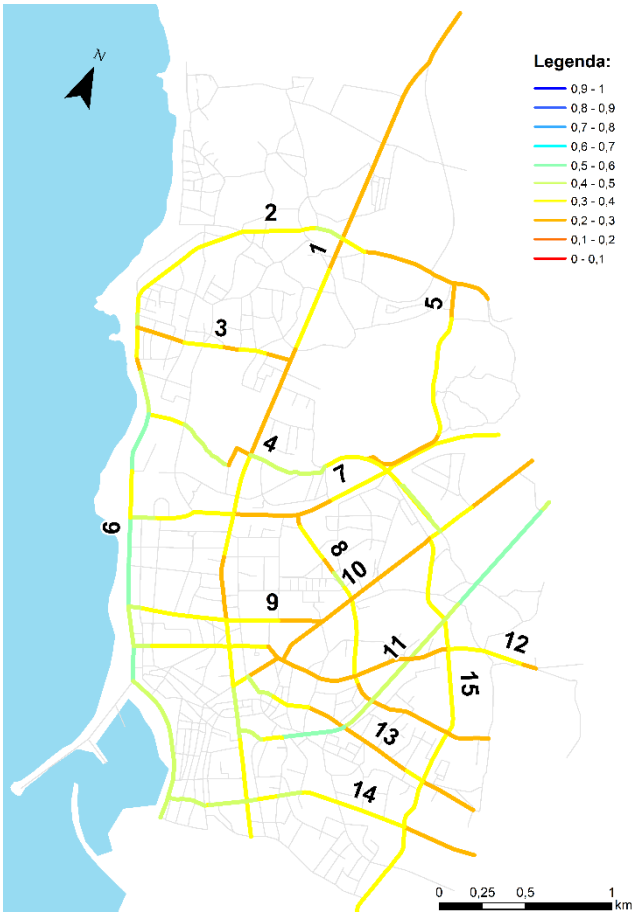


Figura 102: Representação dos valores normalizados do critério Infraestrutura para os eixos.

A Tabela 37 complementa análise e leitura realizadas anteriormente, mostrando que onze dos quinze eixos possuem mais de 50% da sua extensão na faixa 0,21–0,30. Destacam-se os Eixos 3 (88%), 10 (95%) e 15 (88%), que evidenciam limitações significativas ao nível da infraestrutura. Por outro lado, os Eixos 4, 5, 6, 11 e 14 apresentam percentagens expressivas nas faixas 0,31–0,40 e 0,41–0,50, o que indica uma ligeira melhoria, mas insuficiente para alcançar um desempenho satisfatório. Apenas os Eixos 6 (35%), 11 (45%) e 4 (51%) registam mais de um terço da sua extensão em faixas superiores a 0,41, sendo exceções positivas no conjunto de segmentos analisados.

Tabela 37: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado do critério Infraestrutura.

EIXO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00 - 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,11 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,21 - 0,30	72%	34%	88%	28%	50%	2%	36%	82%	27%	95%	-	75%	73%	31%	-
0,31 - 0,40	24%	59%	12%	21%	50%	16%	64%	18%	73%	5%	5%	20%	14%	37%	88%
0,41 - 0,50	4%	7%	-	51%	-	47%	-	-	-	-	50%	4%	13%	33%	12%
0,51 - 0,60	-	-	-	-	-	35%	-	-	-	-	45%	-	-	-	-
0,61 - 0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,71 - 0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,81 - 0,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,91 - 1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

O teste de comparações múltiplas (DSCF) revelou diferenças estatisticamente significativas entre diversos pares de eixos, indicando a existência de padrões contrastantes. A Tabela 38 apresenta exclusivamente os pares com diferenças significativas ($p < 0,05$), sendo os resultados completos disponibilizados no anexo G.

Os resultados evidenciam a presença de dois grupos de eixos com desempenhos divergentes, um com melhor desempenho médio (Eixos 6 e 11) e outro com condições infraestruturais mais frágeis (Eixos 1, 3, 8 e 10). Estas diferenças, reiteradas por múltiplas comparações significativas, reforçam o diagnóstico de heterogeneidade do critério infraestrutura nos eixos e servirão de base para o diagnóstico por eixo e para a definição de propostas de intervenção, a apresentar no final do ponto 4.6.4.2.

Tabela 38: Comparações múltiplas (DSCF) para o critério Infraestrutura: pares de eixos com diferenças significativas.

Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor
1<>6	66.200	<.001	8<>11	63.080	<.001
1<>11	63.987	<.001	8<>14	60.880	0.002
3><15	59.143	0.003	8<>15	62.626	0.001
6<>8	-63.244	<.001	10<>11	57.804	0.004
6<>10	-60.114	0.002	10<>14	60.708	0.002
6<>12	-68.214	<.001	11<>12	-64.184	<.001

4.9.3. Ambiente envolvente

O critério Ambiente Envolvente revela grande disparidade entre os eixos avaliados, com médias que variam entre 0,0590 (Eixo 13) e 0,5660 (Eixo 6), indicando condições do ambiente envolvente bastante contrastantes ao longo dos segmentos analisados. Apenas o Eixo 6 alcança a classificação moderada (0,41–0,60), enquanto os eixos 7 (0,3182) e 8 (0,3403) situam-se na categoria baixa (0,21–0,40). Os demais eixos permanecem na categoria muito baixa (0,00–0,20), com destaque para os Eixos 13 (0,0590), 15 (0,1083), 11 (0,1094) e 3 (0,1125), evidenciando situações particularmente desfavoráveis do ponto de vista deste critério.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 39, o eixo 13 apresenta o menor desvio padrão (0,0147), seguido dos eixos 3 (0,0645) e 9 (0,0654), indicando uma distribuição interna uniforme. Em contraste, os Eixos 2 (0,2189) e 5 (0,2092) revelam dispersão elevada, sugerindo coexistência de situações ambientais muito distintas ao longo da sua extensão. Os restantes eixos apresentam variabilidade intermédia, com destaque para o Eixo 6 (0,1862), próximo do limite superior da classificação, e o Eixo 7 (0,1168), que alia a consistência interna a um desempenho médio mais elevado.

Tabela 39: Estatísticas descritivas dos valores normalizados do critério Ambiente Envolvente por eixo.

	Mínimo	**Máximo**	**Média**	**Mediana**	**Desvio Padrão**
Eixo 1	0	0,6250	0,2260	0,1875	0,1357
Eixo 2	0	0,6250	0,1979	0,0625	0,2189
Eixo 3	0,0625	0,1875	0,1125	0,0625	0,0645
Eixo 4	0	0,5000	0,2313	0,3125	0,1719
Eixo 5	0	0,5000	0,2000	0,2500	0,2092
Eixo 6	0,2500	0,9375	0,5660	0,5000	0,1862
Eixo 7	0,1250	0,5000	0,3182	0,3750	0,1168
Eixo 8	0	0,6875	0,3403	0,3125	0,1859
Eixo 9	0,0625	0,4375	0,1827	0,0625	0,1408
Eixo 10	0	0,5625	0,1827	0,1250	0,1431
Eixo 11	0	0,3750	0,1094	0,0313	0,1362
Eixo 12	0	0,5000	0,1615	0,1875	0,1366
Eixo 13	0	0,0625	0,0590	0,0625	0,0147
Eixo 14	0	0,5625	0,1912	0,1875	0,1423
Eixo 15	0	0,3125	0,1083	0	0,1282

A análise dos boxplots da Figura 103 complementa a leitura estatística. Os Eixos 6 e 7 apresentam as medianas mais elevadas, sendo que o Eixo 6 regista a mais alta do conjunto, ainda que com ampla variabilidade. O Eixo 7 evidencia um desempenho robusto e consistente, combinando uma

mediana alta e uma baixa dispersão. Já o Eixo 8 apresenta uma mediana moderadamente elevada, mas com maior dispersão interna. Por oposição, os Eixos 1, 2, 3, 5, 10, 11, 13 e 15 apresentam medianas com valor muito baixo, com destaque para os Eixos 5, 10 e 13, cuja mediana se aproxima de zero.

A variabilidade também se manifesta nas amplitudes interquartis: os Eixos 2, 5, 6, 8, 11 e 15 apresentam larga dispersão, sugerindo heterogeneidade significativa. Em contraste, os Eixos 3, 4, 7, 9, 13 e 14 exibem intervalos compactos, indicando maior homogeneidade interna. O Eixo 13 é o mais homogéneo, com uma mediana baixa e reduzida variabilidade. Já os Eixos 3, 7 e 14 mantêm distribuições consistentes entre os segmentos, embora com desempenhos médios distintos. Realça-se os valores extremos e as assimetrias em diversos eixos, nomeadamente os outliers visíveis nos Eixos 1, 5, 6, 8, 10, 11, 14 e 15, e uma assimetria negativa nos Eixos 4, 5, 7 e 12, sugerindo uma concentração de valores mais elevados.

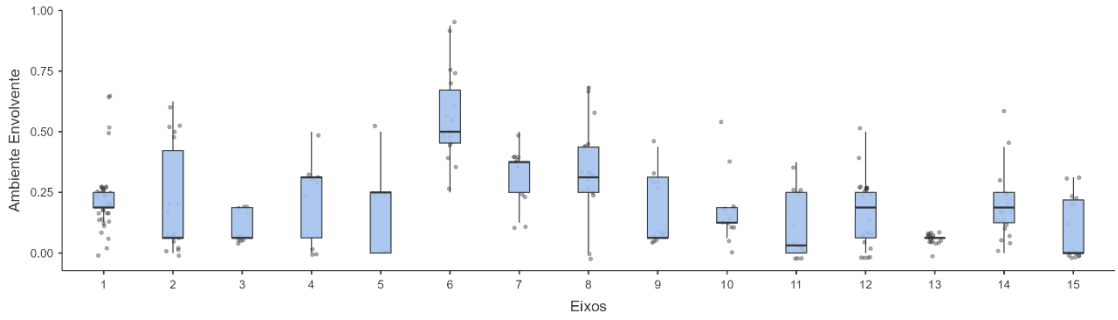


Figura 103: Distribuição dos valores normalizados do critério Ambiente Envolvente por eixo (boxplot).

O mapa da Figura 104 revela um padrão polarizado, com predominância das classes mais baixas na maioria dos eixos cicláveis. O Eixo 13 apresenta todos os segmentos na faixa mais baixa (0,00–0,10), indicando condições críticas do ambiente envolvente. Situações semelhantes são observadas nos Eixos 2, 3, 4 e 15, com forte incidência de segmentos em tons avermelhados e alaranjados (0,00–0,20), sugerindo um ambiente desfavorável ao uso da bicicleta. Em contraste, apenas o Eixo 6 apresenta um padrão positivo, com a maioria da sua extensão em faixas superiores, incluindo segmentos azuis (0,81–0,90) e azul-escuro (0,91–1,00) na zona oeste da malha urbana.

Os Eixos 7, 8, 9 e 10 exibem padrões intermédios, combinando segmentos em faixas baixas e moderadas (0,21–0,50), que se traduz num desempenho ambiental heterogéneo. Nos Eixos 1, 5,

11 e 14 predomina a coloração vermelha e laranja, confirmando a fraca qualidade ambiental envolvente, ainda que com alguns trechos pontuais em faixas ligeiramente superiores.

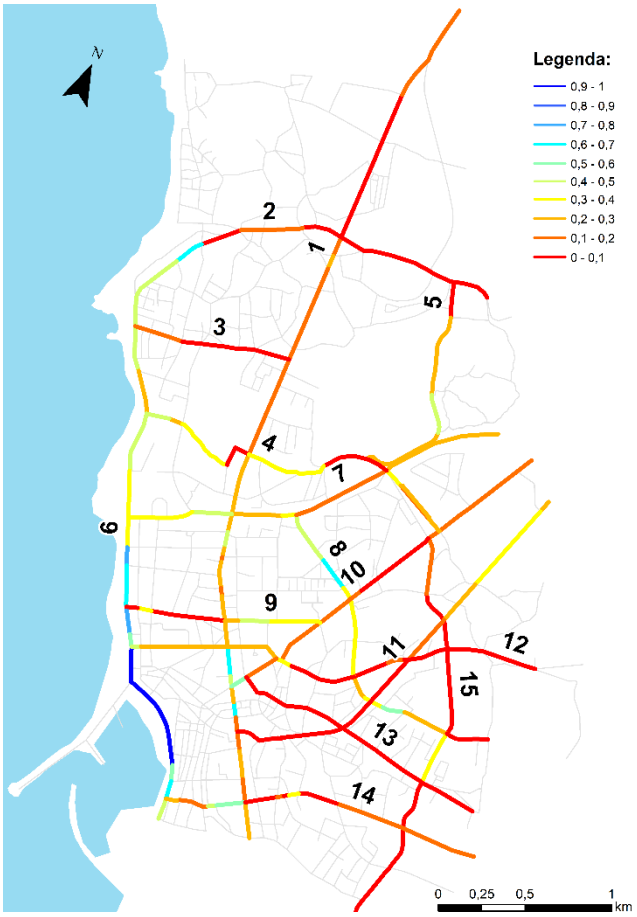


Figura 104: Representação dos valores normalizados do critério Ambiente Envolvente para os eixos.

A Tabela 40 mostra a distribuição percentual do comprimento por classe de valor. A maioria dos eixos apresenta mais de 60% da sua extensão nas duas classes mais baixas (0,00–0,20), com destaque para os Eixos 13 (100%), 15 (64%), 2 (61%), 3 (69%) e 4 (36%).

O Eixo 6 é a exceção, com 25% da sua extensão na faixa 0,91–1,00 e distribuição relevante em faixas superiores a 0,41, representando um caso isolado de desempenho ambiental elevado. Os Eixos 7, 8 e 9 apresentam percentagens mais distribuídas, com valores significativos entre 0,21 e 0,50, denotando maior heterogeneidade ambiental. Já os Eixos 10 e 11 apresentam um elevado predomínio das faixas mais baixas, embora ainda com segmentos dispersos em níveis intermédios. O Eixo 12, apesar de ter 57% dos seus segmentos na faixa mais baixa, regista também valores em faixas entre 0,21 e 0,50, sugerindo algum grau de variação local.

Tabela 40: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado do critério Ambiente Envolvente.

EIXO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00 - 0,10	18%	61%	69%	36%	15%	-	-	13%	44%	23%	49%	57%	100%	24%	64%
0,11 - 0,20	44%	15%	31%	-	-	-	26%	-	7%	71%	13%	4%	-	57%	9%
0,21 - 0,30	30%	-	-	5%	69%	8%	44%	21%	34%	-	14%	34%	-	5%	12%
0,31 - 0,40	-	-	-	51%	-	14%	20%	33%	15%	2%	24%	3%	-	3%	15%
0,41 - 0,50	3%	16%	-	8%	16%	28%	10%	16%	-	-	-	2%	-	3%	-
0,51 - 0,60	-	-	-	-	-	5%	-	7%	-	5%	-	-	-	9%	-
0,61 - 0,70	5%	8%	-	-	-	11%	-	10%	-	-	-	-	-	-	-
0,71 - 0,80	-	-	-	-	-	9%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,81 - 0,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,91 - 1,00	-	-	-	-	-	25%	-	-	-	-	-	-	-	-	-

O teste de comparações múltiplas (DSCF) indicou diferenças estatisticamente significativas entre diversos pares de eixos ($p < 0,05$), sinalizando contrastes marcantes na perceção do ambiente envolvente. O Eixo 6 destacou-se positivamente, apresentando diferenças significativas face a dez outros eixos (1, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15), todos com médias inferiores. Também se observaram diferenças relevantes entre outros pares, nomeadamente entre os Eixos 1 e 13, 7 e 13, e 8 e 13, reforçando o diagnóstico de heterogeneidade no critério. A Tabela 41 apresenta exclusivamente os pares com diferenças significativas, sendo os resultados completos disponibilizados no anexo G.

Tabela 41: Comparações múltiplas para o critério Ambiente Envolvente: pares de eixos com diferenças significativas.

Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor
1<>6	74.893	<.001	6<>12	-73.379	<.001
1<>13	-74.996	<.001	6<>13	-76.758	<.001
3<>6	61.619	0.001	6<>14	-63.743	<.001
6<>9	-62.023	0.001	6<>15	-68.151	<.001
6<>10	-59.244	0.003	7<>13	-70.805	<.001
6<>11	-63.077	<.001	8<>13	-60.301	0.002

A análise do critério Ambiente Envolvente permite identificar eixos com desempenho ambiental robusto (Eixo 6), bem como eixos com segmentos críticos (Eixos 2, 3, 4, 13 e 15). A combinação entre medianas elevadas e variabilidade reduzida aponta para casos consistentes, enquanto medianas baixas associadas à elevada dispersão, como nos Eixos 5 e 15, justificam atenção especial e análises mais detalhadas.

Estes resultados reforçam a necessidade de leituras localizadas e intervenções específicas no planeamento urbano, de modo a melhorar as condições envolventes. Tal como nos critérios anteriores, no final do ponto 4.6.4.2 será apresentado um diagnóstico por eixo, acompanhado por propostas de melhoria baseadas nas fragilidades e potencialidades identificadas.

4.9.4. Multimodalidade

Os resultados apresentados na Tabela 42 evidenciam um desempenho globalmente muito reduzido do critério Multimodalidade ao longo dos eixos analisados. Apenas três eixos registaram médias superiores a 0,20: o Eixo 2 (0,214), Eixo 12 (0,235) e Eixo 1 (0,280), situando-se na categoria baixa. Os restantes eixos apresentaram médias inferiores a 0,20, correspondendo a um desempenho muito baixo.

Entre estes, destacam-se os eixos 3, 5, 4, 7 e 11, cujas médias não ultrapassaram 0,06, com os Eixos 3 e 5 a apresentarem média nula. No que respeita à variabilidade interna, os menores desvios padrão foram registados nos Eixos 3, 5 e 10 (todos com zero), indicando ausência de dispersão, ou seja, todos os segmentos apresentam a mesma pontuação.

Por oposição, os maiores desvios padrão foram observados nos Eixos 9 (0,284), 1 (0,204) e 15 (0,201), sugerindo maior desigualdade interna quanto à multimodalidade. Os Eixos 2, 6 e 12 apresentam variabilidade intermédia, sendo relevantes por aliarem média elevada a alguma dispersão, podendo refletir situações heterogéneas.

A mediana reforça esta leitura. Os eixos 1, 2, 6, 7, 8, 10, 12, 13 e 14 apresentaram valores de medianas ligeiramente superiores a zero (0,1667), indicando presença pontual de condições para se realizar viagens multimodais. Já os Eixos 3, 4, 5, 9, 11 e 15 apresentaram mediana nula.

Tabela 42: Estatísticas descritivas dos valores normalizados do critério Multimodalidade por eixo.

	Mínimo	**Máximo**	**Média**	**Mediana**	**Desvio Padrão**
Eixo 1	0,1667	0,6667	0,2802	0,1667	0,2045
Eixo 2	0	0,4286	0,2143	0,1667	0,1105
Eixo 3	0	0	0	0	0
Eixo 4	0	0,2143	0,0595	0,0000	0,0871
Eixo 5	0	0	0	0	0
Eixo 6	0	0,6667	0,1958	0,1667	0,1854
Eixo 7	0	0,1667	0,0606	0	0,0841
Eixo 8	0	0,1667	0,1019	0,1667	0,0836
Eixo 9	0	0,6667	0,1795	0	0,2843
Eixo 10	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0
Eixo 11	0	0,3810	0,0317	0	0,1100
Eixo 12	0,1667	0,5714	0,2351	0,1667	0,1431
Eixo 13	0	0,1667	0,1296	0,1667	0,0713
Eixo 14	0	0,1667	0,1373	0,1667	0,0655
Eixo 15	0	0,6667	0,1333	0	0,2012

A Figura 105 ilustra a distribuição dos valores normalizados do critério Multimodalidade por eixo. Observam-se boxplots com intervalo interquartis reduzido ou inexistente em grande parte dos eixos, evidenciando uma baixa variabilidade interna e uma forte homogeneidade. Os eixos 3, 5 e 10 são exemplo disso, com total ausência de dispersão, comprovando os resultados apresentados na tabela anterior.

Por outro lado, os Eixos 1, 2, 4 e 15 apresentam intervalos interquartis (caixas visíveis) e dispersão mais ampla, acompanhados por valores extremos positivos. Tal revela a existência de segmentos pontualmente bem avaliados em eixos globalmente deficitários. Este padrão é particularmente marcado no Eixo 1, cuja caixa se apresenta alongada, com bigodes superiores extensos e diversos *outliers*.

A assimetria das distribuições é notória. Os eixos 1, 2 e 4 apresentam as medianas próximas da base da caixa, sinalizando concentrações de valores baixos com pontuações mais elevadas em poucos segmentos. Em contraste, o Eixo 8 apresenta uma mediana próxima o quartil 75% (topo da caixa), o que sugere uma assimetria negativa.

Apesar das limitações observadas, alguns eixos merecem destaque. O Eixo 2 conjuga média acima de 0,20, mediana positiva e dispersão assinalável, configurando-se como caso relevante para monitorização. Já os Eixos 6 e 12 apresentam médias semelhantes e medianas positivas, mas com dispersão reduzida, evidenciando consistência interna..

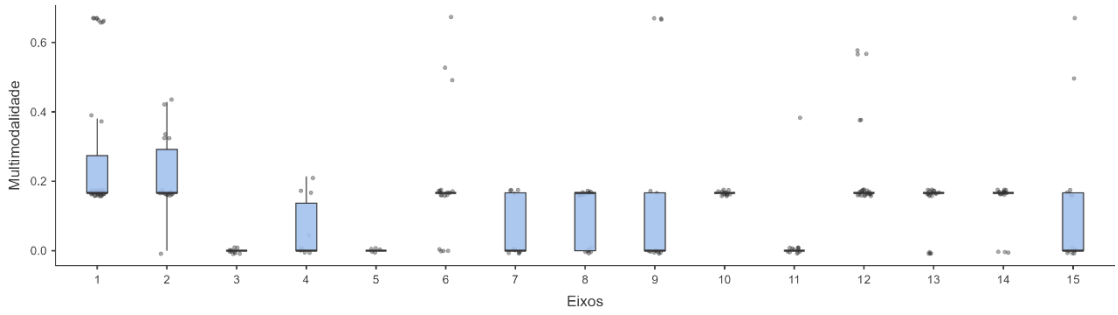


Figura 105: Distribuição dos valores normalizados do critério Multimodalidade por eixo (boxplot).

O mapa da Figura 106 evidencia um padrão largamente marcado por valores baixos a muito baixos, com predominância de tons vermelhos e laranja-escuro em praticamente todos os eixos, indicando uma fraca integração com outros modos de transporte.

Os eixos 3, 5 e 11 apresentam-se integralmente a vermelho (0,00–0,10), sendo os casos mais críticos. Situação semelhante, ainda que com alguma variação interna, é observada nos eixos 2, 4, 9, 10 e 15, que possuem extensões substanciais também nas categorias inferiores.

Por outro lado, os Eixos 1, 6 e 12 revelam padrões mais fragmentados, com segmentos que alternam entre o laranja (0,11–0,20), o amarelo (0,21–0,30) e até o verde-claro (0,41–0,50), especialmente no eixo 6. Nestes casos, embora predomine baixa pontuação, nota-se a presença de segmentos com condições minimamente favoráveis. Além disso, a ocorrência de tons azulados (> 0,61) é rara e aparece apenas em segmentos isolados dos eixos 1 e 6, o que os torna exceções importantes no conjunto analisado.

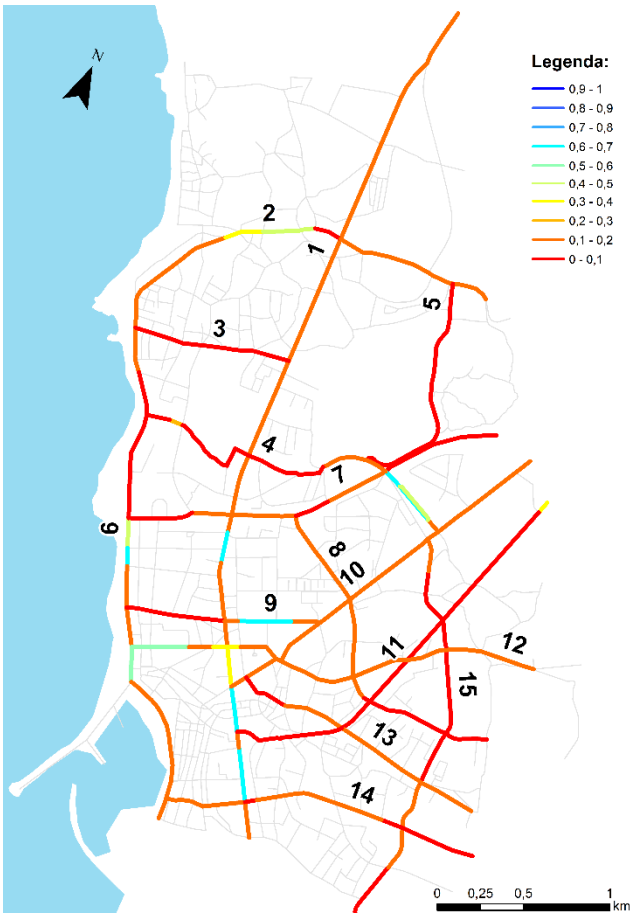


Figura 106: Representação dos valores normalizados do critério Multimodalidade para os eixos.

A Tabela 43 confirma os padrões identificados no mapa da Figura 104, onde a maioria dos eixos apresenta mais de 50% da sua extensão nas faixas 0,00–0,10 e 0,11–0,20, evidenciando um desempenho geral bastante reduzido neste critério.

Destacam-se negativamente os Eixos 3, 5 e 11, com todos (100%) os segmentos na faixa mais baixa (0,00–0,10), sinalizando ausência total de condições multimodais. Já os Eixos 7, 8, 9 e 10 apresentam entre 40% e 60% da sua extensão também nas classes mais baixas, reforçando o padrão de fragilidade generalizada.

O eixo 6, ainda que apresente 28% e 56% da sua extensão nas duas classes mais baixas, possui pequenas proporções nas faixas 0,41–0,50 (6%), 0,51–0,60 (7%) e 0,61–0,70 (3%). Tal distingue-se como um dos poucos casos com alguma diversidade de condições. Situação semelhante, mas menos expressiva, é observada no Eixo 1, com 15% dos seus segmentos entre 0,61 e 0,70.

A presença residual de segmentos com classificações moderadas é limitada aos Eixos 1, 6, 12, 13 e 15, todos com menos de 10% da extensão em classes superiores, confirmando a baixa condição multimodal dos eixos.

Tabela 43: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado do critério Multimodalidade.

EIXO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00 - 0,10	-	7%	100%	71%	100%	28%	56%	40%	51%	-	97%	-	19%	34%	56%
0,11 - 0,20	81%	70%	-	24%	-	56%	44%	60%	49%	100%	-	80%	81%	66%	31%
0,21 - 0,30	-	-	-	5%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,31 - 0,40	5%	10%	-	-	-	-	-	-	-	-	3%	7%	-	-	-
0,41 - 0,50	-	13%	-	-	-	6%	-	-	-	-	-	-	-	-	9%
0,51 - 0,60	-	-	-	-	-	7%	-	-	-	-	-	14%	-	-	-
0,61 - 0,70	15%	-	-	-	-	3%	-	-	-	-	-	-	-	-	4%
0,71 - 0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,81 - 0,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,91 - 1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Por último, os resultados do teste de comparações múltiplas (DSCF) revelaram diferenças estatisticamente significativas entre diversos pares de eixos. O Eixo 1 destacou-se negativamente, apresentando desempenhos significativamente inferiores aos Eixos 3, 5, 7 e 11, o que reforça o diagnóstico da fraca articulação multimodal.

Por outro lado, os Eixos 3, 5 e 11 apresentaram pontuações significativamente superiores às dos Eixos 10 e 12, denotando melhores condições de conexão com outros modos de transporte. A Tabela 44 apresenta exclusivamente os pares com diferenças significativas, estando os resultados completos disponíveis no anexo G. Estas distinções reforçam a heterogeneidade no critério da Multimodalidade e serão consideradas na formulação de propostas de intervenção apresentadas no final do ponto 4.6.4.2.

Tabela 44: Comparações múltiplas (DSCF) para o critério Multimodalidade: pares de eixos com diferenças significativas.

Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor
1<>3	-77.455	<.001	3<>10	66.332	<.001
1<>5	-60.665	0.002	3<>12	71.721	<.001
1<>7	-61.694	0.001	5<>10	58.310	0.004
1<>11	-71.520	<.001	5<>12	58.016	0.004
2<>3	-62.144	0.001	11<>12	64.831	<.001

4.9.5. Qualidade Ambiental

O critério da Qualidade Ambiental apresenta variações expressivas entre os eixos analisados, com médias que oscilam entre 0,4028 (Eixo 1) e 0,9090 (Eixo 4). De acordo com os intervalos normalizados definidos, os Eixos 4 (0,9090), 9 (0,8612) e 5 (0,8220) enquadram-se na faixa muito elevada de valores (0,81–1,00), revelando condições ambientais particularmente favoráveis à mobilidade ciclável.

O Eixo 5, apesar de integrar esta categoria, apresenta um valor mais próximo do limiar inferior da classe, sendo por isso considerado marginalmente muito elevado. Já os Eixos 3 (0,7813), 11 (0,5829) e 2 (0,5752) situam-se nas faixas elevada e moderada superior, indicando desempenhos positivos.

Na faixa de valores moderados (0,41–0,60) encontram-se os Eixos 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14 e 15, que apresentam desempenhos ambientais intermédios e heterogéneos. Por fim, os Eixos 1 (0,4028) e 7 (0,4611) registam os valores médios mais baixos, sendo o Eixo 1 o único a enquadrar-se na faixa baixa (0,21–0,40), o que indica uma situação menos favorável à mobilidade ativa ciclável.

A Tabela 45 apresenta os principais resultados da estatística descritiva. Os Eixos 15 (0,0525), 12 (0,0615) e 9 (0,0829) exibem baixa variabilidade interna, sinalizando homogeneidade entre os seus segmentos. Este padrão repete-se também nos Eixos 5 e 10, sugerindo um desempenho ambiental estável ao longo da extensão. Em contrapartida, os Eixos 14 (0,2502), 6 (0,2345), 13 (0,2074), 8 (0,1961), 7 (0,1950) e 1 (0,1707) apresentam os maiores valores do desvio padrão, refletindo forte dispersão e heterogeneidade nos valores dos segmentos.

Tabela 45: Estatísticas descritivas dos valores normalizados do critério Qualidade Ambiental por eixo.

	Mínimo	**Máximo**	**Média**	**Mediana**	**Desvio Padrão**
Eixo 1	0,0625	0,9300	0,4028	0,3825	0,1707
Eixo 2	0,4100	0,9300	0,6840	0,5975	0,1559
Eixo 3	0,6325	0,9300	0,7813	0,7813	0,1568
Eixo 4	0,5975	1	0,9090	0,9825	0,1650
Eixo 5	0,6325	0,9025	0,8220	0,8675	0,1082
Eixo 6	0,3475	1	0,5554	0,4725	0,2345
Eixo 7	0,3475	1	0,4611	0,3475	0,1950
Eixo 8	0,3475	0,8675	0,6049	0,6388	0,1961
Eixo 9	0,7425	0,9300	0,8612	0,9300	0,0829
Eixo 10	0,4725	0,9300	0,6337	0,5350	0,1674
Eixo 11	0,6175	0,9650	0,8529	0,9375	0,1457
Eixo 12	0,5350	0,6950	0,6422	0,6600	0,0615
Eixo 13	0,3125	0,9650	0,6460	0,6325	0,2074
Eixo 14	0,3475	0,9300	0,6379	0,5825	0,2502
Eixo 15	0,5075	0,6950	0,5652	0,5350	0,0525

A análise dos boxplots (Figura 107) confirma estes contrastes. Os Eixos 4, 5, 9, 11 e 3 destacam-se pelas medianas mais elevadas, com concentrações acentuadas nos valores superiores da escala, denotando desempenho ambiental robusto e homogéneo.

Os Eixos 4 e 5 apresentam distribuições compactas e próximas do limite superior, reforçando a qualidade ambiental estável. O Eixo 3 mantém uma mediana alta e baixa dispersão, embora com menor evidência visual. Em sentido oposto, os Eixos 1, 6 e 7 apresentam os valores mais baixos das medianas, com destaque para o Eixo 7, cuja mediana inferior a 0,35 evidencia condições ambientais deficitárias dos seus segmentos.

Quanto à variabilidade interna dos resultados, é mais acentuada nos Eixos 1, 6, 7, 8, 13 e 14, que exibem distribuições amplas, assimetrias e outliers, sinalizando a coexistência de segmentos com desempenhos ambientais muito distintos, reforçando desta forma a necessidade de abordagens segmentadas em futuras intervenções.

Por outro lado, os Eixos 5, 9, 10, 12 e 15 apresentam distribuições compactas e intervalos interquartis pequenos, sugerindo uma uniformidade dos níveis ambientais. Por fim, observa-se a presença de valores extremos nos Eixos 1, 2, 6, 8, 13 e 14, indicando a existência de segmentos com desempenhos bastante divergentes do padrão local.

Em termos de assimetrias, os Eixos 1, 6 e 14 exibem um enviesamento positivo, com valores superiores a elevar a média apesar dos baixos valores da mediana. Já os Eixos 8 e 12 apresentam assimetrias negativas subtis, com concentração de bons resultados acompanhada por segmentos de menor qualidade ambiental.

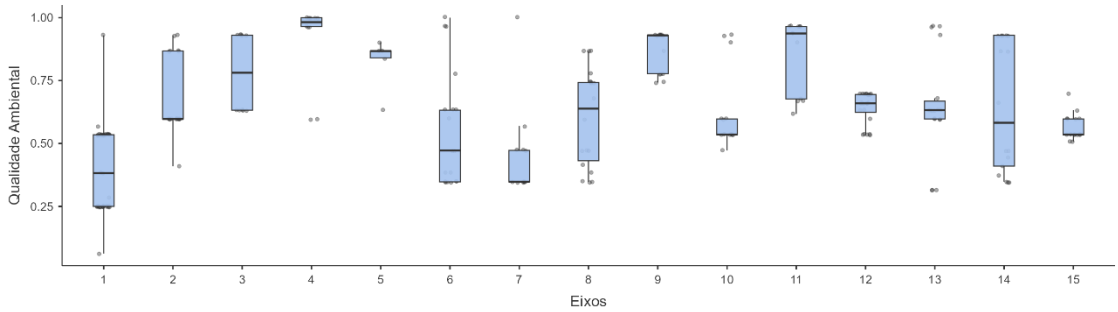


Figura 107: Distribuição dos valores normalizados do critério Qualidade Ambiental por eixo (boxplot).

O mapa da Figura 108 evidencia uma predominância das classes mais elevadas na maioria dos eixos cicláveis, com destaque para a classe 0,81–1,00, representada por tons azul-escuro. Os Eixos 3, 4, 5, 9 e 11 apresentam uma forte concentração nessas tonalidades, confirmando níveis ambientais muito elevados e consistentes ao longo de quase toda a extensão destes eixos.

O Eixo 4 destaca-se como um caso excecional em termos ambientais, com distribuição uniforme de segmentos na classe mais alta da classificação. Em contraste, os Eixos 1, 6, 7 e 15 exibem uma maior heterogeneidade de cores, alternado entre os azuis, verdes e amarelos, o que indica variações acentuadas ao longo da sua extensão.

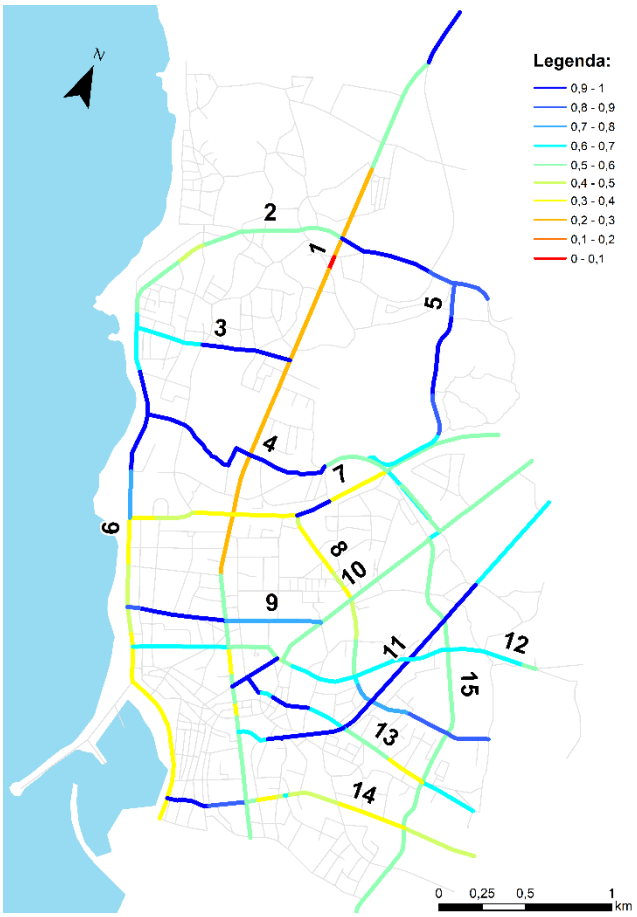


Figura 108: Representação dos valores normalizados do critério Qualidade Ambiental para os eixos.

A Tabela 46 reforça esta leitura ao detalhar o rácio de comprimento por classe de valor normalizado. Os Eixos 3 (57%), 4 (76%), 5 (76%), 9 (45%) e 11 (66%) concentram mais de metade das suas extensões na faixa 0,91–1,00, confirmando a sua posição entre os mais qualificados do ponto de vista ambiental.

O Eixo 10, embora com menor percentagem (14%) na faixa mais elevada, apresenta 84% da sua extensão na faixa 0,51–0,60, o que revela um desempenho ambiental robusto e homogéneo. Por outro lado, os eixos 1, 6, 7, 13, 14 e 15 apresentam maior dispersão entre faixas, com distribuição significativa em classes médias e baixas.

O Eixo 1, por exemplo, possui 48% dos segmentos na faixa 0,21–0,30 e apenas 7% na faixa mais elevada (0,91–1,00). O Eixo 13 apresenta 44% na faixa 0,71–0,80, mas também 15% entre 0,11–0,20, reforçando a heterogeneidade interna. Este tipo de distribuição fragmentada aponta para a necessidade de intervenções direcionadas em segmentos específicos.

A análise do critério da Qualidade Ambiental permite distinguir eixos com desempenho elevado e consistente daqueles que apresentam contrastes significativos ou predominância de segmentos com valores moderados de desempenho ambiental. Esta leitura integrada do mapa e da tabela fornece indicações importantes para o planeamento orientado da melhoria das características do ambiente urbano associado à mobilidade ciclável.

Tabela 46: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado do critério Qualidade Ambiental.

EIXO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00 - 0,10	2%	-	43%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,11 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,21 - 0,30	48%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,31 - 0,40	5%	-	-	-	-	47%	50%	21%	-	-	-	-	15%	28%	-
0,41 - 0,50	-	8%	-	-	-	13%	11%	22%	-	2%	-	-	-	41%	-
0,51 - 0,60	39%	52%	-	24%	-	1%	31%	11%	-	84%	-	19%	19%	4%	93%
0,61 - 0,70	-	-	-	-	35%	11%	-	3%	-	-	34%	81%	44%	2%	7%
0,71 - 0,80	-	-	-	-	-	9%	-	19%	49%	-	-	-	-	-	-
0,81 - 0,90	-	16%	-	-	65%	-	-	25%	6%	-	-	-	-	12%	-
0,91 - 1,00	7%	24%	57%	76%	-	19%	9%	-	45%	14%	66%	-	22%	14%	-

Os resultados do teste de comparações múltiplas (DSCF) revelaram diferenças estatisticamente significativas entre diversos eixos da rede ciclável. Os Eixos 2, 3 e 6 destacam-se positivamente, apresentando classificações mais elevadas e diferenças significativas face a um número expressivo de outros eixos, posicionando-os entre os corredores com melhor desempenho ambiental.

O Eixo 1, apesar de apresentar valores mais baixos (moderados), também revela superioridade relativa em relação a vários eixos, sugerindo um padrão ambiental menos desfavorável.

No extremo oposto, os Eixos 9, 12, 13 e 15 evidenciam desempenhos consistentemente inferiores, sendo objeto de múltiplas comparações com diferenças negativas estatisticamente significativas face a eixos com valores mais elevados. Estes resultados apontam para fragilidades ambientais relevantes nesses corredores, possivelmente associadas a questão urbanística e ambientais pouco favoráveis à utilização das bicicletas.

A Tabela 47 mostra exclusivamente os pares de eixos com diferenças estatisticamente significativa ($p < 0,05$), cujos resultados completos se encontram-se no anexo G. As implicações dessas diferenças serão exploradas na síntese final, no ponto 4.8.7, com destaque para os casos críticos e segmentos com potencial para a implementação de boas práticas ambientais.

Tabela 47: Comparações múltiplas para o critério Qualidade Ambiental: pares de eixos com diferenças significativas.

Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor	Comp. múltiplas	W	p-valor
1<>2	78.967	<.001	1<>13	68.884	<.001	4<>15	-53.772	0.014
1<>3	68.549	<.001	1<>15	50.778	0.029	7<>9	49.009	0.044
1<>4	70.502	<.001	2<>7	-50.658	0.030	7<>12	52.637	0.018
1<>5	51.151	0.027	2<>11	50.535	0.031	8<>9	53.294	0.015
1<>9	75.522	<.001	3<>15	-54.239	0.012	9<>12	-71.286	<.001
1<>10	52.918	0.017	4<>7	-48.565	0.049	9<>15	-64.660	<.001
1<>11	74.521	<.001	4<>10	-50.116	0.034	10<>11	49.449	0.040
1<>12	81.993	<.001	4<>14	-49.381	0.040	11<>15	-59.469	0.003

4.9.6. Sistemas Digitais

O critério dos Sistemas Digitais apresenta um padrão de valores fortemente homogéneo entre os 15 eixos analisados, com médias muito próximas das respetivas medianas e reduzida variabilidade interna (Tabela 48). Em todos os eixos, a mediana assume o mesmo valor (0,25), enquanto a média raramente ultrapassa 0,30. A variabilidade é nula nos Eixos 2, 3, 4, 7, 11, 13 e 15, indicando que todos os seus segmentos possuem exatamente a mesma pontuação. Apenas os Eixos 5, 6, 8, 9 e 12 apresentam alguma dispersão, ainda assim limitada, decorrente da presença de poucos segmentos com valores ligeiramente superiores (0,50).

Tabela 48: Estatísticas descritivas dos valores normalizados do critério Sistemas Digitais por eixo.

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Eixo 1	0,2500	0,5000	0,2821	0,2500	0,0847
Eixo 2	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0
Eixo 3	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0
Eixo 4	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0
Eixo 5	0,2500	0,5000	0,3000	0,2500	0,1118
Eixo 6	0,2500	0,5000	0,2917	0,2500	0,0959
Eixo 7	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0
Eixo 8	0,2500	0,5000	0,3056	0,2500	0,1069
Eixo 9	0,2500	0,5000	0,2885	0,2500	0,0939
Eixo 10	0,2500	0,5000	0,2692	0,2500	0,0693
Eixo 11	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0
Eixo 12	0,2500	0,5000	0,2813	0,2500	0,0845
Eixo 13	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0
Eixo 14	0,2500	0,5000	0,2647	0,2500	0,0606
Eixo 15	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0

A análise dos boxplots da Figura 109 reforça esta leitura, evidenciando caixas "achatadas" e medianas idênticas em todos os eixos, com poucos valores superiores a surgir como outliers. Tal distribuição homogénea reflete a baixa presença de Sistemas Digitais na rede urbana, muito reduzida e pouco disseminada, independentemente do eixo considerado.

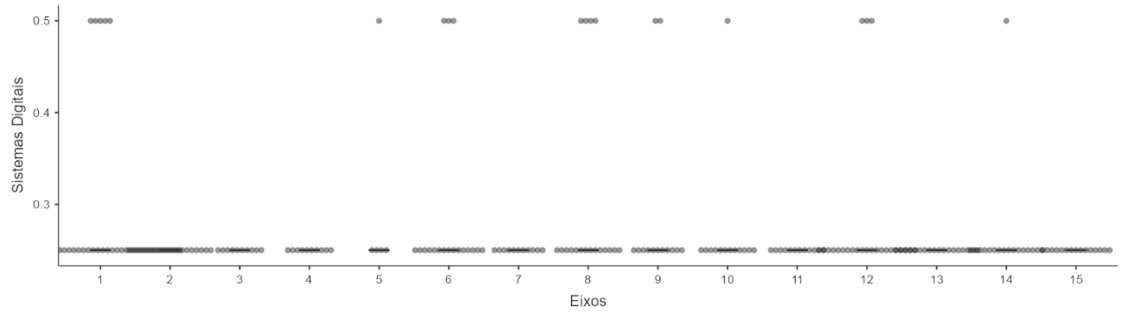


Figura 109: Distribuição dos valores normalizados do critério Sistemas Digitais por eixo (boxplot).

A Figura 110 apresenta a distribuição espacial dos valores normalizados do critério Sistemas Digitais para os eixos definidos. Observa-se um predomínio absoluto de segmentos classificados na faixa baixa (0,21–0,30), representados maioritariamente em tons alaranjados. Apenas alguns segmentos pontuais, dispersos em diferentes eixos, atingem valores ligeiramente superiores (0,31–0,40), traduzidos em tonalidades mais claras. Esta configuração confirma a reduzida presença de soluções digitais, sem concentração de valores elevados em qualquer eixo, demonstrando a inexistência de infraestrutura digital consolidada.

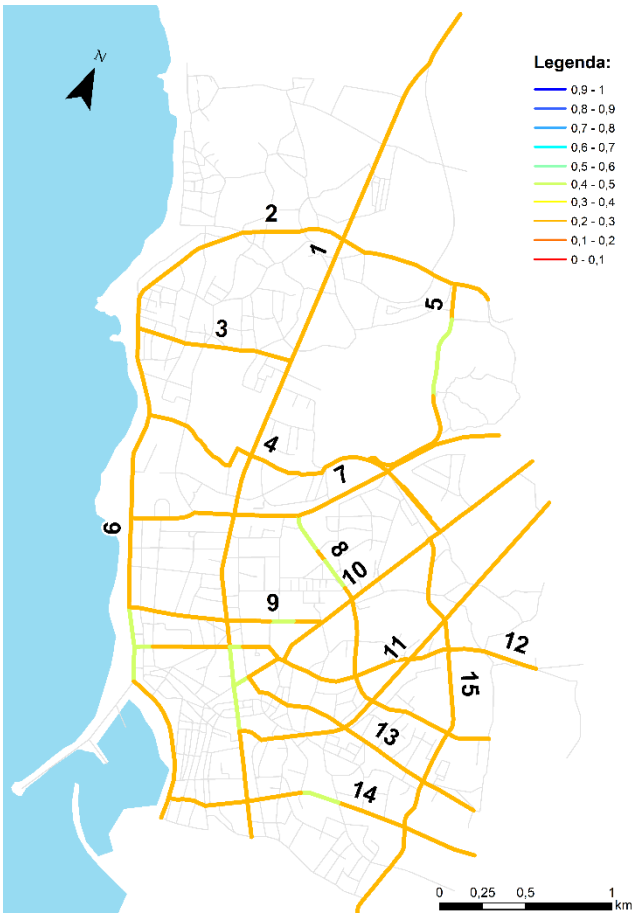


Figura 110: Representação dos valores normalizados do critério Sistemas Digitais para os eixos.

A Tabela 49Tabela 49 reforça a análise espacial, sendo possível constatar que todos os eixos possuem mais de 65% da sua extensão na classe 0,21–0,30, com destaque para os Eixos 2, 3, 4, 8, 13 e 15, que apresentam todos os segmentos nesta classe. Pequenas percentagens em faixas superiores (0,31–0,40) surgem em eixos como o Eixo 1 (10%), 4 (34%), 6 (14%), 8 (23%) e 12 (8%), mas ainda assim em proporções residuais.

Não foram identificados segmentos em faixas moderadas, elevadas ou muito elevadas (≥ 0,41), confirmando a limitada incorporação de sistemas digitais ao longo da rede. Estes resultados corroboram a constatação prévia de que a presença de Sistemas Digitais na rede urbana é muito reduzida e pouco disseminada, carecendo de estratégias específicas para a implementação de soluções de mobilidade inteligente e conectada.

Tabela 49: Rácio de comprimento por classe de valor normalizado do critério Sistemas Digitais.

EIXO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00 - 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,11 - 0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,21 - 0,30	90%	100%	100%	100%	66%	86%	100%	77%	88%	95%	100%	92%	100%	88%	100%
0,31 - 0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,41 - 0,50	10%	-	-	-	34%	14%	-	23%	12%	5%	-	8%	-	12%	-
0,51 - 0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,61 - 0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,71 - 0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,81 - 0,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,91 - 1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

O teste de Kruskal-Wallis aplicado ao critério não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os eixos ($p > 0,05$), resultado que se relaciona diretamente com a ausência de variabilidade observada. Dada esta homogeneidade, não foram realizadas comparações múltiplas. De forma geral, os resultados demonstram que a integração de soluções digitais na rede ciclável é incipiente, limitando-se a alguns segmentos pontuais. Esta constatação evidencia uma lacuna relevante a considerar no planeamento da mobilidade.

4.9.7. Avaliação Global e Diretrizes Estratégicas para os Eixos Definidos

A análise integrada dos resultados obtidos para os quinze eixos definidos permitiu identificar padrões consistentes de desempenho, evidenciando pontos fortes e fragilidades estruturais da rede ciclável. A utilização combinada de estatísticas descritivas, representações espaciais dos valores normalizados (*fuzzyficados*) e testes estatísticos revelou que a maioria dos critérios avaliados apresentou diferenças significativas entre os eixos, confirmando a heterogeneidade do desempenho ciclável na área de estudo.

De modo geral, observou-se que nenhum dos eixos apresenta simultaneamente um desempenho elevado em todos os critérios, sendo frequente a coexistência de bons resultados em determinados aspetos e défices acentuados noutros. Destacam-se positivamente os Eixos 4, 5, 9 e 11, que apresentaram melhor desempenho em critérios como a Qualidade Ambiental e Segurança, podendo servir de referência para a implementação de soluções e boas práticas nestes domínios. Em contrapartida, os Eixos 1, 3, 10, 13 e 15 registaram resultados sistematicamente inferiores em múltiplos critérios, especialmente na Infraestrutura, Multimodalidade e Sistemas Digitais, comprometendo a sua integração funcional na rede.

A Multimodalidade e os critérios emergentes dos Sistemas Partilhados e Sistemas Digitais apresentaram valores globalmente baixos. Os sistemas partilhados encontram-se ausentes da área de estudo, enquanto os sistemas digitais são praticamente inexistentes, com médias semelhantes em todos os eixos e ausência de diferenças significativas nos testes estatísticos de Kruskal-Wallis e de comparações múltiplas (DSCF). Estes resultados evidenciam lacunas estruturais relevantes, que devem ser abordadas de forma prioritária no planeamento futuro para assegurar uma rede mais eficiente e integrada e, consequentemente, valores mais elevados do Índice de Ciclabilidade.

Outro aspeto relevante é a elevada variabilidade interna verificada em diversos eixos como 1, 6, 7, 8, 13 e 14. Esta dispersão sugere que intervenções uniformes em toda a extensão de um eixo ciclável estruturante podem não ser eficazes. Nestes casos, torna-se essencial adotar estratégias segmentadas, que permitam valorizar os segmentos com bom desempenho e intervir de forma específica nos segmentos mais deficitários, garantindo maior equilíbrio e continuidade da rede.

Com base neste diagnóstico global, foram definidas quatro diretrizes estratégicas que permitam orientar uma proposta de intervenção:

1. Qualificação prioritária de eixos críticos e estruturalmente relevantes, como o Eixo 1, através de melhorias integradas nos critérios da Segurança, Infraestrutura e Ambiente Envolvente.
2. Reforço das boas práticas em eixos com desempenhos parciais positivos, como os Eixos 4, 5, 6, 9 e 11, visando consolidar padrões elevados de desempenho e atenuar as desigualdades entre eixos.
3. Integração de critérios emergentes, promovendo a introdução de soluções digitais, sistemas partilhados e maior integração e conectividade multimodal, articulando os eixos com outros modos de transporte.
4. Implementação de intervenções segmentadas em eixos heterogéneos, com atenção às especificidades intrínsecas dos segmentos e das áreas envolventes.

A Tabela 50, apresentada ao final deste ponto, sintetiza os diagnósticos globais e as propostas estratégicas de intervenção para os quinze eixos analisados. Esta sistematização constitui a base para a definição de planos de melhoria específicos, que serão detalhados no capítulo seguinte desta tese, com enfoque nas características e necessidades individuais de cada corredor ciclável e na consolidação de uma rede ciclável mais funcional e equitativa.

Tabela 50: Diagnósticos e propostas estratégicas para os eixos definidos.

Eixo	Diagnóstico Global	Propostas de Intervenção
1	Ciclabilidade baixa, com fragilidades em segurança, qualidade ambiental e baixa digitalização.	Requalificar pontos críticos ambientais (arborização, redução de ruído); implementar infraestruturas segregadas; instalar sinalização digital básica.
2	Desempenho ambiental positivo, mas deficiente em segurança e integração multimodal.	Melhorar iluminação e visibilidade; reforçar ligações com transporte público; criar pontos de estacionamento para bicicletas.
3	Boa qualidade ambiental e infraestrutura, mas segurança limitada e ausência de digitalização.	Introduzir medidas de acalmia de tráfego; inserir elementos de proteção física; instalar contadores de bicicletas e sinalização inteligente.
4	Um dos melhores eixos, com elevada qualidade ambiental e infraestrutura; falta de soluções digitais.	Expandir boas práticas para troços adjacentes; incluir interfaces digitais informativas; implementar sinalização em tempo real.
5	Desempenho mediano e heterogéneo, com variações internas acentuadas.	Padronizar as infraestruturas lineares; corrigir descontinuidades; criar pontos de apoio ao ciclista.
6	Eixo longo e heterogéneo, com fragilidades em segurança, conectividade e qualidade ambiental.	Criar zonas 30 em interseções; ampliar conexões com rede pedonal e transporte público; melhorar arborização.
7	Baixa qualidade ambiental e infraestrutura fragmentada; segurança deficiente.	Padronizar a infraestrutura; criar separadores físicos; arborizar os troços; reforçar iluminação pública.
8	Desempenho intermédio, com potencial para maior integração multimodal e digital.	Instalar pontos de interligação com transporte público; ampliar cobertura vegetal; implementar soluções digitais básicas.
9	Bons indicadores ambientais, mas baixa infraestrutura ciclável e fraca integração modal.	Construir faixas segregadas; melhorar intersecções; instalar iluminação específica para bicicletas.
10	Eixo compacto, bom em segurança e infraestrutura, mas fraco em qualidade ambiental e digitalização.	Experimentar soluções digitais piloto; criar pontos de apoio ao ciclista; arborizar e instalar mobiliário urbano.
11	Bom desempenho em infraestrutura e segurança; ausência de integração multimodal e digital.	Ampliar integração com outros modos; incluir sinalização digital; instalar sensores e interfaces informativas.
12	Desempenho homogéneo e razoável, mas carece de reforço em segurança e soluções digitais.	Reforçar passagens para ciclistas; melhorar iluminação; implementar pontos de apoio.
13	Alta variabilidade; fragilidades na integração multimodal e ausência de sistemas digitais.	Criar pontos de interligação com transporte público; introduzir sinalização digital.
14	Resultados baixos nos critérios emergentes (multimodalidade e digitalização).	Criar estações de carregamento para bicicletas elétricas; adicionar sinalização inteligente.
15	Perfil funcional, mas ausência de elementos digitais e partilhados.	Promover a multimodalidade; implementar soluções digitais de apoio.

4.10. CENÁRIO DE MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE CICLABILIDADE AO NÍVEL DOS CRITÉRIOS EMERGENTES

Nesta seção apresenta-se um cenário hipotético de melhoria das condições de ciclabilidade tendo por base uma abordagem destinada a avaliar como a plena inclusão de soluções que satisfaçam as necessidades associadas aos critérios emergentes poderia alterar o desempenho da rede ciclável da área de estudo. Este exercício tem como objetivo projetar o potencial de melhoria decorrente da implementação de medidas de rápida execução e com impacto direto na ciclabilidade. Trata-se de uma análise prospetiva que procura estimar os benefícios da adoção de estratégias inovadoras e complementares à infraestrutura física existente.

A construção do cenário baseia-se na atribuição de pontuação máxima aos indicadores associados aos sistemas partilhados, às soluções digitais e aos pontos de apoio e carregamento de bicicletas elétricas, permitindo avaliar o efeito combinado dessas melhorias sobre o índice ciclabilidade proposto nesta tese.

A escolha destes critérios resulta de duas considerações base. Em primeiro lugar, a disponibilização de serviços de bicicletas partilhadas pode ser concretizada por via de regulamentação municipal que autorize a atuação de operadores privados ou que promova a concessão do serviço, reduzindo a necessidade de grandes investimentos públicos e acelerando a respetiva implementação. Em segundo lugar, as soluções digitais, como a implementação de sinalização inteligente, contadores de ciclistas e a integração com aplicações de mobilidade, de forma faseada e com menor impacto físico, ou seja, sem necessidade de intervenções extensivas na infraestrutura viária.

A inclusão de pontos de carregamento para bicicletas elétricas constitui, por sua vez, uma medida adicional de incentivo ao uso deste modo de transporte. Ao aproveitar a infraestrutura já existente para carregamento de veículos elétricos, é possível disponibilizar estações de carregamento a custo reduzido. A oferta gratuita ou subsidiada numa fase inicial poderá incentivar a adesão dos utilizadores e consolidar a presença da bicicleta na repartição modal.

A Tabela 51 apresenta os principais parâmetros estatísticos do Índice de Ciclabilidade para a situação atual e para o cenário hipotético de melhoria das condições de ciclabilidade. Observa-se um acréscimo de 0,1446 na média e na mediana, refletindo uma melhoria geral dos valores do índice quando se alcança uma pontuação máxima nos critérios emergentes. Os valores mínimo e

máximo também apresentam registam um aumento, com acréscimos de 0,1445 e 0,1521, respetivamente. O desvio padrão mantém-se idêntico em ambos os cenários, resultado expectável dada a aplicação uniforme a todos os segmentos da rede.

Tabela 51: Estatísticas descritivas do índice de ciclabilidade para a situação atual e para o cenário de melhoria.

	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
Situação Atual	0,1935	0,6120	0,3686	0,3655	0,0643
Cenário Hipotético	0,3380	0,7641	0,5132	0,5101	0,0643

O boxplot da Figura 111 confirma este comportamento, evidenciando o deslocamento da mediana e da dispersão interquartil para valores mais elevados no cenário hipotético. A comparação das distribuições mostra que a rede ascende globalmente para classes superiores de pontuação, mantendo, contudo, a mesma variabilidade interna, o que reforça o carácter uniforme da melhoria obtida.

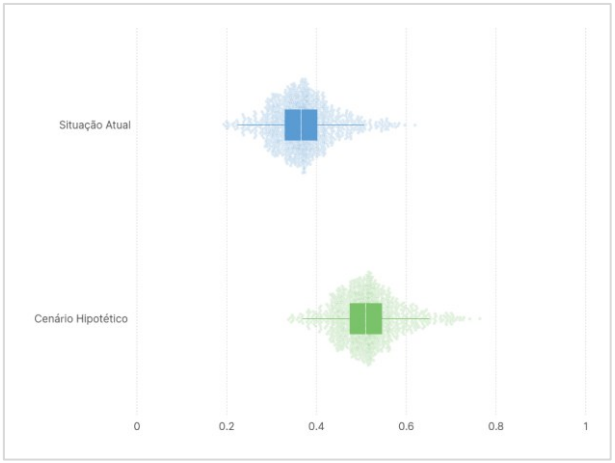


Figura 111: Distribuição dos valores do índice de ciclabilidade para a situação atual e para o cenário de melhoria.

A análise espacial, representada pelos mapas da Figura 112 e da Figura 113, permite visualizar as mudanças na distribuição dos valores do índice. No cenário hipotético, observa-se a predominância de tons verde-azulados, em contraste com as tonalidades amareladas da situação atual.

Verifica-se ainda que segmentos anteriormente concentrados nas classes 0,31–0,40 e 0,41–0,50 passam a integrar as classes 0,41–0,60 e 0,51–0,70. A

Tabela 52 confirma esta alteração, mostrando um aumento expressivo da classe 0,51–0,60 (de 5,2 % para 43,9 %) e da classe 0,61–0,70 (de 0,1 % para 7,6 %), bem como o surgimento da classe 0,71–0,80 (2,6 %), inexistente no cenário atual.

A análise por zonas (Figura 46) mostra que as melhorias se verificam em toda a rede, como seria expectável dada a aplicação uniforme dos valores máximos aos critérios emergentes. As Zonas 1 e 2, correspondentes ao núcleo histórico e à área central de serviços, apresentam o maior incremento de segmentos classificados em classes médias e elevadas. As Zonas 3, 4 e 5, de carácter costeiro ou de urbanização mais recente, registam melhorias moderadas, ainda que persistam alguns segmentos em classes baixas. As Zonas 6 e 7, mais interiores e dispersas, apresentam ganhos menos expressivos, mantendo os valores globais mais reduzidos.

Por fim, a análise espacial a partir dos quadrantes definidos pelos Eixos 1 (EN13) e 7 mostra que as melhorias são mais notórias no quadrante sudoeste, coincidente com a área de maior densidade urbana e centralidade funcional. Ainda assim, os restantes quadrantes também registam um incremento relevante das pontuações, demonstrando o efeito generalizado da intervenção simulada.

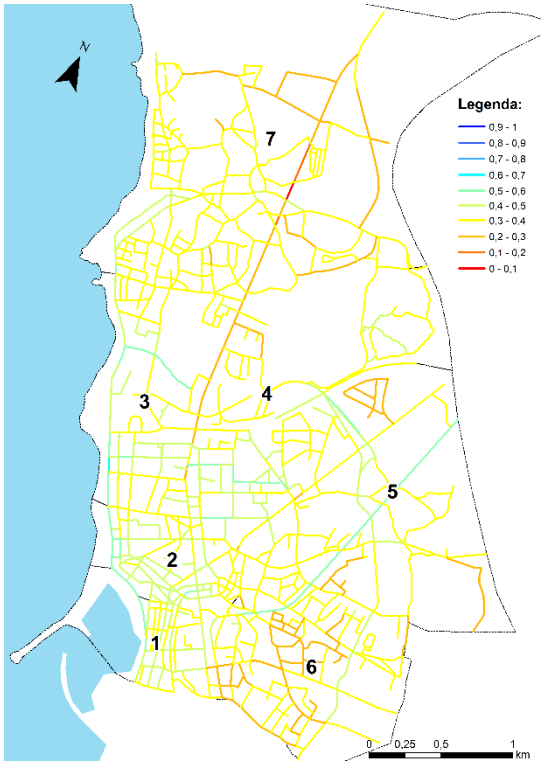


Figura 112: Ciclabilidade da rede para a situação atual.

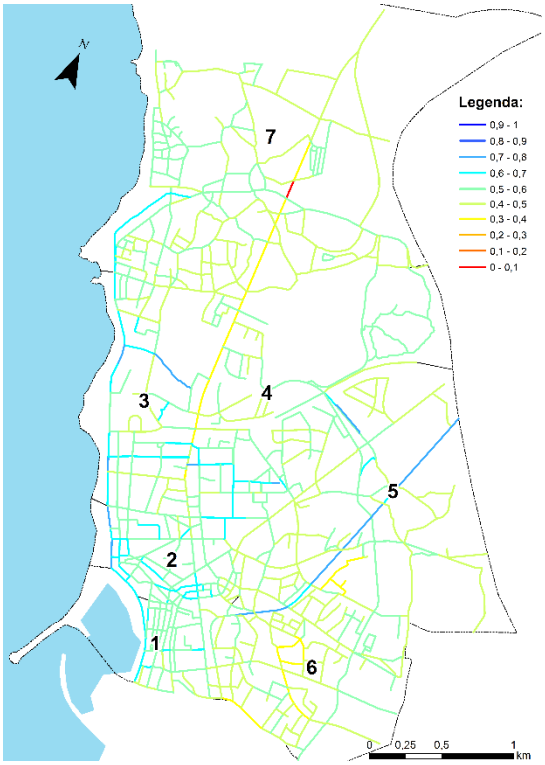


Figura 113: Ciclabilidade da rede para cenário com desempenho pleno dos critérios emergentes.

Tabela 52: Rácio do comprimento da rede por classes para a situação atual e para o cenário hipotético.

EIXO	Situação Atual	Cenário Hipotético
0,00 - 0,10	-	-
0,11 - 0,20	**0,4%** *(513,1 m)*	-
0,21 - 0,30	**13,2%** (15.718,0 m)	-
0,31 - 0,40	**61,8%** (73.586,4 m)	**3,7%** (4.374,9 m)
0,41 - 0,50	**19,2%** *(*22.853,8 m)	**42,2%** (50.246,4 m)
0,51 - 0,60	**5,2%** (62.41,9 m)	**43,9%** (52.238,6 m)
0,61 - 0,70	**0,1%** (104,2 m)	**7,6%** (9.045,8 m)
0,71 - 0,80	-	**2,6%** (3.111,7 m)
0,81 - 0,90	-	-
0,91 - 1,00	-	-

Em síntese, os resultados confirmam que a atribuição de valores máximos aos critérios emergentes produz uma melhoria média de cerca de 0,14 no índice da ciclabilidade da rede, sem alterar significativamente a variabilidade interna. Este resultado reforça o potencial de medidas de rápida implementação, como serviços de bicicletas partilhadas, soluções digitais e pontos de carregamento para bicicletas elétricas, para promover a mobilidade ativa e elevar a atratividade da rede ciclável.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. CONTRIBUIÇÕES DA INVESTIGAÇÃO

A presente investigação contribuiu para o avanço do conhecimento sobre a avaliação da ciclabilidade (*bikeability*), propondo um modelo estruturado e abrangente que integra critérios tradicionais e emergentes de forma hierarquizada, com recurso ao Processo Analítico Hierárquico (AHP).

A estrutura adotada distingue-se pelo seu carácter holístico, articulando critérios, subcritérios e indicadores capazes de representar, de forma integrada, diferentes dimensões da mobilidade ciclável.

O modelo desenvolvido permitiu responder às perguntas de investigação formuladas, demonstrando a importância de incorporar novas dimensões, como bicicletas elétricas, sistemas partilhados e soluções digitais, na construção de índices de ciclabilidade atuais e orientados para o planeamento urbano. Uma das principais contribuições foi a criação de uma estrutura metodológica flexível, capaz de integrar indicadores tradicionais e inovadores, permitindo uma leitura mais completa da aptidão das redes viárias e dos territórios para o uso da bicicleta como meio regular de transporte.

A utilização do AHP revelou-se particularmente relevante, funcionando como um método participativo, robusto e transparente, que possibilita a atribuição de pesos relativos aos critérios e subcritérios com base na perceção de diferentes tipos de *stakeholders*. Esta abordagem confere maior legitimidade e rigor ao processo de priorização das dimensões avaliadas.

A investigação também reforçou a relevância dos critérios tradicionais, como a segurança e infraestrutura, que permanecem como pilares centrais da ciclabilidade de uma rede de mobilidade urbana. Por outro lado, foi possível demonstrar que a integração de critérios emergentes pode ter impacto significativo na melhoria global da ciclabilidade, mesmo em contextos em que tais elementos ainda estão pouco presentes. Esta resultado sublinha a importância da adoção de políticas e medidas que promovam a introdução de tecnologia e inovação na mobilidade ativa.

A aplicação prática do modelo ao caso da Póvoa de Varzim constituiu um contributo adicional, permitindo validar a operacionalização da metodologia proposta nesta tese e identificar potencialidades e fragilidades específicas da rede local. Com base nos resultados obtidos, foi possível identificar diferenças de desempenho significativas entre segmentos da rede, eixos e zonas, evidenciando a utilidade do índice para orientar intervenções a diferentes escalas territoriais.

A decomposição do Índice de Ciclabilidade em critérios, subcritérios e indicadores permitiu isolar elementos críticos e propor intervenções específicas para cada nível de análise. Esta capacidade analítica multiescalar constitui uma mais-valia para a definição de estratégias públicas alinhadas com os objetivos da mobilidade sustentável. Os resultados demonstraram que a ponderação dos critérios através do AHP contribui para a identificação dos elementos mais críticos da rede, reforçando a necessidade de estratégias de intervenção segmentadas e melhor direcionadas.

Com este trabalho, foi produzido um índice de ciclabilidade que alia robustez metodológica, integração de múltiplas dimensões e aplicabilidade prática. O Índice constitui um instrumento útil para apoiar decisões no âmbito do planeamento urbano e da promoção da mobilidade sustentável., respondendo de forma clara às quatro perguntas de investigação propostas.

Em primeiro lugar, respondeu-se à pergunta: **Que critérios emergentes e inovadores podem alterar o conceito atual de ciclabilidade?** A investigação identificou que sistemas de bicicletas partilhadas, bicicletas elétricas, a multimodalidade e as soluções digitais representam critérios emergentes com potencial para alterar significativamente o conceito atual de ciclabilidade. Estes elementos ampliam o alcance funcional da bicicleta, diversificam os perfis de utilizadores e introduzem novas dimensões de atratividade, flexibilidade e conectividade no uso da bicicleta em meio urbano.

Em segundo lugar, respondeu-se à pergunta: **Como avaliar a importância dos novos critérios num índice de ciclabilidade?** Demonstrou-se que é possível avaliar a importância destes novos

critérios de forma estruturada através do método AHP. Este procedimento permitiu atribuir pesos relativos a cada critério, refletindo a perceção de stakeholders e permitindo comparar e priorizar critérios tradicionais e emergentes de forma clara e sistemática, sendo possível constatar que, em ambientes onde critérios tradicionais ainda predominem, os novos critérios começam a adquirir expressão significativa na análise da ciclabilidade.

Em terceiro lugar, respondeu-se à pergunta: **Como desenvolver novos indicadores para caracterizar os diversos critérios para se obter um índice de ciclabilidade tão holístico quanto possível?** O modelo proposto incorporou indicadores especificamente concebidos para cada novo critério, como o número e cobertura de estações de bicicletas partilhadas, a existência de pontos de carregamento, a integração modal com o transporte público e a presença de soluções digitais. Estes indicadores captam as transformações recentes da mobilidade urbana e sustentam a construção de um índice mais sensível e abrangente.

Por fim, respondeu-se à pergunta: **Como tornar um índice uma ferramenta orientada para a definição de políticas, estratégias e planeamento de redes cicláveis em meios urbanos?** O índice demonstrou aplicabilidade prática ao permitir identificar eixos prioritários de intervenção, avaliar o desempenho de segmentos específicos da rede ciclável e apoiar a formulação de estratégias ao nível dos processos de planeamento e tomada de decisão. O resultado oferece um suporte empírico e científico concreto para a tomada de decisões baseadas em evidência, tanto no diagnóstico atual como na projeção de cenários futuros, contribuindo para a definição de políticas públicas e medidas adaptadas a diferentes realidades.

Deste modo, confirma-se a hipótese de que a incorporação de critérios emergentes nos índices de ciclabilidade pode alterar significativamente os resultados e revelar novos potenciais de aptidão ciclável, mesmo em contextos urbanos com limitações infraestruturais. Esta constatação reforça o papel do índice de ciclabilidade como suporte ao planeamento e à promoção de uma mobilidade mais sustentável, digital e partilhada.

5.2. RECOMENDAÇÕES E APLICAÇÕES PRÁTICAS

Os resultados desta investigação oferecem contributos relevantes para a formulação de políticas públicas e estratégias de planeamento urbano orientadas para a promoção da mobilidade ciclável. A aplicação do modelo desenvolvido demonstrou a importância de considerar simultaneamente critérios tradicionais, como segurança, infraestrutura e ambiente envolvente, e critérios emergentes, como

qualidade ambiental, multimodalidade, sistemas partilhados e soluções digitais, na avaliação da aptidão ciclável dos territórios.

A análise do caso de estudo evidencia a necessidade de reforçar a infraestrutura física e as condições de segurança, assegurando a criação de redes cicláveis contínuas, segregadas e bem integradas com o tecido urbano. Estas intervenções devem priorizar os eixos estruturantes, ligando zonas de elevada procura potencial e áreas centrais de serviços, comércio e equipamentos públicos, de forma a maximizar o seu impacto.

A aplicação do Índice de Ciclabilidade em ambiente SIG demonstrou ser um recurso adequado para a definição de prioridades territoriais. A associação dos pesos atribuídos pelos *stakeholders* à georreferenciação dos indicadores permitiu produzir mapas temáticos que identifiquem segmentos críticos e áreas com elevado potencial de intervenção. Esta articulação entre a análise multicritério e o planeamento territorial reforça a utilidade do modelo no apoio à definição de investimentos, planos de ação e monitorização da utilização e desempenho da rede ciclável.

Torna-se igualmente essencial integrar progressivamente critérios emergentes, promovendo a implementação de sistemas de bicicletas partilhadas, pontos de carregamento para bicicletas elétricas e soluções digitais de apoio ao utilizador. Entre estas últimas incluem-se a sinalização inteligente, a informação em tempo real e as plataformas de planeamento de viagens. A implementação destas medidas aumenta a atratividade do modo ciclável e oferece vantagens competitivas em relação ao transporte individual motorizado, especialmente em contextos urbanos com reduzida oferta de infraestrutura dedicada à bicicleta.

Os resultados sugerem ainda que a tecnologia e os serviços digitais, apesar de não terem sido fortemente priorizados pelos *stakeholders*, podem ganhar maior relevância se estiverem diretamente associados à segurança, à navegação personalizada e ao suporte em tempo real. Assim, recomenda-se que futuras investigações explorem o potencial das ferramentas digitais integradas com infraestrutura física, como alertas de risco, sensores ambientais ou sistemas de assistência inteligente ao ciclista.

Outro aspeto crucial é o planeamento participativo, uma vez que garante que diferentes grupos de *stakeholders* (especialistas e utilizadores) contribuam para que as políticas cicláveis reflitam as necessidades locais. O modelo proposto pode ser adaptado a diferentes contextos urbanos, permitindo redefinir pesos e selecionar critérios mais ajustados a cada realidade, configurando-se

como uma ferramenta flexível de diagnóstico, apoio à decisão e monitorização de intervenções em redes cicláveis municipais ou regionais

5.3. LIMITAÇÕES DA INVESTIGAÇÃO

Apesar das contribuições metodológicas e práticas deste estudo, algumas limitações devem ser reconhecidas para uma interpretação adequada dos seus resultados. A estrutura holística proposta implicou a utilização de um número elevado de indicadores, o que ampliou a capacidade de representação das várias dimensões da ciclabilidade, mas também exigiu um esforço significativo na recolha, organização e tratamento dos dados. Em contextos com limitações de recursos, poderá ser necessário simplificar o modelo para equilibrar complexidade e aplicabilidade.

A disponibilidade e qualidade dos dados constituíram outra limitação relevante. Ainda que se tenham recorrido a fontes públicas e plataformas de dados abertos, nem todos os subcritérios puderam ser totalmente satisfeitos. Para alguns indicadores, como a criminalidade e poluição atmosférica, foi necessário recorrer a aproximações (*proxies*) obtidas pela combinação de variáveis. Embora fundamentada, esta solução pode introduzir enviesamentos e reduzir a precisão da análise.

Durante o desenvolvimento da investigação ocorreram alterações pontuais na rede viária da área de estudo, com a implementação de novos segmentos e modificações no traçado. Embora a data da versão da rede utilizada tenha sido claramente definida, estas alterações podem influenciar futuras aplicações do Índice, tornando necessária a atualização periódica da base de dados e das análises correspondentes.

No que diz respeito ao processo de atribuição de pesos, a consulta aos *stakeholders* foi realizada exclusivamente online devido às restrições impostas pelo contexto pandémico. Esta limitação pode ter reduzido o grau de envolvimento e compreensão do método do AHP. Embora a consistência dos julgamentos individuais tenha sido analisada e compensada pela agregação das respostas, é possível que interações presenciais pudessem ter promovido maior debate sobre questões metodológicas e aprofundamento dos resultados.

Por último, importa referir que a cidade estudada apresenta baixa maturidade na adoção de soluções cicláveis e no uso de sistemas de bicicletas partilhadas. Esta situação não compromete a utilidade do modelo como ferramenta de diagnóstico, mas restringe a expressão dos critérios emergentes. A aplicação do modelo em cidades com maior maturidade tecnológica poderá fornecer uma visão mais completa sobre o impacto destes fatores na promoção da mobilidade ciclável.

5.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O modelo desenvolvido nesta investigação constitui uma base metodológica robusta e versátil para a avaliação do desempenho de redes cicláveis em contextos urbanos. O seu carácter inovador e flexível abre caminho para diversos desenvolvimentos futuros, capazes de ampliar o seu potencial analítico e a sua utilidade prática.

Uma primeira linha de avanço consiste na replicação do modelo em diferentes realidades territoriais. Esta aplicação permitirá comparar e testar a sua adaptabilidade, bem como aferir a sensibilidade dos resultados a contextos urbanos com diferentes níveis de maturidade infraestrutural e tecnológica. Cidades com programas consolidados de partilha de bicicletas ou de maior integração de tecnologias digitais poderão apresentar padrões distintos de prioridade, permitindo refinar a estrutura do índice e aprofundar o conhecimento sobre os fatores que condicionam a mobilidade ciclável.

Outro desenvolvimento relevante é a atualização e o aperfeiçoamento dos indicadores, em particular os relacionados com critérios emergentes. A recolha de dados mais detalhados sobre criminalidade, poluição atmosférica e características de deslocação dos ciclistas permitirá melhorar o ajuste e a precisão dos resultados e reduzir a dependência de *proxies*. A crescente disponibilidade de bases de dados georreferenciadas e de sensores ambientais em tempo real representa uma oportunidade para enriquecer o modelo e torná-lo mais dinâmico.

A replicação do modelo em contextos com sistemas de bicicletas partilhadas e soluções digitais consolidadas poderá fornecer novos elementos de análise. Este exercício permitirá avaliar de forma mais abrangente o impacto desses fatores na mobilidade ciclável, ajustar os pesos atribuídos aos critérios e compreender o papel efetivo das inovações tecnológicas na promoção do uso quotidiano da bicicleta. Recomenda-se também a reavaliação dos subcritérios associados aos sistemas digitais, no sentido de os aproximar de aspetos mais estruturantes de segurança e infraestrutura, como alertas em tempo real, sinalização dinâmica e integração com sensores urbanos.

A integração do modelo do Índice de Ciclabilidade com ferramentas de planeamento participativo constitui outra oportunidade de desenvolvimento. Ao envolver *stakeholders* locais (*e.g.* cidadãos, operadores de transporte, associações), é possível alinhar os resultados com as necessidades e expetativas reais da comunidade. Esta abordagem reforça o carácter prático do modelo e a sua utilidade na definição de prioridades de intervenção, alocação de recursos e estabelecimento de metas operacionais em planos de mobilidade urbana sustentável.

Por último, é recomendável explorar cenários prospetivos baseados em variações infraestruturais, tecnológicas e demográficas. A utilização de técnicas de inteligência artificial pode viabilizar a modelação preditiva da ciclabilidade a partir de grandes volumes de dados espaciais e temporais. Estas simulações automatizadas permitiriam atualizar continuamente os resultados e avaliar o impacto de intervenções antes da sua implementação. A integração destas ferramentas analíticas reforçaria o modelo desenvolvido nesta investigação como instrumento estratégico de planeamento e monitorização, apoiando decisões mais informadas e adaptáveis, tendo em vista a promoção da sustentabilidade, a equidade e a inovação na mobilidade urbana

5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente investigação procurou responder a um desafio contemporâneo no domínio do planeamento urbano: como avaliar de forma mais abrangente e adaptada a aptidão das redes viárias e dos territórios para o uso da bicicleta como meio de transporte regular. A construção de um índice de ciclabilidade estruturado a partir do Processo Analítico Hierárquico (AHP), integrando critérios tradicionais e emergentes, demonstrou ser uma abordagem eficaz para captar as múltiplas dimensões da mobilidade ciclável.

A articulação entre estrutura hierárquica, participação de *stakeholders* e análise espacial permitiu desenvolver um modelo flexível, replicável e capaz de identificar fragilidades da rede e soluções, apoiar a tomada de decisão e promover políticas mais inclusivas. O caso da Póvoa de Varzim demonstrou o potencial da metodologia, oferecendo contributos concretos para a melhoria da rede ciclável local e servindo de referência para outras cidades com características semelhantes.

A investigação também evidenciou o valor estratégico e transformador da inclusão de critérios emergentes nos modelos de avaliação da ciclabilidade. Apesar de ainda pouco relevantes em cidades com menor maturidade tecnológica e institucional, estes fatores tendem a ganhar importância à medida que a mobilidade urbana evolui para sistemas mais conectados, partilhados e tecnologicamente assistidos.

Espera-se que os contributos desta tese ultrapassem o campo académico e sejam utilizados como base metodológica e operacional para orientar intervenções concretas em prol da mobilidade sustentável. Ao integrar diagnóstico, planeamento e apoio à decisão, o modelo proposto oferece um caminho promissor para consolidar redes cicláveis mais seguras, equitativas e eficientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahrens, G.-A., Becker, U., Böhmer, T., Richter, F., & Rico, W. (2013). *Potential of Cycling to Reduce Emissions in Road Transport*.

Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, *60*, 234–245. https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009

Antonio Alonso, J., & Teresa Lamata, M. (2006). CONSISTENCY IN THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS: A NEW APPROACH. In *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* (Vol. 14, Issue 4). www.worldscientific.com

Araújo, R. J. F. (2012). *Desenvolvimento de uma Bicicleta Elétrica*. Universidade do Minho.

Arellana, J., Saltarín, M., Larrañaga, A. M., González, V. I., & Henao, C. A. (2020). Developing an urban bikeability index for different types of cyclists as a tool to prioritise bicycle infrastructure investments. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 139(January 2019), 310–334. https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.07.010

Astegiano, P., Tampère, C. M. J., & Beckx, C. (2015). A preliminary analysis over the factors related with the possession of an electric bike. *Transportation Research Procedia*, *10*(July), 393–402. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.089

Bachand-Marleau, J., Lee, B., & El-Geneidy, A. (2012). Better Understanding of Factors Influencing Likelihood of Using Shared Bicycle Systems and Frequency of Use. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2314*, 66–71. https://doi.org/10.3141/2314-09

Banihabib, M. E., Hashemi, F., & Shabestari, M. H. (2017). A Framework for Sustainable Strategic Planning of Water Demand and Supply in Arid Regions. *Sustainable Development*, *25*(3), 254–266. https://doi.org/10.1002/sd.1650

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, *15*(2), 73–80. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005

Behrendt, F. (2018). Why cycling matters for electric mobility: towards diverse, active and sustainable e-mobilities. *Mobilities*, *13*(1), 64–80. https://doi.org/10.1080/17450101.2017.1335463

Bieliński, T., & Ważna, A. (2020). Electric scooter sharing and bike sharing user behaviour and characteristics. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(22), 1–13. https://doi.org/10.3390/su12229640

Bigazzi, A., & Berjisian, E. (2021). Modeling the impacts of electric bicycle purchase incentive program designs. *Transportation Planning and Technology*, *44*(7), 679–694. https://doi.org/10.1080/03081060.2021.1956806

Bjørnarå, H. B., Berntsen, S., Te Velde, S. J., Fegran, L., Fyhri, A., Deforche, B., Andersen, L. B., & Bere, E. (2017). From cars to bikes - The feasibility and effect of using e-bikes, longtail bikes and traditional bikes for transportation among parents of children attending kindergarten: Design of a randomized cross-over trial. *BMC Public Health*, *17*(1), 1–9. https://doi.org/10.1186/s12889-017-4995-z

Bu, C., Cui, X., Li, R., Li, J., Zhang, Y., Wang, C., & Cai, W. (2021). Achieving net-zero emissions in China's passenger transport sector through regionally tailored mitigation strategies. *Applied Energy*, *284*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116265

C.M. Póvoa de Varzim. (2019). Plano de urbanização: Relatório. *Departamento de Gestão Urbanística e Ambiente*

C.M. Póvoa de Varzim. (2022). Plano de Mobilidade Urbana Sustentável. https://www.cm-pvarzim.pt/territorio/mobilidade/plano-de-mobilidade-urbana-sustentavel/

Cairns, S., Behrendt, F., Raffo, D., Beaumont, C., & Kiefer, C. (2017). Electrically-assisted bikes: Potential impacts on travel behaviour. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *103*, 327–342. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.03.007

Campbell, A. A., Cherry, C. R., Ryerson, M. S., & Yang, X. (2016). Factors influencing the choice of shared bicycles and shared electric bikes in Beijing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *67*, 399–414. https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.03.004

Campos, V. B. G. (2013). *Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos* (1st ed.). https://www.editorainterciencia.com.br/index.asp?pg=prodDetalhado.asp&idprod=304

Chin, K. S., Yang, Q., Chan, C. Y. P., Tsui, K. L., & Li, Y. lai. (2019). Identifying passengers' needs in cabin interiors of high-speed rails in China using quality function deployment for improving passenger satisfaction. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *119*, 326–342. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.004

.CROW. (2016). *Design Manual for Bicycle Traffic* (H. Rik de Groot, Ed.).

Czech, P., Turoń, K., & Urbańczyk, R. (2018). Bike-sharing as an element of integrated Urban transport system. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *631*, 103–111. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62316-0_8

de Kruijf, J., Ettema, D., Kamphuis, C. B. M., & Dijst, M. (2018). Evaluation of an incentive program to stimulate the shift from car commuting to e-cycling in the Netherlands. *Journal of Transport and Health*, *10*, 74–83. https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.06.003

De Nazelle, A., Nieuwenhuijsen, M. J., Antó, J. M., Brauer, M., Briggs, D., Braun-Fahrlander, C., Cavill, N., Cooper, A. R., Desqueyroux, H., Fruin, S., Hoek, G., Panis, L. I., Janssen, N., Jerrett, M., Joffe, M., Andersen, Z. J., van Kempen, E., Kingham, S., Kubesch, N., … Lebret, E. (2011). Improving health through policies that promote active travel: A review of evidence to support integrated health impact assessment. In *Environment International* (Vol. 37, Issue 4, pp. 766–777). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.02.003

Di Mascio, P., Fusco, G., Grappasonni, G., Moretti, L., & Ragnoli, A. (2018). Geometrical and functional criteria as a methodological approach to implement a new cycle path in an existing Urban Road Network: A Case study in Rome. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(8). https://doi.org/10.3390/su10082951

Doloi, H. (2008). Application of AHP in improving construction productivity from a management perspective. *Construction Management and Economics*, *26*(8), 841–854. https://doi.org/10.1080/01446190802244789

Dozza, M., Bianchi Piccinini, G. F., & Werneke, J. (2016). Using naturalistic data to assess e-cyclist behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *41*, 217–226. https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.003

Eastman, J. R., Jiang, H., & Toledano, J. (1998). Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. In E. Beinat & P. Nijkamp (Eds.), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management* (pp. 227–251). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9058-7_13

ECF (2015). Cycling delivers on the global goals (p. 8). *European Cyclists' Federation*. https://ecf.com/resources/cycling-delivers-global-goals

EEA (2024). Greenhouse gas emissions from transport in Europe. *European Environment Agency*. https://www.eea.europa.eu

Eliou, N., Galanis, A., & Proios, A. (2009). Evaluation of the bikeability of a Greek city: Case study "City of Volos." *WSEAS Transactions on Environment and Development*, *5*(8), 545–555.

Faghih-Imani, A., Eluru, N., El-Geneidy, A. M., Rabbat, M., & Haq, U. (2014). How land-use and urban form impact bicycle flows: evidence from the bicycle-sharing system (BIXI) in Montreal. *Journal of Transport Geography*, *41*, 306–314. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.01.013

Fazio, M., Giuffrida, N., Le Pira, M., Inturri, G., & Ignaccolo, M. (2020). Bike oriented development: Selecting locations for cycle stations through a spatial approach. *Research in Transportation Business and Management*, *June*, 100576. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100576

Fishman, E. (2016). Bikeshare: A Review of Recent Literature. *Transport Reviews*, *36*(1), 92–113. https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1033036

Fishman, E., & Cherry, C. (2016). E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research. *Transport Reviews*, *36*(1), 72–91. https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1069907

Fishman, E., Washington, S., & Haworth, N. (2013). Bike Share: A Synthesis of the Literature. *Transport Reviews*, *33*(2), 148–165. https://doi.org/10.1080/01441647.2013.775612

Fishman, E., Washington, S., Haworth, N., & Mazzei, A. (2014). Barriers to bikesharing: An analysis from Melbourne and Brisbane. *Journal of Transport Geography*, *41*, 325–337. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.08.005

Fishman, E., Washington, S., Haworth, N., & Watson, A. (2015). Factors influencing bike share membership: An analysis of Melbourne and Brisbane. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *71*, 17–30. https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.10.021

Franke, T., & Krems, J. F. (2013). Interacting with limited mobility resources: Psychological range levels in electric vehicle use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *48*, 109–122. https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.10.010

Fyhri, A., & Fearnley, N. (2015). Effects of e-bikes on bicycle use and mode share. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *36*(February 2018), 45–52. https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.005

Fyhri, A., Heinen, E., Fearnley, N., & Sundfør, H. B. (2017). A push to cycling—exploring the e-bike's role in overcoming barriers to bicycle use with a survey and an intervention study. *International*

Journal of Sustainable Transportation, *11*(9), 681–695. https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1302526

Gholamialam, A., & Matisziw, T. C. (2019). Modeling Bikeability of Urban Systems. *Geographical Analysis*, *51*(1), 73–89. https://doi.org/10.1111/gean.12159

Goepel, K. (2018). Implementation of an Online software tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, *10*(3), 469–487. https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590

Gómez Romero, J. A., Soto Flores, R., & Garduño Román, S. (2019). Determinación de las Ponderaciones de los Criterios de Sustentabilidad Hidroeléctrica mediante la Combinación de los Métodos AHP y GP Extendida. *Ingeniería*, *24*(2). https://doi.org/10.14483/23448393.14469

Gonçalves, L. A. da P. J. (2022). *Resiliência no Sistema de Transportes e Mobilidade Urbana. Caso de estudo da cidade da Póvoa de Varzim*. Universidade do Minho.

Goodman, A., & Cheshire, J. (2014). Inequalities in the London bicycle sharing system revisited: impacts of extending the scheme to poorer areas but then doubling prices. *Journal of Transport Geography*, *41*, 272–279. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.04.004

Gorenflo, C., Rios, I., Golab, L., & Keshav, S. (2017). Usage Patterns of Electric Bicycles: An Analysis of the WeBike Project. *Journal of Advanced Transportation*, *2017*(April), 1–14. https://doi.org/10.1155/2017/3739505

Graham-Rowe, E., Gardner, B., Abraham, C., Skippon, S., Dittmar, H., Hutchins, R., & Stannard, J. (2012). Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *46*(1), 140–153. https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.008

Greenstein, A. S. (2015). *Mapping Bikeability : A Spatial Analysis on Current and Potential Bikeability in Austin , Texas* [University of Texas]. https://doi.org/10.15781/T2C61X

Grigore, E., Garrick, N., Fuhrer, R., & Axhausen, I. K. W. (2019). Bikeability in Basel. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2673*(6), 607–617. https://doi.org/10.1177/0361198119839982

Guidon, S., Becker, H., Dediu, H., & Axhausen, K. W. (2019). Electric Bicycle-Sharing: A New Competitor in the Urban Transportation Market? An Empirical Analysis of Transaction Data. *Transportation Research Record*. https://doi.org/10.1177/0361198119836762

Güner, S. (2018). Measuring the quality of public transportation systems and ranking the bus transit routes using multi-criteria decision making techniques. *Case Studies on Transport Policy*, *6*(2), 214–224. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.05.005

Ha, M. H., & Yang, Z. (2017). Comparative analysis of port performance indicators: Independency and interdependency. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *103*, 264–278. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.06.013

Ha, M. H., Yang, Z., & Heo, M. W. (2017). A New Hybrid Decision Making Framework for Prioritising Port Performance Improvement Strategies. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, *33*(3), 105–116. https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.09.001

Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *130*, 673–688. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.062

Hamilton, T. L., & Wichman, C. J. (2018). Bicycle infrastructure and traffic congestion: Evidence from DC's Capital Bikeshare. *Journal of Environmental Economics and Management*, *87*, 72–93. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.03.007

Handy, S., van Wee, B., & Kroesen, M. (2014). Promoting Cycling for Transport: Research Needs and Challenges. *Transport Reviews*, *34*(1), 4–24. https://doi.org/10.1080/01441647.2013.860204

Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Planning Association*, *25*(2), 73–76. https://doi.org/10.1080/01944365908978307

Hartanto, K. (2017). *Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands*. University of Twente.

Hartanto, K., Anna, G., Martin, M., & Mark, B. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD). *15th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, *July*, 1–28.

Havle, C. A., & Kılıç, B. (2019). A hybrid approach based on the fuzzy AHP and HFACS framework for identifying and analyzing gross navigation errors during transatlantic flights. *Journal of Air Transport Management*, *76*, 21–30. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.02.005

Hillier, B., & Iida, S. (2005). Network and psychological effects in urban movement. *Proceedings of Spatial Information Theory: International Conference*, 475–490.

Hillier, B., Yang, T., & Turner, A. (2012). Normalising least angle choice in Depthmap - and how it opens up new perspectives on the global and local analysis of city space. *Journal of Space Syntax*, *3*(2), 155–193.

Hiselius, L. W., & Svensson, A. (2017). E-bike use in Sweden – CO2effects due to modal change and municipal promotion strategies. *Journal of Cleaner Production*, *141*, 818–824. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.141

Huang, R. Y., & Yeh, C. H. (2008). Development of an assessment framework for green highway construction. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers,Series A/Chung-Kuo Kung Ch'eng Hsuch K'an*, *31*(4), 573–585. https://doi.org/10.1080/02533839.2008.9671412

Hull, A., & O'Holleran, C. (2014). Bicycle infrastructure: can good design encourage cycling? *Urban, Planning and Transport Research*, *2*(1), 369–406. https://doi.org/10.1080/21650020.2014.955210

INE (2017). Região Norte em Números. *Instituto Nacional de Estatística*. https://www.ine.pt

INE (2021). Censos 2021. *Instituto Nacional de Estatística*. https://censos.ine.pt

Iseki, H., & Tingstrom, M. (2014). A new approach for bikeshed analysis with consideration of topography, street connectivity, and energy consumption. *Computers, Environment and Urban Systems*, *48*, 166–177. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.07.008

Jittrapirom, P., Caiati, V., Feneri, A.-M., Ebrahimigharehbaghi, S., González, M. J. A., & Narayan, J. (2017). Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges. *Urban Planning*, *2*(2), 13. https://doi.org/10.17645/up.v2i2.931

Jurdak, R. (2013). The Impact of Cost and Network Topology on Urban Mobility: A Study of Public Bicycle Usage in 2 U.S. Cities. *PLoS ONE*, *8*(11), e79396. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079396

Kager, R., Bertolini, L., & Te Brömmelstroet, M. (2016). Characterisation of and reflections on the synergy of bicycles and public transport. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *85*, 208–219. https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.015

Karaman, A. S., & Akman, E. (2018). Taking-off corporate social responsibility programs: An AHP application in airline industry. *Journal of Air Transport Management*, *68*, 187–197. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.06.012

Karla Felix Navarro, Valerie Gay, Loic Golliard, Benjamin Johnston, Peter Leijdekkers, Ewan Vaughan, Xun Wang, & Mary-Anne Williams. (2013, October). SocialCycle: What Can a Mobile App Do To Encourage Cycling? *Second IEEE International Workshop on Global Trends in Smart Cities*.

Kazemzadeh, K., & Bansal, P. (2021). Electric bike level of service: A review and research agenda. In *Sustainable Cities and Society* (Vol. 75). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103413

Kazemzadeh, K., & Ronchi, E. (2022). From bike to electric bike level-of-service. *Transport Reviews*, *42*(1), 6–31. https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1900450

Kil, S. H., Lee, D. K., Kim, J. H., Li, M. H., & Newman, G. (2016). Utilizing the analytic hierarchy process to establish weighted values for evaluating the stability of slope revegetation based on hydroseeding applications in South Korea. *Sustainability (Switzerland)*, *8*(1). https://doi.org/10.3390/su8010058

Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*, *05*(04), 451–459. https://doi.org/10.4236/ojce.2015.54045

Kroesen, M. (2017). To what extent do e-bikes substitute travel by other modes? Evidence from the Netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *53*, 377–387. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.036

Lage, L. de A. (2017). Novos Desafios para a Mobilidade Urbana Sustentável: o estudo de caso do uso da bicicleta em Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais.

Langford, B. C., Chen, J., & Cherry, C. R. (2015). Risky riding: Naturalistic methods comparing safety behavior from conventional bicycle riders and electric bike riders. *Accident Analysis and Prevention*, *82*, 220–226. https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.05.016

Le Pira, M., Inturri, G., Ignaccolo, M., & Pluchino, A. (2017). Modelling consensus building in Delphi practices for participated transport planning. *Transportation Research Procedia*, *25*, 3725–3735. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.226

Lee, A., Molin, E., Maat, K., & Sierzchula, W. (2015). Electric Bicycle Use and Mode Choice in the Netherlands. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2520*(2520), 1–7. https://doi.org/10.3141/2520-01

Lee, H., & Geum, Y. (2017). Development of the scenario-based technology roadmap considering layer heterogeneity: An approach using CIA and AHP. *Technological Forecasting and Social Change*, *117*, 12–24. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.01.016

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *113*, 381–396. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.04.022

Lin, X., Wells, P., & Sovacool, B. K. (2017). Benign mobility? Electric bicycles, sustainable transport consumption behaviour and socio-technical transitions in Nanjing, China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *103*, 223–234. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.06.014

Lin, Z., & Fan, W. (David). (2019). Modeling bicyclist injury severity in bicycle–motor vehicle crashes that occurred in urban and rural areas: a mixed logit analysis. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *46*(10), 924–933. https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0781

Ling, Z., Cherry, C. R., Yang, H., & Jones, L. R. (2015). From e-bike to car: A study on factors influencing motorization of e-bike users across China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *41*, 50–63. https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.012

Lowry, M., Callister, D., Gresham, M., & Moore, B. (2012). Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. *Transportation Research Record*, *2314*, 41–48. https://doi.org/10.3141/2314-06

Ma, L., & Dill, J. (2017). Do people's perceptions of neighborhood bikeability match "reality"? *Journal of Transport and Land Use*, *10*(1), 291–308. https://doi.org/10.5198/jtlu.2016.796

Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4

Mantuano, A., Bernardi, S., & Rupi, F. (2017). Cyclist gaze behavior in urban space: An eye-tracking experiment on the bicycle network of Bologna. *Case Studies on Transport Policy*, *5*(2), 408–416. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2016.06.001

Manum, B., & Nordstrom, T. (2013). Integrating bicycle network analysis in urban design: Improving bikeability in Trondheim by combining space syntax and GIS-methods using the place syntax tool. *2013 International Space Syntax Symposium*.

Manum, B., Nordström, T., Gil, J., Nilsson, L., & Marcus, L. (2017). Modelling bikeability; Space syntax based measures applied in examining speeds and flows of bicycling in Gothenburg. *Proceedings - 11th International Space Syntax Symposium, SSS 2017*, 89.1-89.16.

Manzi, G., & Saibene, G. (2018). Are they telling the truth? Revealing hidden traits of satisfaction with a public bike-sharing service. *International Journal of Sustainable Transportation*, *12*(4), 253–270. https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1353186

Marqués, R., Hernández-Herrador, V., Calvo-Salazar, M., & García-Cebrián, J. A. (2015). How infrastructure can promote cycling in cities: Lessons from Seville. *Research in Transportation Economics*, *53*, 31–44. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2015.10.017

Martin, E. W., & Shaheen, S. A. (2014). Evaluating public transit modal shift dynamics in response to bikesharing: A tale of two U.S. cities. *Journal of Transport Geography*, *41*, 315–324. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.026

McNeil, N. (2011). Bikeability and the 20-min neighborhood: How infrastructure and destinations influence bicycle accessibility. *Transportation Research Record*, *2247*, 53–63. https://doi.org/10.3141/2247-07

Médard de Chardon, C., Caruso, G., & Thomas, I. (2017). Bicycle sharing system 'success' determinants. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *100*, 202–214. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.04.020

Meireles, M., & Ribeiro, P. J. G. (2020). Digital platform/mobile app to boost cycling for the promotion of sustainable mobility in mid-sized starter cycling cities. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(5). https://doi.org/10.3390/su12052064

Motta, B. G. (2017). *A bikeability index for Curitiba* (Brazil). Master's thesis, University of Twente]. University of Twente Repository.

Nalmpantis, D., Roukouni, A., Genitsaris, E., Stamelou, A., & Naniopoulos, A. (2019). Evaluation of innovative ideas for Public Transport proposed by citizens using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *European Transport Research Review*, *11*(1). https://doi.org/10.1186/s12544-019-0356-6

Nielsen, T. A. S., & Skov-Petersen, H. (2018). Bikeability – Urban structures supporting cycling. Effects of local, urban and regional scale urban form factors on cycling from home and workplace locations in Denmark. *Journal of Transport Geography*, *69*, 36–44. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.015

Nordström, T., & Manum, B. (2015). Measuring bikeability: Space syntax based methods applied in planning for improved conditions for bicycling in Oslo. *SSS 2015 - 10th International Space Syntax Symposium*.

Oliveira, I. A. S. J., Carayannis, E. G., Ferreira, F. A. F., Jalali, M. S., Carlucci, D., & Ferreira, J. J. M. (2018). Constructing home safety indices for strategic planning in residential real estate: A socio-technical approach. *Technological Forecasting and Social Change*, *131*, 67–77. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.10.012

Parkes, S., Marsden, G., Shaheen, S., & Cohen, A. (2013). Understanding the diffusion of public bikesharing systems: evidence from Europe and North America. *Journal of Transport Geography*, *31*, 94–103. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.06.003

Pelorus, & Karahalios, H. (2017). The application of the AHP-TOPSIS for evaluating ballast water treatment systems by ship operators. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *52*, 172–184. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.001

Pérez-Neira, D., Rodríguez-Fernández, M. P., & Hidalgo-González, C. (2020). The greenhouse gas mitigation potential of university commuting: A case study of the University of León (Spain). *Journal of Transport Geography*, *82*. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102550

Petzoldt, T., Schleinitz, K., Heilmann, S., & Gehlert, T. (2017). Traffic conflicts and their contextual factors when riding conventional vs. electric bicycles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *46*, 477–490. https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.06.010

Pierce, J. M. T., Nash, A. B., & Clouter, C. A. (2013). The in-use annual energy and carbon saving by switching from a car to an electric bicycle in an urban UK general medical practice: The

implication for NHS commuters. *Environment, Development and Sustainability*, *15*(6), 1645–1651. https://doi.org/10.1007/s10668-013-9454-0

Pildes, R. (2014). *Connectivity and Accessibility of UIUC Campus Bike Paths Quantitative Measures for Bicycle Infrastructure*.

Plazier, P. A., Weitkamp, G., & van den Berg, A. E. (2017). "Cycling was never so easy!" An analysis of e-bike commuters' motives, travel behaviour and experiences using GPS-tracking and interviews. *Journal of Transport Geography*, *65*(December 2016), 25–34. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.09.017

Popovich, N., Gordon, E., Shao, Z., Xing, Y., Wang, Y., & Handy, S. (2014). Experiences of electric bicycle users in the sacramento, california area. *Travel Behaviour and Society*, *1*(2), 37–44. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2013.10.006

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. *Environment and Behavior*, 001391651882528. https://doi.org/10.1177/0013916518825289

Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Making cycling irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews*, *28*(4), 495–528. https://doi.org/10.1080/01441640701806612

Reck, D. J., Martin, H., & Axhausen, K. W. (2022). Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *102*. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103134

Reggiani, G., van Oijen, T., Hamedmoghadam, H., Daamen, W., Vu, H. L., & Hoogendoorn, S. (2022). Understanding bikeability: a methodology to assess urban networks. *Transportation*, *49*(3), 897–925. https://doi.org/10.1007/s11116-021-10198-0

Ribeiro, P. J. G., Dias, G., & Mendes, J. F. G. (2024). Public Transport Decarbonization: An Exploratory Approach to Bus Electrification. In *World Electric Vehicle Journal* (Vol. 15, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/wevj15030081

Ribeiro, P. J. G., & Mendes, J. F. G. (2022). Towards Zero CO2 Emissions from Public Transport: The Pathway to the Decarbonization of the Portuguese Urban Bus Fleet. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(15). https://doi.org/10.3390/su14159111

Ribeiro, P., & Mendes, J. F. G. (2013). Healthy routes for active modes in school journeys. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *8*(4), 591–602. https://doi.org/10.2495/SDP-V8-N4-591-602

Roetynck, A. (2010). Presto cycling policy guide: Electric bicycles. European Twowheel Retailers' Association. https://observatoriodabicicleta.org.br/uploads/2021/02/Cycling_Policy_Guide_Electric_Bicycle-Presto.pdf

Romanillos, G., Moya-Gómez, B., Zaltz-Austwick, M., & Lamíquiz-Daudén, P. J. (2018). The pulse of the cycling city: visualising Madrid bike share system GPS routes and cycling flow. *Journal of Maps*, *14*(1), 34–43. https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1438932

Rose, G. (2012). E-bikes and urban transportation: Emerging issues and unresolved questions. *Transportation*, *39*(1), 81–96. https://doi.org/10.1007/s11116-011-9328-y

Rybarczyk, G., & Gallagher, L. (2014). Measuring the potential for bicycling and walking at a metropolitan commuter university. *Journal of Transport Geography*, *39*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.009

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process* (Vol. 175). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6

Saghapour, T., Moridpour, S., & Thompson, R. G. (2017). Measuring cycling accessibility in metropolitan areas. *International Journal of Sustainable Transportation*, *11*(5), 381–394. https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1262927

Scheltema, N. (2012). *Recycle City: strengthening the bikeability from home to the dutch railway station*.[Master's thesis, Delft University of Technology]. TU Delft Repository.

Schepers, J. P., Fishman, E., Den Hertog, P., Wolt, K. K., & Schwab, A. L. (2014). The safety of electrically assisted bicycles compared to classic bicycles. *Accident Analysis and Prevention*, *73*, 174–180. https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.09.010

Schepers, P., Hagenzieker, M., Methorst, R., van Wee, B., & Wegman, F. (2014). A conceptual framework for road safety and mobility applied to cycling safety. *Accident Analysis & Prevention*, *62*, 331–340. https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.032

Schepers, P., Twisk, D., Fishman, E., Fyhri, A., & Jensen, A. (2017). The Dutch road to a high level of cycling safety. *Safety Science*, *92*, 264–273. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.005

Schwanen, T. (2015). Beyond instrument: smartphone app and sustainable mobility. *EJTIR Issue*, *15*(4), 675–690.

Silva, A. N. R. da, Ramos, R. A. R., Souza, L. C. L. de, Rodrigues, D. S., & Mendes, J. F. G. (2004). *SIG: Uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes: Uma ferramenta 3D para análise ambiental urbana, avaliação multicritério, redes neurais artificiais*. Ed. dos Autores.

Silveira, M. O., & Maia, M. L. A. (2015). Variáveis que influenciam no uso da bicicleta e as crenças da teoria do comportamento planejado. *TRANSPORTES*, *23*(1), 24. https://doi.org/10.14295/transportes.v23i1.848

Sjöman, M., Ringenson, T., & Kramers, A. (2020). Exploring everyday mobility in a living lab based on economic interventions. *European Transport Research Review*, *12*(1). https://doi.org/10.1186/s12544-019-0392-2

Skayannis, P., Goudas, M., & Rodakinias, P. (2017). Sustainable mobility and physical activity: a meaningful marriage. *Transportation Research Procedia*, *24*, 81–88. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.072

Skov-Petersen, H., Jacobsen, J. B., Vedel, S. E., Thomas Alexander, S. N., & Rask, S. (2017). Effects of upgrading to cycle highways - An analysis of demand induction, use patterns and satisfaction before and after. *Journal of Transport Geography*, *64*(July 2016), 203–210. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.09.011

Skrúcaný, T., Kendra, M., Stopka, O., Milojević, S., Figlus, T., & Csiszár, C. (2019). Impact of the electric mobility implementation on the greenhouse gases production in Central European countries. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(18). https://doi.org/10.3390/su11184948

Song, Y., Preston, J., & Ogilvie, D. (2017). New walking and cycling infrastructure and modal shift in the UK: A quasi-experimental panel study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *95*, 320–333. https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.11.017

Su, S., Zhang, H., Wang, M., Weng, M., & Kang, M. (2021). Transit-oriented development (TOD) typologies around metro station areas in urban China: A comparative analysis of five typical megacities for planning implications. *Journal of Transport Geography*, *90*. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102939

The Biekability Trust. (n.d.). Retrieved November 14, 2019, from https://bikeabilitytrust.org/

Thomas, B., & DeRobertis, M. (2013). The safety of urban cycle tracks: A review of the literature. *Accident Analysis & Prevention*, *52*, 219–227. https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.017

Tironi, M. (2015). (De)politicising and Ecologising Bicycles. *Journal of Cultural Economy*, *8*(2), 166–183. https://doi.org/10.1080/17530350.2013.838600

Tischer, V. (2017). Validação de sistema de parâmetros técnicos de mobilidade urbana aplicados para sistema cicloviário. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, *9*(3), 587–604. https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.003.ao15

Transport for London. (2014). *London Cycling Design Standards: Chapter 1: Desing requirements*.

Turner, A. (2001). Angular analysis. In J. Peponis, J. Wineman, & S. Bafna (Eds.), *Proceedings of the 3rd International Symposium on Space Syntax* (pp. 1–11). Georgia Institute of Technology.

Uğurlu, Ö., Kum, S., & Aydoğdu, Y. V. (2017). Analysis of occupational accidents encountered by deck cadets in maritime transportation. *Maritime Policy and Management*, *44*(3), 304–322. https://doi.org/10.1080/03088839.2016.1245449

UN. (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. United Nations.

UN. (2015). *Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations.*. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

UN (2016). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations.

Vale, D. S., Saraiva, M., & Pereira, M. (2016). Active accessibility: A review of operational measures of walking and cycling accessibility. In *Journal of Transport and Land Use* (Vol. 9, Issue 1, pp. 209–235). University of Minnesota. https://doi.org/10.5198/jtlu.2015.593

Van der Spek, S. C., & Scheltema, N. (2015). The importance of bicycle parking management. *Research in Transportation Business and Management*, *15*, 39–49. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.03.001

Vedel, S. E., Jacobsen, J. B., & Skov-Petersen, H. (2017). Bicyclists' preferences for route characteristics and crowding in Copenhagen – A choice experiment study of commuters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *100*, 53–64. https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.04.006

Veillette, M. P., Grisé, E., & El-Geneidy, A. (2018). Park 'n' Roll: Identifying and Prioritizing Locations for New Bicycle Parking in Québec City, Canada. *Transportation Research Record*, *2672*(36), 73–82. https://doi.org/10.1177/0361198118776522

Wahlgren, L., & Schantz, P. (2011). Bikeability and methodological issues using the active commuting route environment scale (ACRES) in a metropolitan setting. *BMC Medical Research Methodology*, *11*(1), 6. https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-6

Wahlgren, L., & Schantz, P. (2012). Exploring bikeability in a metropolitan setting: Stimulating and hindering factors in commuting route environments. *BMC Public Health*, *12*(1). https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-168

Wahlgren, L., & Schantz, P. (2014). Exploring bikeability in a suburban metropolitan area using the active commuting route environment scale (ACRES). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *11*(8), 8276–8300. https://doi.org/10.3390/ijerph110808276

Wang, M., & Zhou, X. (2017). Bike-sharing systems and congestion: Evidence from US cities. *Journal of Transport Geography*, *65*, 147–154. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.10.022

Wei, L., Xin, F., An, K., & Ye, Y. (2013). Comparison Study on Travel Characteristics between Two Kinds of Electric Bike. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *96*(Cictp), 1603–1610. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.182

WHO (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228.

Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013). Mapping bikeability: A spatial tool to support sustainable travel. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *40*(5), 865–883. https://doi.org/10.1068/b38185

Winters, M., Teschke, K., Brauer, M., & Fuller, D. (2016). Bike Score®: Associations between urban bikeability and cycling behavior in 24 cities. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *13*(1). https://doi.org/10.1186/s12966-016-0339-0

Wolf, A., & Seebauer, S. (2014). Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *69*, 196–211. https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.08.007

Wolnowska, A. E., & Konicki, W. (2019). Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method. *Transportation Research Procedia*, *39*, 614–623. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.063

World Health Organisation. (2018). *Obesity and overweight: fact sheets*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight

Wu, C., Yao, L., & Zhang, K. (2012). The red-light running behavior of electric bike riders and cyclists at urban intersections in China: An observational study. *Accident Analysis & Prevention*, *49*, 186–192. https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.06.001

Xing, Y., Handy, S. L., & Mokhtarian, P. L. (2010). Factors associated with proportions and miles of bicycling for transportation and recreation in six small US cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *15*(2), 73–81. https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.09.004

Yang, D., Jiang, L., & Ng, A. K. Y. (2018). One Belt one Road, but several routes: A case study of new emerging trade corridors connecting the Far East to Europe. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *117*, 190–204. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.001

Yeh, C. C., & Chen, Y. F. (2018). Critical success factors for adoption of 3D printing. *Technological Forecasting and Social Change*, *132*, 209–216. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.02.003

Zhang, C., Zhang, L., Liu, Y., & Yang, X. (2018). Short-term Prediction of Bike-sharing Usage Considering Public Transport: A LSTM Approach. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, *2018-November*, 1564–1571. https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569726

Zhao, C., Carstensen, T. A., Nielsen, T. A. S., & Olafsson, A. S. (2018). Bicycle-friendly infrastructure planning in Beijing and Copenhagen - between adapting design solutions and learning local planning cultures. *Journal of Transport Geography*, *68*(September 2017), 149–159. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.03.003

Zheng, Y., Lan, S., Chen, W. Y., Chen, X., Xu, X., Chen, Y., & Dong, J. (2019). Visual sensitivity versus ecological sensitivity: An application of GIS in urban forest park planning. *Urban Forestry and Urban Greening*, *41*, 139–149. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.010

Zhou, J., Guo, Y., Sun, J., Yu, E., & Wang, R. (2022). Review of bike-sharing system studies using bibliometrics method. In *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* (Vol. 9, Issue 4, pp. 608–630). Chang'an University. https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.08.003

ANEXOS

A. Inquérito à população da Póvoa de Varzim e Inquérito complementar à AHP.

Fatores que condicionam a utilização da bicicleta na cidade da Póvoa de Varzim

Este questionário é realizado no âmbito de uma tese de doutoramento sobre mobilidade cicl**á**vel, no Programa Doutoral em Engenharia Civil da Universidade do Minho.

O questionário tem como objetivo recolher informações sobre a perceção das pessoas em relação a alguns fatores do meio urbano que condicionam o uso da bicicleta como meio de transporte regular.

As respostas dadas são anónimas e serão alvo de análise para fins académicos. Os dados recolhidos não serão partilhados com outras entidades, nem serão usados para outro fim.

Para esclarecer dúvidas ou questões relacionadas com este questionário contacte: id7517@alunos.uminho.pt

Agradecemos desde já a sua participação.

* Indica uma pergunta obrigatória

1. *

Marque todas que se aplicam.

☐ Concordo em participar voluntariamente neste questionário. Estou ciente do objetivo desta investigação, de que os resultados da mesma poderão ser difundidos em comunicações técnico-científicas e que este questionário é anónimo, não permitindo a identificação do/a participante.

Pular para a pergunta 2

Perfil

2. Idade: *

3. Género: * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Feminino
- Masculino

4. Estado civil: * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Solteiro(a)
- Casado(a) ou em união de facto
- Divorciado(a)
- Viúvo(a)

5. Situação Profissional * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Empregado(a)
- Estudante
- Reformado(a)
- Desempregado(a)

6. Nível de escolaridade: * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Sem nível de escolaridade
- Básico - 1º ciclo (4º ano)
- Básico - 2º ciclo (6º ano)
- Básico - 3º ciclo (9º ano)
- Secundário (12º ano)
- Licenciatura
- Pós-graduação/Mestrado
- Doutoramento

7. Rendimento mensal: * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- até 1 salário mínimo
- entre 1 e 2 salários mínimos
- entre 2 e 3 salários mínimos
- entre 3 e 4 salários mínimos
- 4 ou salários mínimos ou mais

8. Tem filhos ou dependentes menores a seu cargo? * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

9. Freguesia de residência * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- NÃO VIVO NA PÓVOA DE VARZIM
- Aguçadoura
- Amorim
- Aver-o-mar
- Argivai
- Balasar
- Beiriz
- Estela
- Laúndos
- Navais
- Póvoa de Varzim
- São Pedro de Rates
- Terroso

10. Código Postal - Não obrigatório:
(somente números)

Pular para a pergunta 11

Principal deslocação/ viagem diária

11. Como caracteriza sua principal viagem diária? * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Viagem de curta distância (até 3 km)
- Viagem de média distância (entre 3 e 5 km)
- Viagem de longa distância (maiores que 5 km)

12. Motivo da principal viagem do dia * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Deslocação pendular (casa-trabalho)
- Deslocação pendular (casa-escola)
- Levar crianças à escola
- Compras
- Desporto
- Lazer
- Outros

13. Tempo médio da principal viagem do dia Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Até 3 minutos
- Entre 3 e 5 minutos
- Entre 5 e 10 minutos
- Entre 10 e 15 minutos
- maior que 15 minutos

14. Qual é o modo de transporte habitual para esta viagem? * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Carro *Pular para a pergunta 15*
- Autocarro *Pular para a pergunta 15*
- a Pé *Pular para a pergunta 15*
- Bicicleta *Pular para a pergunta 18*
- Metro *Pular para a pergunta 15*
- Comboio *Pular para a pergunta 15*
- Taxi *Pular para a pergunta 15*
- TVDE (e.g., uber) *Pular para a pergunta 15*
- Trotinete *Pular para a pergunta 15*

15. Acha possível alterar o modo de transporte da sua principal deslocação para a bicicleta? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Pular para a pergunta 17*
- ◯ Não *Pular para a pergunta 16*

16. Indique os TRÊS principais motivos que NÃO permitem a alteração para a bicicleta *

Deve marcar exatamente três opções..

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Extensão (percurso longo)
- ☐ Percurso com grandes inclinações (subidas/ descidas acentuadas)
- ☐ Volume elevado do tráfego automóvel
- ☐ Velocidade elevada do tráfego automóvel
- ☐ Falta de Estacionamento para a bicicleta no destino
- ☐ Falta de balneários no destino
- ☐ Transporte de bagagens
- ☐ Falta de condição física
- ☐ Poluição do ar
- ☐ Ruído
- ☐ Não vejo muitas pessoas a pedalar

Pular para a pergunta 17

17. Possui bicicleta própria? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Pular para a pergunta 18*
- ◯ Não *Pular para a pergunta 19*

18. Qual o tipo de bicicleta possui? * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Bicicleta convencional (sem mudanças) *Pular para a pergunta 19*
- Bicicleta convencional (com mudanças) *Pular para a pergunta 19*
- Bicicleta elétrica (potência até 250 W) *Pular para a pergunta 20*
- Bicicleta elétrica (potência maior que 250 W) *Pular para a pergunta 20*

19. Já experimentou uma bicicleta elétrica? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim *Pular para a pergunta 20*
- Não *Pular para a pergunta 22*

20. Relativamente ao tipo de uso que faz, sentiu diferença entre a bicicleta elétrica e a bicicleta convencional? *

Marcar apenas uma oval.

- Não - é igual *Pular para a pergunta 22*
- Sim *Pular para a pergunta 21*

21. Indique qual foi a diferença *

Permite marcar mais de uma opção.

Marque todas que se aplicam.

- [ ] Faço menos esforço
- [ ] Consigo ir mais longe
- [ ] Desenvolvo velocidades mais elevadas
- [ ] Consigo manter constante a velocidade durante todo o percurso
- [ ] Posso carregar mais bagagem

Pular para a pergunta 22

22. Já usou um sistema de bicicletas partilhadas (bike sharing)? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Pular para a pergunta 23*
- ◯ Não *Pular para a pergunta 25*

23. Utiliza frequentemente o sistema? * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim. Tenho uma subscrição.
- ◯ Não. Uso ocasionalmente.

24. Indique a principal vantagem dos sistemas de bicicletas partilhadas: *

Permite marcar mais de uma opção.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Não é preciso ter uma bicicleta
- ☐ Não é preciso preocupar-se com local para estacionar a bicicleta
- ☐ Facilita o uso de transportes públicos - permite iniciar/ terminar as viagens de bicicleta.
- ☐ Facilita o uso de transportes públicos - integração bilhética.
- ☐ Ser mais barato que outros modos de transporte

Pular para a pergunta 25

25. Frequência de utilização da bicicleta: * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sempre (7 dias/semana)
- ◯ Muitas vezes (3 - 6 dias/semana)
- ◯ Às vezes (1 - 3 dias/semana)
- ◯ Raramente (menos de 1 dia/semana)
- ◯ Nunca

Pular para a pergunta 26

26. Possui um carro? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Pular para a pergunta 27*
- ◯ Não
  Pular para a seção 16 (Avaliação da importância dos fatores que condicionam o uso da Bicicleta em redes viárias urbanas)

27. Frequência de utilização do carro: * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sempre (7 dias/semana)
- ◯ Muitas vezes (3 - 6 dias/semana)
- ◯ Às vezes (1 - 3 dias/semana)
- ◯ Raramente (menos de 1 dia/semana)
- ◯ Nunca

Pular para a seção 16 (Avaliação da importância dos fatores que condicionam o uso da Bicicleta em redes viárias urbanas)

Avaliação da importância dos fatores que condicionam o uso da Bicicleta em redes viárias urbanas

Avalie numa escala de 1 (pouco importante) a 7 (muito importante) a importância de cada fator.

DICA:
Caso esteja a responder através do telemóvel, ajuste o ecrã na disposição horizontal para facilitar a visualização.

Pular para a pergunta 28

28. 1. Existência de árvores para dar sombra: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

29. 2. Existência de vegetação no percurso (canteiros, jardineiras, etc.) - questões estéticas *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

30. 3. Atravessamento ou existência de áreas verdes (parques) ao longo do percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

31. 4. Existência de corpos de água (mar, rio, ribeiras...) ao longo do percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

32. 5. Existência de elementos paisagísticos relacionado com água (espelhos de água, fontes, ...) ao longo do percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

33. 6. Existência de espaços comerciais e, ou de serviços ao longo do percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

34. 7. Existência de ciclovias, pistas ou faixas cicláveis: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

35. 8. Tipo de pavimento: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

36. 9. Declive do percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

37. 10. Número de vias de tráfego na estrada/rua: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

38. 11. Existência de pontos para manutenção (trocar pneus, consertos rápidos...) * no percurso:

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

39. 12. Existência de pontos para carregar bicicletas elétricas ao longo percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

40. 13. Existência de balneário, ou local para trocar de roupa, no destino: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

41. 14. Existência de estacionamento para bicicletas no destino: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

42. 15. Tipo de estacionamento para bicicletas (ex: rack simples, rack coberto, cacifos): *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

43. 16. Quantidade de cruzamentos no percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

44. 17. Tipologia de cruzamentos (rotunda, semáforo, prioritários...): *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

45. 18. Variedade de rotas alternativas entre as origens e os destinos: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

46. 19. Existência de sinalização específica para bicicletas: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

47. 20. Facilidade em manter a velocidade durante a viagem: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

48. 21. Iluminação pública: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

49. 22. Paragens de autocarro (embarque/desembarque dos passageiros): *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

50. 23. Proximidade a uma estação de transporte público em relação ao percurso ciclável: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

51. 24. Possibilidade de levar a bicicleta no metro ou autocarro: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

52. 25. Existência de estacionamento para bicicletas junto às paragens de transporte público (autocarro, comboio e metro): *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

53. 26. Existência de árvores com elevados níveis de polens *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

54. 27.Poluição proveniente do tráfego automóvel (fumo, odor...): *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

55. 28. Ruído proveniente do tráfego automóvel: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

56. 29. Quantidade (volume) de veículos automóveis: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

57. 30. Quantidade de veículos pesados nas correntes de tráfego: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

58. 31. Velocidade dos veículos automóveis: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

59. 32. Automóveis a entrar/ sair de garagens de edifícios: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

60. 33. Acidentes de viação ocorridos ao longo do percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

61. 34. Ocorrências de furtos ou roubos ao longo do percurso: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

62. 35. Existência de estação de bicicletas partilhadas junto das origens: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

63. 36. Existência de estações de bicicletas partilhadas próximas dos Destinos: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

64. 37. Local onde a estação de bicicletas partilhadas está instalada: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

65. 38. Facilidade em inserir/ retirar a bicicleta das docas de bike sharing ou estacionamento: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

66. 39. Disponibilidade de bicicleta e, ou lugares vagos nas estações de bike sharing: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

67. 40. Existência de aplicações móveis ou plataformas digitais para planeamento de viagens de bicicleta: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

68. 41. Plataforma/aplicação móvel gratuita para promover o uso da bicicleta: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

69. 42. Existência de aplicações moveis (locais) para navegação em tempo real: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

70. 43. Informações fornecidas pela aplicação móvel (ex: velocidade, distância percorrida, ganho de elevação): *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

71. 44. Existência de painéis digitais informativos para a bicicleta ao longo do percurso/ ruas: *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Pou	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Muito importante

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

FORMULÁRIO COMPLEMENTAR (AHP)

Este questionário é realizado no âmbito de uma tese de doutoramento sobre mobilidade ciclável, no Programa Doutoral em Engenharia Civil da Universidade do Minho.

O questionário tem como objetivo recolher um conjunto de informações complementares para traçar e caracterizar o perfil dos respondentes.

O questionário é muito curto, com um tempo de resposta esperado inferior a 2 minutos!

As respostas dadas são anónimas e serão alvo de análise para fins académicos. Os dados recolhidos não serão partilhados com outras entidades, nem serão usados para outro fim.

Para esclarecer dúvidas ou questões relacionadas com este questionário contacte: id7517@alunos.uminho.pt

Agradecemos desde já a sua participação.

* Indica uma pergunta obrigatória

1. *

Marque todas que se aplicam.

☐ Concordo em participar voluntariamente neste questionário. Estou ciente do objetivo desta investigação, de que os resultados da mesma poderão ser difundidos em comunicações técnico-científicas e que este questionário é anónimo, não permitindo a identificação do/a participante.

Pular para a pergunta 2

Perfil

2. Insira código de identificação que gerou ao responder a AHP. *

Número que gerou (e.g, X27YK)

3. Idade *

4. Género * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Feminino
- ◯ Masculino

5. Frequência de uso da bicicleta * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sempre (7 dias/semana) *Pular para a pergunta 6*
- ◯ Muitas vezes (3 - 6 dias/semana) *Pular para a pergunta 6*
- ◯ Às vezes (1 - 3 dias/semana) *Pular para a pergunta 6*
- ◯ Raramente (menos de 1 dia/semana) *Pular para a pergunta 6*
- ◯ Nunca *Pular para a pergunta 7*

Perfil

6. Principal motivo para o uso da bicicleta * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Deslocação pendular (casa-trabalho)
- ◯ Deslocação pendular (casa-escola)
- ◯ Levar crianças à escola
- ◯ Compras
- ◯ Desporto
- ◯ Lazer
- ◯ Outros

Pular para a pergunta 7

Perfil

7. Escolaridade * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Até ao Ensino Básico (1º ciclo)
- Ensino Básico (2º e 3º ciclo)
- Ensino Secundário
- Ensino Superior (licenciatura e, ou mestrado)
- Ensino Superior (Doutoramento)

8. Instituição/ empresa onde trabalha * Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- Instituição do Ensino Superior
- Organização do Estado (Câmaras Municipais, Ministérios, etc...)
- Empresa do setor privado
- ONG's
- Outros

Identifique o seu principal local de atuação/trabalho:

9. Distrito: *

10. Concelho: *

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

B. Relação dos *stakeholders*, identificação dos componentes e matrizes de julgamento par a par

Grupo	Académicos (12)						Profissionais do setor público e privado (11)						Representantes de utilizadores e Ciclistas (7)			
ID	1A	2A	3A	4A	12A	13A	10B	14B	16B	19B	20B	22B	11C	17C	18C	21C
	15A	24A	27A	28A	6A	8A	29B	30B	5B	7B	9B		23C	25C	26C	

CRITÉRIOS	
1	Ambiente Envolvente
2	Infraestrutura
3	Segurança
4	Qualidade Ambiental
5	Multimodalidade
6	Sistemas Partilhados
7	Sistemas Digitais

AMBIENTE ENVOLVENTE (subcritérios)	
1	Proteção climatérica
2	Corpos de água
3	Áreas verdes adjacentes
4	Uso do solo

INFRAESTRUTURA (subcritérios)	
1	Nível de segregação da infra. Ciclável
2	Pavimento (regularidade)
3	Geometria da via (inclinação/largura)
4	Infraestrutura de apoio
5	Estacionamento (quantidade/tipologia)
6	Integração eixo-rede
7	Interseções (tipologia/quantidade)
8	Iluminação pública (visibilidade)

SEGURANÇA (subcritérios)	
1	Conflito c/ o estacionamento e paragens BUS
2	Conflito c/ acesso aos edifícios

SEGURANÇA (subcritérios)	
3	Conflito nas interseções
4	Exposição ao tráfego (velocidade/volume)
5	Sinistralidade
6	Criminalidade

QUALIDADE AMBIETAL (subcritérios)	
1	Poluição do ar
2	Fatores alergogénicos
3	Poluição sonora

MULTIMODALIDADE (subcritérios)	
1	Ligação ao transporte público
2	Transporte de bicicleta no Transp. Público
3	Estacionamento em paragens de Transp. Público

SISTEMAS PARTILHADOS (subcritérios)	
1	Atributos (local/tipo de doca/operação)
2	Oferta (Nº/disponibilidade de bicicletas)
3	Cobertura dos Polos Ger. Viagem pelo BSS

SISTEMAS DIGITAIS (subcritérios)	
1	Solução (app/site ou interface física-MUPI)
2	Custo de utilização
3	Funções dos serviços
4	Informações por viagem

Critérios

1A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.25	0.25	3.00	3.00	3.00	4.00
2	4.00	1	2.00	3.00	3.00	4.00	5.00
3	4.00	0.50	1	4.00	5.00	5.00	6.00
4	0.33	0.33	0.25	1	3.00	3.00	4.00
5	0.33	0.33	0.20	0.33	1	2.00	3.00
6	0.33	0.25	0.20	0.33	0.50	1	2.00
7	0.25	0.20	0.17	0.25	0.33	0.50	1

2A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1.00	4.00	1.00	2.00	2.00	6.00
2	1.00	1	4.00	2.00	5.00	3.00	7.00
3	0.25	0.25	1	0.33	2.00	3.00	7.00
4	1.00	0.50	3.00	1	3.00	5.00	8.00
5	0.50	0.20	0.50	0.33	1	1.00	6.00
6	0.50	0.33	0.33	0.20	1.00	1	4.00
7	0.17	0.14	0.14	0.12	0.17	0.25	1

3A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.50	0.33	0.25	2.00	1.00	1.00
2	2.00	1	3.00	1.00	3.00	1.00	1.00
3	3.00	0.33	1	1.00	1.00	1.00	1.00
4	4.00	1.00	1.00	1	1.00	3.00	1.00
5	0.50	0.33	1.00	1.00	1	0.50	1.00
6	1.00	1.00	1.00	0.33	2.00	1	1.00
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1

4A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.11	0.11	0.17	0.17	1.00	1.00
2	9.00	1	1.00	7.00	5.00	5.00	5.00
3	9.00	1.00	1	3.00	5.00	5.00	8.00
4	6.00	0.14	0.33	1	3.00	3.00	3.00
5	6.00	0.20	0.20	0.33	1	1.00	2.00
6	1.00	0.20	0.20	0.33	1.00	1	1.00
7	1.00	0.20	0.12	0.33	0.50	1.00	1

5B							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00
2	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1	4.00	3.00	3.00	3.00
4	1.00	1.00	0.25	1	3.00	3.00	1.00
5	0.25	1.00	0.33	0.33	1	1.00	1.00
6	1.00	1.00	0.33	0.33	1.00	1	1.00
7	1.00	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00	1

6A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.33	0.17	1.00	4.00	3.00	4.00
2	3.00	1	0.25	4.00	4.00	4.00	5.00
3	6.00	4.00	1	7.00	7.00	7.00	7.00
4	1.00	0.25	0.14	1	3.00	4.00	3.00
5	0.25	0.25	0.14	0.33	1	2.00	0.33
6	0.33	0.25	0.14	0.25	0.50	1	0.33
7	0.25	0.20	0.14	0.33	3.00	3.00	1

7B							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.20	0.14	3.00	0.50	0.50	5.00
2	5.00	1	0.50	3.00	4.00	4.00	5.00
3	7.00	2.00	1	6.00	7.00	7.00	8.00
4	0.33	0.33	0.17	1	0.25	0.33	4.00
5	2.00	0.25	0.14	4.00	1	1.00	3.00
6	2.00	0.25	0.14	3.00	1.00	1	3.00
7	0.20	0.20	0.12	0.25	0.33	0.33	1

8A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.25	0.33	2.00	2.00	3.00	3.00
2	4.00	1	0.50	5.00	6.00	5.00	7.00
3	3.00	2.00	1	5.00	5.00	7.00	7.00
4	0.50	0.20	0.20	1	0.33	0.25	0.50
5	0.50	0.17	0.20	3.00	1	0.33	1.00
6	0.33	0.20	0.14	4.00	3.00	1	5.00
7	0.33	0.14	0.14	2.00	1.00	0.20	1

9B							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00
2	1.00	1	0.50	1.00	0.50	1.00	3.00
3	1.00	2.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00
5	1.00	2.00	1.00	1.00	1	1.00	1.00
6	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1	1.00
7	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1

10B							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.17	0.50	1.00	1.00	0.50	1.00
2	6.00	1	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00
3	2.00	0.50	1	2.00	3.00	1.00	4.00
4	1.00	0.25	0.50	1	3.00	0.50	5.00
5	1.00	0.50	0.33	0.33	1	0.25	1.00
6	2.00	0.50	1.00	2.00	4.00	1	4.00
7	1.00	0.50	0.25	0.20	1.00	0.25	1

11C							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.20	0.11	1.00	2.00	1.00	1.00
2	5.00	1	0.11	1.00	2.00	6.00	6.00
3	9.00	9.00	1	9.00	9.00	9.00	9.00
4	1.00	1.00	0.11	1	1.00	1.00	1.00
5	0.50	0.50	0.11	1.00	1	1.00	1.00
6	1.00	0.17	0.11	1.00	1.00	1	1.00
7	1.00	0.17	0.11	1.00	1.00	1.00	1

12A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.50
2	9.00	1	7.00	7.00	2.00	3.00	8.00
3	8.00	0.14	1	2.00	0.33	0.50	8.00
4	8.00	0.14	0.50	1	0.12	0.33	3.00
5	8.00	0.50	3.00	8.00	1	2.00	7.00
6	8.00	0.33	2.00	3.00	0.50	1	8.00
7	2.00	0.12	0.12	0.33	0.14	0.12	1

13A

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.33	0.50	0.50	0.33	1.00	2.00
2	3.00	1	3.00	3.00	2.00	3.00	3.00
3	2.00	0.33	1	5.00	4.00	5.00	5.00
4	2.00	0.33	0.20	1	0.33	2.00	2.00
5	3.00	0.50	0.25	3.00	1	4.00	4.00
6	1.00	0.33	0.20	0.50	0.25	1	1.00
7	0.50	0.33	0.20	0.50	0.25	1.00	1

14B

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.11	0.11	0.14	0.14	0.14	0.50
2	9.00	1	1.00	7.00	1.00	0.50	7.00
3	9.00	1.00	1	9.00	2.00	1.00	6.00
4	7.00	0.14	0.11	1	0.14	0.14	2.00
5	7.00	1.00	0.50	7.00	1	0.50	7.00
6	7.00	2.00	1.00	7.00	2.00	1	7.00
7	2.00	0.14	0.17	0.50	0.14	0.14	1

15A

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3.00	0.17	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.33	1	0.17	3.00	3.00	3.00	3.00
3	6.00	6.00	1	6.00	6.00	6.00	6.00
4	1.00	0.33	0.17	1	1.00	1.00	1.00
5	1.00	0.33	0.17	1.00	1	2.00	2.00
6	1.00	0.33	0.17	1.00	0.50	1	1.00
7	1.00	0.33	0.17	1.00	0.50	1.00	1

16B

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.12	0.12	0.14	0.12	0.14	0.17
2	8.00	1	0.12	0.12	0.14	0.17	0.17
3	8.00	8.00	1	0.12	0.12	0.14	0.14
4	7.00	8.00	8.00	1	0.12	0.14	0.14
5	8.00	7.00	8.00	8.00	1	0.14	0.14
6	7.00	6.00	7.00	7.00	7.00	1	0.17
7	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	6.00	1

17C

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.14	0.12	3.00	3.00	2.00	4.00
2	7.00	1	2.00	4.00	6.00	7.00	9.00
3	8.00	0.50	1	6.00	6.00	6.00	7.00
4	0.33	0.25	0.17	1	2.00	3.00	4.00
5	0.33	0.17	0.17	0.50	1	1.00	1.00
6	0.50	0.14	0.17	0.33	1.00	1	1.00
7	0.25	0.11	0.14	0.25	1.00	1.00	1

18C

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.17	0.17	4.00	4.00	3.00	4.00
2	6.00	1	2.00	3.00	5.00	5.00	8.00
3	6.00	0.50	1	5.00	5.00	5.00	7.00
4	0.25	0.33	0.20	1	2.00	3.00	5.00
5	0.25	0.20	0.20	0.50	1	2.00	3.00
6	0.33	0.20	0.20	0.33	0.50	1	2.00
7	0.25	0.12	0.14	0.20	0.33	0.50	1

19B

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00
2	1.00	1	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00
3	1.00	1.00	1	1.00	1.00	4.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1	1.00	2.00	1.00
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1	2.00	2.00
6	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	1	1.00
7	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1

20B

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3.00	2.00	3.00	3.00	3.00	9.00
2	0.33	1	2.00	2.00	4.00	5.00	6.00
3	0.50	0.50	1	2.00	5.00	3.00	4.00
4	0.33	0.50	0.50	1	4.00	5.00	6.00
5	0.33	0.25	0.20	0.25	1	2.00	2.00
6	0.33	0.20	0.33	0.20	0.50	1	5.00
7	0.11	0.17	0.25	0.17	0.50	0.20	1

21C

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.12	0.17	0.12	0.20	0.25	6.00
2	8.00	1	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
3	6.00	0.11	1	6.00	5.00	7.00	7.00
4	8.00	0.11	0.17	1	6.00	0.14	6.00
5	5.00	0.11	0.20	0.17	1	0.14	0.12
6	4.00	0.11	0.14	7.00	7.00	1	8.00
7	0.17	0.11	0.14	0.17	8.00	0.12	1

22B

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.33	0.25	5.00	6.00	5.00	8.00
2	3.00	1	0.33	8.00	7.00	5.00	9.00
3	4.00	3.00	1	9.00	8.00	7.00	9.00
4	0.20	0.12	0.11	1	0.33	0.33	4.00
5	0.17	0.14	0.12	3.00	1	1.00	6.00
6	0.20	0.20	0.14	3.00	1.00	1	6.00
7	0.12	0.11	0.11	0.25	0.17	0.17	1

23C

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.50	0.33	4.00	4.00	5.00	7.00
2	2.00	1	0.50	9.00	6.00	8.00	9.00
3	3.00	2.00	1	7.00	6.00	6.00	9.00
4	0.25	0.11	0.14	1	0.20	0.25	3.00
5	0.25	0.17	0.17	5.00	1	3.00	7.00
6	0.20	0.12	0.17	4.00	0.33	1	5.00
7	0.14	0.11	0.11	0.33	0.14	0.20	1

24A

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.25	0.20	0.20	0.20	0.25	4.00
2	4.00	1	0.33	3.00	0.33	5.00	6.00
3	5.00	3.00	1	3.00	3.00	6.00	6.00
4	5.00	0.33	0.33	1	0.33	4.00	5.00
5	5.00	3.00	0.33	3.00	1	3.00	4.00
6	4.00	0.20	0.17	0.25	0.33	1	2.00
7	0.25	0.17	0.17	0.20	0.25	0.50	1

25C							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.50	0.33	0.33	1.00	3.00	3.00
2	2.00	1	0.33	3.00	3.00	3.00	3.00
3	3.00	3.00	1	3.00	3.00	3.00	3.00
4	3.00	0.33	0.33	1	4.00	4.00	4.00
5	1.00	0.33	0.33	0.25	1	3.00	3.00
6	0.33	0.33	0.33	0.25	0.33	1	1.00
7	0.33	0.33	0.33	0.25	0.33	1.00	1

26C							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.20	0.25	6.00	5.00	8.00	8.00
2	5.00	1	2.00	9.00	8.00	9.00	9.00
3	4.00	0.50	1	7.00	4.00	6.00	7.00
4	0.17	0.11	0.14	1	0.33	0.50	0.33
5	0.20	0.12	0.25	3.00	1	4.00	5.00
6	0.12	0.11	0.17	2.00	0.25	1	1.00
7	0.12	0.11	0.14	3.00	0.20	1.00	1

27A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3.00	0.50	2.00	3.00	3.00	4.00
2	0.33	1	0.50	2.00	2.00	3.00	3.00
3	2.00	2.00	1	2.00	3.00	3.00	4.00
4	0.50	0.50	0.50	1	2.00	2.00	3.00
5	0.33	0.50	0.33	0.50	1	3.00	4.00
6	0.33	0.33	0.33	0.50	0.33	1	3.00
7	0.25	0.33	0.25	0.33	0.25	0.33	1

28A							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.20	0.14	2.00	0.33	2.00	3.00
2	5.00	1	0.33	6.00	3.00	6.00	7.00
3	7.00	3.00	1	8.00	5.00	8.00	9.00
4	0.50	0.17	0.12	1	0.25	1.00	2.00
5	3.00	0.33	0.20	4.00	1	4.00	5.00
6	0.50	0.17	0.12	1.00	0.25	1	2.00
7	0.33	0.14	0.11	0.50	0.20	0.50	1

29B							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3.00	0.33	5.00	4.00	4.00	6.00
2	0.33	1	0.25	5.00	3.00	6.00	8.00
3	3.00	4.00	1	8.00	7.00	7.00	9.00
4	0.20	0.20	0.12	1	0.20	0.33	3.00
5	0.25	0.33	0.14	5.00	1	3.00	7.00
6	0.25	0.17	0.14	3.00	0.33	1	4.00
7	0.17	0.12	0.11	0.33	0.14	0.25	1

30B							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1.00	1.00	4.00	3.00	2.00	6.00
2	1.00	1	1.00	4.00	3.00	2.00	6.00
3	1.00	1.00	1	4.00	3.00	2.00	6.00
4	0.25	0.25	0.25	1	0.50	0.33	2.00
5	0.33	0.33	0.33	2.00	1	0.50	3.00
6	0.50	0.50	0.50	3.00	2.00	1	5.00
7	0.17	0.17	0.17	0.50	0.33	0.20	1

Ambiente Envolvente (subcritério):

1A	1	2	3	4
1	1	3.00	2.00	0.25
2	0.33	1	0.50	0.25
3	0.50	2.00	1	0.25
4	4.00	4.00	4.00	1

2A	1	2	3	4
1	1	5.00	1.00	0.25
2	0.20	1	0.33	0.20
3	1.00	3.00	1	0.33
4	4.00	5.00	3.00	1

3A	1	2	3	4
1	1	9.00	0.20	1.00
2	0.11	1	0.11	0.25
3	5.00	9.00	1	5.00
4	1.00	4.00	0.20	1

4A	1	2	3	4
1	1	5.00	1.00	0.25
2	0.20	1	0.25	0.11
3	1.00	4.00	1	0.20
4	4.00	9.00	5.00	1

5B	1	2	3	4
1	1	0.12	0.14	0.12
2	8.00	1	8.00	1.00
3	7.00	0.12	1	1.00
4	8.00	1.00	1.00	1

6A	1	2	3	4
1	1	5.00	3.00	3.00
2	0.20	1	0.25	0.33
3	0.33	4.00	1	3.00
4	0.33	3.00	0.33	1

7B	1	2	3	4
1	1	0.33	0.33	0.20
2	3.00	1	1.00	0.33
3	3.00	1.00	1	0.33
4	5.00	3.00	3.00	1

8A	1	2	3	4
1	1	4.00	1.00	0.17
2	0.25	1	0.33	0.11
3	1.00	3.00	1	0.12
4	6.00	9.00	8.00	1

9B	1	2	3	4
1	1	2.00	0.50	5.00
2	0.50	1	0.20	3.00
3	2.00	5.00	1	6.00
4	0.20	0.33	0.17	1

10B	1	2	3	4
1	1	7.00	3.00	1.00
2	0.14	1	2.00	0.50
3	0.33	0.50	1	0.33
4	1.00	2.00	3.00	1

11C	1	2	3	4
1	1	4.00	0.20	1.00
2	0.25	1	0.14	0.25
3	5.00	7.00	1	1.00
4	1.00	4.00	1.00	1

12A	1	2	3	4
1	1	0.33	4.00	0.14
2	3.00	1	6.00	0.33
3	0.25	0.17	1	0.11
4	7.00	3.00	9.00	1

13A	1	2	3	4
1	1	3.00	3.00	3.00
2	0.33	1	1.00	1.00
3	0.33	1.00	1	0.50
4	0.33	1.00	2.00	1

14B	1	2	3	4
1	1	7.00	0.33	7.00
2	0.14	1	0.11	1.00
3	3.00	9.00	1	9.00
4	0.14	1.00	0.11	1

15A	1	2	3	4
1	1	8.00	0.33	0.33
2	0.12	1	0.12	0.17
3	3.00	8.00	1	4.00
4	3.00	6.00	0.25	1

16B	1	2	3	4
1	1	3.00	3.00	3.00
2	0.33	1	0.25	1.00
3	0.33	4.00	1	5.00
4	0.33	1.00	0.20	1

17C	1	2	3	4
1	1	4.00	0.25	0.50
2	0.25	1	0.20	0.33
3	4.00	5.00	1	1.00
4	2.00	3.00	1.00	1

18C	1	2	3	4
1	1	1.00	0.17	0.50
2	1.00	1	0.17	2.00
3	6.00	6.00	1	3.00
4	2.00	0.50	0.33	1

19B	1	2	3	4
1	1	5.00	7.00	6.00
2	0.20	1	7.00	7.00
3	0.14	0.14	1	7.00
4	0.17	0.14	0.14	1

20B	1	2	3	4
1	1	3.00	4.00	7.00
2	0.33	1	2.00	4.00
3	0.25	0.50	1	2.00
4	0.14	0.25	0.50	1

21C	1	2	3	4
1	1	9.00	1.00	0.20
2	0.11	1	0.17	1.00
3	1.00	6.00	1	1.00
4	5.00	1.00	1.00	1

22B	1	2	3	4
1	1	5.00	0.33	3.00
2	0.20	1	0.20	0.33
3	3.00	5.00	1	8.00
4	0.33	3.00	0.12	1

23C	1	2	3	4
1	1	3.00	3.00	0.20
2	0.33	1	1.00	0.17
3	0.33	1.00	1	0.20
4	5.00	6.00	5.00	1

24A	1	2	3	4
1	1	0.33	0.33	0.20
2	3.00	1	1.00	0.33
3	3.00	1.00	1	0.33
4	5.00	3.00	3.00	1

25C	1	2	3	4
1	1	1.00	1.00	1.00
2	1.00	1	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1

26C	1	2	3	4
1	1	9.00	3.00	0.50
2	0.11	1	0.17	0.11
3	0.33	6.00	1	0.20
4	2.00	9.00	5.00	1

27A	1	2	3	4
1	1	3.00	2.00	0.25
2	0.33	1	1.00	0.33
3	0.50	1.00	1	0.33
4	4.00	3.00	3.00	1

28A	1	2	3	4
1	1	4.00	3.00	6.00
2	0.25	1	2.00	1.00
3	0.33	0.50	1	1.00
4	0.17	1.00	1.00	1

29B	1	2	3	4
1	1	6.00	2.00	0.20
2	0.17	1	0.17	0.11
3	0.50	6.00	1	0.17
4	5.00	9.00	6.00	1

30B	1	2	3	4
1	1	5.00	0.33	0.20
2	0.20	1	0.17	0.11
3	3.00	6.00	1	0.25
4	5.00	9.00	4.00	1

Infraestrutura (subcritério):

1A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	4.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	4.00
2	0.25	1	0.25	4.00	2.00	4.00	3.00	2.00
3	0.50	4.00	1	4.00	3.00	3.00	3.00	5.00
4	0.33	0.25	0.25	1	0.50	0.50	0.50	3.00
5	0.50	0.50	0.33	2.00	1	3.00	2.00	4.00
6	0.50	0.25	0.33	2.00	0.33	1	2.00	2.00
7	0.50	0.33	0.33	2.00	0.50	0.50	1	2.00
8	0.25	0.50	0.20	0.33	0.25	0.50	0.50	1

2A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3.00	3.00	4.00	4.00	0.33	1.00	5.00
2	0.33	1	0.25	3.00	3.00	0.25	0.20	6.00
3	0.33	4.00	1	4.00	5.00	0.20	0.25	6.00
4	0.25	0.33	0.25	1	1.00	0.20	0.20	6.00
5	0.25	0.33	0.20	1.00	1	0.20	0.20	1.00
6	3.00	4.00	5.00	5.00	5.00	1	1.00	7.00
7	1.00	5.00	4.00	5.00	5.00	1.00	1	7.00
8	0.20	0.17	0.17	0.17	1.00	0.14	0.14	1

3A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.00	2.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.00	1	1.00	4.00	5.00	6.00	1.00	1.00
3	0.50	1.00	1	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00
4	0.20	0.25	0.50	1	0.50	0.50	1.00	0.17
5	1.00	0.20	1.00	2.00	1	4.00	1.00	1.00
6	1.00	0.17	1.00	2.00	0.25	1	1.00	1.00
7	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1	1.00
8	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00	1.00	1.00	1

4A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.00	2.00	7.00	7.00	1.00	1.00	3.00
2	1.00	1	1.00	7.00	7.00	1.00	1.00	5.00
3	0.50	1.00	1	7.00	7.00	1.00	1.00	6.00
4	0.14	0.14	0.14	1	0.50	0.11	0.11	0.11
5	0.14	0.14	0.14	2.00	1	0.14	0.12	0.14
6	1.00	1.00	1.00	9.00	7.00	1	1.00	7.00
7	1.00	1.00	1.00	9.00	8.00	1.00	1	5.00
8	0.33	0.20	0.17	9.00	7.00	0.14	0.20	1

5A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	6.00	1.00	1.00	6.00	1.00	1.00	1.00
2	0.17	1	1.00	5.00	5.00	4.00	5.00	5.00
3	1.00	1.00	1	6.00	3.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	0.20	0.17	1	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.17	0.20	0.33	1.00	1	1.00	6.00	5.00
6	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1	1.00	1.00
7	1.00	0.20	1.00	1.00	0.17	1.00	1	1.00
8	1.00	0.20	1.00	1.00	0.20	1.00	1.00	1

6A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2.00	0.20	4.00	4.00	4.00	2.00	0.50
2	0.50	1	0.17	4.00	4.00	4.00	0.25	0.25
3	5.00	6.00	1	6.00	9.00	4.00	5.00	4.00
4	0.25	0.25	0.17	1	3.00	0.33	0.25	0.20
5	0.25	0.25	0.11	0.33	1	0.33	0.17	0.17
6	0.25	0.25	0.25	3.00	3.00	1	0.17	0.17
7	0.50	4.00	0.20	4.00	6.00	6.00	1	1.00
8	2.00	4.00	0.25	5.00	6.00	6.00	1.00	1

7B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	4.00	0.33	3.00	1.00	3.00	2.00	4.00
2	0.25	1	0.25	3.00	0.25	0.50	0.33	2.00
3	3.00	4.00	1	5.00	2.00	3.00	3.00	5.00
4	0.33	0.33	0.20	1	0.25	0.33	0.25	2.00
5	1.00	4.00	0.50	4.00	1	2.00	2.00	4.00
6	0.33	2.00	0.33	3.00	0.50	1	1.00	4.00
7	0.50	3.00	0.33	4.00	0.50	1.00	1	4.00
8	0.25	0.50	0.20	0.50	0.25	0.25	0.25	1

8A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.14	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.11
2	7.00	1	1.00	2.00	1.00	1.00	0.50	0.11
3	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.11
4	1.00	0.50	1.00	1	1.00	1.00	0.20	0.11
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1	1.00	1.00	0.11
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1	0.20	0.11
7	3.00	2.00	1.00	5.00	1.00	5.00	1	0.11
8	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	1

9B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.00	1.00	4.00	4.00	0.17	1.00	2.00
2	1.00	1	1.00	4.00	4.00	0.20	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1	5.00	5.00	0.17	1.00	0.50
4	0.25	0.25	0.20	1	1.00	0.20	1.00	0.17
5	0.25	0.25	0.20	1.00	1	0.20	1.00	0.17
6	6.00	5.00	6.00	5.00	5.00	1	5.00	3.00
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	1	0.20
8	0.50	1.00	2.00	6.00	6.00	0.33	5.00	1

10B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	5.00	0.33	6.00	6.00	2.00	2.00	1.00
2	0.20	1	0.20	2.00	3.00	1.00	3.00	2.00
3	3.00	5.00	1	7.00	6.00	5.00	6.00	7.00
4	0.17	0.50	0.14	1	1.00	0.33	0.50	2.00
5	0.17	0.33	0.17	1.00	1	0.33	0.33	1.00
6	0.50	1.00	0.20	3.00	3.00	1	2.00	3.00
7	0.50	0.33	0.17	2.00	3.00	0.50	1	2.00
8	1.00	0.50	0.14	0.50	1.00	0.33	0.50	1

11C

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.25	2.00	7.00	7.00	1.00	1.00	2.00
2	4.00	1	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00	9.00
3	0.50	0.14	1	7.00	7.00	2.00	2.00	1.00
4	0.14	0.12	0.14	1	1.00	0.25	0.25	0.50
5	0.14	0.11	0.14	1.00	1	0.33	0.25	0.33
6	1.00	0.12	0.50	4.00	3.00	1	1.00	3.00
7	1.00	0.12	0.50	4.00	4.00	1.00	1	1.00
8	0.50	0.11	1.00	2.00	3.00	0.33	1.00	1

12A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	8.00	8.00	5.00	5.00	8.00	8.00	8.00
2	0.12	1	7.00	4.00	4.00	6.00	6.00	6.00
3	0.12	0.14	1	0.12	0.12	6.00	8.00	8.00
4	0.20	0.25	8.00	1	8.00	8.00	8.00	8.00
5	0.20	0.25	8.00	0.12	1	8.00	8.00	8.00
6	0.12	0.17	0.17	0.12	0.12	1	0.14	0.14
7	0.12	0.17	0.12	0.12	0.12	7.00	1	0.14
8	0.12	0.17	0.12	0.12	0.12	7.00	7.00	1

13A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	4.00	4.00	3.00	2.00	2.00	4.00	4.00
2	0.25	1	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00
3	0.25	0.33	1	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
4	0.33	0.33	0.33	1	2.00	2.00	2.00	2.00
5	0.50	0.33	0.33	0.50	1	2.00	2.00	2.00
6	0.50	0.33	0.33	0.50	0.50	1	2.00	2.00
7	0.25	0.33	0.33	0.50	0.50	0.50	1	2.00
8	0.25	0.50	0.33	0.50	0.50	0.50	0.50	1

14B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.00	1.00	8.00	7.00	1.00	1.00	7.00
2	1.00	1	2.00	7.00	7.00	0.50	1.00	8.00
3	1.00	0.50	1	8.00	8.00	1.00	1.00	7.00
4	0.12	0.14	0.12	1	0.33	0.12	0.14	1.00
5	0.14	0.14	0.12	3.00	1	0.12	0.12	7.00
6	1.00	2.00	1.00	8.00	8.00	1	7.00	7.00
7	1.00	1.00	1.00	7.00	8.00	0.14	1	7.00
8	0.14	0.12	0.14	1.00	0.14	0.14	0.14	1

15A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	5.00	4.00	7.00	2.00	0.33	3.00	3.00
2	0.20	1	0.25	7.00	0.50	1.00	0.25	0.50
3	0.25	4.00	1	7.00	3.00	1.00	1.00	3.00
4	0.14	0.14	0.14	1	0.14	0.12	0.17	0.25
5	0.50	2.00	0.33	7.00	1	0.50	0.50	1.00
6	3.00	1.00	1.00	8.00	2.00	1	3.00	3.00
7	0.33	4.00	1.00	6.00	2.00	0.33	1	3.00
8	0.33	2.00	0.33	4.00	1.00	0.33	0.33	1

16B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.12	0.12	0.20	0.14	0.12	0.14	0.12
2	8.00	1	0.12	0.33	0.14	0.12	0.17	0.14
3	8.00	8.00	1	0.12	0.17	0.17	0.20	0.14
4	5.00	3.00	8.00	1	0.50	0.50	0.33	0.20
5	7.00	7.00	6.00	2.00	1	0.17	1.00	1.00
6	8.00	8.00	6.00	2.00	6.00	1	1.00	1.00
7	7.00	6.00	5.00	3.00	1.00	1.00	1	1.00
8	8.00	7.00	7.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1

17C

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.33	1.00	0.25	0.33	1.00	0.50	3.00
2	3.00	1	5.00	5.00	4.00	4.00	4.00	6.00
3	1.00	0.20	1	2.00	3.00	2.00	2.00	3.00
4	4.00	0.20	0.50	1	1.00	3.00	4.00	2.00
5	3.00	0.25	0.33	1.00	1	2.00	3.00	1.00
6	1.00	0.25	0.50	0.33	0.50	1	1.00	2.00
7	2.00	0.25	0.50	0.25	0.33	1.00	1	1.00
8	0.33	0.17	0.33	0.50	1.00	0.50	1.00	1

18C

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.33	0.33	0.25	0.33	1.00	0.50	3.00
2	3.00	1	2.00	2.00	4.00	5.00	2.00	5.00
3	3.00	0.50	1	0.50	0.33	4.00	2.00	5.00
4	4.00	0.50	2.00	1	1.00	3.00	3.00	4.00
5	3.00	0.25	3.00	1.00	1	4.00	4.00	3.00
6	1.00	0.20	0.25	0.33	0.25	1	4.00	3.00
7	2.00	0.50	0.50	0.33	0.25	0.25	1	3.00
8	0.33	0.20	0.20	0.25	0.33	0.33	0.33	1

19B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	9.00	9.00	7.00	7.00	8.00	7.00	9.00
2	0.11	1	9.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00
3	0.11	0.11	1	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00
4	0.14	0.12	0.12	1	7.00	7.00	8.00	9.00
5	0.14	0.12	0.12	0.14	1	7.00	7.00	9.00
6	0.12	0.12	0.12	0.14	0.14	1	8.00	9.00
7	0.14	0.11	0.12	0.12	0.14	0.12	1	9.00
8	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	1

20B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.00	4.00	2.00	3.00	5.00	4.00	5.00
2	1.00	1	6.00	3.00	4.00	5.00	3.00	9.00
3	0.25	0.17	1	1.00	3.00	2.00	3.00	5.00
4	0.50	0.33	1.00	1	3.00	3.00	4.00	5.00
5	0.33	0.25	0.33	0.33	1	4.00	2.00	3.00
6	0.20	0.20	0.50	0.33	0.25	1	1.00	3.00
7	0.25	0.33	0.33	0.25	0.50	1.00	1	3.00
8	0.20	0.11	0.20	0.20	0.33	0.33	0.33	1

21C

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	9.00	9.00	9.00	9.00	1.00	1.00	7.00
2	0.11	1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	1.00
3	0.11	1.00	1	0.20	0.20	0.20	0.20	6.00
4	0.11	1.00	5.00	1	0.17	0.17	0.14	1.00
5	0.11	1.00	5.00	6.00	1	0.12	0.12	0.14
6	1.00	1.00	5.00	6.00	8.00	1	1.00	8.00
7	1.00	6.00	5.00	7.00	8.00	1.00	1	9.00
8	0.14	1.00	0.17	1.00	7.00	0.12	0.11	1

22B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	6.00	7.00	1.00	2.00	0.12	4.00	6.00
2	0.17	1	3.00	0.17	0.33	0.14	3.00	1.00
3	0.14	0.33	1	0.25	0.17	0.14	1.00	1.00
4	1.00	6.00	4.00	1	3.00	0.20	4.00	3.00
5	0.50	3.00	6.00	0.33	1	0.12	4.00	3.00
6	8.00	7.00	7.00	5.00	8.00	1	7.00	7.00
7	0.25	0.33	1.00	0.25	0.25	0.14	1	1.00
8	0.17	1.00	1.00	0.33	0.33	0.14	1.00	1

23C

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3.00	3.00	5.00	0.17	0.25	0.25	8.00
2	0.33	1	2.00	0.50	0.12	0.25	0.25	3.00
3	0.33	0.50	1	2.00	0.14	0.25	0.25	2.00
4	0.20	2.00	0.50	1	0.14	0.17	0.33	3.00
5	6.00	8.00	7.00	7.00	1	3.00	3.00	6.00
6	4.00	4.00	4.00	6.00	0.33	1	2.00	5.00
7	4.00	4.00	4.00	3.00	0.33	0.50	1	3.00
8	0.12	0.33	0.50	0.33	0.17	0.20	0.33	1

24A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3.00	4.00	6.00	4.00	0.25	0.25	0.33
2	0.33	1	2.00	5.00	4.00	0.25	0.33	2.00
3	0.25	0.50	1	4.00	3.00	0.25	0.25	3.00
4	0.17	0.20	0.25	1	0.33	0.20	0.17	0.25
5	0.25	0.25	0.33	3.00	1	0.17	0.17	3.00
6	4.00	4.00	4.00	5.00	6.00	1	3.00	4.00
7	4.00	3.00	4.00	6.00	6.00	0.33	1	4.00
8	3.00	0.50	0.33	4.00	0.33	0.25	0.25	1

25C

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3.00	0.50	5.00	5.00	1.00	3.00	4.00
2	0.33	1	0.33	4.00	3.00	0.33	0.25	3.00
3	2.00	3.00	1	4.00	3.00	0.33	0.50	4.00
4	0.20	0.25	0.25	1	3.00	0.25	0.25	3.00
5	0.20	0.33	0.33	0.33	1	0.25	0.33	2.00
6	1.00	3.00	3.00	4.00	4.00	1	3.00	4.00
7	0.33	4.00	2.00	4.00	3.00	0.33	1	4.00
8	0.25	0.33	0.25	0.33	0.50	0.25	0.25	1

26C

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.00	3.00	8.00	8.00	1.00	0.33	5.00
2	1.00	1	5.00	8.00	8.00	4.00	2.00	6.00
3	0.33	0.20	1	7.00	8.00	0.20	0.17	1.00
4	0.12	0.12	0.14	1	1.00	0.12	0.12	0.25
5	0.12	0.12	0.12	1.00	1	0.12	0.12	1.00
6	1.00	0.25	5.00	8.00	8.00	1	1.00	6.00
7	3.00	0.50	6.00	8.00	8.00	1.00	1	6.00
8	0.20	0.17	1.00	4.00	1.00	0.17	0.17	1

27A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0.33	0.50	3.00	2.00	0.50	0.50	0.50
2	3.00	1	0.33	3.00	2.00	0.33	0.33	0.50
3	2.00	3.00	1	3.00	2.00	0.33	0.33	0.50
4	0.33	0.33	0.33	1	0.33	0.33	0.25	0.25
5	0.50	0.50	0.50	3.00	1	0.33	0.33	0.33
6	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1	0.33	2.00
7	2.00	3.00	3.00	4.00	3.00	3.00	1	4.00
8	2.00	2.00	2.00	4.00	3.00	0.50	0.25	1

28A

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	6.00	4.00	8.00	5.00	2.00	4.00	7.00
2	0.17	1	0.33	3.00	0.50	0.20	0.50	2.00
3	0.25	3.00	1	5.00	2.00	0.33	2.00	4.00
4	0.12	0.33	0.20	1	0.25	0.14	0.20	0.50
5	0.20	2.00	0.50	4.00	1	0.25	0.50	3.00
6	0.50	5.00	3.00	7.00	4.00	1	3.00	6.00
7	0.25	2.00	0.50	5.00	2.00	0.33	1	4.00
8	0.14	0.50	0.25	2.00	0.33	0.17	0.25	1

29B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	4.00	0.50	3.00	1.00	0.50	1.00	6.00
2	0.25	1	0.33	2.00	0.33	0.11	0.17	0.50
3	2.00	3.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00
4	0.33	0.50	1.00	1	1.00	0.33	1.00	1.00
5	1.00	3.00	1.00	1.00	1	0.25	1.00	6.00
6	2.00	9.00	1.00	3.00	4.00	1	1.00	7.00
7	1.00	6.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1	3.00
8	0.17	2.00	0.33	1.00	0.17	0.14	0.33	1

30B

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3.00	3.00	4.00	3.00	2.00	4.00	6.00
2	0.33	1	0.50	2.00	0.33	0.50	3.00	5.00
3	0.33	2.00	1	4.00	0.50	0.50	2.00	4.00
4	0.25	0.50	0.25	1	0.33	0.50	0.50	4.00
5	0.33	3.00	2.00	3.00	1	2.00	2.00	4.00
6	0.50	2.00	2.00	2.00	0.50	1	3.00	5.00
7	0.25	0.33	0.50	2.00	0.50	0.33	1	2.00
8	0.17	0.20	0.25	0.25	0.25	0.20	0.50	1

Segurança (subcritério):

1A

	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	0.33	0.50	0.33	0.25
2	1.00	1.01	0.25	0.25	0.50	0.50
3	3.00	1.02	1	2.00	0.50	0.50
4	2.00	1.03	0.50	1	1.00	2.00
5	3.00	1.04	2.00	1.00	1	1.00
6	4.00	1.05	2.00	0.50	1.00	1

2A

	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	0.25	0.25	0.20	2.00
2	1.00	1	0.20	0.17	0.20	3.00
3	4.00	5.00	1	1.00	1.00	5.00
4	4.00	6.00	1.00	1	2.00	8.00
5	5.00	5.00	1.00	0.50	1	4.00
6	0.50	0.33	0.20	0.12	0.25	1

3A

	1	2	3	4	5	6
1	1	0.17	0.25	0.14	0.25	0.17
2	6.00	1	0.50	0.50	0.20	1.00
3	4.00	2.00	1	1.00	0.33	1.00
4	7.00	2.00	1.00	1	1.00	1.00
5	4.00	5.00	3.00	1.00	1	1.00
6	6.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1

4A

	1	2	3	4	5	6
1	1	0.50	0.12	0.14	0.20	2.00
2	2.00	1	0.25	0.20	0.20	5.00
3	8.00	4.00	1	0.33	0.20	6.00
4	7.00	5.00	3.00	1	1.00	9.00
5	5.00	5.00	5.00	1.00	1	9.00
6	0.50	0.20	0.17	0.11	0.11	1

5B

	1	2	3	4	5	6
1	1	6.00	6.00	0.25	0.12	0.20
2	0.17	1	1.00	1.00	0.14	0.14
3	0.17	1.00	1	1.00	1.00	1.00
4	4.00	1.00	1.00	1	0.25	0.25
5	8.00	7.00	1.00	4.00	1	1.00
6	5.00	7.00	1.00	4.00	1.00	1

6A

	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	0.17	0.25	0.14	0.20
2	0.50	1	0.17	0.25	0.14	0.20
3	6.00	6.00	1	5.00	0.33	0.50
4	4.00	4.00	0.20	1	0.25	0.33
5	7.00	7.00	3.00	4.00	1	3.00
6	5.00	5.00	2.00	3.00	0.33	1

7B

	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	0.20	0.25	0.50	2.00
2	0.50	1	0.25	0.33	0.33	2.00
3	5.00	4.00	1	0.25	1.00	3.00
4	4.00	3.00	4.00	1	1.00	3.00
5	2.00	3.00	1.00	1.00	1	2.00
6	0.50	0.50	0.33	0.33	0.50	1

8A

	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	6.00	0.11	0.11	0.11
2	1.00	1	1.00	0.11	0.11	0.11
3	0.17	1.00	1	0.11	0.11	0.11
4	9.00	9.00	9.00	1	1.00	0.33
5	9.00	9.00	9.00	1.00	1	1.00
6	9.00	9.00	9.00	3.00	1.00	1

9B

	1	2	3	4	5	6
1	1	3.00	3.00	0.20	0.17	0.17
2	0.33	1	1.00	0.20	0.17	0.25
3	0.33	1.00	1	0.20	0.17	0.20
4	5.00	5.00	5.00	1	0.33	0.20
5	6.00	6.00	6.00	3.00	1	1.00
6	6.00	4.00	5.00	5.00	1.00	1

10B

	1	2	3	4	5	6
1	1	5.00	7.00	0.12	0.12	0.25
2	0.20	1	0.14	0.14	0.14	0.17
3	0.14	7.00	1	0.33	0.25	0.50
4	8.00	7.00	3.00	1	1.00	2.00
5	8.00	7.00	4.00	1.00	1	2.00
6	4.00	6.00	2.00	0.50	0.50	1

11C

	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	7.00	2.00	0.11	0.11
2	1.00	1	1.00	2.00	0.11	0.11
3	0.14	1.00	1	1.00	0.11	0.11
4	0.50	0.50	1.00	1	0.11	0.11
5	9.00	9.00	9.00	9.00	1	1.00
6	9.00	9.00	9.00	9.00	1.00	1

12A

	1	2	3	4	5	6
1	1	3.00	8.00	0.50	7.00	7.00
2	0.33	1	2.00	0.12	3.00	7.00
3	0.12	0.50	1	0.12	2.00	3.00
4	2.00	8.00	8.00	1	8.00	9.00
5	0.14	0.33	0.50	0.12	1	2.00
6	0.14	0.14	0.33	0.11	0.50	1

13A

	1	2	3	4	5	6
1	1	3.00	0.50	0.14	2.00	0.25
2	0.33	1	0.33	0.20	2.00	0.25
3	2.00	3.00	1	1.00	5.00	4.00
4	7.00	5.00	1.00	1	6.00	2.00
5	0.50	0.50	0.20	0.17	1	0.20
6	4.00	4.00	0.25	0.50	5.00	1

14B

	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	0.12	0.33	0.11	8.00
2	0.50	1	0.11	0.11	0.11	2.00
3	8.00	9.00	1	1.00	1.00	8.00
4	3.00	9.00	1.00	1	1.00	8.00
5	9.00	9.00	1.00	1.00	1	8.00
6	0.12	0.50	0.12	0.12	0.12	1

15A

	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	0.50	0.50	0.14	0.14
2	0.50	1	0.20	0.14	0.11	0.11
3	2.00	5.00	1	1.00	0.17	0.17
4	2.00	7.00	1.00	1	0.17	0.17
5	7.00	9.00	6.00	6.00	1	1.00
6	7.00	9.00	6.00	6.00	1.00	1

16B

	1	2	3	4	5	6
1	1	0.17	0.17	0.17	0.14	0.17
2	6.00	1	0.17	0.14	0.14	0.17
3	6.00	6.00	1	0.17	0.17	0.17
4	6.00	7.00	6.00	1	0.14	0.17
5	7.00	7.00	6.00	7.00	1	0.17
6	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	1

17C

	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	0.33	0.20	0.33	0.50
2	1.00	1	1.00	0.33	1.00	1.00
3	3.00	1.00	1	0.33	1.00	0.50
4	5.00	3.00	3.00	1	4.00	5.00
5	3.00	1.00	1.00	0.25	1	3.00
6	2.00	1.00	2.00	0.20	0.33	1

18C

	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	0.25	0.25	0.25	0.33
2	1.00	1	1.00	0.33	1.00	1.00
3	4.00	1.00	1	0.20	2.00	2.00
4	4.00	3.00	5.00	1	2.00	4.00
5	4.00	1.00	0.50	0.50	1	2.00
6	3.00	1.00	0.50	0.25	0.50	1

19B

	1	2	3	4	5	6
1	1	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.20	1	1.00	1.00	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1	1.00	1.00
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1	1.00
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1

20B

	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	3.00	7.00	9.00	7.00
2	0.50	1	2.00	3.00	5.00	3.00
3	0.33	0.50	1	5.00	5.00	4.00
4	0.14	0.33	0.20	1	3.00	2.00
5	0.11	0.20	0.20	0.33	1	1.00
6	0.14	0.33	0.25	0.50	1.00	1

21C

	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	0.11	0.11	0.11	0.12
2	1.00	1	0.11	0.11	0.12	0.14
3	9.00	9.00	1	9.00	9.00	9.00
4	9.00	9.00	0.11	1	9.00	8.00
5	9.00	8.00	0.11	0.11	1	9.00
6	8.00	7.00	0.11	0.12	0.11	1

22B

	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	0.17	0.17	0.14	0.17
2	1.00	1	0.17	0.14	0.17	0.20
3	6.00	6.00	1	0.25	0.25	0.25
4	6.00	7.00	4.00	1	1.00	1.00
5	7.00	6.00	4.00	1.00	1	1.00
6	6.00	5.00	4.00	1.00	1.00	1

23C

	1	2	3	4	5	6
1	1	0.33	0.17	0.17	0.25	0.25
2	3.00	1	0.17	0.17	0.25	0.25
3	6.00	6.00	1	0.50	4.00	4.00
4	6.00	6.00	2.00	1	6.00	6.00
5	4.00	4.00	0.25	0.17	1	1.00
6	4.00	4.00	0.25	0.17	1.00	1

24A

	1	2	3	4	5	6
1	1	4.00	0.17	0.14	0.12	4.00
2	0.25	1	0.17	0.20	0.20	4.00
3	6.00	6.00	1	3.00	3.00	5.00
4	7.00	5.00	0.33	1	3.00	8.00
5	8.00	5.00	0.33	0.33	1	8.00
6	0.25	0.25	0.20	0.12	0.12	1

25C						
	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	0.20	0.20	0.20	0.50
2	0.50	1	0.20	0.20	0.11	0.25
3	5.00	5.00	1	0.50	0.50	4.00
4	5.00	5.00	2.00	1	0.50	5.00
5	5.00	9.00	2.00	2.00	1	5.00
6	2.00	4.00	0.25	0.20	0.20	1

26C						
	1	2	3	4	5	6
1	1	4.00	1.00	0.25	1.00	1.00
2	0.25	1	0.25	0.17	1.00	0.50
3	1.00	4.00	1	1.00	5.00	4.00
4	4.00	6.00	1.00	1	3.00	6.00
5	1.00	1.00	0.20	0.33	1	1.00
6	1.00	2.00	0.25	0.17	1.00	1

27A						
	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	0.50	0.33	0.25	2.00
2	1.00	1	0.50	0.50	0.33	2.00
3	2.00	2.00	1	0.33	0.50	3.00
4	3.00	2.00	3.00	1	1.00	3.00
5	4.00	3.00	2.00	1.00	1	4.00
6	0.50	0.50	0.33	0.33	0.25	1

28A						
	1	2	3	4	5	6
1	1	3.00	0.25	0.17	0.17	4.00
2	0.33	1	0.17	0.12	0.12	2.00
3	4.00	6.00	1	0.33	0.33	7.00
4	6.00	8.00	3.00	1	1.00	9.00
5	6.00	8.00	3.00	1.00	1	9.00
6	0.25	0.50	0.14	0.11	0.11	1

29B						
	1	2	3	4	5	6
1	1	1.00	0.33	0.14	0.20	0.25
2	1.00	1	0.17	0.14	0.33	0.50
3	3.00	6.00	1	0.33	1.00	3.00
4	7.00	7.00	3.00	1	0.50	7.00
5	5.00	3.00	1.00	2.00	1	4.00
6	4.00	2.00	0.33	0.14	0.25	1

30B						
	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	0.25	0.20	0.17	2.00
2	0.50	1	0.33	0.20	0.17	2.00
3	4.00	3.00	1	0.25	0.20	5.00
4	5.00	5.00	4.00	1	2.00	5.00
5	6.00	6.00	5.00	0.50	1	6.00
6	0.50	0.50	0.20	0.20	0.17	1

Qualidade Ambiental (subcritério):

1A			
	1	2	3
1	1	4.00	2.00
2	0.25	1	0.33
3	0.50	3.00	1

2A			
	1	2	3
1	1	6.00	1.00
2	0.17	1	0.17
3	1.00	6.00	1

3A			
	1	2	3
1	1	6.00	1.00
2	0.17	1	5.00
3	1.00	0.20	1

4A			
	1	2	3
1	1	2.00	2.00
2	0.50	1	1.00
3	0.50	1.00	1

5B			
	1	2	3
1	1	7.00	5.00
2	0.14	1	0.14
3	0.20	7.00	1

6A			
	1	2	3
1	1	0.33	5.00
2	3.00	1	7.00
3	0.20	0.14	1

7B			
	1	2	3
1	1	7.00	5.00
2	0.14	1	0.50
3	0.20	2.00	1

8A			
	1	2	3
1	1	0.25	0.11
2	4.00	1	0.25
3	9.00	4.00	1

9B			
	1	2	3
1	1	8.00	3.00
2	0.12	1	0.33
3	0.33	3.00	1

10B			
	1	2	3
1	1	2.00	2.00
2	0.50	1	0.50
3	0.50	2.00	1

11C			
	1	2	3
1	1	9.00	9.00
2	0.11	1	1.00
3	0.11	1.00	1

12A			
	1	2	3
1	1	4.00	9.00
2	0.25	1	4.00
3	0.11	0.25	1

13A			
	1	2	3
1	1	6.00	3.00
2	0.17	1	0.33
3	0.33	3.00	1

14B			
	1	2	3
1	1	9.00	1.00
2	0.11	1	0.11
3	1.00	9.00	1

15A			
	1	2	3
1	1	1.00	6.00
2	1.00	1	6.00
3	0.17	0.17	1

16B			
	1	2	3
1	1	0.14	0.14
2	7.00	1	0.12
3	7.00	8.00	1

17C			
	1	2	3
1	1	8.00	2.00
2	0.12	1	0.25
3	0.50	4.00	1

18C			
	1	2	3
1	1	6.00	1.00
2	0.17	1	0.33
3	1.00	3.00	1

19B			
	1	2	3
1	1	8.00	0.14
2	0.12	1	6.00
3	7.00	0.17	1

20B			
	1	2	3
1	1	2.00	3.00
2	0.50	1	2.00
3	0.33	0.50	1

21C			
	1	2	3
1	1	9.00	1.00
2	0.11	1	0.11
3	1.00	9.00	1

22B			
	1	2	3
1	1	9.00	4.00
2	0.11	1	0.25
3	0.25	4.00	1

23C			
	1	2	3
1	1	7.00	3.00
2	0.14	1	0.20
3	0.33	5.00	1

24A			
	1	2	3
1	1	7.00	3.00
2	0.14	1	0.20
3	0.33	5.00	1

25C			
	1	2	3
1	1	5.00	1.00
2	0.20	1	0.50
3	1.00	2.00	1

26C			
	1	2	3
1	1	0.11	0.50
2	9.00	1	8.00
3	2.00	0.12	1

27A			
	1	2	3
1	1	2.00	2.00
2	0.50	1	0.50
3	0.50	2.00	1

28A			
	1	2	3
1	1	5.00	1.00
2	0.20	1	0.20
3	1.00	5.00	1

29B			
	1	2	3
1	1	6.00	3.00
2	0.17	1	0.25
3	0.33	4.00	1

30B			
	1	2	3
1	1	4.00	2.00
2	0.25	1	0.33
3	0.50	3.00	1

Multimodalidade (subcritério):

1A			
	1	2	3
1	1	2.00	0.50
2	0.50	1	0.50
3	2.00	2.00	1

2A			
	1	2	3
1	1	5.00	1.00
2	0.20	1	0.25
3	1.00	4.00	1

3A			
	1	2	3
1	1	4.00	2.00
2	0.25	1	1.00
3	0.50	1.00	1

4A			
	1	2	3
1	1	1.00	1.00
2	1.00	1	1.00
3	1.00	1.00	1

5B			
	1	2	3
1	1	6.00	3.00
2	0.17	1	4.00
3	0.33	0.25	1

6A			
	1	2	3
1	1	0.20	3.00
2	5.00	1	6.00
3	0.33	0.17	1

7B			
	1	2	3
1	1	1.00	0.25
2	1.00	1	0.33
3	4.00	3.00	1

8A			
	1	2	3
1	1	5.00	9.00
2	0.20	1	4.00
3	0.11	0.25	1

9B			
	1	2	3
1	1	1.00	5.00
2	1.00	1	5.00
3	0.20	0.20	1

10B			
	1	2	3
1	1	2.00	3.00
2	0.50	1	2.00
3	0.33	0.50	1

11C			
	1	2	3
1	1	1.00	2.00
2	1.00	1	2.00
3	0.50	0.50	1

12A			
	1	2	3
1	1	0.25	4.00
2	4.00	1	9.00
3	0.25	0.11	1

13A			
	1	2	3
1	1	1.00	3.00
2	1.00	1	2.00
3	0.33	0.50	1

14B			
	1	2	3
1	1	0.11	0.11
2	9.00	1	1.00
3	9.00	1.00	1

15A			
	1	2	3
1	1	1.00	1.00
2	1.00	1	1.00
3	1.00	1.00	1

16B			
	1	2	3
1	1	8.00	0.17
2	0.12	1	0.17
3	6.00	6.00	1

17C			
	1	2	3
1	1	6.00	3.00
2	0.17	1	0.25
3	0.33	4.00	1

18C			
	1	2	3
1	1	6.00	3.00
2	0.17	1	0.20
3	0.33	5.00	1

19B			
	1	2	3
1	1	0.33	0.33
2	3.00	1	1.00
3	3.00	1.00	1

20B			
	1	2	3
1	1	4.00	7.00
2	0.25	1	2.00
3	0.14	0.50	1

21C			
	1	2	3
1	1	9.00	0.11
2	0.11	1	0.11
3	9.00	9.00	1

22B			
	1	2	3
1	1	0.12	0.25
2	8.00	1	5.00
3	4.00	0.20	1

23C			
	1	2	3
1	1	0.20	0.20
2	5.00	1	2.00
3	5.00	0.50	1

24A			
	1	2	3
1	1	3.00	3.00
2	0.33	1	4.00
3	0.33	0.25	1

25C			
	1	2	3
1	1	0.50	2.00
2	2.00	1	3.00
3	0.50	0.33	1

26C			
	1	2	3
1	1	0.11	0.20
2	9.00	1	4.00
3	5.00	0.25	1

27A			
	1	2	3
1	1	2.00	3.00
2	0.50	1	2.00
3	0.33	0.50	1

28A			
	1	2	3
1	1	3.00	2.00
2	0.33	1	0.50
3	0.50	2.00	1

29B			
	1	2	3
1	1	0.14	0.25
2	7.00	1	4.00
3	4.00	0.25	1

30B			
	1	2	3
1	1	4.00	2.00
2	0.25	1	0.33
3	0.50	3.00	1

Sistemas Partilhados (subcritério):

1A			
	1	2	3
1	1	0.33	0.50
2	3.00	1	2.00
3	2.00	0.50	1

2A			
	1	2	3
1	1	3.00	0.33
2	0.33	1	0.12
3	3.00	8.00	1

3A			
	1	2	3
1	1	0.50	3.00
2	2.00	1	3.00
3	0.33	0.33	1

4A			
	1	2	3
1	1	1.00	0.50
2	1.00	1	0.50
3	2.00	2.00	1

5B			
	1	2	3
1	1	5.00	1.00
2	0.20	1	1.00
3	1.00	1.00	1

6A			
	1	2	3
1	1	3.00	3.00
2	0.33	1	2.00
3	0.33	0.50	1

7B			
	1	2	3
1	1	0.17	0.20
2	6.00	1	0.50
3	5.00	2.00	1

8A			
	1	2	3
1	1	0.20	3.00
2	5.00	1	9.00
3	0.33	0.11	1

9B			
	1	2	3
1	1	3.00	6.00
2	0.33	1	2.00
3	0.17	0.50	1

10B			
	1	2	3
1	1	0.50	1.00
2	2.00	1	1.00
3	1.00	1.00	1

11C			
	1	2	3
1	1	0.50	1.00
2	2.00	1	1.00
3	1.00	1.00	1

12A			
	1	2	3
1	1	4.00	4.00
2	0.25	1	2.00
3	0.25	0.50	1

13A			
	1	2	3
1	1	0.33	2.00
2	3.00	1	3.00
3	0.50	0.33	1

14B			
	1	2	3
1	1	8.00	1.00
2	0.12	1	0.12
3	1.00	8.00	1

15A			
	1	2	3
1	1	5.00	2.00
2	0.20	1	0.25
3	0.50	4.00	1

16B			
	1	2	3
1	1	0.14	0.20
2	7.00	1	0.20
3	5.00	5.00	1

17C			
	1	2	3
1	1	0.50	0.33
2	2.00	1	1.00
3	3.00	1.00	1

18C			
	1	2	3
1	1	0.25	0.20
2	4.00	1	1.00
3	5.00	1.00	1

19B			
	1	2	3
1	1	1.00	1.00
2	1.00	1	1.00
3	1.00	1.00	1

20B			
	1	2	3
1	1	2.00	6.00
2	0.50	1	6.00
3	0.17	0.17	1

21C			
	1	2	3
1	1	0.11	0.12
2	9.00	1	1.00
3	8.00	1.00	1

22B			
	1	2	3
1	1	0.12	0.17
2	8.00	1	1.00
3	6.00	1.00	1

23C			
	1	2	3
1	1	0.14	0.17
2	7.00	1	1.00
3	6.00	1.00	1

24A			
	1	2	3
1	1	5.00	0.50
2	0.20	1	0.33
3	2.00	3.00	1

25C			
	1	2	3
1	1	1.00	2.00
2	1.00	1	2.00
3	0.50	0.50	1

26C			
	1	2	3
1	1	0.11	0.20
2	9.00	1	3.00
3	5.00	0.33	1

27A			
	1	2	3
1	1	3.00	3.00
2	0.33	1	0.50
3	0.33	2.00	1

28A			
	1	2	3
1	1	3.00	0.33
2	0.33	1	0.20
3	3.00	5.00	1

29B			
	1	2	3
1	1	0.25	0.25
2	4.00	1	1.00
3	4.00	1.00	1

30B			
	1	2	3
1	1	3.00	2.00
2	0.33	1	0.50
3	0.50	2.00	1

Sistemas Digitais (subcritério):

1A				
	1	2	3	4
1	1	3.00	2.00	4.00
2	0.33	1	0.50	2.00
3	0.50	2.00	1	3.00
4	0.25	0.50	0.33	1

2A				
	1	2	3	4
1	1	0.33	0.25	0.25
2	3.00	1	1.00	1.00
3	4.00	1.00	1	1.00
4	4.00	1.00	1.00	1

3A				
	1	2	3	4
1	1	0.50	0.33	0.50
2	2.00	1	1.00	0.25
3	3.00	1.00	1	1.00
4	2.00	4.00	1.00	1

4A				
	1	2	3	4
1	1	0.50	1.00	2.00
2	2.00	1	1.00	3.00
3	1.00	1.00	1	4.00
4	0.50	0.33	0.25	1

5B				
	1	2	3	4
1	1	1.00	1.00	1.00
2	1.00	1	5.00	5.00
3	1.00	0.20	1	1.00
4	1.00	0.20	1.00	1

6A				
	1	2	3	4
1	1	0.17	0.20	0.25
2	6.00	1	6.00	5.00
3	5.00	0.17	1	1.00
4	4.00	0.20	1.00	1

7B				
	1	2	3	4
1	1	3.00	0.33	3.00
2	0.33	1	0.20	0.33
3	3.00	5.00	1	4.00
4	0.33	3.00	0.25	1

8A				
	1	2	3	4
1	1	5.00	0.33	0.11
2	0.20	1	0.14	0.11
3	3.00	7.00	1	0.33
4	9.00	9.00	3.00	1

9B				
	1	2	3	4
1	1	2.00	4.00	0.50
2	0.50	1	3.00	0.50
3	0.25	0.33	1	0.25
4	2.00	2.00	4.00	1

10B				
	1	2	3	4
1	1	0.50	0.33	1.00
2	2.00	1	0.25	1.00
3	3.00	4.00	1	5.00
4	1.00	1.00	0.20	1

11C				
	1	2	3	4
1	1	0.25	4.00	9.00
2	4.00	1	9.00	9.00
3	0.25	0.11	1	2.00
4	0.11	0.11	0.50	1

12A				
	1	2	3	4
1	1	0.11	0.33	0.20
2	9.00	1	7.00	4.00
3	3.00	0.14	1	0.33
4	5.00	0.25	3.00	1

13A				
	1	2	3	4
1	1	1.00	0.50	0.50
2	1.00	1	0.33	0.50
3	2.00	3.00	1	2.00
4	2.00	2.00	0.50	1

14B				
	1	2	3	4
1	1	9.00	4.00	9.00
2	0.11	1	0.20	0.33
3	0.25	5.00	1	3.00
4	0.11	3.00	0.33	1

15A				
	1	2	3	4
1	1	0.17	4.00	2.00
2	6.00	1	6.00	6.00
3	0.25	0.17	1	1.00
4	0.50	0.17	1.00	1

16B				
	1	2	3	4
1	1	0.25	0.17	0.14
2	4.00	1	0.17	0.17
3	6.00	6.00	1	0.17
4	7.00	6.00	6.00	1

17C				
	1	2	3	4
1	1	0.25	2.00	0.33
2	4.00	1	6.00	6.00
3	0.50	0.17	1	0.50
4	3.00	0.17	2.00	1

18C				
	1	2	3	4
1	1	0.17	3.00	0.50
2	6.00	1	6.00	7.00
3	0.33	0.17	1	0.33
4	2.00	0.14	3.00	1

19B				
	1	2	3	4
1	1	2.00	1.00	3.00
2	0.50	1	1.00	1.00
3	1.00	1.00	1	1.00
4	0.33	1.00	1.00	1

20B				
	1	2	3	4
1	1	3.00	4.00	6.00
2	0.33	1	3.00	5.00
3	0.25	0.33	1	3.00
4	0.17	0.20	0.33	1

21C				
	1	2	3	4
1	1	9.00	6.00	1.00
2	0.11	1	0.11	0.12
3	0.17	9.00	1	0.17
4	1.00	8.00	6.00	1

22B				
	1	2	3	4
1	1	0.17	0.25	1.00
2	6.00	1	5.00	7.00
3	4.00	0.20	1	6.00
4	1.00	0.14	0.17	1

23C				
	1	2	3	4
1	1	2.00	2.00	2.00
2	0.50	1	0.33	0.50
3	0.50	3.00	1	3.00
4	0.50	2.00	0.33	1

24A				
	1	2	3	4
1	1	0.50	0.50	0.50
2	2.00	1	3.00	3.00
3	2.00	0.33	1	1.00
4	2.00	0.33	1.00	1

25C				
	1	2	3	4
1	1	1.00	2.00	2.00
2	1.00	1	2.00	2.00
3	0.50	0.50	1	1.00
4	0.50	0.50	1.00	1

26C				
	1	2	3	4
1	1	0.25	0.14	0.12
2	4.00	1	0.20	0.20
3	7.00	5.00	1	1.00
4	8.00	5.00	1.00	1

27A				
	1	2	3	4
1	1	0.50	1.00	0.50
2	2.00	1	1.00	2.00
3	1.00	1.00	1	1.00
4	2.00	0.50	1.00	1

28A				
	1	2	3	4
1	1	0.25	2.00	2.00
2	4.00	1	5.00	5.00
3	0.50	0.20	1	1.00
4	0.50	0.20	1.00	1

29B				
	1	2	3	4
1	1	3.00	4.00	7.00
2	0.33	1	3.00	4.00
3	0.25	0.33	1	5.00
4	0.14	0.25	0.20	1

30B				
	1	2	3	4
1	1	5.00	5.00	9.00
2	0.20	1	0.25	3.00
3	0.20	4.00	1	6.00
4	0.11	0.33	0.17	1

C. Rácios de Consistência (CR) e Índices de Consistência (IC) por matriz.

Rácios de Consistência:

ID	Entre Critérios	Entre Subcritérios						
		Ambiente Envolvente	Infraestrutura	Segurança	Qualidade Ambiental	Multimodalidade	Sistemas Partilhados	Sistemas Digitais
1A	0,075	0,052	0,086	0,073	0,019	0,056	0,010	0,011
2A	0,063	0,062	0,093	0,032	0	0,006	0,002	0,004
3A	0,08	0,093	0,097	0,068	1,491	0,056	0,056	0,099
4A	0,062	0,032	0,066	0,076	0	0	0	0,026
5B	0,068	0,200	0,268	0,362	0,308	0,522	0,308	0,125
6A	0,084	0,069	0,100	0,076	0,068	0,098	0,056	0,098
7B	0,089	0,016	0,04	0,089	0,015	0,010	0,089	0,069
8A	0,098	0,049	0,074	0,086	0,039	0,074	0,030	0,093
9B	0,042	0,027	0,083	0,092	0,002	0	0	0,030
10B	0,072	0,096	0,079	0,214	0,056	0,010	0,056	0,041
11C	0,071	0,095	0,061	0,076	0	0	0,056	0,065
12A	0,08	0,054	0,367	0,055	0,039	0,039	0,056	0,046
13A	0,081	0,022	0,084	0,086	0,019	0,019	0,056	0,017
14B	0,067	0,033	0,097	0,077	0	0	0	0,053
15A	0,085	0,148	0,111	0,044	0	0	0,026	0,068
16B	0,443	0,109	0,187	0,329	0,523	0,522	0,455	0,225
17C	0,069	0,071	0,095	0,065	0	0,056	0,019	0,095
18C	0,094	0,091	0,098	0,074	0,056	0,098	0,006	0,093
19B	0,019	0,342	0,449	0,051	5,317	0	0	0,043
20B	0,084	0,011	0,062	0,040	0,010	0,002	0,056	0,054
21C	0,496	0,576	0,353	0,365	0	0,585	0,002	0,168
22B	0,098	0,096	0,086	0,054	0,039	0,098	0,010	0,089
23C	0,097	0,049	0,096	0,080	0,068	0,056	0,003	0,079
24A	0,122	0,278	0,181	0,169	0,019	0,227	0,170	0,057
25C	0,087	0	0,099	0,042	0,098	0,010	0	0
26C	0,099	0,057	0,084	0,060	0,039	0,074	0,030	0,046
27A	0,057	0,072	0,078	0,024	0,056	0,010	0,056	0,044
28A	0,034	0,048	0,031	0,042	0	0,010	0,040	0,010
29B	0,098	0,097	0,093	0,083	0,056	0,080	0	0,089
30B	0,008	0,084	0,055	0,074	0,019	0,019	0,010	0,097

Índices de Consistência:

ID	Entre Critérios	Entre Subcritérios						
		Ambiente Envolvente	Infraestrutura	Segurança	Qualidade Ambiental	Multimodalidade	Sistemas Partilhados	Sistemas Digitais
1A	0,099	0,047	0,121	0,091	0,011	0,032	0,006	0,010
2A	0,083	0,056	0,131	0,040	0	0,003	0,001	0,004
3A	0,106	0,084	0,137	0,084	0,865	0,032	0,032	0,089
4A	0,082	0,029	0,093	0,094	0	0	0	0,023
5B	0,090	0,180	0,378	0,449	0,179	0,303	0,179	0,113
6A	0,111	0,062	0,141	0,094	0,039	0,057	0,032	0,088
7B	0,117	0,014	0,056	0,110	0,009	0,006	0,052	0,062
8A	0,129	0,044	0,104	0,107	0,023	0,043	0,017	0,084
9B	0,055	0,024	0,117	0,114	0,001	0	0	0,027
10B	0,095	0,086	0,111	0,265	0,032	0,006	0,032	0,037
11C	0,094	0,086	0,086	0,094	0	0	0,032	0,059
12A	0,106	0,049	0,517	0,068	0,023	0,023	0,032	0,041
13A	0,107	0,020	0,118	0,107	0,011	0,011	0,032	0,015
14B	0,088	0,030	0,137	0,095	0	0	0	0,048
15A	0,112	0,133	0,157	0,055	0	0	0,015	0,061
16B	0,585	0,098	0,264	0,408	0,303	0,303	0,264	0,203
17C	0,091	0,064	0,134	0,081	0	0,032	0,011	0,086
18C	0,124	0,082	0,138	0,092	0,032	0,057	0,003	0,084
19B	0,025	0,308	0,633	0,063	3,084	0	0	0,039
20B	0,111	0,010	0,087	0,050	0,006	0,001	0,032	0,049
21C	0,655	0,518	0,498	0,453	0	0,339	0,001	0,151
22B	0,129	0,086	0,121	0,067	0,023	0,057	0,006	0,080
23C	0,128	0,044	0,135	0,099	0,039	0,032	0,002	0,071
24A	0,161	0,250	0,255	0,210	0,011	0,132	0,099	0,051
25C	0,115	0,000	0,140	0,052	0,057	0,006	0	0
26C	0,131	0,051	0,118	0,074	0,023	0,043	0,017	0,041
27A	0,075	0,065	0,110	0,030	0,032	0,006	0,032	0,040
28A	0,045	0,043	0,044	0,052	0	0,006	0,023	0,009
29B	0,129	0,087	0,131	0,103	0,032	0,046	0	0,080
30B	0,011	0,076	0,078	0,092	0,011	0,011	0,006	0,087

D. Exemplo de Cálculo de prioridades a partir de uma comparação par a par.

Este anexo apresenta, de forma ilustrativa, o processo de cálculo das prioridades a partir de uma matriz de julgamentos par a par. O exemplo refere-se ao nível dos critérios principais, com base nos julgamentos do stakeholder 17C.

D.1. MATRIZ DE JULGAMENTOS

A Tabela abaixo apresenta a matriz de comparações par a par preenchida pelo especialista 17C, construída segundo a escala fundamental de Saaty (1–9).

Critério	1	2	3	4	5	6	7
1. Ambiente Envolvente	1	0,14	0,12	3,00	3,00	2,00	4,00
2. Infraestrutura	7,00	1	2,00	4,00	6,00	7,00	9,00
3. Segurança	8,00	0,50	1	6,00	6,00	6,00	7,00
4. Qualidade Ambiental	0,33	0,25	0,17	1	2,00	3,00	4,00
5. Multimodalidade	0,33	0,17	0,17	0,50	1	1,00	1,00
6. Sistemas Partilhados	0,50	0,14	0,17	0,33	1,00	1	1,00
7. Sistemas Digitais	0,25	0,11	0,14	0,25	1,00	1,00	1

Cada elemento a_{ij} exprime o grau de importância do critério i relativamente ao critério j sendo a matriz recíproca $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$ e com $a_{ii} = 1$.

D.2. CÁLCULO DAS PRIORIDADES

O cálculo do vetor de prioridades w baseia-se na resolução do autovetor principal da matriz A:

$$A \cdot w = \lambda_{max} \cdot w$$

Para efeito ilustrativo, apresenta-se a seguir o procedimento simplificado:

1. Normalização por colunas:

Cada elemento a_{ij} é dividido pela soma da respetiva coluna. Por exemplo, para a coluna 2 (Infraestrutura):

$$\sum col2 = 0{,}14 + 1 + 0{,}50 + 0{,}25 + 0{,}17 + 0{,}14 + 0{,}11 = \boxed{2{,}31}$$

$$a_{12}^{norm} = \frac{0{,}14}{2{,}31} = 0{,}06$$

$$a_{22}^{norm} = \frac{1}{2{,}31} = 0{,}433$$

2. Cálculo da média das linhas:

A média aritmética dos valores normalizados em cada linha fornece uma estimativa do vetor de prioridades w. Após a normalização e a média das linhas, obtém-se:

$$w = [0{,}100; 0{,}379; 0{,}330; 0{,}078; 0{,}040; 0{,}039; 0{,}032]$$

A soma dos elementos é igual a 1, correspondendo ao vetor de prioridades normalizadas.

D.3. AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

A consistência é avaliada pelo Índice de Consistência (CI) e a Razão de Consistência (CR), definidos por:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Sendo a ordem da matriz: $n = 7$ e o $RI = 1{,}32$, conforme valores específicos do método.

1. Cálculo de λ_{max}:

O valor de $\lambda_{\max}$ é obtido a partir do produto entre a matriz original A e o vetor de prioridades w:

$$A \cdot w = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_7 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_7 \end{bmatrix}$$

Cada elemento $v_i$corresponde à soma ponderada das comparações da linha i. A partir do vetor resultante v, calcula-se $\lambda_{\max}$ como a média das razões v_i/w_i.

Para o especialista 17C, ao fazermos o produto $A \cdot w$ temos:

$$A \cdot w = [0{,}701; 2{,}758; 2{,}409; 0{,}552; 0{,}275; 0{,}261; 0{,}228]$$

Calculando as razões v_i/w_i:

Critério	v_i	w_i	v_i/w_i
1	0,701	0,100	7,010
2	2,758	0,379	7,280
3	2,409	0,330	7,300
4	0,552	0,078	7,080
5	0,275	0,040	6,880
6	0,261	0,039	6,690
7	0,228	0,032	7,120

A média das razões é:

$$\lambda_{\max} = \frac{7{,}01 + 7{,}28 + 7{,}30 + 7{,}08 + 6{,}88 + 6{,}69 + 7{,}12}{7} = \boxed{7{,}55}$$

2. Cálculo de CI e CR:

$$CI = \frac{7{,}55 - 7}{6 - 1} = \boxed{0{,}092}$$

$$CR = \frac{0{,}092}{1{,}32} = \boxed{0{,}070}$$

Como $CR < 0{,}10$, considera-se que os julgamentos são consistentes e o vetor de prioridades é válido. Em termos práticos, isto significa que o especialista manteve coerência nas comparações, evitando contradições lógicas entre as relações de importância estabelecidas.

D.4. VETOR FINAL DE PRIORIDADES

Conforme a tabela a seguir, observa-se que o stakeholder atribui maior relevância aos critérios Infraestrutura e Segurança, que em conjunto representam cerca de 71% do total, evidenciando o papel determinante destes fatores na perceção da aptidão ciclável.

Critério	Ambiente Envolvente	Infraestrutura	Segurança	Qualidade Ambiental	Multimodalidade	Sistemas Partilhados	Sistemas Digitais
Peso	0,1	0,379	0,33	0,078	0,04	0,039	0,032

E. Exemplo de cálculo para agregação de (matrizes) de julgamentos par a par.

Este anexo demonstra o processo de agregação das prioridades individuais dos sete especialistas do grupo de utilizadores e ciclistas, de forma a obter um vetor de prioridades consolidado para o grupo.

E.1. VETORES INDIVIDUAIS

A tabela a seguir apresenta os pesos atribuídos a cada critério por cada especialista, bem como a respetiva razão de consistência (CR).

ID	Amb. Env.	Infraestr.	Segurança	Qualid. Amb.	Multimod.	Sist. Part.	Sist. Digit.	CR
11C	0,054	0,161	0,578	0,064	0,050	0,047	0,047	0,071
17C	0,100	0,379	0,330	0,078	0,040	0,039	0,032	0,070
18C	0,134	0,351	0,307	0,085	0,055	0,042	0,026	0,094
21C	0,036	0,473	0,210	0,081	0,031	0,131	0,037	0,501
23C	0,170	0,288	0,347	0,031	0,090	0,056	0,019	0,096
25C	0,099	0,214	0,310	0,185	0,092	0,050	0,050	0,086
26C	0,172	0,407	0,260	0,024	0,074	0,031	0,032	0,098

E.2. AGREGAÇÃO DAS PRIORIDADES

A agregação é efetuada critério a critério, utilizando a média geométrica dos pesos atribuídos individualmente pelos sete especialistas.

Exemplo de cálculo: Ambiente Envolvente

Para o critério "Ambiente Envolvente", os pesos individuais dos sete especialistas (11C, 17C, 18C, 21C, 23C, 25C e 26C) são:

$$w_i^{(Stkh)} = [0{,}054; 0{,}100; 0{,}134; 0{,}036; 0{,}170; 0{,}099; 0{,}172]$$

1. Cálculo da média geométrica:

$$\overline{w}_1 = (0{,}054 \times 0{,}100 \times 0{,}134 \times 0{,}036 \times 0{,}170 \times 0{,}099 \times 0{,}172)^{1/7} = \boxed{0{,}104}$$

2. Cálculo da soma das médias geométricas:

$$\sum_{k=1}^{7} \bar{w}_k = 0{,}104 + 0{,}330 + 0{,}345 + 0{,}070 + 0{,}062 + 0{,}055 + 0{,}036 = \boxed{1{,}002}$$

3. Normalização dos pesos agregados:

$$w_1^* = \frac{\bar{w}_1}{\sum \bar{w}_k} = \frac{0{,}104}{1{,}002} = \boxed{0{,}104}$$

Os mesmos cálculos são aplicados a todos os critérios, resultando no vetor agregado $\mathbf{w}^*$apresentado na tabela a seguir:

Critério	Peso agregado
Ambiente Envolvente	0,104
Infraestrutura	0,330
Segurança	0,345
Qualidade Ambiental	0,070
Multimodalidade	0,062
Sistemas Partilhados	0,055
Sistemas Digitais	0,036

O vetor agregado representa, assim, o padrão médio de perceção dos utilizadores e ciclistas, evidenciando a predominância dos critérios Segurança (0,345) e Infraestrutura (0,330)

F. Fichas Técnicas (*factsheets*)

Critério:	**Subcritério:**
AMBIENTE ENVOLVENTE	PROTEÇÃO CLIMATÉRICA

Indicador:

OCORRÊNCIA DE ÁRVORES EM ALINHAMENTO **(AMB-1)**

DESCRIÇÃO:

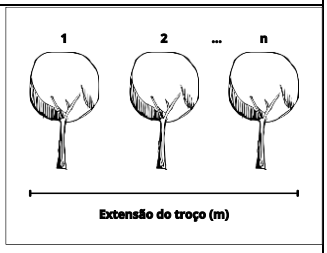
Este indicador avalia a presença de árvores alinhadas ao longo dos troços viários, com impacto na oferta de sombra e conforto térmico aos ciclistas. A arborização contribui para a qualidade ambiental e paisagística do percurso, embora densidades elevadas possam originar constrangimentos, como acumulação de folhas, interferindo na segurança e na manutenção da via.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento deve-se determinar (ver detalhe ao lado):

- A extensão do troço (metros);
- O número de árvores (alinhadas) presentes.

Nos casos em que existam árvores em ambos os lados, considerar apenas o lado com o maior número de árvores.



PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

- O valor do indicador deverá ser expresso em número de árvores por 100 metros.
- O indicador atua como valor de entrada na função de pertinência abaixo:

$$\mu(x,a,b,c) = min\left(max\left(0,\frac{x-a}{b-a}\right), max\left(0,\frac{c-x}{c-b}\right)\right)$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 1, \ valor\ de\ controlo\ inferior \\ b = 14, \qquad\qquad ponto\ ótimo \\ c = \ 5, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CCDR-N. (2008). *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária*. Porto: Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, 381–396.

NTA. (2011). *National Cycle Manual. The national Cycle Manual*. Dublin: National Transport Authority.

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. *Environment and Behavior*.

-Critério:	**Sub-critério:**
AMBIENTE ENVOLVENTE	CORPOS D'ÁGUA

Indicador:

OCORRÊNCIA DE CORPOS D'ÁGUA ADJACENTES AO EIXO **(AMB-2)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador refere-se à presença de elementos paisagísticos associados à água junto ao eixo viário, tais como lagos, rios ou espelhos de água. A proximidade destes elementos pode contribuir para o conforto ambiental dos utilizadores, ajudando a arrefecer o entorno em períodos quentes e a conferir maior atratividade estética ao percurso. Apesar da sua natureza subjetiva, a sua presença pode valorizar significativamente a experiência ciclável.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento, deve-se identificar a presença de elementos classificados como:

- Corpo d'água (lago, rio, mar);
- Espelho d'água de grandes dimensões;
- Fonte ou elemento similar (de grandes dimensões).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

- Apenas são considerados os corpos de água.
- Os segmentos são classificados conforme a existência ou não de corpo de água adjacente.
- A função de pertinência é dada por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ existe\ corpo\ d'água \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). *Design Manual for Bicycle Traffic*. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 130, 673–688.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*, 05(04), 451–459.

Critério:	**Sub-critério:**
AMBIENTE ENVOLVENTE	ÁREAS VERDES ADJACENTES

Indicador:

OCORRÊNCIA DE PARQUES ADJACENTES AO EIXO **(AMB-3)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador refere-se à presença de parques ou outros espaços verdes contíguos ao troço viário. A existência de jardins, praças, bosques ou outros elementos naturais valoriza o ambiente envolvente e contribui para a atratividade da rota, promovendo deslocações mais agradáveis e confortáveis para os ciclistas.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento, deve-se registar a presença de áreas verdes ou elementos naturais relevantes junto ao eixo, especificando a categoria observada no momento do levantamento.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida pela expressão abaixo. São consideradas as seguintes categorias para os valores de controlo: não existe parque ou elemento similar; existe parque ou elemento similar.

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ existe\ parque\ ou\ elemento\ similar \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). *Design Manual for Bicycle Traffic*. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 130, 673–688.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*, 05(04), 451–459.

Critério:	**Sub-critério:**
AMBIENTE ENVOLVENTE	USO DO SOLO

Indicador:

DIVERSIDADE DE DESTINOS **(AMB-4)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a diversidade de usos do solo ao longo de um troço, considerando categorias como uso residencial, comercial, institucional, áreas verdes, entre outros. Uma elevada variedade de funções urbanas tende a favorecer a atratividade da rota para diferentes tipos de deslocações, potenciando a utilização do modo ciclável para fins diversos.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

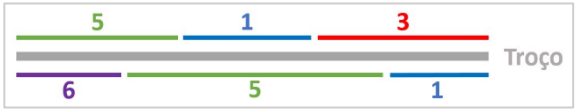
Para cada segmento deve-se determinar:

- A extensão do troço (metros);
- O número de categorias de uso do solo presente no troço (N);
- O somatório dos comprimentos das faixadas de cada categoria (C_i);

CATEGORIAS

1. COMERCIAL / ESCRITÓRIOS
2. EQUIPAMENTOS SOCIAIS
3. INSTITUIÇÕES DE ENSINO
4. PARQUES/ÁREAS VERDES
5. RESIDENCIAL
6. TRANSPORTES/MOBILIDADE

As categorias de uso do solo consideradas e o esboço de um troço hipotético são apresentados nas imagens ao lado.



PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

- O valor do indicador é dado pela expressão a seguir, onde:
  - D_i: rácio do comprimento de uma categoria de uso do solo i (uma vez que ambos os lados serão considerados deve-se duplicar o comprimento do troço)
  - N: número de categorias presentes no troço.

$$\frac{-\sum_{i=1}^{N}(D_i)\ln(D_i)}{\ln(N)}$$

- Os valores retornados pela expressão anterior variam entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1 maior será o grau de diversidade de destinos (situação desejada).
- A função de pertinência $\mu(x)$ desta variável recebe o mesmo valor da expressão anterior.

REFERÊNCIAS:

Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. *Open Journal of Civil Engineering*, 05(04), 451–459.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, 381–396.

Motta, B. G. (2017). A bikeability index for Curitiba.

Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013). Mapping bikeability: A spatial tool to support sustainable travel. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(5), 865–883.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	NÍVEL DE SEGREGAÇÃO

Indicador:

TIPOLOGIA DA INFRAESTRUTURA CICLÁVEL **(INF-1)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia o grau de segregação entre o tráfego motorizado e os modos ativos, com ênfase na presença de pistas e faixas cicláveis. A existência destas infraestruturas está associada a uma maior segurança objetiva e percecionada, além de influenciar positivamente a probabilidade de adoção da bicicleta como meio de transporte. A ausência de segregação é entendida como um fator desincentivador da utilização da bicicleta em ambiente urbano.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Deve-se indicar a presença ou ausência de infraestrutura ciclável, classificando cada segmento de acordo com as categorias apresentadas a seguir:

- Pista ciclável
- Faixa ciclável
- Via partilhada com peão (e.g., imagem ao lado)
- Coexistência com automóvel (i.e., não existe infraestrutura ciclável)



PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ existir\ pista\ ciclável \\ 0{,}75, & se\ existir\ faixa\ ciclável \\ 0{,}25, & se\ a\ via\ for\ partilhada\ com\ peão \\ 0, & se\ existir\ coexistência\ com\ automóvel \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Greenstein, A. S. (2015). Mapping Bikeability: A Spatial Analysis on Current and Potential Bikeability in Austin, Texas. *University of Texas*.

Grigore, E., Garrick, N., Fuhrer, R., & Axhausen, I. K. W. (2019). Bikeability in Basel. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673(6), 607–617.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Manum, B., Nordström, T., Gil, J., Nilsson, L., & Marcus, L. (2017). Modelling bikeability; Space syntax-based measures applied in examining speeds and flows of bicycling in Gothenburg. In 11th International Space Syntax Symposium (pp. 1379–1394).

Motta, B. G. (2017). A bikeability index for Curitiba.

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. Environment and Behavior.

Saghapour, T., Moridpour, S., & Thompson, R. G. (2017). Measuring cycling accessibility in metropolitan areas. International Journal of Sustainable Transportation, 11(5), 381–394.

Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013). Mapping bikeability: A spatial tool to support sustainable travel. Environment and Planning B: Planning and Design.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	PAVIMENTO

Indicador:

REGULARIDADE DA SUPERFÍCIE **(INF-2)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a regularidade do pavimento sobre o qual circulam os ciclistas. O tipo de revestimento e o seu estado de conservação influenciam diretamente o conforto e a segurança da deslocação em bicicleta. Materiais ou condições que provoquem vibrações excessivas, ou que apresentem desníveis superiores a 2 cm, tendem a comprometer a qualidade da experiência ciclável e podem requerer manobras evasivas ou ajustes de trajetória.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento, deve-se classificar a superfície segundo as seguintes categorias, com base numa observação visual rápida:

- Asfalto;
- Betão;
- Asfalto ou Betão com presença recorrente de irregularidades (e.g., desníveis superiores a 2 cm);
- Cubos de granito (cobblestone);
- Terra batida.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ superfície\ de\ asfalto \\ 0{,}80, & se\ superfície\ de\ Betão \\ 0{,}50, & se\ superfície\ de\ Asfalto\ ou\ Betão\ com\ irregularidades \\ 0{,}20, & se\ superfície\ de\ Cubos\ de\ Granito\ (Cobblestone) \\ 0, & se\ superfície\ de\ terra\ batida \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Eliou, N., Galanis, A., & Proios, A. (2009). Evaluation of the bikeability of a Greek city: Case study "City of Volos." *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 5(8), 545–555.

Lowry, M., Callister, D., Gresham, M., & Moore, B. (2012). Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. *Transportation Research Record*, (2314), 41–48.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Manum, B., Nordström, T., Gil, J., Nilsson, L., & Marcus, L. (2017). Modelling bikeability; Space syntax-based measures applied in examining speeds and flows of bicycling in Gothenburg. In *11th International Space Syntax Symposium* (pp. 1379–1394).

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	GEOMETRIA DA VIA

Indicador:

DECLIVE DO TROÇO **(INF-3)**

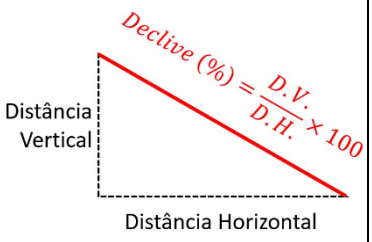
DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia o grau de inclinação dos segmentos cicláveis. Declives acentuados tendem a reduzir a atratividade e a segurança da deslocação em bicicleta, influenciando o esforço físico exigido e a velocidade média de circulação. A existência de declives suaves é preferível, sobretudo para utilizadores com menor experiência. Assim, o declive é considerado um fator crítico na análise da continuidade e acessibilidade das rotas cicláveis.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo pode ser descrito em três etapas:

- Determinação da extensão (m) entre dois pontos de início e fim do segmento (distância horizontal);
- Determinação da diferença de altitude entre esses pontos (distância vertical);
- Cálculo do declive médio (%), pela razão entre a diferença de altitude e a extensão horizontal do segmento.



Ferramentas utilizadas: OpenStreetMap (rede pré-estabelecida) e Google Earth (perfil de elevação).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida da seguinte forma:

$$\mu(x) = \frac{(c - x)}{(c - a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 0$$

$$Para\ x < a, \mu(x) = 1$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 6 \\ c = 11 \end{cases}$$

Além do declive, são também considerados limites para as extensões de troços que apresentem declive (ver categorias a seguir). Caso o comprimento do troço ultrapasse o limite estabelecido o valor atribuído ao mesmo será zero.

- $Categoria\ 1: limite\ de\ 240\ metros\ para\ declives \geq 6\%$
- $Categoria\ 2: limite\ de\ 120\ metros\ para\ declives \geq 7\%$
- $Categoria\ 3: limite\ de\ 90\ metros\ para\ declives \geq 8\%$
- $Categoria\ 4: limite\ de\ 60\ metros\ para\ declives \geq 9\%$
- $Categoria\ 5: limite\ de\ 30\ metros\ para\ declives \geq 10\%$
- $Categoria\ 6: limite\ de\ 15\ metros\ para\ declives \geq 11\%$

REFERÊNCIAS:

AASHTO. (2012). *Guide for the development of bicycle facilities (4th ed.).* Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Grigore, E., Garrick, N., Fuhrer, R., & Axhausen, I. K. W. (2019). Bikeability in Basel. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,* 2673(6), 607–617.

Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* 130, 673–688.

Krenn, P. J., Oja, P., & Titze, S. (2015). Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. Open Journal of Civil Engineering, 05(04), 451–459.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013). Mapping bikeability: A spatial tool to support sustainable travel. Environment and Planning B: Planning and Design, 40(5), 865–883.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	GEOMETRIA DA VIA

Indicador:

LARGURA DA INFRAESTRTURA CICLÁVEL **(INF-4)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a dimensão transversal das pistas e faixas cicláveis. A largura da infraestrutura influencia diretamente a segurança, o conforto dos utilizadores e a capacidade operacional da infraestrutura. É um fator particularmente relevante em contextos onde a bicicleta não é o modo predominante, exigindo maior atenção à coexistência com outros modos. A definição da largura deve considerar o número de sentidos de circulação e o espaço efetivamente disponível para uso ciclável.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento, devem ser determinados:

- O número de sentidos de circulação.
- A largura da infraestrutura ciclável (metros);

Nos casos em que os sentidos de circulação ocorram em lados distintos, a classificação da largura deverá seguir o critério de "sentido único".

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é dada por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1;\ x < a, \mu(x) = 0$$

Onde: $a = \begin{cases} 2{,}0, & se\ sentido\ único \\ 2{,}5, & se\ sentido\ duplo \end{cases}$ $c = \begin{cases} 4{,}0, & se\ sentido\ único \\ 4{,}5, & se\ sentido\ duplo \end{cases}$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Manum, B., Nordström, T., Gil, J., Nilsson, L., & Marcus, L. (2017). Modelling bikeability; Space syntax-based measures applied in examining speeds and flows of bicycling in Gothenburg. In 11th International Space Syntax Symposium (pp. 1379–1394).

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	GEOMETRIA DA VIA

Indicador:

NÚMERO DE FAIXAS DE RODAGEM **(INF-5)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador analisa a dimensão transversal do espaço viário destinada ao tráfego motorizado. O número de faixas está diretamente relacionado com a função da via e influencia a sua capacidade de escoamento, afetando tanto a segurança objetiva como a percecionada dos utilizadores de bicicleta. Vias com menor número de faixas tendem a ser mais favoráveis à circulação ciclável.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Cada segmento deve ser classificado segundo o tipo de arruamento e número de faixas de rodagem, conforme as seguintes categorias:

- Arruamento com uma faixa (sentido único)
- Arruamento com duas ou mais faixas (sentido único)
- Arruamento com duas ou mais faixas (duplo sentido)
- Arruamento com duas ou mais faixas por sentido e com separador físico.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ via\ de\ sentido\ único \\ 0{,}75, & se\ via\ com\ 2\ ou\ mais\ faixas\ e\ sentido\ único \\ 0{,}25, & se\ via\ com\ 2\ ou\ mais\ faixas\ e\ duplo\ sentido \\ 0, & se\ via\ de\ duplo\ sentido\ com\ artifício\ separador \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Gholamialam, A., & Matisziw, T. C. (2019). Modeling Bikeability of Urban Systems. Geographical Analysis, 51(1), 73–89.

Grigore, E., Garrick, N., Fuhrer, R., & Axhausen, I. K. W. (2019). Bikeability in Basel. Transportation Research Record.

Lowry, M., Callister, D., Gresham, M., & Moore, B. (2012). Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. Transportation Research Record, (2314), 41–48.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	INFRAESTRUTURA DE APOIO

Indicador:

OCORRÊNCIA DE PONTOS DE CARREGAMENTO PARA BICICLETAS ELÉTRICAS **(INF-6)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a disponibilidade de pontos de carregamento para bicicletas elétricas como elemento de apoio à mobilidade ciclável. A presença destes equipamentos permite ampliar o raio de alcance das viagens e reduzir a preocupação com a autonomia da bateria, promovendo o uso regular da bicicleta elétrica, inclusive em territórios com declives ou percursos longos. Tal infraestrutura contribui para a viabilidade do modo ciclável em deslocações frequentes e funcionais.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

- Identificar os pontos de carregamento existentes na rede ciclável;
- Aplicar um raio de cobertura (buffer) de 400 metros em torno de cada ponto;
- Verificar se cada segmento está integralmente contido na área de cobertura de pelo menos um ponto de carregamento



PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertença da variável é definida por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & Segmento\ atendido\ por\ ponto\ de\ carregamento \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Castañon, U. N., & Ribeiro, P. J. G. (2021). Bikeability and emerging phenomena in cycling: Exploratory analysis and review. Sustainability (Switzerland), 13(4), 1–21.

Guidon, S., Becker, H., Dediu, H., & Axhausen, K. W. (2019). Electric Bicycle-Sharing: A New Competitor in the Urban Transportation Market? An Empirical Analysis of Transaction Data. Transportation Research Record.

Shu, S., Bian, Y., Rong, J., & Xu, D. (2019). Determining the exact location of a public bicycle station—The optimal distance between the building entrance/exit and the station. PLoS ONE, 14(2).

Wolf, A., & Seebauer, S. (2014). Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 69, 196–211.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	INFRAESTRUTURA DE APOIO

Indicador:

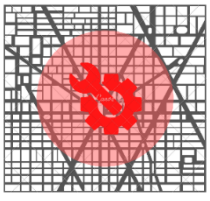
OCORRÊNCIA DE PONTOS PARA MANUTENÇÃO **(INF-7)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador refere-se à existência de infraestruturas de apoio destinadas à manutenção de bicicletas ao longo da rede ciclável. Esses pontos costumam estar localizados em locais de elevada circulação de ciclistas, como estações de transporte público, parques de estacionamento ou lojas especializadas. Equipados com ferramentas básicas (e.g., bombas de ar, suportes, cabos de aço), permitem pequenas afinações e reparações. A sua presença representa uma mais-valia para quem utiliza a bicicleta com frequência e contribui para reforçar a funcionalidade e fiabilidade da rede..

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

- Identificar os pontos de manutenção existentes na rede;
- Aplicar um raio de cobertura (buffer) de 400 metros em torno de cada ponto;
- Verificar se cada segmento está totalmente contido na área de cobertura de pelo menos um ponto de manutenção.



PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência para a fuzificação da variável é definida pela expressão abaixo. Para isto, são consideradas as seguintes categorias para valores de controlo: seguimento atendido por ponto de manutenção; seguimento não atendido por ponto de manutenção

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & Seguimento\ atendido\ por\ ponto\ de\ manutenção \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Castañon, U. N., & Ribeiro, P. J. G. (2021). Bikeability and emerging phenomena in cycling: Exploratory analysis and review. Sustainability (Switzerland), 13(4), 1–21.

Wolf, A., & Seebauer, S. (2014). Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 69, 196–211.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	INFRAESTRUTURA DE APOIO

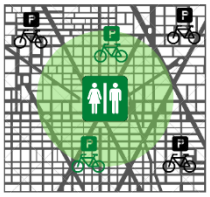
Indicador:

OCORRÊNCIA DE BALNEÁRIOS **(INF-8)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a disponibilidade de balneários junto a estacionamentos para bicicletas, infraestrutura relevante para quem utiliza a bicicleta em deslocações pendulares. A possibilidade de higiene e troca de vestuário ao final da viagem, especialmente em ambientes laborais ou escolares, reforça o caráter funcional do modo ciclável. Os balneários podem incluir instalações públicas (e.g., sanitários, chuveiros) ou estruturas anexas a terminais e edifícios públicos.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:



A partir do mapeamento dos estacionamentos regulamentados para bicicletas:

- Identificar os pontos com presença de balneário ou banho público;
- Aplicar um buffer de 200 metros de raio em torno de cada ponto identificado;
- Verificar quais estacionamentos estão incluídos nesses buffers;
- Para cada estacionamento coberto, aplicar um novo buffer de 200 metros (área expandida);
- Os segmentos contidos nesta área expandida serão considerados como atendidos por balneário.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é dada por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ existe\ balneário \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Castañon, U. N., & Ribeiro, P. J. G. (2021). Bikeability and emerging phenomena in cycling: Exploratory analysis and review. Sustainability (Switzerland), 13(4), 1–21.

Wolf, A., & Seebauer, S. (2014). Technology adoption of electric bicycles: A survey among early adopters. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 69, 196–211.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	ESTACIONAMENTO

Indicador:

DENSIDADE DE ESTACIONAMENTOS PARA BICICLETAS **(INF-9)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a disponibilidade de estacionamentos públicos para bicicletas ao longo da via. A existência de infraestrutura de estacionamento é uma condição básica para garantir a funcionalidade e a atratividade do modo ciclável. A sua presença é especialmente relevante em contextos urbanos com integração modal (e.g., proximidade a estações de transporte público) ou com elevada densidade de usos. A distribuição equitativa e em número suficiente dos pontos de estacionamento é essencial para responder às exigências dos utilizadores, tanto de bicicletas convencionais como elétricas.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Devem ser considerados apenas os estacionamentos públicos. Estacionamentos privados ou restritos (e.g., para empresas) devem ser desconsiderados (pressuposto: eles atendem apenas ao próprio empreendimento).

Para cada segmento, devem ser determinados:

- A extensão do segmento (em metros);
- O número de pontos de estacionamento público (não de vagas).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

O valor do indicador deverá ser expresso como número de pontos de estacionamento por 50 metros. A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1;\ x < a, \mu(x) = 0$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 1,\ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = 5, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 130, 673–688.

ITDP. (2018). The Bikeshare Planning Guide. Institute for Transportation and Development Policy. New York: Institute for Transportation and Development Policy.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	ESTACIONAMENTO

Indicador:

TIPOLOGIA DO ESTACIONAMENTO PARA BICICLETAS **(INF-10)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a qualidade da infraestrutura de estacionamento disponível para bicicletas, com foco no nível de proteção e segurança oferecido. Estacionamentos protegidos, como abrigos cobertos ou cacifos individuais, são preferíveis a soluções expostas ou informais. A ausência de estrutura definida ou o estacionamento irregular ("fly parking") compromete a proteção do veículo e afeta a perceção de segurança dos utilizadores, especialmente entre os que utilizam bicicletas de maior valor ou bicicletas elétricas. A tipologia do estacionamento é, assim, um fator determinante na atratividade da rede ciclável.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Classificar cada segmento segundo a tipologia predominante observada, com base nas seguintes categorias:

- Não existe estacionamento ou ocorre "fly parking" (uso irregular do espaço público)
- Estrutura simples (e.g., bicycle rack);
- Estrutura coberta (sheltered rack);
- Cacifo individual (bicycle locker).

A classificação deve considerar a infraestrutura efetivamente presente, e não apenas a marcação do local.

"Fly parking" refere-se ao estacionamento informal ou improvisado de bicicletas em mobiliários urbanos não destinados a esse fim (e.g., postes, vedações, sinalização), normalmente sem qualquer estrutura de suporte específica.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & se\ \ não\ existe\ estacionamentou\ ou\ ocorre\ "fly\ parking" \\ 0{,}5, & se\ "Bicycle\ rack" \\ 0{,}75, & se\ "Shelter\ rack" \\ 1, & se\ "B\text{icycle locker}" \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Motta, B. G. (2017). A bikeability index for Curitiba.

Transport for London. (2014). London Cycling Design Standards: Chapter 8: Cycle parking. London.

Veillette, M. P., Grisé, E., & El-Geneidy, A. (2018). Park 'n' Roll: Identifying and Prioritizing Locations for New Bicycle Parking in Québec City, Canada. Transportation Research Record, 2672(36), 73–82.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	INTEGRAÇÃO EIXO-REDE

Indicador:

LINEARIDADE DO EIXO CICLÁVEL **(INF-12)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador refere-se à capacidade de um eixo ciclável proporcionar deslocações entre uma origem e um destino de forma direta e objetiva. A linearidade é analisada com base na relação entre a distância percorrida na rede e a distância euclidiana entre os extremos do eixo. Menores desvios traduzem percursos mais eficientes, com menor tempo e esforço de deslocação, promovendo a atratividade e continuidade da rede.

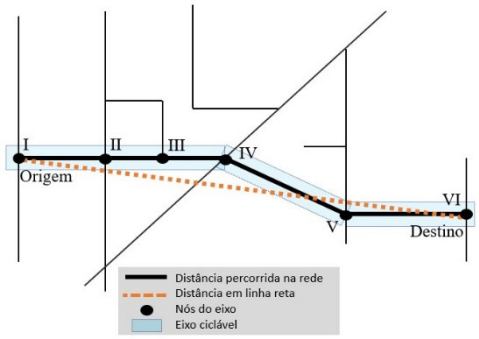
PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento deste indicador é composto das seguintes etapas:

- Determinação dos eixos cicláveis
  - Devem-se discriminar quais os eixos cicláveis da zona de estudo a considerar.
- Cálculo do fator de desvio, considerando:
  - A distância mais curta percorrida através do eixo;
  - A distância em linha reta entre o início e o fim do referido eixo.

$$f_D = \frac{dist_{REDE}}{dist_{RETA}}$$

- Os seguimentos isolados (i.e., que não pertencerem a nenhum eixo) não recebem pontuação.



PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(c - x)}{(c - a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 0;\ x < a, \mu(x) = 1$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 1{,}2 \\ c = 1{,}4 \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Manum, B., Nordström, T., Gil, J., Nilsson, L., & Marcus, L. (2017). Modelling bikeability; Space syntax-based measures applied in examining speeds and flows of bicycling in Gothenburg. In 11th International Space Syntax Symposium (pp. 1379–1394).

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	INTERSEÇÕES

Indicador:

DENSIDADE DE INTERSEÇÕES **(INF-13)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador reflete a frequência com que o utilizador se depara com interseções ao longo de um eixo ciclável. Uma maior densidade de interseções pode indicar a ocorrência de múltiplas interrupções ao longo do trajeto, exigindo reduções de velocidade, paragens ou decisões de percurso por parte do ciclista. Este cenário tende a comprometer a fluidez e a segurança da deslocação, afetando negativamente a experiência do utilizador. Inversamente, trajetos com menos interseções favorecem uma circulação mais contínua e eficiente.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento deste indicador é composto das seguintes etapas:

- Determinação dos eixos cicláveis
  - Devem-se discriminar quais os eixos cicláveis da zona de estudo a considerar.
- Cálculo da densidade de interseções:
  - Determinar a extensão total do eixo (em metros);
  - Contabilizar o número de interseções existentes ao longo do eixo.

O valor deverá ser expresso em número de interseções por 1000 metros e o indicador atuará como valor de entrada na função de pertinência da variável:

- Os seguimentos isolados (i.e., que não pertencerem a nenhum eixo) não recebem pontuação.
- Consideram-se interseções todos os cruzamentos com vias (motorizadas, pedonais ou cicláveis). Acessos locais, como entradas ou saídas de edifícios, não são contabilizados.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(c - x)}{(c - a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 0;\ x < a, \mu(x) = 1$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 0{,}40,\ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = 1{,}56, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Ma, L., & Dill, J. (2016). Do people's perceptions of neighborhood bikeability match "Reality"? Journal of Transport and Land Use.

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. Environment and Behavior.

Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013). Mapping bikeability: A spatial tool to support sustainable travel. Environment and Planning B: Planning and Design, 40(5), 865–883.

Critério:	**Sub-critério:**
INFRAESTRUTURA	ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Indicador:

DISTÂNCIA ENTRE POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA **(INF-14)**

DESCRIÇÃO:

A iluminação das vias públicas constitui um fator com impacto tanto na segurança viária como na segurança pública dos ambientes urbanos. No que respeita à primeira dimensão, destaca-se a necessidade de ver e ser visto, isto é, de os intervenientes conseguirem identificar percursos e eventuais obstáculos que comprometam a locomoção segura. Já do ponto de vista da segurança pública, um espaço devidamente iluminado pode contribuir para a dissuasão de furtos, roubos e atos de vandalismo. Diversos fatores influenciam os projetos de iluminação pública (e.g., classe da iluminação, tipo e intensidade da fonte luminosa, disposição dos equipamentos). Neste indicador, optou-se por uma métrica simples e objetiva: a distância entre postes de iluminação, por se tratar de uma variável facilmente observável em campo e frequentemente citada na literatura como condicionante da experiência de mobilidade ativa.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada troço, devem ser obtidas as seguintes informações:

- Distância média entre postes de iluminação existentes;

- Classificação do segmento segundo os intervalos:
  - ≤15 m; 15–18 m; 18–22 m; 22–25 m; 25–28 m; 28–35 m; >35 m;
  - ou indicação de ausência de iluminação.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ Distância\ \leq\ 15\ m \\ 0{,}86, & se\ Distância: 15\ -\ 18\ m \\ 0{,}71, & se\ Distância: 18\ -\ 22\ m \\ 0{,}57, & se\ Distância: 22\ -\ 25\ m \\ 0{,}43, & se\ Distância: 25\ -\ 28\ m \\ 0{,}29, & se\ Distância: 28\ -\ 35\ m \\ 0{,}14, & se\ Distância\ >\ 35\ m \\ 0, & se\ \ Não\ há\ postes \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

ISR-UC. (2016). Manual Iluminação Pública. EDP Distribuição.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	CONFLITOS COM A FAIXA DE ESTACIONAMENTO E PARAGENS BUS

Indicador:

LARGURA DA FAIXA SEPARADORA **(SEG-1)**

DESCRIÇÃO:

A circulação de bicicletas pode ser mais ou menos influenciada pelo tráfego automóvel e pedonal consoante o tipo de infraestrutura ciclável e o seu grau de segregação. A presença de faixas separadoras entre a infraestrutura ciclável e o seu entorno (e.g., passeios, faixas de rodagem ou de estacionamento) constitui um recurso frequentemente utilizado para mitigar potenciais conflitos (e.g., circulação de ciclistas junto a zonas de elevada circulação pedonal ou junto a veículos estacionados). A faixa separadora pode localizar-se à direita, à esquerda ou em ambos os lados da infraestrutura ciclável, dependendo da posição desta no arruamento. Estas faixas reduzem a interação entre ciclistas e veículos ou peões e minimizam situações como o "*dooring*", impacto súbito causado pela abertura de portas de veículos.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento, deve-se:

- Verificar a presença de faixa separadora à esquerda e/ou à direita da infraestrutura ciclável;
- Medir a largura (em cm) entre a infraestrutura ciclável e elementos adjacentes (faixa de rodagem, passeios, estacionamento);
- Classificar em:
  - > 50 cm (afastamento elevado);
  - ≤ 50 cm (afastamento reduzido);
  - ausência de afastamento (valor nulo).).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida da seguinte forma:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 0,\ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = 50, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

NACTO. (2014). Urban Bikeway Design Guide (2nd ed.). Washington, D.C.: National Association of City Transportation Officials.

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	CONFLITOS COM A FAIXA DE ESTACIONAMENTO E PARAGENS BUS

Indicador:

ORIENTAÇÃO DO ESTACIONAMENTO **(SEG-2)**

DESCRIÇÃO:

A oferta de estacionamento para automóveis ao longo das vias públicas, especialmente em zonas urbanas com uso intensivo do solo, tende a aumentar a frequência com que peões atravessam a via para aceder aos veículos estacionados. A configuração das faixas de estacionamento está relacionada com a disponibilidade e o aproveitamento do espaço viário. No que diz respeito à circulação de bicicletas, este indicador procura avaliar a interferência provocada pelas manobras associadas ao estacionamento (e.g., entrada e saída de veículos) e o grau de visibilidade proporcionado pelas diferentes orientações das faixas de estacionamento.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento, deve-se verificar a existência de estacionamento regulamentado para automóveis e classificar a sua orientação segundo as seguintes categorias:

- Ausência de estacionamento regulamentado;
- Estacionamento paralelo;
- Estacionamento oblíquo;
- Estacionamento perpendicular.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida da seguinte forma:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ Não\ há\ estacionamento \\ 0{,}67, & se\ Estacinameno\ paralelo \\ 0{,}33, & se\ Estacinamento\ oblíquo \\ 0, & se\ Estacinamento\ perpendicular \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Manum, B., Nordström, T., Gil, J., Nilsson, L., & Marcus, L. (2017). Modelling bikeability; Space syntax-based measures applied in examining speeds and flows of bicycling in Gothenburg. In 11th International Space Syntax Symposium (pp. 1379–1394).

IMTT. (2011). Rede Ciclável - Princípios de Planeamento e Desenho. In Colecção de Brochuras Técnicas (p. 41). Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres.

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	CONFLITOS COM A FAIXA DE ESTACIONAMENTO E PARAGENS BUS

Indicador:

CONFIGURAÇÃO DA PARAGEM BUS EM RELAÇÃO AO EIXO CICLÁVEL **(SEG-3)**

DESCRIÇÃO:

A localização das paragens de autocarros em relação às infraestruturas cicláveis segregadas pode gerar conflitos entre os autocarros e o fluxo de bicicletas. Esta situação tende a agravar-se quando se considera a existência de vias bidirecionais para bicicletas (two-way path), uma vez que o cruzamento de fluxos acentua o risco de interação direta com os autocarros. Além disso, os ciclistas devem ter especial atenção aos passageiros em espera, os quais podem estar atentos à aproximação do transporte público e não ao tráfego ciclável. Idealmente, as faixas ou pistas cicláveis deverão ser implantadas na porção traseira das paragens, minimizando interferências com a corrente de ciclistas e os movimentos de entrada e saída dos autocarros.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O levantamento para este indicador pode ser descrito em três etapas:

- Identificação de todas as paragens existentes na zona de estudo (conjunto de pontos);
- Classificação da configuração da paragem, segundo:
    - Configuração tipo ilha
    - Configuração em linha
    - Configuração confinada
- Atribuição da paragem ao troço adjacente até uma distância de 50 metros, antes e depois da paragem. Os segmentos externos ao limite devem ser considerados como não contemplados por paragem e, por isso, deve-se presumir que não existem conflitos oriundos da configuração da paragem.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida da seguinte forma:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ Não\ há\ paragem \\ 0{,}75, & se\ Paragem\ em\ ilha \\ 0{,}25, & se\ Paragem\ em\ linha \\ 0, & se\ Paragem\ confinada \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

NACTO. (2014). Urban Bikeway Design Guide (2nd ed.). Washington, D.C.: National Association of City Transportation Officials.

NTA. (2011). National Cycle Manual. The national Cycle Manual. Dublin: National Transport Authority.

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	CONFLITO COM O ACESSO AOS EDIFÍCIOS

Indicador:

DENSIDADE DE ENTRADAS/SAÍDAS AO LONGO DO EIXO **(SEG-4)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a influência dos acessos pedonais e automóveis às edificações situadas ao longo dos troços da via ciclável. A entrada e saída de veículos ou peões nestes pontos representam potenciais conflitos com os ciclistas, sobretudo quando há distração dos utilizadores (e.g., acionamento de portões, embarque/desembarque de passageiros, procura de crianças, animais ou objetos).A circulação por zonas com elevada densidade de acessos exige maior atenção dos ciclistas aos movimentos transversais inesperados, o que tende a reduzir a velocidade de circulação e, consequentemente, a fluidez do percurso ciclável.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

A análise do indicador é conduzida em três etapas:

- Identificação dos acessos (pedonais e automóveis) adjacentes aos troços;
- Cálculo do número de acessos por 100 metros de troço;
- Classificação segundo as seguintes categorias:
  - Menos de 15 acessos por 100 m;
  - Entre 15 e 30 acessos por 100 m;
  - Mais de 30 acessos por 100 m.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(c - x)}{(c - a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 0;\ x; < a, \mu(x) = 1$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 15,\ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = 30, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Manum, B., Nordström, T., Gil, J., Nilsson, L., & Marcus, L. (2017). Modelling bikeability; Space syntax-based measures applied in examining speeds and flows of bicycling in Gothenburg. In 11th International Space Syntax Symposium (pp. 1379–1394).

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	CONFLITO NAS INTERSEÇÕES

Indicador:

TIPOLOGIA DA INTERSEÇÃO (**SEG-5)**

DESCRIÇÃO:

Quanto maior a complexidade de uma interseção, maiores são os riscos a que os ciclistas estão expostos. Este indicador considera a tipologia das interseções, tendo em conta a organização viária e a hierarquização do tráfego motorizado (e.g., rotundas, interseções semaforizadas, preferenciais, não sinalizadas). Entretanto, a possibilidade de existirem infraestruturas específicas e adequadas para circulação de bicicletas nestes pontos não é descartada. Por isso, são também considerados neste indicador duas categorias. Nós Pedonais (interseções onde exista circulação de

bicicletas e peões e a circulação de veículos motorizados não é permitida); Nós Cicláveis (interseções da rede viária de qualquer tipo que apresentem faixas ou pistas cicláveis).

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento deste indicador pode ser descrito através das seguintes etapas:

- Seleção de todas as interseções existentes na zona de estudo (conjunto de pontos);
- Classificação dos pontos segundo as categorias consideradas: Nós Cicláveis (presença de pista ou faixa ciclável na interseção); Nós Pedonais; Interseções Não-sinalizadas; Interseções Sinalizadas; Rotundas Interseções Semaforizadas.
- Após a classificação dos nós, procede-se à sua interseção espacial com os segmentos da rede. Este procedimento permite atribuir a cada segmento a classificação correspondente às interseções adjacentes. Podem verificar-se duas situações distintas:
    - Segmentos ligados a nós da mesma tipologia – o segmento herda diretamente a classificação desses nós;
    - Segmentos ligados a nós com diferentes tipologias – adota-se uma abordagem conservadora, atribuindo-se ao segmento o menor valor (i.e., o de maior complexidade) entre os nós associados.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ N\acute{o}\ Ciclável \\ 0{,}80, & se\ N\acute{o}\ pedonal \\ 0{,}60, & se\ \text{Interseção não} - \text{sinalizadas} \\ 0{,}40, & se\ \text{Interseção sinalizada} \\ 0{,}20, & se\ Rotunda \\ 0, & se\ \text{Interseção semaforizada} \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

CCDR-N. (2008). Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária. Porto: Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

Grigore, E., Garrick, N., Fuhrer, R., & Axhausen, I. K. W. (2019). Bikeability in Basel. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2673(6), 607–617.

NACTO. (2014). Urban Bikeway Design Guide (2nd ed.). Washington, D.C.: National Association of City Transportation Officials.

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	CONFLITO NAS INTERSEÇÕES

Indicador:

OCORRÊNCIA DE PROTEÇÃO FÍSICA PARA CICLISTAS **(SEG-6)**

DESCRIÇÃO:

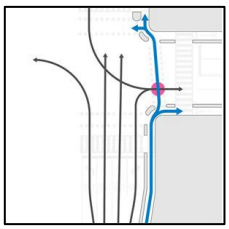
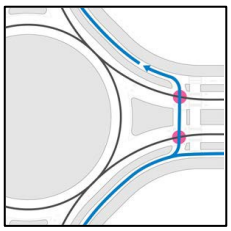
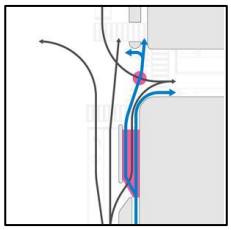
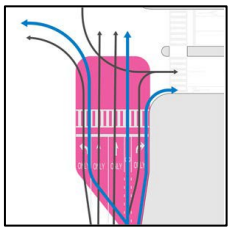
Este indicador visa identificar elementos físicos relevantes que garantem a proteção dos ciclistas nas interseções da rede ciclável. Estes elementos, descritos no processo de levantamento, são entendidos como essenciais para a segurança viária e incluem separadores físicos, faixas segregadas e geometrias específicas que asseguram a continuidade da infraestrutura ciclável. A existência de tais elementos indica a adoção de soluções de projeto que minimizam conflitos entre ciclistas e outros modos de transporte, sobretudo em pontos críticos de cruzamento ou

mudança de direção. Assim, interseções protegidas refletem um maior nível de segregação e previsibilidade dos movimentos, reduzindo o risco de colisões. Já as interseções com faixas de transição indicam alguma orientação do fluxo, embora sem proteção física contínua. Por fim, nas vias banalizadas, os modos de transporte coexistem no mesmo espaço, sem garantias adicionais de segurança para os ciclistas.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento envolve três etapas principais:

- Identificação de todas as interseções da zona de estudo; (conjunto de pontos);
- Classificação dos pontos segundo as seguintes categorias::
    - Interseções protegidas
    - Faixas ou pistas cicláveis em rotundas
    - Faixas ou pistas cicláveis com região de transição
    - Via banalizada (tráfego em coexistência)

- Atribuição da classificação aos segmentos adjacentes por interseção com a rede.
    - Quando ambos os nós partilham a mesma categoria, essa é atribuída ao segmento.
    - Se os nós diferirem, aplica-se a menor classificação (i.e., a menos protetora) entre os dois.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida da seguinte forma:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ Interseção\ protegida \\ 0{,}75, & se\ Faixa\ ou\ pista\ ciclável\ em\ rotundas \\ 0{,}25, & se\ Faixa\ ou\ pista\ ciclável\ com\ região\ de\ transição \\ 0, & se\ Via\ banalizada \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

Grigore, E., Garrick, N., Fuhrer, R., & Axhausen, I. K. W. (2019). Bikeability in Basel. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2673(6), 607–617.

NACTO. (2014). Urban Bikeway Design Guide (2nd ed.). Washington, D.C.: National Association of City Transportation Officials.

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. Environment and Behavior.

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	EXPOSIÇÃO AO TRÁFEGO

Indicador:

VOLUME DE TRÁFEGO (**SEG-7)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador refere-se ao volume de tráfego diário presente nas vias urbanas, uma característica determinante na avaliação da exposição do ciclista. Em geral, volumes reduzidos de tráfego motorizado favorecem a coexistência entre modos, enquanto volumes elevados aumentam os riscos e, consequentemente, a necessidade de separação entre bicicletas e veículos motorizados. Mais do que o número absoluto de veículos, a composição do tráfego tem impacto significativo sobre a perceção de segurança do ciclista, nomeadamente quando predominam veículos pesados. Para efeito de análise, recorre-se à unidade de carro de passageiro (UCP), que permite a equivalência ponderada entre veículos ligeiros e pesados, conforme os fatores estabelecidos na metodologia de contagem utilizada.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento, deve-se determinar o volume diário de tráfego automóvel (UCP – Unidades de Carros de Passageiros), com base em dados secundários provenientes de campanhas de contagem realizadas previamente na área de estudo.

- O valor do volume de tráfego deverá ser atribuído considerando a soma dos fluxos registados nos dois sentidos da via, sempre que aplicável.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(c - x)}{(c - a)}$$

$$Para\ \ x < a, \mu(x) = 1; x > c, \mu(x) = 0$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 2500\ \frac{UCP}{dia}, valor\ de\ controlo\ superior \\ c = \ 4000\ \frac{UCP}{dia}, valor\ de\ controlo\ inferior \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

Gholamialam, A., & Matisziw, T. C. (2019). Modeling Bikeability of Urban Systems. Geographical Analysis.

Grigore, E., Garrick, N., Fuhrer, R., & Axhausen, I. K. W. (2019). Bikeability in Basel. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2673(6), 607–617.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Lowry, M., Callister, D., Gresham, M., & Moore, B. (2012). Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. Transportation Research Record, (2314), 41–48.

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	EXPOSIÇÃO AO TRÁFEGO

Indicador:

VELOCIDADE DO TRÁFEGO MOTORIZADO **(SEG-8)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a velocidade de circulação dos veículos motorizados nas vias urbanas. A presença de velocidades elevadas agrava os riscos e a severidade dos acidentes envolvendo utilizadores vulneráveis, como os ciclistas.. A

metodologia considera os limites legais sinalizados ou, na ausência destes, a velocidade média observada, inferida com base na hierarquia viária.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento, a velocidade de circulação dos veículos foi determinada com base em:

- Limites legais de velocidade (sinalização vertical);
- Hierarquia viária (quando ausente sinalização específica).

Sempre que disponíveis, foram utilizados valores médios de velocidade observada, recolhidos a partir de fontes secundárias.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência (decrescente) para a fuzificação da variável é definida da seguinte forma:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ \ x < a, \mu(x) = 1; x > c, \mu(x) = 0$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 20\ km/h, \ \ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = \ 50\ km/h, \ \ valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Gholamialam, A., & Matisziw, T. C. (2019). Modeling Bikeability of Urban Systems. Geographical Analysis, 51(1), 73–89.

Grigore, E., Garrick, N., Fuhrer, R., & Axhausen, I. K. W. (2019). Bikeability in Basel. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2673(6), 607–617.

Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 130, 673–688.

Hartanto, K. (2017). Developing a bikeability index in the context of transit-oriented development (TOD) nodes. Case Study in Arnhem-Nijmegen Region, Netherlands. University of Twente.

Lowry, M., Callister, D., Gresham, M., & Moore, B. (2012). Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. Transportation Research Record, (2314), 41–48.

Wahlgren, L., & Schantz, P. (2011). Bikeability and methodological issues using the active commuting route environment scale (ACRES) in a metropolitan setting. BMC Medical Research Methodology, 11.

Critério:	**Sub-critério:**
SEGURANÇA	CRIMINALIDADE

Indicador:

NÚMERO DE REGISTOS DE FURTOS E ROUBOS **(SEG-10)**

DESCRIÇÃO:

A presença de condições que transmitam maior segurança face à criminalidade é um fator importante para promover o uso da bicicleta como meio de transporte, sobretudo no caso das bicicletas elétricas, que pelo seu maior valor económico estão mais vulneráveis ao furto e, por conseguinte, os utilizadores tendem a evitar rotas e locais percebidos como inseguros. Face à ausência de dados consolidados sobre registos de furtos e roubos, optou-se por desenvolver

um indicador proxy baseado em características ambientais que se relacionam com a perceção de segurança dos ciclistas. A combinação entre os níveis de iluminação pública (INF-14) e a diversidade de destinos (AMB-2) permite avaliar o potencial de um local ser mais ou menos propício a situações associadas à criminalidade, assumindo que locais mal iluminados e ermos tendem a gerar maior sensação de insegurança.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento deste indicador corresponde à integração dos resultados normalizados dos indicadores:

- Iluminação pública (INF-14): níveis obtidos a partir do levantamento dos postes de iluminação e respetivas distâncias.
- Diversidade de destinos (AMB-4): níveis obtidos a partir do levantamento de fachadas ativas e usos adjacentes.

Os valores destes indicadores foram classificados em duas categorias: baixo nível (0,00 a 0,50) e alto nível (0,51 a 1,00).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

Foi definida uma matriz de classificação combinando os níveis de iluminação e de diversidade de destinos:

	Diversidade Alta	Diversidade Baixa
Iluminação Alta	μ(x) = 1,00	μ(x) = 0,67
Iluminação Baixa	μ(x) = 0,67	μ(x) = 0,00

Os valores de pertinência da variável foram atribuídos de acordo com a matriz, considerando que ambientes mais ermos e com baixa iluminação apresentam maior propensão à perceção de insegurança.

REFERÊNCIAS:

Arellana, J., Saltarín, M., Larrañaga, A. M., González, V. I., & Henao, C. A. (2020). Developing an urban bikeability index for different types of cyclists as a tool to prioritise bicycle infrastructure investments. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 139(January 2019), 310–334.

Castañon, U. N., & Ribeiro, P. J. G. (2021). Bikeability and emerging phenomena in cycling: Exploratory analysis and review. Sustainability (Switzerland), 13(4), 1–21.

Critério:	**Sub-critério:**
QUALIDADE AMBIETAL	POLUIÇÃO DO AR

Indicador:

NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE PM10 **(QUA-1)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a exposição dos ciclistas a partículas inaláveis (PM10), poluentes que constituem um risco para a saúde. As partículas finas de sólidos ou líquidos suspensos no ar podem, em determinadas concentrações, anular os benefícios associados à prática da bicicleta. Particular atenção é dada às partículas provenientes de fontes antropogénicas, como o tráfego automóvel, atividades industriais e construção civil, predominantemente localizadas em ambientes urbanos. Os ciclistas mais sujeitos a este tipo de poluição são aqueles que realizam deslocações pendulares em zonas densamente urbanizadas. Na ausência de medições diretas na área de estudo, foi adotada uma abordagem proxy baseada na combinação de três fatores determinantes: o volume de tráfego motorizado, o nível de ruído e a presença de áreas verdes adjacentes aos troços cicláveis. Esta combinação permite estimar, de forma integrada, as condições ambientais com impacto na qualidade do ar e na exposição dos ciclistas a PM10.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento baseou-se na integração dos seguintes elementos: Volume de tráfego automóvel (SEG-7); Nível de ruído ambiental (QUA-4); Presença de áreas verdes (AMB-3).

- Os dados de tráfego e ruído foram classificados como: Baixo ($\mu > 0{,}50$) e alto ($\mu \leq 0{,}50$)
- A existência de áreas verdes foi registada como: Existe (1) e não existe (0)

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

Foi definida uma matriz com 8 combinações possíveis entre os três fatores, com valores atribuídos de forma linear entre 0 e 1:

Ruído	Tráfego	Áreas verdes	$\mu(x)$
Alto	Alto	Não existe	0,00
Alto	Alto	Existe	0,14
Alto	Baixo	Não existe	0,29
Alto	Baixo	Existe	0,43
Baixo	Alto	Não existe	0,57
Baixo	Alto	Existe	0,71
Baixo	Baixo	Não existe	0,86
Baixo	Baixo	Existe	1,00

Nota: Nos segmentos situados em zona litorânea, atribui-se diretamente $\mu(x) = 1{,}00$, tendo em conta a maior capacidade natural de dispersão dos poluentes nestas áreas.

REFERÊNCIAS:

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. Environment and Behavior.

Ribeiro, P., & Mendes, J. F. G. (2013). Healthy routes for active modes in school journeys. International Journal of Sustainable Development and Planning, 8(4), 591–602.

Wahlgren, L., & Schantz, P. (2011). Bikeability and methodological issues using the active commuting route environment scale (ACRES) in a metropolitan setting. BMC Medical Research Methodology, 11(1), 6.

Critério:	**Sub-critério:**
QUALIDADE AMBIETAL	POLUIÇÃO DO AR

Indicador:

NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO DE ÓXIDOS DE AZOTO (NO_x) **(QUA-2)**

DESCRIÇÃO:

Este indicador avalia a exposição dos ciclistas a óxidos de azoto (NO_x), poluentes associados sobretudo às emissões dos motores de combustão em meio urbano. Os NO_x estão na origem de efeitos negativos na saúde respiratória e contribuem para fenómenos como o smog fotoquímico. Os ciclistas são particularmente vulneráveis a esta poluição em deslocações pendulares em áreas urbanizadas densas, onde se verificam níveis mais elevados destes poluentes. Na ausência de medições diretas na área de estudo, o indicador é calculado com base numa proxy construída a partir de três fatores: volume de tráfego, velocidade do tráfego e nível de ruído. Estes fatores são integrados para refletir as condições locais que contribuem para a concentração de NO_x.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo baseou-se na integração dos seguintes dados:

- Volume de tráfego automóvel (SEG-7)
- Velocidade do tráfego (SEG-9)
- Nível de ruído ambiental (QUA-4)

Os dados foram classificados como: Baixo ($\mu > 0,50$) e alto ($\mu \leq 0,50$).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência para a fuzificação da variável é definida da seguinte forma:

Ruído	Tráfego	Velocidade	$\mu(x)$
Alto	Alto	Alta	0,00
Alto	Alto	Baixa	0,14
Alto	Baixo	Alta	0,29
Alto	Baixo	Baixa	0,43
Baixo	Alto	Alta	0,57
Baixo	Alto	Baixa	0,71
Baixo	Baixo	Alta	0,86
Baixo	Baixo	Baixa	1,00

Nota: Nos segmentos situados em zona litorânea, atribui-se diretamente $\mu(x) = 1,00$, tendo em conta a maior capacidade natural de dispersão dos poluentes nestas áreas.

REFERÊNCIAS:

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. Environment and Behavior.

Ribeiro, P., & Mendes, J. F. G. (2013). Healthy routes for active modes in school journeys. International Journal of Sustainable Development and Planning, 8(4), 591–602.

Wahlgren, L., & Schantz, P. (2011). Bikeability and methodological issues using the active commuting route environment scale (ACRES) in a metropolitan setting. BMC Medical Research Methodology, 11(1), 6.

Critério:	**Sub-critério:**
QUALIDADE AMBIETAL	FATORES ALERGOGÉNICOS

Indicador:

NÍVEL DE ALERGENICIDADE DAS ESPÉCIES PRESENTES NO EIXO **(QUA-3)**

DESCRIÇÃO:

A presença de árvores e áreas verdes ao longo de uma rota ciclável contribui para o conforto e atratividade, ao fornecer sombra e reduzir a insolação. No entanto, em determinadas épocas do ano, especialmente na primavera, a concentração de pólens pode aumentar significativamente, causando irritação nos olhos e nas vias aéreas. Esta situação representa um obstáculo para pessoas alérgicas e, em concentrações elevadas, pode afetar também quem não apresenta hipersensibilidade, tornando-se um fator de desconforto ou impedimento ao uso da bicicleta.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento deste indicador considerou apenas os segmentos com pontuação diferente de zero nos indicadores Ocorrência de árvores em alinhamento e Ocorrência de parques adjacentes ao eixo. As espécies presentes foram identificadas em campo por meio de taxonomia (género e categoria infraespecífica, quando aplicável). A classificação da alergénicidade das espécies seguiu as categorias apresentadas na tabela publicada no artigo base, distribuídas por três níveis:

- Baixa: *Abies spp., Castanea sativa, Cedrus spp., Chamaerops humilis, Coriandrum sativum, Daucus carota, Eucalyptus globulus, Foeniculum vulgare, Petroselinum crispum, Pinus spp., Rumex spp., Salix spp., Urtica membranácea.*
- Moderada: *Amaranthaceae spp., Artemisia spp., Chenopodiaceae spp., Cupressus spp., Plantago spp., Platanus hispanica, Quercus robur, Quercus rotundifolia, Quercus suber*.
- Elevada*: Alnus glutinosa, Alnus lusitanica, Betula alba, Betula pendula, Betula pubescens, Dactylis glomerata, Olea europaea, Parietaria spp., Urtica spp.*

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida da seguinte forma:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ \text{Não há árvore} \\ 0{,}75, & se\ A\text{lergenicidade baixa} \\ 0{,}25, & se\ A\text{lergenicidade moderada} \\ 0, & se\ A\text{lergenicidade elevada} \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Castañon, U.N.; Ribeiro, P.J.G.; Mendes, J.F.G. Evaluating Urban Bikeability: A Comprehensive Assessment of Póvoa de Varzim's Network. Sustainability 2024, 16, 9472.

Humphries, C. J., Press, J. R., & Sutton, D. A. (2005). Árvores de Portugal e Europa. (FAPAS, Ed.) (2a). Porto: Planeta Árvores.

Critério:	**Sub-critério:**
QUALIDADE AMBIETAL	POLUIÇÃO SONORA

Indicador:

INDICADOR DE RUÍDO DIURNO-ENTARDECER-NOTURNO (L_{DEN}) **(QUA-4)**

DESCRIÇÃO:

Apesar de subestimada por não ser transportada, não deixar resíduos e apresentar um baixo raio de ação, a poluição sonora pode ser extremamente danosa para a saúde. No meio urbano, o tráfego de veículos é a principal fonte de ruído à qual os ciclistas estão expostos. Estes ruídos podem interferir na perceção do ciclista sobre os riscos presentes na via. A exposição por longos períodos de tempo aumenta os níveis de stresse e pode afetar as capacidades cognitivas e psicomotoras, essenciais para a condução segura de um veículo vulnerável de duas rodas.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

Para cada segmento foi atribuída uma classificação segundo os intervalos apresentados no mapa de ruído. Para tal, os dados disponíveis relativos ao nível de ruído diurno-entardecer-noturno (Lden) foram associados aos respetivos segmentos da rede urbana.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ L_{den} \leq 55 \\ 0{,}75, & se\ 55 < L_{den} \leq 60 \\ 0{,}50, & se\ 55 < L_{den} \leq 65 \\ 0{,}25, & se\ 55 < L_{den} \leq 70 \\ 0, & se\ L_{den} > 70 \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

Castañon, U.N.; Ribeiro, P.J.G.; Mendes, J.F.G. Evaluating Urban Bikeability: A Comprehensive Assessment of Póvoa de Varzim's Network. Sustainability 2024, 16, 9472.

Ribeiro, P., & Mendes, J. F. G. (2013). Healthy routes for active modes in school journeys. International Journal of Sustainable Development and Planning, 8(4), 591–602.

Wahlgren, L., & Schantz, P. (2011). Bikeability and methodological issues using the active commuting route environment scale (ACRES) in a metropolitan setting. BMC Medical Research Methodology, 11(1), 6.

Critério:	**Sub-critério:**
MULTIMODALIDADE	LIGAÇÃO AO TRANSPORTE PÚBLICO

Indicador:

TIPO DE LIGAÇÃO AOS SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO **(MUL-1)**

DESCRIÇÃO:

A sinergia entre a bicicleta e os transportes públicos depende do nível de integração existente entre estes modos. As paragens de autocarro e as estações de transportes públicos possuem maior potencial para a promoção de viagens intermodais quando apresentam condições favoráveis ao uso combinado da bicicleta com o transporte coletivo. Este indicador visa avaliar a existência e o tipo de ligação entre os segmentos da rede analisada e os pontos de acesso ao transporte público, distinguindo-se entre ligações por alternativa (presença de infraestrutura ciclável até ao ponto de acesso) e ligações por associação (permissão ou regulamentação para transporte da bicicleta no interior do veículo).

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento deste indicador envolveu a identificação dos pontos de acesso ao transporte público e a verificação da existência de ligação por alternativa e/ou associação relativamente a cada segmento da rede. Para tal, foram definidos os segmentos abrangidos por carreiras de autocarros. Em seguida, verificou-se:

- a presença de infraestrutura ciclável adjacente (buffer de 100m) no ponto de acesso ao transporte público (ligação por alternativa);
- a regulamentação permissiva para transporte da bicicleta no interior dos veículos das carreiras (ligação por associação).

Os segmentos foram classificados com base no tipo de ligação existente:

- Ligação por alternativa e associação;
- Ligação por alternativa apenas;
- Ligação por associação apenas;
- Ausência de ligação.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1$$

Onde: $\begin{cases} a = 0,\ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = 2, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$

Nota: O valor x resulta da soma das ligações verificadas no segmento: +1 quando existe ligação por alternativa e +1 quando existe ligação por associação, podendo atingir o valor máximo de 2 quando ambos os tipos de ligação estão presentes. Os segmentos a serem classificados são apenas aqueles onde ocorrem pontos de acesso aos transportes públicos, independentemente da sua extensão.

REFERÊNCIAS:

Castañon, U.N.; Ribeiro, P.J.G.; Mendes, J.F.G. Evaluating Urban Bikeability: A Comprehensive Assessment of Póvoa de Varzim's Network. Sustainability 2024, 16, 9472.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. Environment and Behavior.

Critério:	**Sub-critério:**
MULTIMODALIDADE	ESTACIONAMENTO EM PARAGENS E TERMINAIS

Indicador:

NÚMERO DE VAGAS PARA BICICLETAS **(MUL-2)**

DESCRIÇÃO:

O número de vagas ofertadas em estações de comboio, centrais de camionagem ou próximos à paragens de autocarro é um fator que influencia a realização de viagens multimodais no sistema de transporte urbano. A percepção de estacionamento de bicicletas nos terminais de transporte público e o seu adequado dimensionamento, aumentar a área de influência dessas infraestruturas, conduzindo à um maior número de utentes, nomeadamente aqueles que realizam viagens através de modos complementares (e.g., bicicleta + comboio, bicicleta + autocarro). O número de vagas para bicicleta em terminais desempenha papel ainda mais relevante para as viagens multimodais quando não é possível que o ciclista leve consigo a sua bicicleta no percurso realizado por transporte público.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento deste indicador é composto das seguintes etapas:

- Definição de um conjunto de pontos contendo as paragens de autocarros e todos os estacionamentos para bicicletas regulamentados na área de estudo.
- Para cada ponto que representa uma paragem, estação ou terminal, deve-se aplicar um buffer euclidiano de 100 metros de raio. Em seguida, deve-se verificar quantas vagas regulamentadas para bicicletas existem nos buffers.
- Somatório do número total de vagas para bicicletas localizadas no interior da área delimitada (buffer).:

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1;\ x < a, \mu(x) = 0$$

Onde: $a = \begin{cases} 3, & se\ Paragem\ de\ autocarro \\ 50, & se\ Central\ de\ camionagem \\ 50, & se\ Estação\ de\ comboios \end{cases}$ $c = \begin{cases} 10, & se\ Paragem\ de\ autocarro \\ 200, & se\ Central\ de\ camionagem \\ 600, & se\ Estação\ de\ comboios \end{cases}$

REFERÊNCIAS:

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. (H. Rik de Groot, Ed.). Ede.

NTA. (2011). National Cycle Manual. The national Cycle Manual. Dublin: National Transport Authority.

Transport for London. (2014). London Cycling Design Standards: Chapter 8: Cycle parking. London.

Critério:	**Sub-critério:**
MULTIMODALIDADE	LIGAÇÃO AO TRANSPORTE PÚBLICO

Indicador:

REGULAMENTAÇÃO DO TRANSPORTE DE BICICLETAS NO TRANSPORTE PÚBLICO **(MUL-3)**

DESCRIÇÃO:

A regulamentação que permite o transporte de bicicletas no interior dos veículos de transporte público, nomeadamente nas carreiras de autocarro, representa um fator essencial para a integração da bicicleta com outros modos de transporte coletivo. A existência desta permissão promove a intermodalidade e amplia o alcance das deslocações dos ciclistas, especialmente em áreas onde a infraestrutura ciclável é descontínua ou insuficiente. Este indicador avalia a presença de regulamentação permissiva para o transporte de bicicletas no interior dos veículos, considerando os segmentos da rede servidos por carreiras de autocarro.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento deste indicador é composto das seguintes etapas:

- Verificação da existência de regulamentação/permissão para o transporte de bicicletas no interior dos veículos das carreiras de autocarro (ligação por associação).
- Definição dos itinerários das carreiras de autocarro que servem a área de estudo.
- Identificação dos segmentos da rede que coincidem com os itinerários definidos.
- Classificação dos segmentos segundo uma lógica binária: presença (há regulamentação permissiva) ou ausência (não há regulamentação permissiva).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é dada por:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ há\ relgualementação\ permissiva \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

Nota: Apenas os segmentos abrangidos por carreiras de autocarros foram considerados para efeito de classificação. Os demais segmentos da rede foram automaticamente atribuídos ao valor de ausência de regulamentação.

REFERÊNCIAS:

Castañon, U.N.; Ribeiro, P.J.G.; Mendes, J.F.G. Evaluating Urban Bikeability: A Comprehensive Assessment of Póvoa de Varzim's Network. Sustainability 2024, 16, 9472.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Porter, A. K., Kohl, H. W., Pérez, A., Reininger, B., Pettee Gabriel, K., & Salvo, D. (2019). Bikeability: Assessing the Objectively Measured Environment in Relation to Recreation and Transportation Bicycling. Environment and Behavior.

Critério:	**Sub-critério:**
SISTEMAS PARTILHADOS	ATRIBUTOS DOS SISTEMAS PARTILHADOS

Indicador:

TIPOLOGIA DO SISTEMA PARTILHADO **(BSS-1)**

DESCRIÇÃO:

Cada tipo de esquema dos sistemas de partilha de bicicletas possui especificidades técnicas e operacionais que podem impactar de forma distinta a atratividade, acessibilidade e flexibilidade do sistema. Em determinados contextos urbanos, podem coexistir esquemas distintos operados por diferentes entidades, ou um único operador pode gerir sistemas com diferentes tipologias (por exemplo, bicicletas convencionais e elétricas, ou esquemas com e sem estação). A coexistência e diversidade de esquemas deve ser planeada de forma integrada e equilibrada, de modo a evitar sobreposição ineficiente e lacunas na cobertura do território.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento do indicador consiste na identificação dos sistemas de bicicletas partilhadas presentes na área de estudo e das suas características principais. Para isso, deve-se:

- Identificar a presença e o tipo de esquemas existentes (com estação, sem estação ou ambos);
- Identificar o tipo de bicicletas disponibilizadas (convencionais, elétricas ou ambos);
- Definir com precisão a área de atuação de cada esquema identificado, garantindo que a atribuição da pontuação seja efetuada apenas à rede urbana inserida na área de cobertura de cada operador.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 0,\ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = 4, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

Nota: O valor de x corresponde à soma das características identificadas na área: +1 por bicicletas convencionais, +1 por elétricas, +1 por operação com estação e +1 por operação sem estação, podendo atingir o máximo de 4. A classificação aplica-se apenas à rede dentro das áreas de cobertura dos sistemas partilhados.

REFERÊNCIAS:

Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 130, 673–688.

ITDP. (2018). The Bikeshare Planning Guide. Institute for Transportation and Development Policy. New York: Institute for Transportation and Development Policy.

Critério:	**Sub-critério:**

SISTEMAS PARTILHADOS	ATRIBUTOS DOS SISTEMAS PARTILHADOS

Indicador:

FORMA DE RETIRADA/DEVOLUÇÃO **(BSS-2)**

DESCRIÇÃO:

O tipo de mecanismo de retirada e devolução das bicicletas partilhadas, associado ao tipo de estação, influencia o esforço exigido ao utilizador. Sistemas com mecanismos de encaixe direto (empurrar) favorecem operações mais rápidas e acessíveis. Já os sistemas que requerem a elevação da bicicleta (por exemplo, levantar a roda dianteira) podem implicar maior esforço, acrescentar tempo à operação e limitar o público utilizador. O desenho do mecanismo também deve considerar o impacto urbano, evitando a criação de barreiras físicas ao peão e promovendo a integração no espaço público.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O processo de levantamento consistiu na identificação e caracterização dos sistemas de partilha, Foram seguidas as seguintes etapas:

- Identificação da presença de sistemas de partilha de bicicletas na área de estudo.
- Caracterização do tipo de mecanismo das estações, distinguindo entre encaixe direto (empurrar) e necessidade de elevação da bicicleta.
- Delimitação da área de atuação dos sistemas identificados.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência para a fuzificação da variável é definida da seguinte forma:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & se\ mecanismo\ de\ encaixe\ direto\ (empurrar) \\ 0{,}5, & se\ requer\ elevação\ da\ bicielta\ para\ encaixe \\ 0, & se\ não\ existe\ sistema\ partilahdo \end{cases}$$

REFERÊNCIAS:

ITDP. (2018). The Bikeshare Planning Guide. Institute for Transportation and Development Policy. New York: Institute for Transportation and Development Policy.

Parkes, S., Marsden, G., Shaheen, S., & Cohen, A. (2013). Understanding the diffusion of public bikesharing systems: evidence from Europe and North America. Journal of Transport Geography, 31, 94–103.

Critério:	**Sub-critério:**
SISTEMAS PARTILHADOS	ATRIBUTOS DOS SISTEMAS PARTILHADOS

Indicador:

TIPO DE LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇAO OU ZONA REGULAMENTADA **(BSS-3)**

DESCRIÇÃO:

O tipo de localização e a visibilidade das estações ou zonas regulamentadas nos sistemas partilhados são fatores determinantes para a eficácia do serviço. Uma boa localização, em local visível, acessível e próximo de pontos estratégicos (como destinos relevantes ou interfaces de transporte coletivo) facilita o uso do sistema e promove a integração com outros modos. Nas soluções *dockless*, embora as bicicletas contem com georreferenciamento e liberação remota, são frequentemente definidas zonas específicas para estacionamento, funcionando como "estações" para evitar desequilíbrios de distribuição e estacionamento desordenado. A localização deve privilegiar áreas seguras, de uso misto e de elevada circulação, de forma a assegurar a utilização contínua e a segurança dos utilizadores.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O levantamento baseou-se na identificação das estações ou zonas regulamentadas e na caracterização da sua localização:

Identificação das estações ou zonas regulamentadas existentes na área de estudo.

- Definição da área de influência de cada estação/zona regulamentada através de um *buffer* (400m).
- Avaliação da visibilidade e acessibilidade das localizações.
- Verificação da proximidade a destinos relevantes (ex.: centros comerciais, destinos cicláveis).
- Verificação da proximidade a interfaces de sistemas de transporte coletivo de maior capacidade (ex.: metro, comboio).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 0,\ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = 3, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

Nota: O valor x varia de 0 (ausência de sistema partilhado ou localização sem condições favoráveis) até 3 (máxima adequação da localização). A classificação aplica-se aos segmentos situados dentro da área de influência de cada estação/zona regulamentada, definida por buffer em torno de cada ponto.

REFERÊNCIAS:

ITDP. (2018). The Bikeshare Planning Guide. Institute for Transportation and Development Policy. New York: Institute for Transportation and Development Policy.

Shu, S., Bian, Y., Rong, J., & Xu, D. (2019). Determining the exact location of a public bicycle station—The optimal distance between the building entrance/exit and the station. PLoS ONE, 14(2).

Critério:	**Sub-critério:**
SISTEMAS PARTILHADOS	OFERTA DE SISTEMAS PARTILHADOS

Indicador:

DENSIDADE DE ESTAÇÕES **(BSS-4)**

DESCRIÇÃO:

A densidade de estações dos sistemas de partilha de bicicletas é um fator determinante para a eficácia do serviço, uma vez que influencia diretamente a acessibilidade e a conveniência para o utilizador. Sistemas com maior densidade de estações tendem a oferecer maior flexibilidade e facilidade de acesso, enquanto sistemas com bicicletas elétricas geralmente apresentam menor densidade, devido a características operacionais. A uniformidade da cobertura territorial e o cumprimento de densidades mínimas são considerados boas práticas para assegurar a fiabilidade do sistema.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O levantamento baseou-se na identificação e georreferenciação das estações de bicicletas partilhadas, seguido da criação de um mapa de densidade em ambiente SIG:

- Identificação e georreferenciação das estações de bicicletas partilhadas.
- Criação de um mapa de densidade de estações com apoio de SIG.
- Definição dos valores de controlo (densidade mínima e máxima de referência) para normalização.

- Atribuição da classificação aos segmentos com base na região do mapa de densidade em que se inserem.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1$$

Onde:

$$\begin{cases} a = 10,\ valor\ de\ controlo\ inferior \\ c = 16, valor\ de\ controlo\ superior \end{cases}$$

Nota: O valor x corresponde à densidade de estações (estações/km²) calculada no mapa de densidade, no local onde o segmento se insere.

REFERÊNCIAS:

ITDP. (2018). The Bikeshare Planning Guide. Institute for Transportation and Development Policy. New York: Institute for Transportation and Development Policy.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Parkes, S., Marsden, G., Shaheen, S., & Cohen, A. (2013). Understanding the diffusion of public bikesharing systems: evidence from Europe and North America. Journal of Transport Geography, 31, 94–103.

Critério:	**Sub-critério:**
SISTEMAS PARTILHADOS	OFERTA DE SISTEMAS PARTILHADOS

Indicador:

PROPORÇÃO DE VAGAS POR BICICLETA **(BSS-5)**

DESCRIÇÃO:

A proporção de vagas por bicicleta disponível nos sistemas de partilha é essencial para assegurar a disponibilidade de espaço para estacionamento e o bom funcionamento do serviço. Nos sistemas com estação (*docked*), recomenda-se a existência de mais vagas do que bicicletas, de forma a facilitar a devolução em qualquer momento. Nos sistemas sem estações (*dockless*/ *freefloat*), é importante que as zonas designadas para estacionamento possuam capacidade suficiente para acomodar a procura e garantir a organização do espaço público.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O levantamento baseia-se na identificação e caracterização das estações e zonas regulamentadas dos sistemas de partilha:

- Identificação do número de bicicletas disponibilizadas no sistema.
- Levantamento do número de vagas disponíveis nas estações e da área disponível nas zonas regulamentadas.
- Cálculo da capacidade regulamentada nas zonas regulamentadas com base na área disponível dividida pelo espaço médio ocupado por uma bicicleta (1,1 m²).
- No caso de sistemas híbridos, a classificação considera o pior caso entre os tipos de esquema presentes na área de atuação.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x-a)}{(c-a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1$$

Onde: $\begin{cases} a = 1 \ \ (valor\ de\ controlo\ inferior) \\ c = \ 1{,}5\ (valor\ de\ controlo\ superior) \end{cases}$

Nota: A classificação aplica-se à rede situada dentro da área de cobertura dos sistemas partilhados.

REFERÊNCIAS:

ITDP. (2018). The Bikeshare Planning Guide. Institute for Transportation and Development Policy. New York: Institute for Transportation and Development Policy.

Critério:	**Sub-critério:**
SISTEMAS PARTILHADOS	COBERTURA DOS POLOS GERADORES DE VIAGEM PELOS BSS

Indicador:

PROPORÇÃO DE DESTINOS NO EIXO ACESSÍVEIS POR BSS **(BSS-6)**

DESCRIÇÃO:

A cobertura dos sistemas partilhados em relação aos principais polos geradores de viagens situados ao longo dos eixos cicláveis é um fator determinante para a eficácia do serviço e para o incentivo ao uso da bicicleta como meio de transporte. A existência de estações ou zonas regulamentadas em áreas próximas de destinos relevantes, como comércio de grande superfície e escritórios, facilita a realização de viagens intermodais e contribui para uma maior funcionalidade e atratividade do sistema. Este indicador mede a proporção de destinos cicláveis localizados na área de influência dos eixos cicláveis que são servidos pelos sistemas partilhados.

PROCESSO DE LEVANTAMENTO:

O levantamento baseia-se nas seguintes etapas:

- Definição dos eixos cicláveis e aplicação de um buffer de influência (50 metros).
- Identificação das estações e zonas regulamentadas de BSS situadas no buffer do eixo.
- Aplicação de um buffer em torno das estações ou zonas regulamentadas (50 metros)
- Identificação dos destinos cicláveis localizados no buffer do eixo e das estações.
- Cálculo da proporção de destinos cicláveis situados na área de influência das estações relativamente ao total de destinos num buffer estendido (estações + eixo).

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO:

A função de pertinência da variável é definida por:

$$\mu(x) = \frac{(x - a)}{(c - a)}$$

$$Para\ x > c, \mu(x) = 1$$

Onde: $\begin{cases} a = valor\ de\ controlo\ inferior\ (proporção\ mínima\ estabelecida) \\ c = valor\ de\ controlo\ superior\ (proporção\ máxima\ estabelecida) \end{cases}$

Nota: este indicador aplica-se exclusivamente aos segmentos da rede incluídos em eixos cicláveis definidos. Segmentos fora de eixos definidos recebem pontuação 0.

REFERÊNCIAS:

Hamidi, Z., Camporeale, R., & Caggiani, L. (2019). Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 130, 673–688.

ITDP. (2018). The Bikeshare Planning Guide. Institute for Transportation and Development Policy. New York: Institute for Transportation and Development Policy.

Lin, J. J., & Wei, Y. H. (2018). Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 113, 381–396.

Shu, S., Bian, Y., Rong, J., & Xu, D. (2019). Determining the exact location of a public bicycle station—The optimal distance between the building entrance/exit and the station. PLoS ONE, 14(2).

Winters, M., Brauer, M., Setton, E. M., & Teschke, K. (2013). Mapping bikeability: A spatial tool to support sustainable travel. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(5), 865–883.

G. Tabelas com os resultados dos testes DSCF

Comparações múltiplas - Segurança			
		W	**p**
1	**2**	59.270	0.003
1	**3**	47.040	0.061
1	**4**	68.161	<.001
1	**5**	39.517	0.250
1	**6**	82.581	<.001
1	**7**	34.966	0.461
1	**8**	46.881	0.063
1	**9**	67.756	<.001
1	**10**	27.360	0.836
1	**11**	69.809	<.001
1	**12**	60.670	0.002
1	**13**	48.339	0.046
1	**14**	50.552	0.027
1	**15**	79.958	<.001
2	**3**	0.0679	1.000
2	**4**	59.350	0.003
2	**5**	0.9508	1.000
2	**6**	62.466	<.001
2	**7**	-28.020	0.810
2	**8**	-23.292	0.948
2	**9**	35.779	0.419
2	**10**	-36.273	0.394
2	**11**	50.248	0.029
2	**12**	-0.6114	1.000
2	**13**	-10.303	1.000
2	**14**	-0.2336	1.000
2	**15**	69.218	<.001
3	**4**	52.043	0.019
3	**5**	0.8676	1.000
3	**6**	50.204	0.030
3	**7**	-20.968	0.979
3	**8**	-18.333	0.994
3	**9**	22.940	0.954
3	**10**	-29.849	0.728
3	**11**	44.306	0.108
3	**12**	-0.3744	1.000
3	**13**	-12.224	1.000

Comparações múltiplas - Segurança			
3	**14**	-0.3555	1.000
3	**15**	59.131	0.003
4	**5**	-39.355	0.256
4	**6**	-37.484	0.336
4	**7**	-49.460	0.035
4	**8**	-60.024	0.002
4	**9**	-56.050	0.007
4	**10**	-57.537	0.004
4	**11**	0.7614	1.000
4	**12**	-62.200	0.001
4	**13**	-60.714	0.002
4	**14**	-59.308	0.003
4	**15**	-34.121	0.505
5	**6**	35.857	0.415
5	**7**	-26.553	0.865
5	**8**	-21.124	0.977
5	**9**	23.267	0.949
5	**10**	-31.398	0.650
5	**11**	34.328	0.494
5	**12**	-0.6946	1.000
5	**13**	-14.790	0.999
5	**14**	-0.4994	1.000
5	**15**	37.994	0.313
6	**7**	-48.993	0.040
6	**8**	-64.025	<.001
6	**9**	-46.536	0.068
6	**10**	-63.999	<.001
6	**11**	25.853	0.887
6	**12**	-65.440	<.001
6	**13**	-62.238	0.001
6	**14**	-58.615	0.003
6	**15**	10.248	1.000
7	**8**	0.5094	1.000
7	**9**	37.509	0.335

Comparações múltiplas - Segurança			
7	**10**	-15.184	0.999
7	**11**	51.015	0.024
7	**12**	12.071	1.000
7	**13**	10.189	1.000
7	**14**	0.8329	1.000
7	**15**	49.062	0.039
8	**9**	43.157	0.134
8	**10**	-20.402	0.984
8	**11**	54.749	0.009
8	**12**	13.667	1.000
8	**13**	0.6719	1.000
8	**14**	11.213	1.000
8	**15**	66.136	<.001
9	**10**	-52.069	0.019
9	**11**	33.452	0.541
9	**12**	-28.843	0.775
9	**13**	-39.186	0.263
9	**14**	-27.608	0.826
9	**15**	63.921	<.001
10	**11**	56.569	0.006
10	**12**	32.860	0.573
10	**13**	22.671	0.959
10	**14**	27.547	0.829
10	**15**	63.745	<.001
11	**12**	-51.635	0.021
11	**13**	-51.747	0.020
11	**14**	-46.582	0.068
11	**15**	-20.894	0.980
12	**13**	-0.7014	1.000
12	**14**	-0.1123	1.000
12	**15**	71.143	<.001
13	**14**	0.8878	1.000
13	**15**	69.218	<.001
14	**15**	68.279	<.001

Comparações múltiplas - Infraestrutura			
		W	**p**
1	**2**	19.376	0.990
1	**3**	-34.805	0.469
1	**4**	38.318	0.299
1	**5**	-18.430	0.994
1	**6**	66.200	<.001
1	**7**	10.085	1.000
1	**8**	-25.056	0.910
1	**9**	17.567	0.996
1	**10**	-57.063	0.005
1	**11**	63.987	<.001
1	**12**	-25.386	0.901
1	**13**	-23.754	0.940
1	**14**	52.448	0.017
1	**15**	47.966	0.050
2	**3**	-46.960	0.062
2	**4**	29.281	0.755
2	**5**	-22.257	0.964
2	**6**	54.714	0.009
2	**7**	0.1276	1.000
2	**8**	-41.068	0.194
2	**9**	-10.796	1.000
2	**10**	-53.925	0.012
2	**11**	54.038	0.011
2	**12**	-38.567	0.288
2	**13**	-28.757	0.779
2	**14**	34.362	0.493
2	**15**	30.274	0.708
3	**4**	41.503	0.181
3	**5**	0.8715	1.000
3	**6**	55.739	0.007
3	**7**	36.563	0.380
3	**8**	19.916	0.987
3	**9**	42.287	0.157
3	**10**	-20.765	0.981
3	**11**	56.125	0.006
3	**12**	0.5652	1.000

Comparações múltiplas - Infraestrutura			
3	**13**	20.265	0.984
3	**14**	55.140	0.008
3	**15**	59.143	0.003
4	**5**	-33.237	0.553
4	**6**	40.807	0.203
4	**7**	-30.543	0.694
4	**8**	-42.989	0.138
4	**9**	-33.020	0.564
4	**10**	-44.897	0.096
4	**11**	33.713	0.527
4	**12**	-41.042	0.195
4	**13**	-32.453	0.595
4	**14**	20.992	0.979
4	**15**	-18.151	0.995
5	**6**	39.127	0.265
5	**7**	20.131	0.985
5	**8**	0.5306	1.000
5	**9**	14.683	0.999
5	**10**	-14.683	0.999
5	**11**	38.902	0.274
5	**12**	-0.1229	1.000
5	**13**	11.726	1.000
5	**14**	36.030	0.406
5	**15**	34.231	0.500
6	**7**	-46.505	0.069
6	**8**	-63.244	<.001
6	**9**	-55.577	0.007
6	**10**	-60.114	0.002
6	**11**	0.8397	1.000
6	**12**	-68.214	<.001
6	**13**	-56.132	0.006
6	**14**	-34.572	0.482
6	**15**	-42.816	0.143
7	**8**	-26.836	0.855
7	**9**	-0.8215	1.000
7	**10**	-45.583	0.083
7	**11**	44.140	0.111
7	**12**	-31.505	0.645
7	**13**	-13.753	1.000

Comparações múltiplas - Infraestrutura			
7	**14**	34.326	0.494
7	**15**	22.922	0.955
8	**9**	38.658	0.284
8	**10**	-47.719	0.053
8	**11**	63.080	<.001
8	**12**	-0.8318	1.000
8	**13**	0.0227	1.000
8	**14**	60.880	0.002
8	**15**	62.626	<.001
9	**10**	-44.323	0.107
9	**11**	53.179	0.014
9	**12**	-29.105	0.763
9	**13**	-23.614	0.942
9	**14**	35.572	0.429
9	**15**	38.247	0.302
10	**11**	57.804	0.004
10	**12**	18.486	0.994
10	**13**	46.688	0.066
10	**14**	60.708	0.002
10	**15**	55.245	0.008
11	**12**	-64.184	<.001
11	**13**	-55.382	0.008
11	**14**	-39.173	0.263
11	**15**	-40.202	0.224
12	**13**	13.533	1.000
12	**14**	55.492	0.008
12	**15**	56.879	0.005
13	**14**	50.865	0.025
13	**15**	44.728	0.099
14	**15**	-13.649	1.000

Comparações múltiplas - Ambiente Envolvente			
		W	**p**
1	**2**	-25.629	0.894
1	**3**	-43.119	0.135
1	**4**	16.731	0.998
1	**5**	-0.2448	1.000
1	**6**	74.893	<.001
1	**7**	33.890	0.518
1	**8**	47.488	0.056

Comparações múltiplas - Ambiente Envolvente			
1	**9**	-0.9174	1.000
1	**10**	-26.750	0.858
1	**11**	-32.705	0.582
1	**12**	-19.220	0.991
1	**13**	-74.996	<.001
1	**14**	-19.542	0.989
1	**15**	-34.797	0.469
2	**3**	-0.1429	1.000
2	**4**	0.6219	1.000
2	**5**	0.0000	1.000
2	**6**	54.081	0.011
2	**7**	25.764	0.890
2	**8**	28.886	0.773
2	**9**	0.5903	1.000
2	**10**	10.361	1.000
2	**11**	-16.612	0.998
2	**12**	0.1474	1.000
2	**13**	-21.396	0.975
2	**14**	11.850	1.000
2	**15**	-17.921	0.995
3	**4**	21.958	0.968
3	**5**	0.9048	1.000
3	**6**	61.619	0.001
3	**7**	48.104	0.049
3	**8**	48.101	0.049
3	**9**	15.589	0.999
3	**10**	18.279	0.994
3	**11**	-10.576	1.000
3	**12**	13.328	1.000
3	**13**	-39.716	0.242
3	**14**	22.038	0.967
3	**15**	-10.518	1.000
4	**5**	-0.9934	1.000
4	**6**	52.682	0.016
4	**7**	21.878	0.969
4	**8**	16.194	0.998
4	**9**	-0.5055	1.000
4	**10**	-12.910	1.000
4	**11**	-24.855	0.915
4	**12**	-20.895	0.980

Comparações múltiplas - Ambiente Envolvente			
4	**13**	-29.006	0.767
4	**14**	-12.926	1.000
4	**15**	-28.242	0.801
5	**6**	38.909	0.274
5	**7**	18.281	0.994
5	**8**	21.539	0.973
5	**9**	0.6516	1.000
5	**10**	-0.3550	1.000
5	**11**	-11.171	1.000
5	**12**	-0.2143	1.000
5	**13**	-13.673	1.000
5	**14**	-0.0560	1.000
5	**15**	-12.595	1.000
6	**7**	-50.704	0.026
6	**8**	-46.857	0.064
6	**9**	-62.023	0.001
6	**10**	-59.244	0.003
6	**11**	-63.077	<.001
6	**12**	-73.379	<.001
6	**13**	-76.758	<.001
6	**14**	-63.743	<.001
6	**15**	-68.151	<.001
7	**8**	0.0000	1.000
7	**9**	-35.653	0.425
7	**10**	-34.108	0.506
7	**11**	-43.915	0.116
7	**12**	-43.194	0.133
7	**13**	-70.805	<.001
7	**14**	-34.036	0.510
7	**15**	-47.722	0.053
8	**9**	-28.767	0.778
8	**10**	-39.117	0.265
8	**11**	-45.217	0.090
8	**12**	-47.878	0.051
8	**13**	-60.301	0.002
8	**14**	-39.573	0.248

Comparações múltiplas - Ambiente Envolvente			
8	**15**	-49.796	0.033
9	**10**	0.5188	1.000
9	**11**	-26.092	0.880
9	**12**	-13.083	1.000
9	**13**	-44.536	0.103
9	**14**	0.3940	1.000
9	**15**	-27.727	0.822
10	**11**	-19.246	0.990
10	**12**	-0.2978	1.000
10	**13**	-57.658	0.004
10	**14**	0.3640	1.000
10	**15**	-18.071	0.995
11	**12**	17.838	0.996
11	**13**	0.3750	1.000
11	**14**	23.191	0.950
11	**15**	-0.1120	1.000
12	**13**	-30.767	0.683
12	**14**	0.7452	1.000
12	**15**	-19.681	0.988
13	**14**	57.026	0.005
13	**15**	-0.2784	1.000
14	**15**	-23.109	0.951

Comparações múltiplas - Multimodalidade			
		W	**p**
1	**2**	-0.8599	1.000
1	**3**	-77.455	<.001
1	**4**	-55.841	0.007
1	**5**	-60.665	0.002
1	**6**	-28.451	0.792
1	**7**	-61.694	0.001
1	**8**	-57.670	0.004
1	**9**	-40.561	0.211
1	**10**	-28.348	0.796
1	**11**	-71.520	<.001
1	**12**	-10.609	1.000

Comparações múltiplas - Multimodalidade			
1	**13**	-47.690	0.053
1	**14**	-43.892	0.117
1	**15**	-48.804	0.041
2	**3**	-62.144	0.001
2	**4**	-43.170	0.134
2	**5**	-48.911	0.040
2	**6**	-15.122	0.999
2	**7**	-47.656	0.054
2	**8**	-42.737	0.145
2	**9**	-27.123	0.845
2	**10**	-21.362	0.975
2	**11**	-55.469	0.008
2	**12**	0.1395	1.000
2	**13**	-35.222	0.447
2	**14**	-32.559	0.589
2	**15**	-33.418	0.543
3	**4**	30.608	0.691
3	**5**	NaN	NaN
3	**6**	52.568	0.017
3	**7**	29.251	0.757
3	**8**	44.059	0.113
3	**9**	30.442	0.699
3	**10**	66.332	<.001
3	**11**	12.910	1.000
3	**12**	71.721	<.001
3	**13**	54.772	0.009
3	**14**	57.394	0.004
3	**15**	34.880	0.465
4	**5**	-22.262	0.964
4	**6**	29.328	0.753
4	**7**	-0.2314	1.000
4	**8**	14.397	1.000
4	**9**	0.5003	1.000
4	**10**	40.708	0.206
4	**11**	-21.599	0.972
4	**12**	50.324	0.029
4	**13**	26.294	0.874
4	**14**	29.404	0.750
4	**15**	0.7877	1.000
5	**6**	40.447	0.215

Comparações múltiplas - Multimodalidade			
5	**7**	21.320	0.975
5	**8**	33.472	0.540
5	**9**	22.145	0.966
5	**10**	58.310	0.003
5	**11**	0.9129	1.000
5	**12**	58.016	0.004
5	**13**	43.603	0.123
5	**14**	46.495	0.069
5	**15**	25.614	0.894
6	**7**	-33.238	0.553
6	**8**	-22.569	0.960
6	**9**	-17.937	0.995
6	**10**	0.5034	1.000
6	**11**	-46.756	0.065
6	**12**	20.531	0.983
6	**13**	-11.614	1.000
6	**14**	-0.8246	1.000
6	**15**	-21.501	0.974
7	**8**	17.982	0.995
7	**9**	0.7146	1.000
7	**10**	47.313	0.058
7	**11**	-19.987	0.986
7	**12**	56.140	0.006
7	**13**	30.992	0.672
7	**14**	34.446	0.488
7	**15**	10.472	1.000
8	**9**	-0.6279	1.000
8	**10**	35.551	0.430
8	**11**	-35.952	0.410
8	**12**	50.460	0.028
8	**13**	15.136	0.999
8	**14**	19.379	0.990
8	**15**	-0.4881	1.000
9	**10**	26.714	0.859
9	**11**	-24.679	0.919
9	**12**	32.566	0.588
9	**13**	15.780	0.999
9	**14**	18.210	0.994
9	**15**	0.0730	1.000
10	**11**	-56.782	0.005
10	**12**	24.623	0.921

Comparações múltiplas - Multimodalidade			
10	**13**	-25.337	0.902
10	**14**	-22.199	0.965
10	**15**	-30.114	0.716
11	**12**	64.831	<.001
11	**13**	46.268	0.072
11	**14**	48.700	0.042
11	**15**	28.335	0.797
12	**13**	-41.617	0.177
12	**14**	-38.434	0.294
12	**15**	-41.024	0.196
13	**14**	0.4714	1.000
13	**15**	-16.404	0.998
14	**15**	-19.415	0.990

Comparações múltiplas - Qualidade Ambiental			
		W	**p**
1	**2**	78.967	<.001
1	**3**	68.549	<.001
1	**4**	70.502	<.001
1	**5**	51.151	0.024
1	**6**	35.374	0.440
1	**7**	10.324	1.000
1	**8**	45.319	0.088
1	**9**	75.522	<.001
1	**10**	52.918	0.015
1	**11**	74.521	<.001
1	**12**	81.993	<.001
1	**13**	68.884	<.001
1	**14**	42.719	0.145
1	**15**	50.778	0.026
2	**3**	38.961	0.272
2	**4**	48.134	0.048
2	**5**	25.940	0.885
2	**6**	-23.563	0.943
2	**7**	-50.658	0.027
2	**8**	-17.183	0.997
2	**9**	44.703	0.100
2	**10**	-24.207	0.930
2	**11**	50.535	0.028
2	**12**	0.4219	1.000

Comparações múltiplas - Qualidade Ambiental			
2	**13**	0.8860	1.000
2	**14**	-11.221	1.000
2	**15**	-41.075	0.194
3	**4**	32.885	0.572
3	**5**	-0.4564	1.000
3	**6**	-32.853	0.573
3	**7**	-46.009	0.076
3	**8**	-30.775	0.682
3	**9**	16.684	0.998
3	**10**	-40.639	0.209
3	**11**	28.478	0.791
3	**12**	-19.110	0.991
3	**13**	-22.909	0.955
3	**14**	-23.781	0.939
3	**15**	-54.239	0.011
4	**5**	-26.606	0.863
4	**6**	-45.721	0.081
4	**7**	-48.565	0.044
4	**8**	-48.475	0.045
4	**9**	-34.956	0.461
4	**10**	-50.116	0.030
4	**11**	-27.418	0.834
4	**12**	-45.148	0.091
4	**13**	-41.076	0.194
4	**14**	-49.381	0.036
4	**15**	-53.772	0.012
5	**6**	-29.345	0.752
5	**7**	-37.158	0.351
5	**8**	-31.924	0.623
5	**9**	15.154	0.999
5	**10**	-25.655	0.893
5	**11**	18.914	0.992
5	**12**	-36.012	0.407
5	**13**	-22.558	0.960
5	**14**	-11.750	1.000
5	**15**	-45.639	0.082

Comparações múltiplas - Qualidade Ambiental			
6	**7**	-17.534	0.996
6	**8**	13.116	1.000
6	**9**	42.649	0.147
6	**10**	16.285	0.998
6	**11**	42.377	0.155
6	**12**	33.961	0.514
6	**13**	14.507	1.000
6	**14**	11.799	1.000
6	**15**	12.143	1.000
7	**8**	28.894	0.773
7	**9**	49.009	0.039
7	**10**	41.746	0.173
7	**11**	47.726	0.053
7	**12**	52.637	0.016
7	**13**	32.791	0.577
7	**14**	26.196	0.876
7	**15**	43.737	0.120
8	**9**	53.294	0.014
8	**10**	0.9697	1.000
8	**11**	43.624	0.123
8	**12**	0.1269	1.000
8	**13**	0.3375	1.000
8	**14**	0.7759	1.000
8	**15**	-0.5156	1.000
9	**10**	-44.415	0.106
9	**11**	14.854	0.999
9	**12**	-71.286	<.001
9	**13**	-39.348	0.256
9	**14**	-31.859	0.626
9	**15**	-64.660	<.001
10	**11**	49.449	0.036
10	**12**	24.214	0.930
10	**13**	21.819	0.970
10	**14**	-0.7486	1.000
10	**15**	-0.9351	1.000
11	**12**	-47.660	0.054
11	**13**	-39.517	0.250
11	**14**	-42.837	0.142
11	**15**	-59.469	0.002
12	**13**	-14.925	0.999
12	**14**	-0.7379	1.000

Comparações múltiplas - Qualidade Ambiental			
12	**15**	-47.846	0.051
13	**14**	-0.5873	1.000
13	**15**	-33.299	0.549
14	**15**	-0.0269	1.000

Comparações múltiplas - Sistemas Digitais			
		W	**p**
1	**2**	-22.294	0.964
1	**3**	-16.725	0.998
1	**4**	-16.725	0.998
1	**5**	0.6157	1.000
1	**6**	0.5447	1.000
1	**7**	-17.525	0.996
1	**8**	12.684	1.000
1	**9**	0.3285	1.000
1	**10**	-0.7020	1.000
1	**11**	-18.288	0.994
1	**12**	-0.0521	1.000
1	**13**	-22.294	0.964
1	**14**	-10.818	1.000
1	**15**	-20.396	0.984
2	**3**	NaN	NaN
2	**4**	NaN	NaN
2	**5**	26.833	0.855
2	**6**	25.226	0.905
2	**7**	NaN	NaN
2	**8**	29.580	0.741
2	**9**	23.936	0.936
2	**10**	16.641	0.998
2	**11**	NaN	NaN
2	**12**	21.750	0.971
2	**13**	NaN	NaN
2	**14**	14.552	1.000
2	**15**	NaN	NaN
3	**4**	NaN	NaN
3	**5**	20.000	0.986
3	**6**	18.974	0.992
3	**7**	NaN	NaN
3	**8**	22.361	0.963

Comparações múltiplas - Sistemas Digitais			
3	**9**	17.954	0.995
3	**10**	12.403	1.000
3	**11**	NaN	NaN
3	**12**	16.313	0.998
3	**13**	NaN	NaN
3	**14**	10.847	1.000
3	**15**	NaN	NaN
4	**5**	20.000	0.986
4	**6**	18.974	0.992
4	**7**	NaN	NaN
4	**8**	22.361	0.963
4	**9**	17.954	0.995
4	**10**	12.403	1.000
4	**11**	NaN	NaN
4	**12**	16.313	0.998
4	**13**	NaN	NaN
4	**14**	10.847	1.000
4	**15**	NaN	NaN
5	**6**	-0.2406	1.000
5	**7**	-20.976	0.979
5	**8**	0.1474	1.000
5	**9**	-0.3234	1.000
5	**10**	-10.228	1.000
5	**11**	-21.909	0.969
5	**12**	-0.6148	1.000
5	**13**	-26.833	0.855
5	**14**	-13.337	1.000
5	**15**	-24.495	0.924
6	**7**	-19.871	0.987
6	**8**	0.5872	1.000
6	**9**	-0.1332	1.000
6	**10**	-10.232	1.000
6	**11**	-20.728	0.981
6	**12**	-0.5336	1.000
6	**13**	-25.226	0.905
6	**14**	-13.970	1.000
6	**15**	-23.094	0.952
7	**8**	23.400	0.946
7	**9**	18.811	0.992
7	**10**	13.009	1.000

Comparações múltiplas - Sistemas Digitais			
7	**11**	NaN	NaN
7	**12**	17.093	0.997
7	**13**	NaN	NaN
7	**14**	11.376	1.000
7	**15**	NaN	NaN
8	**9**	-0.6615	1.000
8	**10**	-15.100	0.999
8	**11**	-24.390	0.926
8	**12**	-11.690	1.000

Comparações múltiplas - Sistemas Digitais			
8	**13**	-29.580	0.741
8	**14**	-19.245	0.990
8	**15**	-27.123	0.845
9	**10**	-0.8513	1.000
9	**11**	-19.629	0.989
9	**12**	-0.3418	1.000
9	**13**	-23.936	0.936
9	**14**	-11.953	1.000

Comparações múltiplas - Sistemas Digitais			
9	**15**	-21.893	0.969
10	**11**	-13.587	1.000
10	**12**	0.6272	1.000
10	**13**	-16.641	0.998
10	**14**	-0.2738	1.000
10	**15**	-15.191	0.999
11	**12**	17.838	0.996
11	**13**	NaN	NaN
11	**14**	11.882	1.000

Comparações múltiplas - Sistemas Digitais			
11	**15**	NaN	NaN
12	**13**	-21.750	0.971
12	**14**	-0.9828	1.000
12	**15**	-19.896	0.987
13	**14**	14.552	1.000
13	**15**	NaN	NaN
14	**15**	-13.284	1.000