



M 2026



FERRAMENTAS DE SUPORTE À GESTÃO DA LIMPEZA URBANA

CASO DE ESTUDO DO MUNICÍPIO DO PORTO

INDIRA BOTELHO DE SOUSA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA DO AMBIENTE



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2025/2026

FERRAMENTAS DE SUPORTE À GESTÃO DA LIMPEZA URBANA: CASO DE ESTUDO DO MUNICÍPIO DO PORTO

INDIRA BOTELHO DE SOUSA

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri:

Adrián Manuel Tavares da Silva, Professor Associado do Departamento de Engenharia
Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

—

Orientador Académico:

(Joana Maia Moreira Dias, Prof. Associada do Departamento de Engenharia Mecânica
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

—

Orientador na Empresa (e/ou coorientador(es)):

(Mariana Luzia Silva Costa, Engenheira do Ambiente, Direção da Limpeza Urbana,
Porto Ambiente)

Junho, 2026

Resumo

A limpeza urbana é um fator determinante para a qualidade de vida e a saúde pública nas cidades, sendo afetada pela presença de resíduos descartados incorretamente no espaço público. No Município do Porto, a Porto Ambiente não dispõe atualmente de um sistema sistemático de monitorização da limpeza urbana, apesar de um projeto anterior, desenvolvido em parceria com a FEUP, ter já desenvolvido um Índice de Limpeza próprio para a cidade, cuja implementação operacional não se concretizou. Deste modo, a presente dissertação dá continuidade a este trabalho, com os objetivos de avaliar a perceção da população sobre o nível de limpeza da cidade, recalibrar o índice existente com base nessa perceção, reunir informação relevante para a futura implementação de outra metodologia de avaliação e levantar e avaliar comparativamente outras metodologias já existentes.\

Os resultados, com base nas respostas de 556 inquiridos, mostram uma perceção moderada da limpeza urbana da cidade do Porto, com uma média global de 3,20, numa escala de 1 a 5. As principais queixas centraram-se na frequência e qualidade da varredura e lavagem das ruas, na falta de contentores e na falta de sensibilização da população. A Foz foi a zona mais bem avaliada (3,63) e a Ribeira a pior (3,07), destacando-se negativamente, ao nível das 26 ruas avaliadas, a Rua de Fernandes Tomás (2,22) e a Rua 31 de Janeiro (2,00), e positivamente a Avenida D. Carlos I (3,90) e a Rua do Passeio Alegre (3,80).

Quanto aos parâmetros recalibrados, numa escala de 1 a 5, os resíduos alimentares (4,40), os dejetos de animais (4,38) e os sacos do lixo (4,34) foram as categorias mais incomodativas, enquanto os resíduos verdes (2,62) e as pedras e areia (2,69) foram consideradas as menos incomodativas. No que toca às localizações, o passeio foi identificado como a mais incomodativa (3,17) e as papeleiras como a menos incomodativa (1,88). Comparativamente a 2019, registou-se uma tendência para valores do índice de incómodo mais elevados nas categorias de resíduos, com um desvio percentual relativo médio de cerca de 11%. Verificaram-se também alterações assinaláveis na hierarquia de incómodo das localizações, nomeadamente a inversão da posição das papeleiras, que passaram de mais incomodativas em 2019 para as menos incomodativas em 2026.

A aplicação dos parâmetros recalibrados a 12 ruas da cidade do Porto, com base nos dados de 2019, mostrou que a recalibração de 2026 tende a atribuir níveis de limpeza ligeiramente superiores aos obtidos com os parâmetros de 2019, para os mesmos dados, ainda que as diferenças sejam muito reduzidas, atingindo no máximo 4%. A ponderação da localização, sobretudo do passeio, foi identificada

como o fator com maior impacto nesta variação, o que é explicado pelo facto de o passeio apresentar níveis de limpeza relativamente elevados nos dados disponíveis e, simultaneamente, ter sido identificado como a localização mais incomodativa nos inquéritos de 2026.

Na comparação entre diferentes metodologias de avaliação da limpeza urbana, provenientes de vários países, a avaliação qualitativa evidenciou que os métodos manuais, embora mais detalhados e flexíveis, dependem da observação humana, com a subjetividade, o consumo de recursos e a periodicidade limitada que isso implica. A ciência cidadã representa uma alternativa de baixo custo e maior cobertura temporal, mas está sujeita a enviesamentos espaciais e demográficos. As abordagens baseadas em inteligência artificial surgem como a solução potencialmente mais equilibrada, ao permitirem uma monitorização contínua, objetiva e sistematizada, com menor dependência de recursos humanos e maior cobertura territorial.

A aplicação prática de 5 dos 10 índices de limpeza definidos de algumas dessas metodologias quantitativas (CEI, IMSP, IS, IL e CCI) aos dados de 2019 confirmou resultados globalmente positivos, mas com divergências relevantes entre métodos para a mesma rua, explicadas por três fatores determinantes: as categorias de resíduos consideradas, o sistema de ponderação e o método de contagem. Verificou-se, contudo, uma discrepância assinalável entre estes resultados e a perceção da população obtida nos inquéritos, em parte explicável pelo desfase temporal entre os dados de 2019 e os inquéritos de 2026, reforçando a necessidade de avaliações frequentes e contínuas. Adicionalmente, fatores relevantes para a perceção de limpeza, como *graffitis*, estado de conservação das fachadas, sensação de insegurança e odor, comuns nestas ruas, não são capturados pelos dados, o que contribui para essa divergência.

Assim, a CortexIA destaca-se como abordagem com potencial de transformação, ao combinar um índice de limpeza bem definido, ponderações baseadas na perceção humana e imagens georreferenciadas com componente temporal, permitindo uma monitorização contínua, diária e com boa cobertura territorial, com menor exigência de recursos e aproveitamento da infraestrutura existente.

Palavras-chave: *CortexIA*; *Clean City Index*; *Clean Environmental Index*; Índice de Limpeza; Índice de Sujidade; Indicador Médio de Sujidade Ponderado; Inteligência artificial; Limpeza urbana; *Litterati*; Perceção da população.

Abstract

Urban cleanliness is a determining factor for quality of life and public health in cities and is affected by the presence of improperly discarded waste in public spaces. In the Municipality of Porto, Porto Ambiente currently does not have a systematic urban cleanliness monitoring system, despite a previous project developed in partnership with FEUP having already created a dedicated Cleanliness Index for the city, whose operational implementation was not achieved.

Thus, this dissertation builds upon that work, with the objectives of assessing the population's perception of the city's cleanliness level, recalibrating the existing index based on that perception, gathering relevant information for the future implementation of another evaluation methodology, and identifying and comparatively assessing other existing methodologies.

The results, based on responses from 556 participants, indicate a moderate perception of urban cleanliness in the city of Porto, with an overall average of 3.20 on a scale from 1 to 5. The main complaints focused on the frequency and quality of street sweeping and washing, the lack of waste containers, and insufficient public awareness. Foz was the highest-rated area (3.63) and Ribeira the lowest (3.07). Among the 26 streets evaluated, Rua de Fernandes Tomás (2.22) and Rua 31 de Janeiro (2.00) stood out negatively, while Avenida D. Carlos I (3.90) and Rua do Passeio Alegre (3.80) received the most positive evaluations.

Regarding the recalibrated parameters, on a scale from 1 to 5, food waste (4.40), animal waste (4.38), and garbage bags (4.34) were identified as the most disturbing categories, whereas green waste (2.62) and stones and sand (2.69) were considered the least disturbing. In terms of locations, sidewalks were identified as the most disturbing (3.17), and litter bins as the least (1.88). Compared to 2019, there was a general trend toward higher nuisance index values across waste categories, with an average relative percentage deviation of approximately 11%. Notable changes were also observed in the hierarchy of nuisance associated with locations, particularly the reversal in the position of litter bins, which shifted from being the most disturbing in 2019 to the least disturbing in 2026.

The application of the recalibrated parameters to 12 streets in Porto, based on 2019 data, showed that the 2026 recalibration tends to assign slightly higher cleanliness levels compared to those obtained with the 2019 parameters for the same dataset, although the differences are very small, reaching a maximum of 4%. The weighting of location, particularly sidewalks, was identified as the factor with the greatest impact on this variation. This is explained by the fact that sidewalks present

relatively high cleanliness levels in the available data while simultaneously being identified as the most disturbing location in the 2026 surveys.

In the comparison between different urban cleanliness assessment methodologies from various countries, the qualitative evaluation showed that manual methods, although more detailed and flexible, depend on human observation, which introduces subjectivity, resource consumption, and limited frequency. Citizen science represents a low-cost alternative with greater temporal coverage, but it is subject to spatial and demographic biases. Approaches based on artificial intelligence emerge as a potentially more balanced solution, enabling continuous, objective, and systematized monitoring, with reduced dependence on human resources and broader territorial coverage.

The practical application of five cleanliness indices from some of these quantitative methodologies (CEI, IMSP, IS, IL, and CCI) to the 2019 data confirmed generally positive results, but with relevant divergences between methods for the same street. These differences are explained by three key factors: the waste categories considered, the weighting system, and the counting method. However, a significant discrepancy was observed between these results and the population's perception obtained through the surveys, partly explained by the temporal gap between the 2019 data and the 2026 surveys, reinforcing the need for frequent and continuous assessments. Additionally, factors relevant to the perception of cleanliness, such as *graffiti*, façade conditions, perceived safety and odor, common in these streets, are not captured by indices based on waste counting, contributing to this discrepancy.

Thus, CortexIA stands out as an approach with transformative potential, combining a well-defined cleanliness index, weightings based on human perception, and georeferenced images with a temporal component. This enables continuous, daily monitoring with strong territorial coverage, reduced resource requirements, and effective use of existing infrastructure.

Keywords: CortexIA; Clean City Index; Clean Environmental Index; Cleanliness Index; Dirtiness Index; Weighted Average Dirtiness Indicator; artificial intelligence; urban cleanliness; Litterati; public perception.

Agradecimentos

A concretização deste projeto não teria sido possível sem o apoio das minhas orientadoras, Professora Joana Maia Dias e Engenheira Mariana Costa, a quem agradeço pela disponibilidade, dedicação e orientação prestadas ao longo de todo o trabalho.

Agradeço, igualmente, a toda a equipa da Porto Ambiente, em particular, aos Engenheiros Rui Quintela, Tiago Silva e Sabrina Fernandes, pela colaboração e disponibilidade ao longo do desenvolvimento do projeto.

Quero também expressar um profundo agradecimento à minha mãe, ao meu pai, à minha avó, ao Miguel e à Alexandra, por todo o amor, carinho e acompanhamento, no decurso deste trabalho.

Agradeço também à Inês, à Bárbara e à Carolina por terem sido as melhores "colegas" que se tornaram as minhas melhores amigas e sem as quais não teria sido possível ultrapassar estes cinco anos.

Um agradecimento especial às minhas amigas de sempre, Ana e Joana, que estiveram sempre ao meu lado desde o início.

Por fim, agradeço a todos os participantes que disponibilizaram o seu tempo para responder aos inquéritos realizados no âmbito deste projeto, sem os quais não teria sido possível concluir este trabalho.

Esta dissertação foi financiada pelo projeto “SMART&GREEN: Cidades com Impacto Neutro no Clima”, com o código de operação, no Balcão dos Fundos, NORTE2030-FEDER-02696100, cofinanciado pela União Europeia através do Programa Regional NORTE 2030, do Portugal 2030.

A Prof. Joana Maia Moreira Dias, orientadora desta dissertação, é membro integrado do LEPABE - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado por fundos nacionais através da FCT/MECI: LEPABE, UID/00511/2025 (<https://doi.org/10.54499/UID/00511/2025>) e UID/PRR/00511/2025 (<https://doi.org/10.54499/UID/PRR/00511/2025>) e ALiCE, LA/P/0045/2020 (<https://doi.org/10.54499/LA/P/0045/2020>).

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Resíduos Urbanos	1
1.2.	Apresentação do Problema	4
1.3.	Importância do Controlo de Gestão	9
2.	Apresentação da Empresa	11
3.	Enquadramento do Projeto	13
4.	Objetivos do Trabalho	15
5.	Estado da Arte.....	16
5.1.	Métodos Manuais	16
5.1.1.	Método desenvolvido pela <i>Keep Britain Tidy</i>	16
5.1.2.	Método testado em Qazvin, Irão.....	18
5.1.3.	Método desenvolvido pela Association des Villes pour la Propreté Urbaine	19
5.1.4.	Método utilizado em Granada, Espanha	22
5.1.5.	Método criado para o Porto, Portugal	23
5.2.	Métodos baseados em ciência cidadã	26
5.2.1.	Método testado em Vancouver, Canadá	27
5.3.	Métodos com recurso a Inteligência Artificial.....	29
5.3.1.	Método utilizado em Genebra, Suíça	33
5.3.2.	Método testado em Santiago, Chile	37
5.3.3.	Método implementado em Bournemouth, Reino Unido	38
5.3.4.	Método testado em Amsterdão, Países Baixos.....	41
5.4.	Tabela-resumo.....	42
6.	Metodologia	45
6.1.	Análise comparativa da perceção da população e recalibração do índice de limpeza urbana	45
6.1.1.	Desenvolvimento dos Inquéritos.....	45
6.1.2.	Caracterização do Perfil dos Inquiridos.....	48

6.1.3.	Determinação do Nível de Limpeza global, das zonas e das ruas, de acordo com a percepção da população.....	48
6.1.4.	Recalibração do Índice de Limpeza da Cidade do Porto	49
6.1.5.	Comparação entre os resultados de 2019 e 2026	50
6.2.	Levantamento e Avaliação de Ferramentas Existentes.....	51
6.2.1.	Método testado em Qazvin (CEI)	52
6.2.2.	Método criado pela AVPU (IMSP).....	53
6.2.3.	Método utilizado em Granada (IS)	54
6.2.4.	Método desenvolvido para o Porto (IL)	55
6.2.5.	Método utilizado em Genebra (CCI)	55
7.	Resultados e Discussão.....	57
7.1.	Avaliação da Percepção da População sobre a Limpeza Urbana da Cidade do Porto	57
7.1.1.	Caracterização do Perfil dos Inquiridos.....	57
7.1.2.	Avaliação do Nível de Limpeza Global da cidade do Porto	60
7.1.3.	Avaliação do Nível de Limpeza das Zonas	63
7.1.4.	Avaliação do Nível de Limpeza das Ruas.....	65
7.2.	Recalibração do Índice de Limpeza	70
7.2.1.	Recalibração dos Índices de Incómodo (w_i) e das Ponderações da Localização (P_x).....	70
7.2.2.	Comparação entre os resultados de 2019 e de 2026	73
7.3.	Avaliação de Ferramentas Existentes e o seu Impacto na Determinação do Índice de Limpeza	77
7.3.1.	Avaliação Qualitativa	77
7.3.2.	Aplicação prática das metodologias	84
7.3.3.	Análise Crítica	94
8.	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	100
9.	Conclusões.....	102
10.	Limitações e Trabalho Futuro	106
	Referências	108
Anexo A.	Método desenvolvido pela <i>Keep Britain Tidy</i>	116
Anexo B.	Método testado em Qazvin	118

Anexo C.	Método desenvolvido pela AVPU	119
Anexo D.	Método utilizado em Granada, Espanha	122
Anexo E.	Método criado para a cidade do Porto	125
Anexo F.	Método utilizado em Genebra, Suíça	127
Anexo G.	Ruas consideradas no planeamento dos inquéritos de rua	132
Anexo H.	Estrutura dos inquéritos de rua	133
Anexo I.	Estrutura dos inquéritos online	138
Anexo J.	Processo de determinação de equivalência entre as categorias definidas em 2019 e as definidas em 2026.....	147
Anexo K.	Ruas seleccionadas para a aplicação da metodologia criada para o Porto	148
Anexo L.	Correspondência entre categorias.....	149
Anexo M.	Avaliação do nível de limpeza global.....	153
Anexo N.	Avaliação do nível de limpeza das zonas	153
Anexo O.	Avaliação do nível de limpeza das ruas.....	155
Anexo P.	Distribuição das avaliações relativas ao incómodo da população por categoria de resíduos e localização de ocorrência	156
Anexo Q.	Valores médios de unidades de resíduos por categoria em cada rua	158
Anexo R.	Resultados obtidos da aplicação das metodologias a cada rua	159
Anexo S.	Contributo de cada categoria de resíduos de acordo com a metodologia	162

Índice de Figuras

Figura 1.1: Ações de limpeza do espaço público realizadas pela Porto Ambiente [31].	6
Figura 1.2: Divisão da cidade em 9 tipologias diferentes [32].	7
Figura 5.1: Mapa visual criado para a cidade de Massachusetts pela Litterati [60].	29
Figura 5.2: Smart bin [76].	31
Figura 5.3: Robot de triagem da VALORSUL [82].	32
Figura 5.4: Esquema do processamento local e envio de dados para a cloud pelo sistema da CortexIA.	34
Figura 5.5: Exemplo de mapa resultante da monitorização em tempo real realizada pela CortexIA [91].	35
Figura 5.6: Sistema de monitorização testado em Santiago, Chile [94].	37
Figura 5.7: Drone operado pela Ellipsis Earth [97].	39
Figura 5.8: Mapa do índice de limpeza urbana obtido pela Ellipsis Earth [95].	39
Figura 5.9: Exemplo de "ballot bins" implementado pela Hubbub [95].	40
Figura 5.10: Exemplo de um smartphone a executar o scanning client [98].	41
Figura 5.11: Processo de deteção do UODK [98].	42
Figura 6.1: Mapas das zonas e ruas onde foram aplicados os inquéritos.	45
Figura 6.2: Categorias de resíduos consideradas para a avaliação do índice de incómodo.	47
Figura 6.3: Localizações avaliadas quanto ao incómodo da presença de resíduos.	47
Figura 7.1: Caracterização do perfil dos inquiridos.	57
Figura 7.2: Distribuição das avaliações do nível de limpeza da cidade do Porto pelos inquiridos, de acordo com o género.	58
Figura 7.3: Distribuição das avaliações do nível de limpeza da cidade do Porto pelos inquiridos, de acordo com a faixa etária.	59
Figura 7.4: Distribuição das avaliações do nível de limpeza da cidade do Porto, de acordo com a forma de frequentar a cidade.	60
Figura 7.5: Distribuição percentual das avaliações do nível de limpeza global da cidade do Porto.	61
Figura 7.6: Temas mais referidos nos comentários e sugestões dos inquiridos.	61
Figura 7.7: Médias do nível de limpeza atribuídas a cada zona, segundo a perceção da população, em comparação com a média global.	64
Figura 7.8: Resultados (valores médios) do nível de limpeza atribuído a cada rua, segundo a perceção da população e comparação com a média global.	65
Figura 7.9: Mapa com a avaliação da limpeza das ruas de acordo com a perceção do público, obtida para as ruas da Baixa.	67

Figura 7.10: Mapa com a avaliação da limpeza das ruas de acordo com a percepção do público, obtida para as ruas da Ribeira.	68
Figura 7.11: Mapa com a avaliação da limpeza das ruas de acordo com a percepção do público, obtida para as ruas da Boavista.	69
Figura 7.12: Mapa com a avaliação da limpeza das ruas de acordo com a percepção do público, obtida para as ruas da Foz.	69
Figura 7.13: Distribuição das avaliações por categoria de resíduos.	70
Figura 7.14: Distribuição das avaliações por localização onde os resíduos se podem encontrar.	72
Figura 7.15: Comparação das médias obtidas para as diferentes categorias de resíduos, entre 2019 e 2026.	74
Figura 7.16: Comparação das ponderações de localização de 2019 e 2026.	75
Figura 7.17: Índices de Limpeza obtidos para o conjunto de ruas em análise, com as ponderações e índices de incómodo de 2019 e de 2026.	76
Figura 7.18: Resultados do Índice de Limpeza da aplicação do CCI, CEI, IS, IMSP e IL de 2019 e de 2026.	85
Figura 7.19: Resultados da aplicação do CEI aos dados recolhidos em 2019.	86
Figura 7.20: Resultados da aplicação do IMSP aos dados recolhidos em 2019.	88
Figura 7.21: Resultados da aplicação do IS aos dados recolhidos em 2019.	89
Figura 7.22: Resultados da aplicação do IL aos dados recolhidos em 2019.	91
Figura 7.23: Resultados da aplicação da metodologia de Genebra aos dados recolhidos em 2019.	93
Figura H.1: Estrutura dos inquéritos de rua (1).	133
Figura H.2: Estrutura dos inquéritos de rua (2).	134
Figura H.3: Estrutura dos inquéritos de rua (3).	135
Figura H.4: Estrutura dos inquéritos de rua (4).	136
Figura H.5: Estrutura dos inquéritos de rua (5).	137
Figura I.1: Estrutura dos inquéritos online (1).	138
Figura I.2: Estrutura dos inquéritos online (2).	139
Figura I.3: Estrutura dos inquéritos online (3).	140
Figura I.4: Estrutura dos inquéritos online (4).	141
Figura I.5: Estrutura dos inquéritos online (5).	142
Figura I.6: Estrutura dos inquéritos online (6).	143
Figura I.7: Estrutura dos inquéritos online (7).	144
Figura I.8: Estrutura dos inquéritos online (8).	145
Figura I.9: Estrutura dos inquéritos online (9).	146
Figura S.1: Contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do CEI. .	162
Figura S.2: Contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do IMSP.	163
Figura S.3: Contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do IS.	164
Figura S.4: Contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do CCI. .	165

Índice de Tabelas

Tabela 5.1: Definição do grau de limpeza, de acordo com a metodologia da Keep Britain Tidy [47]	17
Tabela 5.2: Definição do Clean Environmental Index, de acordo com o método utilizado em Qazvin [27]	19
Tabela 5.3: Classificação do Índice de Sujidade, de acordo com a metodologia utilizada em Granada [55]	22
Tabela 5.4: Classificação do Índice de Limpeza, de acordo com a metodologia criada para o Porto [32]	26
Tabela 5.5: Classificação do Índice de Limpeza, de acordo com o método testado em Vancouver, Canadá [58].....	28
Tabela 5.6: Ponderação associada a cada categoria de resíduo, de acordo com a CortexIA [92].....	36
Tabela 5.7: Tabela-resumo das metodologias analisadas no Estado da Arte.....	43
Tabela 7.1: Resultados dos índices de incómodo atribuídos a cada categoria/situação selecionada	71
Tabela 7.2: Resultados das ponderações relativas à localização	73
Tabela 7.3: Categorias de resíduos equivalentes entre os inquéritos de 2019 e os de 2026.....	73
Tabela 7.4: Índices de incómodo ajustados.....	76
Tabela 7.5: Média, valores máximos e mínimos das classificações atribuídas segundo as metodologias CCI, CEI, IMSP, IS, IL 2019 e IL 2026.....	84
Tabela 7.6: Tabela-resumo das características de cada uma das metodologias ..	95
Tabela 8.1: Enquadramento do trabalho nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	100
Tabela B.1: Coeficiente atribuído às diferentes categorias de resíduos, de acordo com o método de Qazvin [27]	118
Tabela C.1: Unidades a serem consideradas para cada tipologia de resíduo, de acordo com a metodologia da AVPU [52]	119
Tabela C.2: Coeficiente de ponderação para os diferentes tipos de sujidade, de acordo com a metodologia da AVPU [52]	120
Tabela C.3: Descrição das diferentes tipologias de locais, de acordo com a metodologia da AVPU [52]	121
Tabela D.1: Parâmetros de determinação da largura equivalente (E), de acordo com método utilizado em Granada [41]	122
Tabela D.2: Parâmetros de determinação do Fator de Correção (λ), de acordo com o método utilizado em Granada [41].....	123
Tabela D.3: Classificação de resíduos e pontuação atribuída, de acordo com a metodologia utilizada em Granada [41].....	124

Tabela E.1: Ponderações (Px) relativas à localização dos resíduos, baseadas nos inquéritos realizados no Porto, em 2019 [32].....	125
Tabela E.2: Fator de normalização do tamanho, específico para cada categoria i e para cada dimensão j [32]	125
Tabela E.3: Valor máximo e mínimo e ajuste linear para cada categoria de resíduo [32]	126
Tabela E.4: Índice de incómodo relativo à tipologia de resíduo (wi), determinado com base nos resultados dos inquéritos realizados [32]	126
Tabela F.1: Critérios de avaliação da folhagem e flores	127
Tabela F.2: Critérios de avaliação das beatas de cigarro.....	127
Tabela F.3: Critérios de avaliação da pastilha elástica.....	128
Tabela F.4: Critérios de avaliação da taxa de enchimento dos contentores	128
Tabela F.5: Critérios de avaliação da publicidade ilegal.....	128
Tabela F.6: Critérios de avaliação do papel, cartão e plásticos	129
Tabela F.7: Critérios de avaliação das pedras, gravilha ou areia	129
Tabela F.8: Critérios de avaliação das garrafas, latas e outros recipientes	129
Tabela F.9: Critérios de avaliação de resíduos ilegais	130
Tabela F.10: Critérios de avaliação de tags e graffitis	130
Tabela F.11: Critérios de avaliação da limpeza dos contentores.....	130
Tabela F.12: Critérios de avaliação dos excrementos	131
Tabela F.13: Critérios de avaliação de fragmentos de vidro e seringas	131
Tabela G.1: Ruas consideradas no planeamento dos inquéritos de rua	132
Tabela J.1: Processo de determinação de equivalência entre as categorias definidas em 2019 e as definidas em 2026.....	147
Tabela K.1: Ruas selecionadas para a aplicação da metodologia criada para o Porto	148
Tabela L.1: Correspondência das categorias dos dados (a negrito) e as categorias do CEI	149
Tabela L.2: Correspondência das categorias dos dados (a negrito) e as categorias do IMSP	150
Tabela L.3: Correspondência das categorias dos dados (a negrito) e as categorias do IS	151
Tabela L.4: Correspondência das categorias dos dados (a negrito) e as categorias do CCI	152
Tabela M.1: Avaliação do nível de limpeza global da cidade do Porto, obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online	153
Tabela N.1: Avaliação do nível da limpeza da Zona da Baixa , obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online	153
Tabela N.2: Avaliação do nível da limpeza da Zona da Ribeira , obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online	153

Tabela N.3: Avaliação do nível da limpeza da Zona da Boavista , obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online	153
Tabela N.4: Avaliação do nível da limpeza da Zona da Foz , obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online	154
Tabela O.1: Avaliação do nível de limpeza das ruas da Cidade do Porto, obtida através dos inquéritos presenciais	155
Tabela P.1: Distribuição das avaliações por categoria de resíduos	156
Tabela P.2: Distribuição das avaliações por tipo de localização dos resíduos	157
Tabela Q.1: Valores médios de unidades de resíduos por categoria em cada rua, normalizados por 100 m ²	158
Tabela R.1: Valores do Clean Environmental Index obtidos para cada rua	159
Tabela R.2: Valores do IMSP obtidos para cada rua	159
Tabela R.3: Valores do IS obtidos para cada rua	160
Tabela R.4: Valores do IL obtidos para cada rua	160
Tabela R.5: Valores do CCI obtidos para cada rua	161

Notação

Clean Environmental Index (CEI)

CEI	Clean Environmental Index - índice de limpeza ambiental
W_i	Coeficiente de ponderação atribuído a cada categoria de resíduo i , baseado no seu potencial de contaminação ambiental
N_i	Quantidade (número de unidades) de cada tipo de resíduo i observado na área amostrada
Área	Área da superfície inspecionada (m^2)
K	Coeficiente constante igual a 20

Indicador Médio de Sujidade (IMS) e Indicador Médio de Sujidade Ponderado (IMSP)

IMS	Indicador Médio de Sujidade - quantidade de resíduos normalizada para $100 m^2$
$IMSP$	Indicador Médio de Sujidade Ponderado - IMS corrigido pelo impacto subjetivo de cada tipo de sujidade
N	Número total de resíduos observados na superfície inspecionada
N_i	Quantidade de resíduos do tipo i observados na superfície inspecionada
λ_i	Coeficiente de ponderação associado ao tipo de sujidade i (sem coeficiente para sujidade de sensibilidade média)
Área do	Área da superfície inspecionada (m^2)

Local

Índice de Sujidade (IS)

IS	Índice de Sujidade - utilizado na metodologia de Granada
λ	Fator de correção que reflete circunstâncias específicas do local
C	Quantidade total ponderada de resíduos observados
n	Fator relativo a possíveis circunstâncias extraordinárias em curso
S	Área de observação (m^2)
L	Comprimento do troço inspecionado (m)
E	Largura equivalente (m)

Índice de Limpeza (IL)

IL	Índice de Limpeza - metodologia desenvolvida para a cidade do Porto
PG	Fator relativo ao passeio/guia
PA	Fator relativo às placas ajardinadas
CF	Fator relativo às caldeiras/floreiras
BL	Fator relativo às bocas de lobo
P	Fator relativo às papeleiras
P_{PG}	Ponderação associada ao fator passeio/guia (PG)
P_{PA}	Ponderação associada ao fator placas ajardinadas (PA)

P_{CF}	Ponderação associada ao fator caldeiras/floreiras (CF)
P_{BL}	Ponderação associada ao fator bocas de lobo (BL)
P_P	Ponderação associada ao fator papelarias (P)
R_{SI}	Quantidade de resíduos normalizada para a menor dimensão existente dentro de cada categoria, numa área amostrada
r_{ij}	Número de unidades da categoria de resíduo i com dimensão j
p_{ij}	Fator de normalização do tamanho, específico para cada categoria i e dimensão j
R_I	Quantidade de resíduos por 100 m ²
I_i	Sub-índice de limpeza da categoria de resíduo i (escala 0–100)
w_i	Índice de incómodo relativo à tipologia de resíduo i, determinado com base em inquéritos à população
A	Área amostrada (m ²)
$N_{BL\ total}$	Número total de bocas de lobo por 100 m ²
N_{BLST}	Número total de bocas de lobo na área de amostragem A
$N_{BL\ limpas}$	Número de bocas de lobo sem resíduos por 100 m ²
N_{BLSR}	Número de bocas de lobo sem resíduos na área de amostragem A
Clean City Index (CCI)	
CCI	<i>Clean City Index</i> - índice de limpeza urbana desenvolvido pela cidade de Zurique (escala 0–5)
<i>Grau de sujidade</i>	Nível de sujidade observado, atribuído com base em critérios visuais padronizados
<i>Gravidade</i>	Peso relativo atribuído à categoria de resíduo observada

Glossário de Siglas e Acrónimos

ASIC	Associação Suíça de Infraestruturas Municipais
AVPU	<i>Association des Villes pour la Propreté Urbaine</i> (Associação das Cidades para a Limpeza Urbana)
BL	Bocas de Lobo (fator no Índice de Limpeza do Porto)
CCI	<i>Clean City Index</i> (Índice de Limpeza Urbana desenvolvido pela cidade de Zurique)
CEI	<i>Clean Environmental Index</i> (Índice Ambiental de Limpeza, desenvolvido em Qazvin, Irão)
CF	Caldeiras/Floreiras (fator no Índice de Limpeza do Porto)
CortexIA	Empresa suíça especializada em inteligência artificial e visão computacional aplicadas à gestão da limpeza urbana
DEFRA	<i>Department for Environment, Food & Rural Affairs</i> (Ministério do Ambiente britânico)
FOEN	<i>Federal Office for the Environment</i> (Agência Federal Suíça para o Ambiente)
IA	Inteligência Artificial
IGSU	Interessengemeinschaft für eine Saubere Umwelt (Grupo de Interesse por um Mundo Limpo)
IL	Índice de Limpeza (metodologia desenvolvida para a cidade do Porto)
IMS	Indicador Médio de Sujidade
IMSP	Indicador Médio de Sujidade Ponderado
IOL	Indicadores Objetivos de Limpeza (metodologia da AVPU)
IS	Índice de Sujidade (metodologia utilizada em Granada, Espanha)
LEQ	Local Environmental Quality (Qualidade Ambiental Local)
LEQSE	<i>Local Environmental Quality Survey of England</i> (Inquérito de Qualidade Ambiental Local de Inglaterra)
LER	Lista Europeia de Resíduos
LIPOR	Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto
OFU	Objetos Fora de Uso
PA	Placas Ajardinadas (fator no Índice de Limpeza do Porto)
PAP	Recolha Porta-a-Porta
PG	Passeio/Guia (fator no Índice de Limpeza do Porto)
PP	Papeleiras (fator no Índice de Limpeza do Porto)
RI	Quantidade de Resíduos por 100 m ²
RSI	Quantidade de Resíduos normalizada por dimensão, numa área amostrada
UODK	<i>Urban Object Detection Kit</i> (sistema de deteção de resíduos urbanos baseado em IA, testado em Amsterdão)

1.Introdução

Hoje, mais de metade da população global reside em cidades, e prevê-se que, até 2050, cerca de sete em cada dez pessoas em todo o mundo vivam em áreas urbanas [1]. No entanto, esta rápida urbanização, aliada ao crescimento populacional e ao desenvolvimento económico, implica um consumo intensivo de recursos naturais, como a água, energia e outros bens, originando impactes ambientais [2], como a poluição atmosférica, hídrica e dos solos e a produção excessiva e gestão inadequada de resíduos sólidos [3].

1.1. Resíduos Urbanos

Um dos aspetos afetados por estes fenómenos é o nível de limpeza urbana da cidade, que depende de forma direta da quantidade de resíduos existentes no espaço público.

Estes resíduos, de origem natural ou resultantes de atividades humanas, surgem sobretudo devido ao seu incorreto descarte por parte dos cidadãos, sendo de forma corrente designados por *litter* em inglês e *lixo* em português [4]. A sua composição é bastante variada, predominando pequenos objetos [5], como pontas de cigarro, papéis, plásticos, lenços, garrafas e embalagens descartáveis [6]. No entanto, incluem também resíduos orgânicos, como restos de comida, dejetos de animais e folhas. É frequente ainda considerar-se como parte do problema de limpeza urbana a deposição ilegal de objetos, a prática de *graffiti* e a afixação não autorizada de folhetos, uma vez que também contribuem para a degradação e desordem do espaço público [7].

A presença de resíduos no meio urbano não só provoca impactes negativos na qualidade visual das cidades, originando cenários pouco agradáveis, como também pode prejudicar a sua economia. Este problema manifesta-se, por exemplo, na redução da sua atratividade turística [8,9], na desvalorização de habitações e propriedades [10] e no aumento das despesas associadas à limpeza urbana, incluindo o investimento em equipamentos e tecnologias mais modernas [11]. A título de exemplo, de acordo com o relatório de 2021 da Associação Limpeza Urbana (ALU) “A Importância e Impacte do Setor da Limpeza Urbana em Portugal”, estima-se que as atividades neste setor, em Portugal, representem um encargo de cerca de 30 euros por habitante e ano.

Do ponto de vista da saúde pública, os resíduos urbanos constituem um risco relevante. Resíduos alimentares podem contribuir para o aumento de pragas, insetos e animais errantes nas cidades [11]. Por sua vez, o descarte inadequado de material de consumo de drogas constitui igualmente um problema de saúde

pública, na medida em que expõe a população geral, incluindo crianças, ao risco de lesões por picada de agulha e à transmissão de agentes patogénicos de transmissão sanguínea, como o VIH, o VHB e o VHC [12, 13].

Paralelamente, resíduos de origem biológica, como lenços de papel contaminados ou dejetos de animais não recolhidos, representam um risco na propagação de doenças infecciosas [11,14]. Além disso, a presença de vidro nas ruas está associada a uma elevada incidência de ferimentos, especialmente entre crianças, devido ao contacto com materiais [15].

Do ponto de vista ambiental, os resíduos mais leves podem ser facilmente transportados pelo vento ou pela água da chuva, acabando por chegar a sarjetas, ribeiros, rios e até ao oceano [16], contribuindo não só para a poluição dos recursos hídricos, mas também provocando efeitos negativos nos organismos que entram em contacto com esses contaminantes [17]. Além disso, a atuação desses fatores, juntamente com a radiação solar, o tráfego rodoviário e a própria atividade humana e animal, pode provocar a fragmentação dos resíduos plásticos em partículas cada vez menores, dando origem aos microplásticos [18], que, por sua vez, acabam por se dispersar por diversos ecossistemas, afetando tanto a vida terrestre como marinha e podendo entrar na cadeia alimentar humana [19].

As beatas de cigarro representam também um dos exemplos mais relevantes de *littering*, sendo o tipo de *littering* mais comum, especialmente em ambientes urbanos [10]. Quando depositadas no solo ou abandonadas no espaço público, as beatas libertam diversas substâncias tóxicas, como nicotina e metais pesados, que podem infiltrar-se no ambiente [20]. Estima-se que a nicotina contida numa única beata seja suficiente para contaminar até dez litros de água [21], o que constitui um impacto ambiental muito severo nos ambientes aquáticos.

Acresce que as próprias atividades de limpeza urbana também implicam um consumo considerável de energia e, sobretudo, de água, que pode ainda sofrer contaminação durante as operações de lavagem e ser descarregada no ambiente sem o tratamento adequado. Este impacto torna-se evidente quando se analisam os equipamentos tipicamente utilizados nestas atividades: por exemplo, segundo a CortexIA (2020), uma varredora consome em média cerca de 400 litros por dia, enquanto as lavadoras de pavimentos dispõem de depósitos entre 1000 e 7000 litros, por vezes enchidos várias vezes ao dia, traduzindo-se num gasto de água considerável que deve ser otimizado.

Além disso, estas atividades estão associadas à emissão de ruído, partículas e dióxido de carbono (CO₂), resultantes sobretudo da utilização frequente de veículos motorizados e equipamentos mecânicos [23]. A título exemplificativo, segundo

dados do *Federal Office for the Environment* (FOEN), a combustão de um litro de gásóleo liberta cerca de 2,61 kg de CO₂ para a atmosfera. Deste modo, uma varredora que consuma 1,7 litros por hora e funcione durante 700 horas por ano pode emitir aproximadamente 11 toneladas de CO₂ anualmente, constituindo um problema relevante de poluição atmosférica. Contudo, já se observam melhorias neste âmbito, uma vez que têm sido adotadas medidas para reduzir estes impactes, através do aumento da eletrificação da frota e da diminuição do uso de sopradores, de forma a minimizar a dispersão de partículas, como no caso da Porto Ambiente.

Os resíduos urbanos também afetam as infraestruturas das cidades. A sua acumulação nos sistemas de drenagem, como sarjetas e esgotos pluviais, pode provocar obstruções e aumentar o risco de inundações urbanas, sobretudo durante períodos de chuva intensa [24].

O ato de deitar resíduos ao chão em espaços públicos resulta de uma combinação de fatores psicológicos, sociais, culturais, económicos e legais. Entre os fatores psicológicos, emoções como a raiva e o stress podem aumentar a probabilidade de as pessoas adotarem este comportamento [25]. Áreas com condições sociais distintas tendem também a apresentar níveis diferentes de *littering* [26], uma vez que o nível de literacia ambiental, bem como a forma como as pessoas valorizam o espaço público e compreendem as consequências da poluição, podem contribuir para reduzir este tipo de comportamento [20].

É também frequente a ideia incorreta de que a responsabilidade pela limpeza pertence apenas às autoridades municipais, levando muitas pessoas a não se sentirem responsáveis pela manutenção dos espaços públicos. Este efeito pode ser reforçado pela normalização do comportamento: quando os resíduos são visíveis no espaço público, tende a criar-se a ideia de que deitar resíduos ao chão é algo comum e socialmente aceite [5].

Este fenómeno não se distribui de forma homogénea pela cidade, concentrando-se sobretudo em locais com maior intensidade de atividade humana, como as zonas comerciais. Diversos estudos indicam que estas áreas registam níveis mais elevados de resíduos, enquanto as zonas residenciais apresentam, em geral, quantidades inferiores, predominando sobretudo dejetos de animais, devido à menor circulação constante de pessoas e à presença de animais de companhia nessas áreas [20]. Por exemplo, verifica-se uma maior acumulação de resíduos nas imediações de supermercados e quiosques, associada à venda e consumo de produtos como bebidas, cigarros e *snacks* [28]. De forma semelhante, junto a caixas de multibanco e agências bancárias é frequente encontrar resíduos de papel, como recibos e talões [26]. Também em locais como cruzamentos e passadeiras com semáforos se observa uma maior presença de resíduos [11].

Desta forma, para além da distribuição espacial da quantidade de resíduos, existe igualmente uma variação na sua composição consoante o tipo de área urbana.

A variação temporal, como diferenças sazonais ou fins de semana, também influencia a quantidade e tipologia dos resíduos descartados. É claro que os períodos em que os cidadãos estão mais presentes em ambientes urbanos ou espaços públicos tendem a apresentar uma maior probabilidade de ocorrência de *littering* [20]. Desta forma, existe um aumento da quantidade de resíduos ao fim de semana e durante a época balnear nas praias [26], bem como uma redução da sua ocorrência em ambientes urbanos, especialmente em zonas comerciais, durante os períodos de férias [9].

A estrutura urbana e o projeto das ruas também influenciam a quantidade de resíduos nas cidades [11], uma vez que o acesso dos serviços de limpeza é mais difícil em certos elementos urbanos, como zonas ajardinadas, caldeiras de árvores, canais de escoamento de água e estações de transporte, o que dificulta a remoção dos resíduos e contribui para a sua acumulação ao longo do tempo.

Para enfrentar o problema do *littering*, diversos estudos apontam a educação ambiental como uma das estratégias mais eficazes [26]. Além disso, as empresas também desempenham um papel importante, podendo contribuir por meio da melhoria do *design* das embalagens, da inclusão de mensagens *anti-littering* nos produtos e da produção de garrafas e sacos reutilizáveis [29]. A redução da produção de materiais/embalagens de utilização única também constitui uma medida preventiva eficaz [11]. Paralelamente, estratégias focadas no comportamento das pessoas, como campanhas publicitárias e pequenas estratégias de incentivo (*nudges*), mostraram-se efetivas, podendo reduzir o descarte inadequado de resíduos entre 25% e 50% [23].

Outra solução muitas vezes referida corresponde às leis *anti-littering*. De acordo com a ALU (2021), o atual quadro legal europeu e nacional relativo à limpeza urbana apresenta uma menor densidade regulatória quando comparado, por exemplo, com o setor da gestão de resíduos urbanos. O único diploma especificamente direcionado para a limpeza urbana é a Lei n.º 88/2019, de 3 de setembro, na sua redação atual, que tem como objetivo a redução do impacto ambiental das pontas de cigarros e charutos.

1.2. Apresentação do Problema

Dentro deste quadro legal, a legislação vigente concentra-se essencialmente na atribuição de responsabilidades às autarquias, nomeadamente através da Lei n.º 75/2013, de 12 de setembro; da Lei n.º 50/2019, de 16 de agosto; e do Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto, todos na sua redação atual [10]. Desta forma, em

resposta ao artigo 62.º do Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto, na sua redação atual, a Porto Ambiente elaborou o Regulamento n.º 26/2019 - “Regulamento de Serviço de Gestão de Resíduos Urbanos e Limpeza do Espaço Público”, publicado no Diário da República, 2.ª série, N.º 4, de 7 de janeiro de 2019, que define as regras para a gestão de resíduos urbanos e limpeza do espaço público no Município do Porto, pela Porto Ambiente, que é a Entidade Gestora responsável por estes serviços.

Este regulamento estabelece que os utentes devem zelar pela limpeza, higiene e conservação do espaço público e dos equipamentos de deposição de resíduos urbanos. Consideram-se infrações, sujeitas a coima, ações como depositar resíduos fora dos contentores, sujar ou danificar o mobiliário urbano, fazer *graffitis* não autorizados, fornecer qualquer tipo de alimento a animais no espaço público, não recolher dejetos de animais ou abandonar resíduos de construção e demolição (RCD) na via pública. As infrações são classificadas por gravidade (leve, grave ou muito grave) e têm como principal função alertar os utentes para a necessidade de cumprirem as regras da deposição de resíduos, contribuindo para a manutenção de espaços públicos limpos e seguros.

Para tal, a Entidade Gestora deve garantir a disponibilização de equipamentos de deposição de resíduos urbanos em quantidade adequada, como papeleiras, contentores para resíduos indiferenciados e ecopontos para recolha seletiva, facilitando o descarte correto e reduzindo a acumulação de resíduos em espaços públicos [9]. A Entidade Gestora deve, ainda, garantir uma frequência mínima de recolha que salvguarde a saúde pública, o ambiente e a qualidade de vida dos cidadãos.

A localização destes equipamentos deve ser cuidadosamente planeada, considerando não apenas as variações do fluxo de pessoas ao longo do dia, mas também as áreas onde se concentra maior quantidade de resíduos (*hotspots*) e os tipos de resíduos mais comuns em cada local. A eficácia destas medidas depende ainda do aspeto e visibilidade dos contentores: equipamentos bem posicionados, facilmente visíveis e com cores ou sinalização diferenciada têm maior probabilidade de serem utilizados [23].

Mesmo com um elevado número de medidas, é pouco provável que o *littering* desapareça por completo, uma vez que este fenómeno está diretamente relacionado com a educação ambiental, a formação e a cultura da população.

Desta forma, torna-se igualmente essencial assegurar um sistema de limpeza urbana eficiente, baseado numa metodologia de gestão eficaz ao nível do planeamento e da execução, com otimização dos recursos humanos e materiais

disponíveis. Este sistema deve procurar garantir a prestação do serviço com o menor custo possível, reduzindo simultaneamente o impacto ambiental e os riscos para a saúde pública.

No caso da cidade do Porto, estas ações incluem a varredura e lavagem de toda a faixa de circulação de viaturas automóveis, zonas de estacionamento, passeios, bermas, caminhos e passagens pedonais, ciclovias, passadiços e demais espaços públicos; a limpeza de sarjetas e outros elementos de drenagem de águas pluviais; o esvaziamento, instalação, manutenção e substituição de papeleiras e outros contentores com igual finalidade; a extirpação de vegetação por meios mecânicos, manuais e/ou químicos; a limpeza do mobiliário urbano, equipamentos municipais e imóveis visíveis do espaço público, incluindo os que sejam alvo de afixação de cartazes, publicidade ou inscrições com *graffitis*; entre outros [30]. Algumas destas ações, a serem realizadas pela Porto Ambiente, encontram-se representadas na Figura 1.1.



Figura 1.1: Ações de limpeza do espaço público realizadas pela Porto Ambiente [31].

Para a execução destes serviços, é igualmente essencial definir, de forma rigorosa, o número de profissionais envolvidos, os horários e a duração de cada atividade, a frequência de intervenção por área e os percursos a realizar, entre outros aspetos operacionais associados à prestação contínua do serviço.

No município do Porto, a Porto Ambiente refere que a gestão das operações de limpeza urbana tem sido, desde a sua implementação inicial, realizada de forma

empírica, baseada em projetos e num processo contínuo de tentativa e erro. No entanto, nos últimos anos, tem sido feito um esforço para otimizar esta abordagem, procurando desenvolver soluções técnicas que permitam melhorá-la com base numa caracterização mais estruturada do território.

Para melhor adequar as práticas ao tipo de zona, no Porto, as ruas são classificadas em diferentes categorias, nomeadamente: zonas comerciais, residenciais, escolares, hospitalares, áreas associadas a transportes públicos (como estações de comboio, metro e autocarro), zonas marítimas ou ribeirinhas (próximas do mar ou do rio) e áreas turísticas [32], conforme é possível ver pela Figura 1.2.

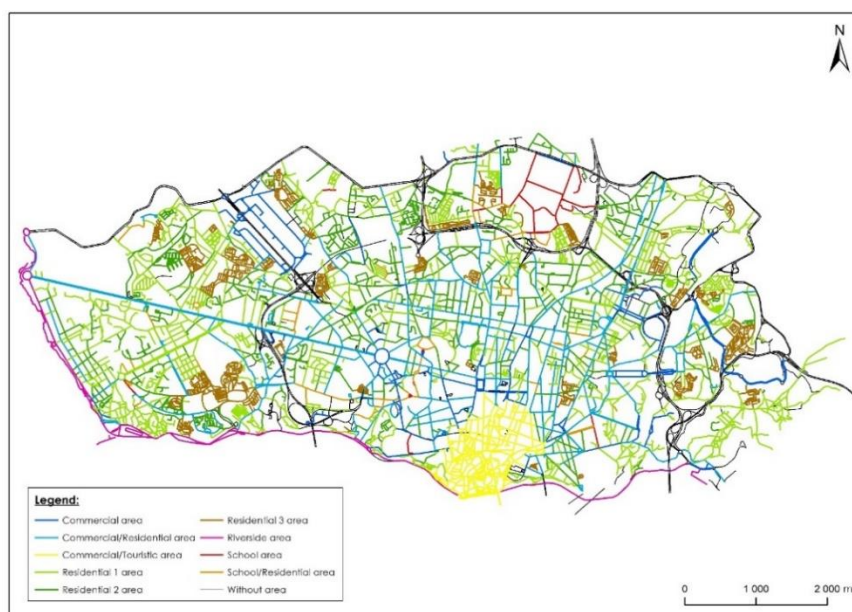


Figura 1.2: Divisão da cidade em 9 tipologias diferentes [32].

Para além da tipologia, são também considerados diversos fatores operacionais, como o sentido de circulação das viaturas, a existência e o tipo de estacionamento, a configuração dos passeios (unilaterais ou bilaterais, com ou sem obstáculos), a queda de folhas e o tipo de pavimento.

Atualmente, a Limpeza Urbana conta com mais de 300 trabalhadores dedicados às suas operações, sendo a frequência das ações de limpeza ajustada às necessidades, podendo ocorrer de forma bi-diária, tri-diária, semanal, bissemanal ou trissemanal [33]. A limpeza de sarjetas e sumidouros é reforçada antes da época das chuvas, com o objetivo de prevenir obstruções e assegurar o adequado escoamento das águas pluviais [34]. Por sua vez, a limpeza de fachadas é, de modo geral, realizada mediante solicitação dos proprietários dos edifícios [35].

Nos últimos anos, a Porto Ambiente também tem vindo a reforçar de forma significativa a sua capacidade operacional, através da aquisição de novas viaturas e de equipamentos mais eficientes e sustentáveis [36]. Só em 2023, foram investidos cerca de seis milhões de euros neste setor, sendo que aproximadamente cinco milhões foram aplicados em soluções maioritariamente elétricas de apoio à limpeza do espaço público, incluindo varredoras e lavadoras de pavimentos [36].

Paralelamente, recorre-se à água para reutilização (ApR), produzida na ETAR do Freixo pela Águas e Energia do Porto (AEP), sendo esta utilizada na lavagem de arruamentos, de equipamentos de deposição e de viaturas [37]. Estima-se que esta solução permita a produção diária de cerca de 32 600 litros de água reutilizada, o que corresponde a uma poupança de aproximadamente 6 520 garrações de água potável, preservando-a para consumo humano [37].

No último ano de 2025, a quantidade total de resíduos de limpeza urbana recolhida pela Porto Ambiente no município do Porto atingiu 3 206 700 kg, sendo que o destino destes resíduos varia consoante o tipo de recolha efetuada no âmbito da Limpeza Urbana, nomeadamente entre varredura manual, varredura mecânica e recolha em papeleiras.

Atualmente, de acordo com o transmitido pela empresa, os resíduos provenientes das papeleiras são tratados como indiferenciados e encaminhados para a LIPOR, onde são sujeitos a valorização energética. Paralelamente, encontra-se em desenvolvimento um projeto, em parceria com a Eletrão, com o objetivo de caracterizar o potencial de valorização destes resíduos, atualmente estimado entre 35% e 40%. No futuro, esta informação deverá conduzir à implementação de soluções de deposição/recolha mais eficientes.

Constituem exceção os resíduos de varredura, recolhidos pelas varredoras mecânicas, que são encaminhados para um operador privado. Por conterem areias, pedras e outros materiais inertes, classificados na Lista Europeia de Resíduos sob o código LER 20, a LIPOR não os aceita por razões operacionais, o que implica custos acrescidos para a Porto Ambiente, sendo considerados resíduos indiferenciados e depositados em aterro.

Relativamente à varredura manual, os resíduos são, em regra, acondicionados em sacos devidamente identificados, classificados como indiferenciados e depositados em contentores na via pública. Em alternativa, e por forma a não sobrecarregar o sistema de deposição de proximidade, podem ser deixados no local, sendo a sua localização registada pelo colaborador através de uma aplicação móvel para posterior recolha. Estes resíduos são depois encaminhados para a LIPOR, onde são igualmente sujeitos a valorização energética. Além disso, em

períodos de elevada queda de folhas, estes resíduos podem apresentar uma percentagem significativa de matéria orgânica, o que abre a possibilidade de serem encaminhados para processos de valorização orgânica na LIPOR.

1.3. Importância do Controlo de Gestão

Conforme dito anteriormente, no município do Porto, a gestão das operações de limpeza urbana tem sido, desde a sua implementação inicial, realizada de forma empírica, baseada em projetos e num processo contínuo de tentativa e erro. Este tipo de abordagem, embora comum em diversos contextos urbanos, não corresponde necessariamente ao modelo mais eficiente de gestão dos serviços.

De facto, já existem diversos estudos que relatam que a inexistência de uma gestão otimizada conduz a um aumento desnecessário dos custos operacionais, associado a circuitos de recolha e limpeza pouco eficientes, ao consumo excessivo de recursos, como combustível e mão de obra, e a uma utilização pouco racional da frota disponível [38, 39]. Para além disso, a dependência de abordagens pouco baseadas em dados pode limitar a capacidade de adaptação do sistema, dificultando o planeamento de intervenções atempadas e a melhoria contínua do serviço [40]. Em termos globais, estas limitações tendem a traduzir-se numa menor eficiência operacional e numa maior variabilidade da qualidade do serviço prestado entre diferentes zonas urbanas.

Acresce ainda que, em diversos contextos urbanos, a prestação de serviços de limpeza e gestão de resíduos é frequentemente assegurada através da contratação de empresas privadas [41]. Em Portugal, um exemplo destas empresas é a PreZero, que opera em vários municípios de norte a sul do país, assegurando serviços como a recolha de resíduos urbanos, a limpeza de espaços públicos e soluções associadas à gestão ambiental [42]. Neste contexto, torna-se relevante avaliar de forma sistemática o desempenho destes serviços, de modo a garantir que os níveis de eficiência, qualidade e cobertura operacional correspondem aos objetivos definidos pelos municípios e às necessidades das populações servidas.

Surge então a importância do controlo de gestão das atividades de limpeza. Este controlo já está relativamente bem estruturado para a área da gestão de resíduos urbanos: em Portugal, a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), assegura a regulação da qualidade de serviço prestado aos utilizadores pelas entidades gestoras, avaliando anualmente o desempenho dessas entidades e promovendo a melhoria dos níveis de serviço, de acordo com o disposto no artigo 10.º do Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto [43]. O seu sistema de avaliação de desempenho assenta em 12 indicadores de qualidade do serviço de resíduos urbanos, tendo em consideração fatores de contexto, como o perfil da entidade

gestora e/ou do sistema, sendo também explicitados os procedimentos de avaliação, através da definição de informação a obter, do cálculo de indicadores, da sua interpretação e análise comparativa, numa perspetiva de *benchmarking* (com valores de referência do regulador e de entidades gestoras similares) e da produção de um relatório de síntese [43].

Contudo, na área específica da limpeza urbana, não existe nada equivalente definido em Portugal. Não há indicadores nacionais, não há regulador, não há quadro de referência que permita a qualquer município saber se o serviço está a ser bem prestado ou não. É precisamente neste vazio que surgem os Índices de Limpeza Urbana, que medem objetivamente o grau de limpeza visível no espaço público, nomeadamente nas ruas, praças, passeios, com base na observação e classificação dos tipos de lixo presentes no chão.

A sua utilização permite substituir a subjetividade por dados reais, acompanhar a evolução ao longo do tempo e reportar resultados de forma estruturada e comparável [44], o que facilita a tomada de decisões: se a rua apresentar níveis de sujidade inaceitáveis, a intervenção deve ser imediata; e, caso o problema seja recorrente, o serviço de limpeza, nomeadamente a frequência das intervenções, pode ser ajustado para evitar novas ocorrências. Por outro lado, quando a rua se encontra limpa, a metodologia permite validar e quantificar a eficácia das operações de limpeza, fornecendo dados objetivos sobre a manutenção do espaço público e libertando recursos para outras atividades [45].

Atuar de forma mais direcionada tem também consequências diretas na eficiência operacional, como menos deslocações desnecessárias, menor consumo de recursos humanos e de equipamentos e uma redução das emissões associadas às próprias operações de limpeza, tornando o serviço não só mais eficaz, mas também mais sustentável [23]. Além disso, à medida que os dados se acumulam, surgem padrões, tendências de degradação e zonas recorrentemente problemáticas, que permitem planear com antecedência e responder com mais agilidade quando surgem situações imprevistas.

2. Apresentação da Empresa

A Empresa Municipal de Ambiente do Porto, E.M., S.A., também conhecida como Porto Ambiente, foi criada em fevereiro de 2017 e tem como principal missão, por delegação da autarquia, a gestão dos resíduos urbanos e a limpeza do espaço público, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e para a qualidade de vida na cidade.

No âmbito da gestão de resíduos urbanos, a Porto Ambiente disponibiliza diversos sistemas de recolha. O sistema de recolha de proximidade assenta na instalação de equipamentos na via pública, de acesso livre a todos os cidadãos, destinados à deposição de resíduos indiferenciados e à recolha seletiva de papel e cartão, vidro e embalagens de plástico e metal; nesta mesma modalidade, existe ainda recolha de resíduos orgânicos e verdes, com acesso condicionado. A empresa presta também o serviço de recolha porta a porta (PAP), dirigido tanto ao setor residencial como ao comercial e abrangendo as mesmas frações de resíduos, bem como um sistema de recolha a pedido, que consiste na recolha gratuita ao domicílio de objetos fora de uso (OFU), equipamentos e resíduos verdes. Nesta área, a Porto Ambiente dispõe ainda de dois ecocentros, o Ecocentro da Prelada e o Ecocentro das Antas, que complementam esta rede.

No que diz respeito à limpeza urbana, a empresa assegura diversos serviços, nomeadamente a lavagem de contentores, lavagem de ruas e passeios, recolha de papeleiras, limpeza de sarjetas e fachadas, controlo de vegetação infestante (deservagem), limpeza de praias, varredura manual e mecânica de ruas e passeios, bem como limpeza associada a eventos.

Para além das funções operacionais, a Porto Ambiente assume também um papel educativo e social, promovendo ações de sensibilização e formação ambiental para incentivar a prevenção da produção de resíduos, a sua correta separação e melhor gestão. Estas ações estão inteiramente ligadas à hierarquia de gestão de resíduos, na qual a sensibilização (associada à prevenção) ocupa o primeiro lugar, sendo por isso a dimensão mais importante de toda a intervenção.

Esta aposta concretiza-se nomeadamente através das oficinas de reutilização e do projeto EcoPorto, localizado no Ecocentro da Prelada e aberto a toda a cidade, que têm como missão dar uma segunda vida a objetos que de outro modo seriam descartados, através da reparação e doação de equipamentos elétricos e eletrónicos e mobiliário, contribuindo ativamente para a economia circular e gerando benefícios ambientais, económicos e sociais.

Por sua vez, os resíduos recolhidos pela Porto Ambiente são encaminhados para a LIPOR, Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto, entidade responsável pelo tratamento e valorização dos resíduos urbanos produzidos pelos municípios da sua área de intervenção: Porto, Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Póvoa de Varzim, Valongo, Vila do Conde e Vila Nova de Gaia.

Constituem exceção os resíduos de varredura, recolhidos pelas varredoras mecânicas, que são encaminhados para um operador privado. Por conterem areias, pedras e outros materiais inertes, classificados na Lista Europeia de Resíduos sob o código LER 20, a LIPOR não os aceita por razões operacionais, o que implica custos acrescidos para a Porto Ambiente.

No futuro, a adoção de sistemas de inteligência artificial poderá facilitar a caracterização destes resíduos de varredura, constituindo um apoio relevante na tomada de decisão e abrindo caminho a novas possibilidades, nomeadamente a eventual triagem e valorização desta fração.

3. Enquadramento do Projeto

A presença de resíduos no espaço urbano resulta sobretudo do descarte incorreto por parte dos cidadãos, estando associada a fatores comportamentais, sociais e urbanísticos diversos. As suas consequências são transversais: a nível ambiental, contribui para a poluição dos solos e dos recursos hídricos e para a formação de microplásticos; a nível de saúde pública, está associada à proliferação de pragas e ao risco de transmissão de doenças; e a nível económico, traduz-se em encargos acrescidos com a limpeza urbana e na redução da atratividade turística e imobiliária das cidades.

A gestão eficiente deste problema depende, em grande medida, da existência de indicadores objetivos que permitam não só acompanhar o estado de limpeza da cidade, mas sobretudo apoiar a tomada de decisão sobre a afetação de recursos, o planeamento de intervenções e a definição de prioridades operacionais. No Município do Porto, esta gestão é da responsabilidade da Porto Ambiente, que atualmente não dispõe de nenhum sistema sistemático de avaliação do nível de limpeza da cidade, recorrendo sobretudo à experiência das equipas no terreno e à gestão reativa de ocorrências.

O projeto que antecedeu este estudo, desenvolvido em parceria entre a Porto Ambiente e a FEUP, deu um primeiro passo nesse sentido, com o desenvolvimento de uma metodologia pioneira a nível nacional para a determinação de indicadores de limpeza urbana, concebida não só como ferramenta de monitorização técnica e operacional do serviço, mas também como forma de retirar a subjetividade inerente a esta avaliação. Apesar dos resultados promissores, a sua implementação operacional ainda não se concretizou.

Neste contexto, e reconhecendo as limitações associadas à dependência de observação manual e ao tempo exigido pela metodologia anteriormente desenvolvida, a Porto Ambiente identificou a oportunidade de analisar soluções de avaliação da limpeza urbana mais práticas e expeditas, que pudessem complementar o trabalho já realizado e facilitar a sua implementação operacional. Surgiu, assim, a oportunidade de uma parceria com a empresa CortexIA, estando prevista, ainda este ano, a implementação de uma nova metodologia baseada em inteligência artificial. Esta seria, inicialmente, a base de trabalho prevista para a presente dissertação. No entanto, o respetivo processo de implementação ainda não teve início, por motivos técnicos e operacionais, não tendo sido possível a sua aplicação no âmbito deste trabalho.

Por esta razão, a dissertação foi reorientada para a preparação e suporte à futura implementação desta solução, reunindo informação relevante para o que está para

vir. Mais concretamente, foi implementado um inquérito junto da população, com vista a avaliar o nível de limpeza da cidade do Porto e a determinar a sua perceção relativamente ao incómodo causado pelos diferentes tipos de resíduos e pelas localizações onde estes se podem encontrar, cujos resultados serviram de base à recalibração do Índice de Limpeza desenvolvido no projeto anterior com a FEUP e também servirão para futura implementação nos indicadores da CortexIA. Foi, ainda, realizado o levantamento e a avaliação comparativa de outras metodologias existentes de avaliação da limpeza urbana (manuais, baseadas em ciência cidadã e baseadas em inteligência artificial) aplicadas a dados de caracterização de resíduos recolhidos no Porto, de modo a permitir uma comparação direta entre abordagens, identificar eventuais lacunas e antecipar os requisitos necessários para a futura implementação da solução da CortexIA.

4. Objetivos do Trabalho

A presente dissertação tem como principais objetivos:

- O levantamento e análise de ferramentas disponíveis no mercado para a avaliação do desempenho dos serviços de limpeza urbana;
- A aplicação dessas ferramentas aos dados de caracterização e quantificação de resíduos fornecidos pela Porto Ambiente, permitindo comparar os resultados de diferentes metodologias com uma metodologia previamente desenvolvida em estreita colaboração entre a Porto Ambiente e a FEUP;
- A afinação de resultados referentes à percepção da população sobre a limpeza urbana e recalibração de modelos, através da realização de inquéritos *online* e presenciais, em particular:
 - Recolha de informação atualizada sobre a percepção da população relativamente aos diferentes tipos de resíduos e aos locais onde estes podem ser encontrados;
 - Recalibração das ponderações utilizadas na ferramenta/metodologia anteriormente desenvolvida;
 - Desenvolvimento de informação de suporte para a futura implementação de uma nova solução de avaliação/quantificação com base na recolha de imagens;
 - Avaliação da percepção dos cidadãos relativamente ao nível de limpeza urbana da cidade.

5. Estado da Arte

Neste capítulo serão apresentados alguns dos métodos utilizados para a contagem de resíduos e para a avaliação do nível de limpeza urbana de uma cidade, abrangendo desde metodologias manuais, metodologias que recorrem à ciência cidadã (*citizen science*) e, por fim, metodologias que recorrem à inteligência artificial.

5.1. Métodos Manuais

Os métodos manuais representam a abordagem mais tradicional e amplamente utilizada na avaliação da limpeza urbana. Baseiam-se, essencialmente, na observação direta e na inspeção física dos espaços públicos por parte de técnicos ou equipas especializadas, que aplicam critérios previamente definidos para classificar o nível de sujidade de cada área.

Embora sejam os métodos mais comuns, estes apresentam várias desvantagens, nomeadamente a subjetividade associada à classificação, a quantidade de recursos humanos necessários e o elevado tempo despendido a realizar a inspeção de grandes áreas urbanas.

5.1.1. Método desenvolvido pela *Keep Britain Tidy*

A *Keep Britain Tidy*, uma das principais organizações não governamentais do domínio ambiental independentes do Reino Unido, assenta em três pilares: eliminar os resíduos, acabar com o desperdício e melhorar os espaços públicos [46]. Para tal, trabalha com comunidades, escolas, empresas, autarquias e o governo, através de programas como o *Eco-Schools*, o *Green Flag Award* e o *Blue Flag/Seaside Awards*, e campanhas anuais como o *Great British Spring Clean* [46].

Desde 2001, a *Keep Britain Tidy* realizava anualmente, em nome do *DEFRA* (Ministério do Ambiente Britânico), o Inquérito de Qualidade Ambiental Local de Inglaterra, conhecido pela sigla *LEQSE* [47]. O principal objetivo deste inquérito era fornecer uma visão clara e objetiva do estado de limpeza do território inglês, visando produzir referências nacionais e regionais fiáveis para acompanhar tendências ao longo do tempo, fornecer informação útil ao governo central e local para melhorar a gestão do espaço público e identificar fatores sociais e económicos que influenciam a qualidade ambiental local [47].

De forma a garantir que os resultados fossem representativos de toda a Inglaterra, o inquérito utilizava como base geográfica as chamadas *Lower Super Output Areas*, ou *LSOA's*, correspondentes a pequenas unidades geográficas criadas pelo Instituto Nacional de Estatística Britânico (ONS) para fins estatísticos, desenhadas

de forma a ter uma dimensão populacional consistente, tipicamente entre 1000 e 3000 habitantes, ou entre 400 e 1200 agregados familiares [47]. Em Inglaterra existem cerca de 33 755 destas unidades, o que permite uma análise detalhada do território.

Assim, a cada ano, entre abril e março, eram avaliados 7200 locais em todo o território inglês, distribuídos por uma amostra de 45 autarquias, cinco por cada uma das nove regiões inglesas [47]. Os locais eram avaliados ao longo de todo o ano, de forma a contemplar as variações climáticas e sazonais. Dentro de cada autarquia, o número de *LSOA's* a avaliar era distribuído proporcionalmente e em cada uma destas eram avaliados oito locais: dois transectos (percurso em linha reta, de comprimento 50 m) em cada um de quatro pontos selecionados aleatoriamente através de tecnologia de cartografia, garantindo assim a validade estatística do processo [47].

O inquérito utilizava um sistema de classificação baseado na Lei de Proteção Ambiental de 1990 e no respetivo Código de Boas Práticas, avaliando sete indicadores principais de qualidade ambiental: resíduos, detritos (entendidos por sujidade acumulada nas vias), crescimento de ervas daninhas, manchas, *graffitis*, afixação ilegal de cartazes e queda recente de folhas e flores [47].

A classificação é feita através de uma escala de sete graus, quatro legalmente definidos e três intermédios, conforme descritos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Definição do grau de limpeza, de acordo com a metodologia da Keep Britain Tidy [47]

Grau	Descrição
A	Nenhum dos problemas presente
B+	Não formalmente definido
B	Predominantemente livre de resíduos e sujidades, com pequenas ocorrências
B-	Não formalmente definido
C	Problema generalizado, com algumas acumulações
C-	Não formalmente definido
D	Forte presença de resíduos e detritos

Neste método, um local é considerado abaixo do padrão aceitável quando o indicador avaliado é classificado com grau inferior a B, em conformidade com a legislação em vigor.

Após a recolha, os dados passavam por um rigoroso processo de garantia de qualidade antes de serem analisados [47]. A qualidade ambiental de cada área era determinada de duas formas complementares: avaliando o padrão global nos locais avaliados, convertendo os graus (de A a D) numa escala numérica

equivalente e calculando a média aritmética e através da percentagem de locais que ficam abaixo do padrão aceitável, ou seja, aqueles classificados com grau inferior a B, em conformidade com a legislação [47].

Eram realizados testes de hipóteses para examinar diferenças entre grupos de locais, com um nível de confiança de 95% como ponto crítico de significância estatística, ajustado para ter em conta os pesos da série, e sempre que possível era utilizado um nível de confiança de 99% [47].

O inquérito também recolhe informações sobre diversos aspetos que fornecem dados valiosos para a gestão, embora não estejam incluídos na definição do grau de limpeza, descritos no Anexo A.

Infelizmente, o *LEQSE* enquanto inquérito nacional anual e independente deixou praticamente de existir após 2014/15 [48]. O que existe atualmente em substituição são inquéritos *LEQ* realizados por contrato, a pedido de autarquias individuais.

A título de exemplo, a *Keep Britain Tidy* mede de forma independente os níveis de limpeza urbana em Camden três vezes por ano, determinando a percentagem de troços de rua analisados que não cumprem os níveis aceitáveis para cada critério de limpeza. O acesso a estes relatórios pode ser facilmente feito através do *site* do *London Borough of Camden* (2025).

5.1.2. Método testado em Qazvin, Irão

Na cidade de Qazvin, no Irão, foi também realizado um estudo pontual de avaliação do nível de limpeza urbana. Para tal, foram selecionados 20 locais distribuídos pelos diferentes usos do solo da cidade, nomeadamente zonas residenciais, comerciais, administrativas e recreativas (como parques), de forma a obter uma amostra representativa e espacialmente equilibrada [27].

A metodologia utilizada baseou-se num levantamento visual, em que os dados foram obtidos exclusivamente através de contagens no terreno. Em cada local, a área inspecionada abrangeu o passeio completo e uma faixa de 1 metro a partir da rua. Os resíduos observados foram classificados em 9 categorias: tabaco, plástico, borracha, tecido, papel e cartão, madeira, metal, vidro e resíduos sanitários [27].

As observações foram realizadas entre as 17h e as 20h na primavera e no verão, e entre as 14h e as 17h no outono e no inverno, tirando partido da luz natural disponível nesses períodos [27]. A escolha das horas da tarde teve também em conta o facto de a limpeza das ruas em Qazvin ser realizada durante a madrugada, garantindo assim que os resíduos contabilizados refletiam a acumulação real ao longo do dia e não eram influenciados pela intervenção dos serviços municipais [27].

Para interpretar o estado dos locais estudados em termos de poluição por resíduos, foi necessário definir um índice, o *Clean Environmental Index* (CEI) [27], que combina a quantidade e a importância dos diferentes tipos de resíduos abandonados, através da Equação 1:

$$CEI = \frac{\sum W_i \times N_i}{Área} \times K \quad (1)$$

Onde K corresponde a um coeficiente constante igual a 20, N_i representa a quantidade de cada tipo de resíduo e W_i corresponde a um coeficiente atribuído a cada categoria de resíduo, determinado com base no seu potencial de contaminação ambiental ou de decomposição em substâncias nocivas, conforme descrito na Tabela B.1 do Anexo B.

Com base nisto, o CEI é calculado para os ambientes urbanos estudados e interpretado de acordo com a Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Definição do *Clean Environmental Index*, de acordo com o método utilizado em Qazvin [27]

Intervalo	Classificação	Descrição
0 – 2	A	Muito Bom
2 – 5	B	Bom
5 – 10	C	Médio
10 – 20	D	Baixo
> 20	E	Muito Baixo

5.1.3. Método desenvolvido pela Association des Villes pour la Propreté Urbaine

Em França foi também criada uma metodologia destinada à definição dos Indicadores Objetivos de Limpeza (IOL), pela *Association des Villes pour la Propreté Urbaine* (AVPU), uma organização sem fins lucrativos que reúne municípios dedicados às questões da limpeza urbana [50].

Fundada em 2010 por iniciativa de cerca de vinte cidades francesas, a AVPU tem vindo a crescer, integrando atualmente cerca de 200 autarquias, incluindo a maioria das cidades com mais de 100 000 habitantes [51]. Para além de França, fazem também parte desta rede municípios da Bélgica, da Suíça e do Luxemburgo [51].

A metodologia dos IOL permite medir quantitativamente a sujidade de uma área, através da contagem individual de todos os resíduos observados numa superfície específica (N) [52]. A quantidade de cada tipo de sujidade é depois normalizada para 100 m², resultando no Indicador Médio de Sujidade (IMS) [52], calculado de acordo com a Equação 2:

$$IMS = \frac{N}{\text{Área do Local}} \times 100 \quad (2)$$

É importante ter em conta que as diferentes tipologias de resíduos possuem unidades de contagem distintas. Na Tabela C.1 do Anexo B, encontram-se representadas as unidades que devem ser consideradas para cada tipologia de resíduo.

Com este método, cada cidade consegue determinar o IMS geral, abrangendo todos os locais, o IMS por tipologia de área e o IMS por tipo de sujidade. Todos estes indicadores são depois consolidados pela AVPU para criar o referencial AVPU [52], que permite a cada município identificar os seus pontos fortes e áreas a melhorar em comparação com a média da rede.

Em 2016, foi criado o Indicador Médio de Sujidade Ponderado (IMSP), que complementa o IMS, ao reconhecer que nem todas as sujidades têm o mesmo impacto sobre os utilizadores do espaço público, tornando a avaliação mais próxima da perceção da sujidade por parte da população[52].

Para esse efeito, foi desenvolvida uma escala de sensibilidade baseada na média das avaliações realizadas por cerca de 200 agentes formados na aplicação dos IOL [52]. Assim, cada tipo de sujidade é classificado de acordo com o nível de sensibilidade que provoca nos utilizadores do espaço público, podendo ser considerado de alta sensibilidade, quando é mais visível ou gera maior incómodo, ou de baixa sensibilidade, quando tem menor impacto na perceção de limpeza do espaço.

Com base na sensibilidade atribuída, é definido um coeficiente de ponderação (λ) para cada tipo de sujidade, conforme apresentado na Tabela C.2 do Anexo C. No total, são classificadas 12 categorias.

Assim, calcula-se o IMSP de acordo com a Equação 3 [52]:

$$IMSP = \frac{\sum(N_i \times \lambda_i)}{\text{Área do Local}} \times 100 \quad (3)$$

A soma dos valores ponderados pode ser equivalente ao IMS não ponderado se a distribuição das sujidades for homogénea. Se o IMSP for inferior ao IMS, significa que o tipo de sujidade é menos impactante. Por outro lado, se o IMSP for superior ao IMS, as sujidades observadas provocam um maior impacto.

A avaliação é feita a partir de uma amostragem de locais. No primeiro ano, sugere-se seleccionar locais sem problemas significativos, de forma a obter um referencial base, ideal para comparar com locais mais problemáticos [52].

A área de cada local a avaliar deve situar-se entre 1000 e 3000 m² [52]. Isto, porque locais muito pequenos podem concentrar “pontos negros”, ou seja, zonas com sujidade localizada intensa, o que tende a inflacionar artificialmente o IMS e não refletir a limpeza média da área. Por outro lado, locais muito grandes podem englobar usos e níveis de limpeza muito variados, perdendo coerência e tornando os resultados mais difíceis de interpretar.

Nas ruas, a contagem das sujidades inclui a avaliação do passeio, das sarjetas, do mobiliário urbano e das paredes cuja limpeza compete à autarquia, não sendo considerados os lugares de estacionamento nem a faixa de rodagem. Por sua vez, nos espaços verdes, a avaliação incide exclusivamente sobre a área previamente delimitada, podendo abranger a totalidade do espaço ou apenas os caminhos e respetivas zonas envolventes [52].

Para garantir dados fiáveis, é recomendável avaliar vários locais dentro de cada tipologia de setor. Para esse efeito, os IOL distinguem diferentes tipos de locais, nomeadamente comércio, estações/transportes, áreas *pavillonnaires* (zonas unifamiliares), coletivos do centro da cidade, coletivos da periferia, câmara municipal, escolas, parques e jardins e escritórios. Estes são explicados com maior detalhe na Tabela C.3 do Anexo C.

Para dispor de dados fiáveis, recomenda-se avaliar 2 a 3 locais para cada tipologia de setores, tendo em conta que a análise da AVPU se limita a 18 locais no âmbito da prestação gratuita associada à adesão à associação.

A avaliação é realizada por agentes de campo das autarquias, recorrendo a uma ficha de registo em papel ou a uma aplicação móvel. Preferencialmente, deve ocorrer antes da limpeza diária, seja ela manual ou mecanizada, para que seja possível observar o nível máximo de sujidade existente no local [52].

No que respeita à periodicidade, recomenda-se que municípios com mais de 20 000 habitantes efetuem avaliações mensais, sem necessidade de datas fixas, enquanto os municípios com menos de 20 000 habitantes podem realizá-las trimestralmente. Cada avaliação tem uma duração média de cerca de 30 minutos, sendo aconselhável que cada agente realize entre 12 e 18 avaliações por dia [52].

Antes de ir ao local, o agente deve registar as ruas a avaliar, o bairro, tipologia do setor e a área. Também pode registar o número de contentores no local e quaisquer disfunções, como é o caso de contentores cheios, dispensadores de sacos para dejetos de animais, cinzeiros cheios, entre outros, facilitando a interpretação dos resultados [52].

Relativamente ao cálculo do índice, não existe propriamente uma escala definida, contudo, nos relatórios de Versailles [53] e de Schaerbeek [54] é possível ver que os valores do IMS variam tipicamente entre o 0 (melhor nível de limpeza) e 10 (pior nível de limpeza).

5.1.4. Método utilizado em Granada, Espanha

Em Espanha, a *Federación Galega de Municipios e Provincias* desenvolveu o *Índice de Suciedad* (IS), em português, Índice de Sujidade, destinado a avaliar a qualidade dos diferentes serviços de limpeza urbana. Este índice encontra-se descrito no *Guía Técnica para la Gestión de Residuos Municipales y Limpieza Viaria* (Guia Técnica para a Gestão de Resíduos Municipais e Limpeza Urbana) [55].

A avaliação é efetuada manualmente, através da contagem dos resíduos e da sua classificação em 8 categorias, considerando ainda a sua dimensão, bem como da análise das características do pavimento, das condições climáticas e de eventuais circunstâncias extraordinárias, como é o caso de paragens de autocarro ou a realização de mercados. Esta avaliação é sempre efetuada em troços de via que tenham sido recentemente limpos pela equipa, assegurando que qualquer resíduo encontrado não possa ser considerado de origem recente [41].

Este índice pode ser calculado a partir da Equação 4, que tem em conta 4 fatores distintos [41]: o λ , que representa um fator de correção; o C, correspondente à quantidade total ponderada de resíduos; o n , relativo às possíveis circunstâncias extraordinárias que possam estar a decorrer e o S, que diz respeito à área de observação.

$$\text{Índice de Sujidade} = \frac{\lambda \times C}{n \times S} \times 100 \quad (4)$$

O cálculo dos diferentes fatores encontra-se explicado com mais pormenor no Anexo D.

Com estes valores, torna-se possível calcular o índice de sujidade e relacioná-lo com a Tabela 5.3, que classifica o nível de sujidade da rua em cinco intervalos [55].

Tabela 5.3: Classificação do Índice de Sujidade, de acordo com a metodologia utilizada em Granada [55]

Valor do Índice de Sujidade	Classificação	Nível de Limpeza
$IS < 70$	1	Muito Bom
$70 \leq IS < 100$	2	Bom
$100 \leq IS < 150$	3	Médio
$150 \leq IS < 200$	4	Baixo
$200 \leq IS$	5	Muito Baixo

Importa salientar que existe uma incoerência entre as duas fontes consultadas relativamente ao fator de multiplicação utilizado na fórmula, sendo que uma indica a multiplicação por 100 [41] e a outra por 1000 [55]. Neste contexto, optou-se por utilizar o fator 100 na aplicação da fórmula, uma vez que este valor tem origem num artigo científico e conduz a resultados mais coerentes com a escala definida.

5.1.5. Método criado para o Porto, Portugal

À semelhança dos métodos anteriormente descritos foi também desenvolvida uma metodologia para a determinação de indicadores de limpeza urbana para a cidade do Porto, em colaboração com a Porto Ambiente, a qual este trabalho está a dar seguimento [32].

Para a sua aplicação, é necessário realizar a contagem manual e classificação dos resíduos através de uma aplicação móvel, agrupando-os em 11 categorias distintas: papéis e embalagens alimentares (PEA), papéis e embalagens não alimentares (PENA), vidro e pedaços de vidro (VPV), pontas de cigarro (PC), dejetos caninos (DC), sacos de resíduos indiferenciados (SI), folhas e ramagens (FR), incrustações (I), resíduos alimentares (RA), outros resíduos orgânicos (ORO) e metais (M) [32]. Para além disso, são também registados os locais onde os resíduos se encontram: passeio/guia (PG), placas ajardinadas (PA), caldeiras/floreiras (CF), bocas de lobo (BL) e papelerias (PP) e a sua dimensão ou tipologia [32].

Neste estudo, a quantificação e caracterização de resíduos nas ruas decorreu durante 3 meses, entre 1 de maio e 31 de julho de 2019, em dias úteis, abrangendo 52 ruas com 783 amostras e 116 780 m² monitorizados [32].

Um elemento central desta metodologia foi a incorporação da perceção da população no cálculo do índice de limpeza. Para o efeito, foram inquiridas 3 269 pessoas, durante a mesma altura que as campanhas de quantificação e caracterização, que avaliaram não só o nível de sujidade das ruas, mas também o grau de incómodo associado aos diferentes tipos de resíduos e aos locais onde estes se encontram [32].

Com base nestes dados, foram definidos indicadores que incorporam fatores de ponderação associados tanto às tipologias de resíduos como aos locais de deposição. Posteriormente, procedeu-se a uma otimização sistemática do modelo, ajustando esses parâmetros de forma a aproximar os resultados calculados da avaliação da limpeza das ruas feita pelos cidadãos [32].

O cálculo pode então ser realizado através da Equação 5:

$$IL = (PG \times P_{PG}) + (PA \times P_{PA}) + (CF \times P_{CF}) + (BL \times P_{BL}) + (P \times P_P) \quad (5)$$

Onde PG corresponde ao fator relativo ao passeio/guia, PA ao das placas ajardinadas, CF ao das caldeiras/floreiras, BL ao das bocas de lobo e P ao das papeleiras. Cada um destes fatores incluídos na equação é calculado individualmente, sendo posteriormente atribuída uma ponderação a cada um para o cálculo final (P_{PG} , P_{PA} , P_{CF} , P_{BL} e P_P), as quais correspondem a frações cuja soma deve ser igual a 1. A definição destas ponderações baseou-se nos resultados de inquéritos realizados, com a exceção da P_{BL} , relativa às bocas de lobo, uma vez que estas constituem fundamentalmente uma variável de gestão não sendo muitas vezes observadas pela população e, desta forma, o uso de inquéritos poderia potenciar a desvalorização desta componente [32]. Os resultados obtidos destas ponderações para cada tipo de localização x , encontram-se descritos na Tabela E.1 do Anexo E.

Para o cálculo dos fatores PG , PA e CF , é tida em conta a quantidade de resíduos existentes, a sua dimensão e a ponderação atribuída com base na perceção do público [32].

Para o efeito, procedeu-se à normalização do tamanho dos resíduos presentes em cada local, tendo por referência a menor dimensão existente dentro de cada categoria. Desta forma, obteve-se o valor de R_{SI} , correspondente à quantidade de resíduos, numa determinada área amostrada, calculado através da Equação 6 [32].

$$R_{SI} = \sum_{j=1}^3 (p_{ij} \times r_{ij}) \quad (6)$$

Em que r_{ij} corresponde ao número de unidades da categoria de resíduo i com dimensão j e p_{ij} representa o fator de normalização do tamanho, específico para cada categoria i e para cada dimensão j , obtido através da Tabela E.2 do Anexo E.

De seguida, calcula-se o R_I , correspondente à quantidade de resíduos por cada 100 m², através da equação 7 [32].

$$R_I = \frac{R_{SI}}{A} \times 100 \quad (7)$$

Em que A corresponde à área de amostragem, que poderá ser de 250 m² ou 500 m², consoante se trate de ruas não pedonais ou pedonais, respetivamente.

Posteriormente, procede-se ao cálculo de I_i , correspondente ao sub índice de limpeza de cada categoria de resíduo, o qual tem em consideração os valores mínimo e máximo admissíveis de resíduos por categoria, por 100 m², numa escala de 0 a 100, em que 0 corresponde a uma área muito suja e 100 a uma área muito limpa [32]. Para valores intermédios de R_I , I_i é determinado através da aplicação de

uma relação linear ajustada para cada categoria de resíduo, apresentada na Tabela E.3 do Anexo E.

Com estes valores obtidos, para calcular finalmente os fatores PG , PA e CF , basta aplicar a Equação 8 [32]:

$$Fator = \prod_{i=1}^{11} (I_i^{w_i}) \quad (8)$$

Em que w_i corresponde ao índice de incómodo relativo à tipologia de resíduo (i), determinado com base nos resultados dos inquéritos realizados, cujos resultados se encontram descritos na Tabela E.4 do Anexo E.

No que diz respeito ao fator BL , este é calculado como a razão entre o número de bocas de lobo sem resíduos e o total de bocas de lobo existentes por 100 m², multiplicada por 100 [32]. Tal como nos restantes casos, a área analisada deve ser normalizada para 100 m². Estes cálculos podem ser feitos de acordo com as seguintes expressões:

$$N_{BL\ total} = \frac{N_{BLST}}{A} \times 100 \quad (9) \quad N_{BL\ limpas} = \frac{N_{BLSR}}{A} \times 100 \quad (10)$$

$$BL = \frac{N_{BL\ limpas}}{N_{BL\ total}} \times 100 \quad (11)$$

Onde $N_{BL\ total}$ corresponde ao número total de bocas de lobo existentes por 100 m², N_{BLST} ao número de bocas de lobo existentes numa determinada área de amostragem A , $N_{BL\ limpas}$ ao número de bocas de lobo sem resíduos por 100 m² e N_{BLSR} ao número de bocas de lobo sem resíduos existentes numa determinada área de amostragem.

Relativamente ao fator das papeleiras, P , o procedimento a adotar é semelhante ao descrito para o fator BL . Este fator foi calculado como a razão entre o número de papeleiras vazias e o número total de papeleiras existente em 100 m², multiplicado por 100 [32].

Obtido IL , torna-se possível determinar o Índice de Limpeza global, de acordo com a Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Classificação do Índice de Limpeza, de acordo com a metodologia criada para o Porto [32]

Classificação	Intervalo (%)
Muito Baixo	$0 \leq CL < 30$
Baixo	$30 \leq CL < 50$
Médio	$50 \leq CL < 70$
Bom	$70 \leq CL < 90$
Muito Bom	$90 \leq CL \leq 100$

Apesar de o estudo ter demonstrado eficácia na determinação do Índice de Limpeza, este modelo não foi efetivamente implementado na cidade do Porto, uma vez que, na prática, a metodologia exigia um elevado esforço operacional, sobretudo ao nível dos recursos humanos, uma vez que implicava a caracterização e quantificação detalhada dos resíduos, um processo também bastante moroso.

Assim, atualmente, a Porto Ambiente ainda opera com uma base de planeamento fixa, ou seja, estática, que não integra os fatores anteriormente referidos e, consequentemente, sempre que surgem situações anómalas, a atuação ocorre de forma reativa, uma vez que essas ocorrências não estão contempladas no planeamento existente.

Desta forma, a Porto Ambiente reconheceu a necessidade de encontrar uma metodologia mais rápida, simples e eficiente, que permitisse reduzir os esforços operacionais, sem perder o conhecimento já adquirido. Neste contexto, surgiu a oportunidade de colaborar com a CortexIA, uma empresa que desenvolve soluções baseadas em inteligência artificial para a gestão e monitorização da limpeza urbana, cuja metodologia será explicada com mais detalhe na Secção 5.3.1.

Importa salientar que a solução da CortexIA não substitui a metodologia previamente desenvolvida, mas incorpora-a, adaptando-a ao seu sistema tecnológico. Ou seja, os princípios e critérios definidos pelo modelo do Porto serão integrados na tecnologia da CortexIA, sendo operacionalizados através de um método de recolha e contagem automatizado, baseado em visão computacional. A implementação desta solução já está prevista, estando o seu início agendado para setembro do presente ano.

5.2. Métodos baseados em ciência cidadã

Conforme referido anteriormente, a sensibilização da população para a prevenção da produção de resíduos urbanos e para a limpeza urbana é tão importante quanto o trabalho das autarquias. Assim, uma forma eficaz de envolver os cidadãos é através da ciência cidadã (*citizen science*), também conhecida como ciência

participativa, que tem demonstrado grande utilidade no acompanhamento e monitorização do problema dos resíduos urbanos [56].

Existem várias aplicações móveis com este propósito, como a *Litterati*, *Pirika*, *OpenLitterMap* e *Planet Patrol*, mais focadas em ambientes urbanos, e outras como *Marine Debris Tracker*, *Marine LitterWatch* e *CleanSwell*, direcionadas para ambientes marinhos. Embora tenham objetivos ligeiramente diferentes, todas funcionam de forma semelhante, permitindo aos utilizadores tirar fotografias e registar dados sobre os resíduos de forma livre, sem necessidade de seguir um método rigoroso ou um percurso fixo.

Estes sistemas podem ser utilizados por qualquer pessoa, sem necessidade de competências técnicas, e permitem recolher grandes volumes de dados de forma gratuita e eficiente [57]. As câmaras dos smartphones atuais têm também qualidade suficiente para capturar imagens que podem ser analisadas e usadas na identificação e quantificação de resíduos. Além disso, os dados de localização facilitam a identificação precisa do local onde os resíduos foram fotografados [57].

Ao envolver as pessoas na recolha de dados, estas aplicações ajudam não só a recolher informação científica, mas também a educar a população sobre o problema dos resíduos urbanos e os seus impactes ambientais. Além disso, ao participar, espera-se que os cidadãos se tornem mais conscientes e responsáveis em relação ao ambiente.

Mesmo assim, estes métodos apresentam como principais limitações os enviesamentos temporal, espacial e demográfico, uma vez que os dados são registados sobretudo em determinadas épocas do ano, em locais mais acessíveis e por perfis de utilizadores específicos. Acresce que a ausência de registos numa zona é ambígua, podendo significar tanto a inexistência de resíduos como a falta de voluntários, tornando a cobertura do território pouco uniforme e os dados pouco representativos.

5.2.1. Método testado em Vancouver, Canadá

À semelhança das cidades previamente descritas, a cidade de Vancouver realiza auditorias padronizadas e repetidas de resíduos nas ruas em toda a sua região urbana, desenvolvidas pela *Dillon Consulting Limited*.

Sempre que possível, as áreas auditadas devem ter 61 metros de comprimento e 5,5 metros de largura, sendo designadas de “locais fixos”. Contudo, em alguns casos, a largura do local pode ser inferior a 5,5 metros, passando a ser chamado de “local variável” [58].

Os resíduos são categorizados pelo auditor em duas tipologias principais: “resíduos grandes” e “resíduos pequenos” [58]. Os resíduos grandes incluem todos os itens com 25,8 cm² ou mais, sendo a sua quantidade determinada pela média de duas passagens de contagem realizadas no local e classificada em 128 categorias, de forma a distinguir os diferentes tipos de materiais e objetos. Já os resíduos pequenos correspondem aos itens com menos de 25,8 cm², que são contados com o auxílio de uma moldura de PVC colocada ao longo do local de amostragem e registados em 26 categorias distintas [58].

O Índice de Limpeza é baseado na opinião do auditor e é meramente visual, conforme é possível ver na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Classificação do Índice de Limpeza, de acordo com o método testado em Vancouver, Canadá [58]

Pontos	Esforço de limpeza para 1 pessoa	Equipamento Necessário	Descrição
1	Esforço mínimo ou inexistente, limpeza em menos de 10 minutos	Não é necessário nenhum equipamento ou apenas um saco tipo <i>ziploc</i>	O local aparenta estar limpo, com poucos ou nenhuns resíduos visíveis
2	Limpeza menor, 10–30 minutos	Pinça, cabe num saco de plástico de supermercado	Presença de resíduos notória em certos pontos do local
3	Limpeza maior, 30–60 minutos	Pinça, vassoura/ ancinho, cabe num saco de resíduos grande	O local tem resíduos visíveis de forma consistente ou um aglomerado significativo de resíduos
4	Pode necessitar de mais de uma pessoa e requer atenção da cidade	Precisa de um camião de recolha	O local necessita de atenção especial, intervenção municipal

Contudo, num estudo publicado em 2024, as auditorias municipais de 2017, 2018 e 2019 foram comparadas com uma nova metodologia de contabilização de resíduos: a aplicação *Litterati* [56].

Os utilizadores desta aplicação são incentivados a submeter fotografias de resíduos que encontram na rua antes de eles próprios os eliminarem corretamente, podendo fazê-lo com qualquer frequência e em qualquer local exterior [56]. Este processo pode ser realizado quer por colaboradores que atuam de forma autónoma, quer através de “*challenges*” ou “*mapping parties*”, ou seja, eventos que mobilizam voluntários para áreas específicas com o objetivo de recolher e mapear sistematicamente todos os resíduos existentes nesses locais [59].

Cada submissão inclui uma fotografia georreferenciada, acompanhada de metadados, como a hora de submissão e um rótulo de categorização definido pelo utilizador [56]. Estas submissões registam apenas a presença de resíduos, não fornecendo informações sobre a área amostrada ou o tempo despendido à procura dos resíduos [56], contudo, permitem criar um mapa visual, conforme ilustrado na Figura 5.1, que mostra a localização dos resíduos registados.

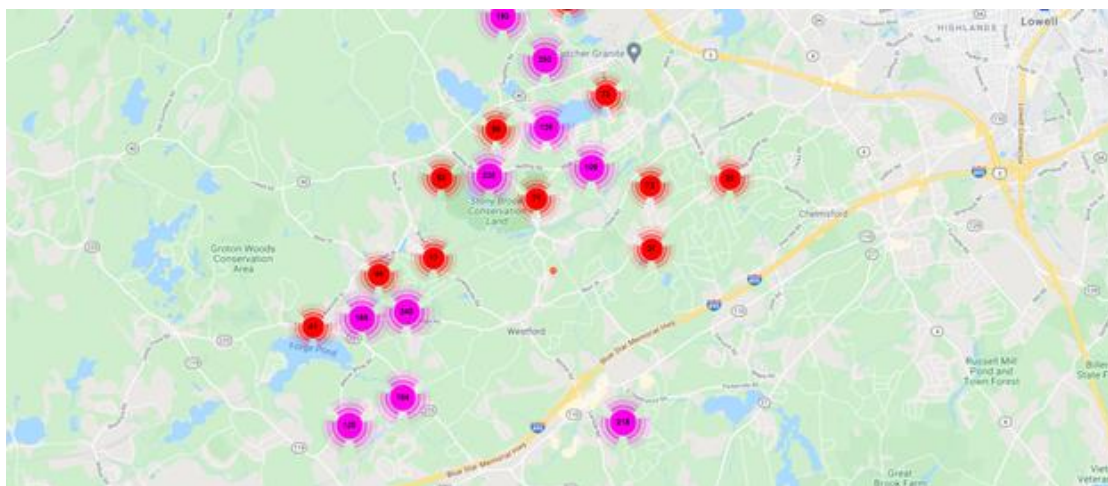


Figura 5.1: Mapa visual criado para a cidade de Massachusetts pela Litterati [60].

Para permitir a comparação com os dados da *Litterati*, estes últimos foram filtrados de forma a garantir coincidência temporal e espacial com os dados das auditorias municipais.

Os resultados mostram que nas três auditorias municipais foram detetados 5 536 resíduos nos 108 locais avaliados em cada auditoria, correspondendo a uma média de 17 itens por local, enquanto o conjunto de dados da aplicação *Litterati* registou 3 917 itens entre 2017 e 2019 por 223 utilizadores únicos, com uma média de 10,6 itens registados por utilizador por dia, indicando que a aplicação não captou todos os itens presentes [56]; contudo, este método revela-se promissor enquanto ferramenta complementar de monitorização, permitindo a recolha contínua de dados ao longo do tempo e envolvendo diretamente os cidadãos no processo de identificação e registo de resíduos.

5.3. Métodos com recurso a Inteligência Artificial

A inteligência artificial está cada vez mais presente nas estratégias de gestão das cidades inteligentes [61], assumindo um papel central na resposta a desafios organizacionais, urbanos e sociais ligados à prestação de serviços públicos.

A sua adoção tem levado a efeitos positivos relevantes, nomeadamente ao nível do aumento da eficiência e da produtividade, da automatização de processos e do apoio à tomada de decisão, contribuindo para uma utilização mais eficiente de

recursos e reduzindo a necessidade de intervenção humana em atividades rotineiras [62], ao mesmo tempo que antecipa necessidades, identifica padrões e responde de forma mais célere e eficaz a diferentes contextos e exigências.

Apesar das suas inúmeras vantagens, a utilização de inteligência artificial nas cidades inteligentes levanta também vários desafios relevantes. Destacam-se as questões de privacidade [63], relacionadas com a recolha e utilização de dados pessoais dos cidadãos, muitas vezes sem o seu consentimento, bem como os riscos de cibersegurança [64] associados à vulnerabilidade dos sistemas a ataques informáticos. Adicionalmente, a IA pode provocar mudanças significativas no mercado de trabalho e na sociedade, suscitando preocupações relacionadas com o desemprego [65] e, conseqüentemente, resistência à mudança por parte dos trabalhadores [66]. Existem ainda desafios ao nível da tomada de decisão, nomeadamente a possibilidade da ocorrência de erros, enviesamentos e a ausência de responsabilização [67]. Por outro lado, fatores como os elevados custos de implementação [68] e a ausência de enquadramento legal adequado [69] dificultam a adoção destas tecnologias. Acrescem ainda preocupações quanto aos seus impactes no ambiente, uma vez que o uso intensivo destas soluções implica um elevado consumo energético e o aumento da pegada de carbono [65]. Paralelamente, colocam-se desafios ao nível do desenvolvimento económico [70] podendo também agravar desigualdades já existentes [65].

No caso de Portugal, um estudo realizado pelo Instituto Nacional de Estatística, em 2025, indica que as principais razões apontadas para a não utilização incluem a falta de conhecimentos adequados na empresa (74,4%), os custos parecerem demasiado elevados (60,4%), a falta de clareza sobre as consequências legais, nomeadamente no que respeita à responsabilidade em caso de danos causados pelo uso de IA (57,3%) e preocupações relativas à violação da proteção de dados e da privacidade (55,4%) [71]. Entre as empresas que não utilizam tecnologias de IA, 12,3% ponderaram vir a adoptá-las (+2,8 p.p. face a 2024) [71].

No que diz respeito à utilização da IA em contextos urbanos, esta já tem vindo a ser aplicada em diversos setores, conforme referido por Herath, H.M. *et al* (2022). Na mobilidade e transportes, contribui para uma gestão do trânsito mais eficiente e para a otimização de rotas. Na educação, permite desenvolver métodos de aprendizagem mais personalizados. Nas infraestruturas, ajuda a tornar os edifícios mais inteligentes e a gerir melhor a energia. Já na gestão de resíduos urbanos, a IA também tem vindo a ser amplamente adotada ao longo de toda a cadeia, desde a recolha até ao tratamento [72].

Na fase de recolha, uma das aplicações mais relevantes consiste na otimização das rotas dos veículos de recolha, permitindo reduzir as distâncias percorridas e,

dessa forma, diminuir o consumo de combustível e as emissões de CO₂, ao mesmo tempo que favorece uma utilização mais eficiente dos recursos [73]. Complementarmente, a utilização de contentores inteligentes (*smart bins*) (Figura 5.2) tem também ganho destaque nesta fase: equipados com sensores que monitorizam em tempo real os níveis de enchimento e, nalguns casos, o tipo de resíduos depositados, transmitem automaticamente essa informação para plataformas de gestão, permitindo planejar as operações de recolha de forma mais eficaz [74, 75].



Figura 5.2: Smart bin [76].

Já na fase de tratamento, a automatização da triagem tem vindo a ganhar relevância através da utilização de robôs que recorrem a técnicas de visão computacional e redes neurais convolucionais, permitindo identificar com elevada precisão diferentes tipos de materiais recicláveis, reduzindo a necessidade de intervenção humana e minimizando a contaminação cruzada nas unidades de tratamento [77, 78].

Além disso, a IA tem também sido utilizada na previsão da geração de resíduos urbanos, através de modelos baseados na análise de dados históricos e em fatores como o crescimento populacional, o rendimento económico, a taxa de desemprego, a dimensão dos agregados familiares, o nível de escolaridade e variáveis meteorológicas [79,80].

Em Portugal, estas tecnologias já começaram a ser implementadas e testadas. Um exemplo relevante é a parceria entre a ALGAR, responsável pela gestão e valorização de resíduos no Algarve, e a *startup* portuguesa NILG.AI, que levou ao desenvolvimento de um projeto baseado em algoritmos de *machine learning* para otimizar a gestão de resíduos na região [81]. O sistema analisa informações históricas sobre a recolha de resíduos e dados de densidade populacional para identificar as localizações mais adequadas para a instalação de ecopontos, recorrendo ainda a imagens de satélite e ao *Google Street View* para avaliar as condições dos terrenos [81]. No projeto-piloto realizado em Lagoa, foi possível

reduzir cerca de 83% do tempo necessário para elaborar as propostas, planejando dez novas localizações em apenas dois dias, quando o método tradicional poderia demorar várias semanas [81]. Por sua vez, a VALORSUL implementou igualmente IA no seu sistema de tratamento de resíduos, através de um *robot* de triagem (Figura 5.3), que utiliza visão computacional para identificar e separar automaticamente os materiais na linha de transporte, fornecendo dados em tempo real sobre a composição dos resíduos e aumentando a pureza dos materiais separados, com particular impacto na recuperação de embalagens de cartão para alimentos e bebidas (ECAL) [82].

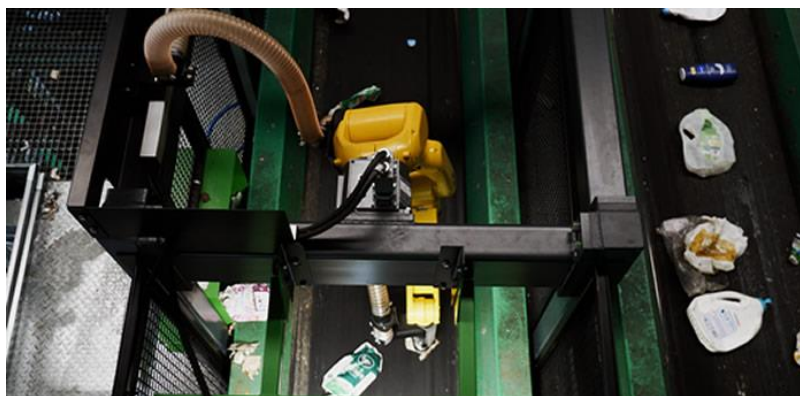


Figura 5.3: Robot de triagem da VALORSUL [82].

A limpeza urbana, por sua vez, também constitui uma área onde a inteligência artificial tem vindo a assumir um papel cada vez mais relevante, contribuindo para a maior eficiência dos processos de monitorização e para o cálculo do índice de limpeza urbana. Existem já diversos exemplos da sua aplicação prática, incluindo sistemas com câmaras instaladas em veículos, bicicletas e até dispositivos transportados por peões, bem como em câmaras de telemóveis e outros equipamentos, cujo funcionamento será explicado com maior detalhe neste capítulo.

Estes sistemas são, de um modo geral, capazes de detetar automaticamente resíduos em ambiente urbano, recorrendo a técnicas de visão computacional, ou seja, visão baseada na inteligência artificial, semelhantes às utilizadas nos robôs de triagem. Para tal, é necessário que o sistema possua a capacidade de deteção de objetos, ou seja, a capacidade de identificar e localizar, ao mesmo tempo, múltiplos elementos numa mesma imagem ou vídeo, normalmente através da utilização de caixas delimitadoras que permitem posicionar espacialmente cada resíduo detetado.

A deteção automática de objetos em imagens baseia-se em redes neurais convolucionais (CNN), ou seja, modelos de aprendizagem profunda (*deep learning*) que aprendem a reconhecer objetos a partir de milhares de imagens de exemplo

[83]. Para não começarem do zero, estes modelos são, habitualmente, pré-treinados com imagens genéricas e depois adaptados à tarefa específica, neste caso a deteção de resíduos, num processo designado por *transfer learning* [83].

Importa salientar que a maioria dos estudos presentes na literatura sobre deteção de resíduos com recurso a redes neurais convolucionais (CNN) tem sido aplicada noutros contextos, nomeadamente em corpos de água [84, 85], praias [86] e desertos [87].

Trata-se de uma solução inovadora, capaz de acelerar o processo de avaliação dos espaços urbanos e de reduzir a dependência de recursos humanos. Além disso, em comparação com métodos manuais ou com abordagens baseadas em ciência cidadã, contribui também para reduzir a subjetividade inerente à avaliação humana, fornecendo dados mais precisos e objetivos. Acresce o facto de que ao ser mais automatizada permite ainda a criação facilitada de bases de dados históricos e georreferenciados, possibilitando acompanhar a evolução do estado de limpeza urbana ao longo do tempo e apoiar processos de tomada de decisão mais informados.

Contudo, esta abordagem apresenta igualmente várias limitações, descritas em [88]. Entre estas, destaca-se o elevado custo computacional e a complexidade dos sistemas, que exigem grandes volumes de dados para alcançar um desempenho satisfatório. Adicionalmente, estes tipos de sistemas mostram sensibilidade a variações de iluminação, condições ambientais e escalas de observação, tendo maior dificuldade na deteção de objetos pequenos, como cinzeiros de cigarro, bem como de elementos parcialmente ocultos, o que pode originar falsos negativos, isto é, a não deteção de resíduos efetivamente presentes.

Acresce ainda a sua fragilidade em cenários mais complexos, onde a diversidade do contexto visual, como praias, florestas ou zonas urbanas densas, onde é mais difícil a correta identificação dos objetos, podendo gerar confusões entre elementos do ambiente e resíduos, resultando em falsos positivos. Por fim, a elevada variabilidade visual dos resíduos, que pode assumir diferentes materiais, cores e formas sob condições de iluminação distintas, torna a tarefa de deteção particularmente desafiante para modelos de visão computacional. Adicionalmente, estes equipamentos requerem manutenção regular, o que pode aumentar os custos operacionais ao longo do tempo, podendo, em alguns casos, tornar-se mais dispendioso do que a utilização de métodos manuais tradicionais.

5.3.1. Método utilizado em Genebra, Suíça

No âmbito da procura por soluções mais eficientes e automatizadas para medir e melhorar o nível de limpeza da cidade, a Porto Ambiente prevê estabelecer um

contrato, já este ano, com a CortexIA, uma empresa suíça especializada em inteligência artificial e visão computacional aplicadas à gestão da limpeza urbana. Esta colaboração representa um passo concreto na modernização dos serviços de limpeza do Porto, tirando partido de tecnologia já testada e implementada noutras cidades europeias.

Na prática, a solução é integrada em veículos já em circulação na cidade, como viaturas de recolha de resíduos (que fornecem dados de carácter mais estatístico), veículos de limpeza urbana, como varredoras (que fornecem dados mais fiáveis), bem como noutros meios de mobilidade, como bicicletas, evitando assim a necessidade de instalação de nova infraestrutura.

Conforme referido pela CortexIA numa reunião com a Porto Ambiente, cada veículo é equipado com uma câmara, que também dispõe de visão noturna, instalada a uma altura entre 1,80 m e 2,00 m, operando a uma velocidade máxima de 40 km/h. A câmara capta até sete imagens por cada 20 metros percorridos, permitindo cobrir uma área aproximada de 15 m² [89].

Além da câmara, cada veículo encontra-se também equipado com uma CortexIA Box (*edge server*), que analisa as imagens captadas em tempo real, identificando e quantificando diferentes categorias de resíduos através de redes neuronais convolucionais (CNN) [90]. Todo este processamento ocorre localmente, sem que qualquer imagem seja transmitida para o exterior, o que garante a conformidade com as normas de proteção de dados e de privacidade. Após este processamento, os dados recolhidos, nomeadamente o tipo e a quantidade de resíduos detetados, bem como a respetiva localização geográfica e o momento do registo, são enviados automaticamente para a nuvem (*cloud*) [90]. Este processo encontra-se descrito na Figura 5.4.

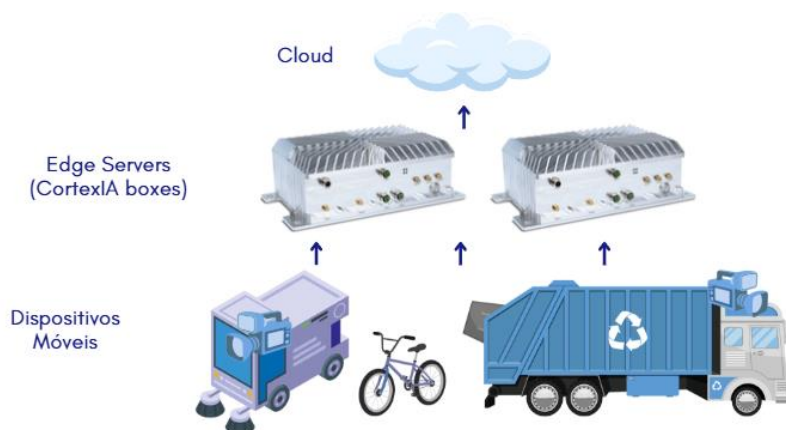


Figura 5.4: Esquema do processamento local e envio de dados para a cloud pelo sistema da CortexIA.

Desta forma, à medida que os dados são recolhidos, é possível acompanhar em tempo real o estado de limpeza de cada rua através de um mapa interativo, atualizado automaticamente e codificado por cores [90]. Esta visualização está disponível a diferentes escalas (rua, sector e cidade) e permite realizar diagnósticos precisos com base na localização, no tipo de resíduo ou na evolução temporal dos dados. Um exemplo deste mapa encontra-se ilustrado na Figura 5.5.

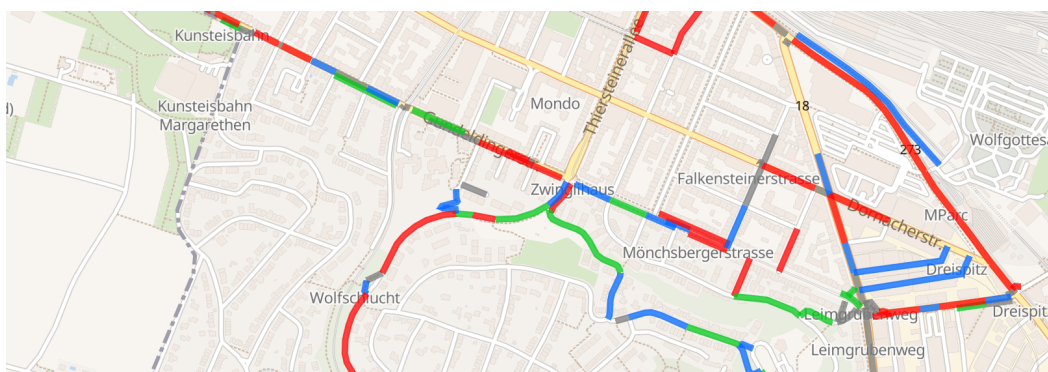


Figura 5.5: Exemplo de mapa resultante da monitorização em tempo real realizada pela CortexIA [91].

As cores exibidas têm por base o *Clean City Index* (CCI), um índice de limpeza urbana desenvolvido pela cidade de Zurique e o primeiro do género a ser adotado na Europa, desde então amplamente utilizado por inúmeras cidades. É público e recomendado por organizações como a FOEN (Agência Federal Suíça para o Ambiente), a ASIC (Associação Suíça de Infraestruturas Municipais) e a IGSU (Grupo de Interesse por um Mundo Limpo). Varia entre 0 e 5, sendo 0 completamente sujo e 5 completamente limpo [89].

Cada cidade define o seu próprio nível-alvo de limpeza (por exemplo, um CCI entre 3,0 e 3,5), sendo a partir desse objetivo que são atribuídas cores ao mapa [91]. As ruas que se encontram dentro do nível-alvo surgem a verde, indicando que o serviço de limpeza está a ser cumprido. Por sua vez, as que apresentam valores acima do nível-alvo são representadas a azul, sinalizando que estão mais limpas do que o necessário e que, por isso, os recursos podem ser redirecionados. Pelo contrário, as que se encontram abaixo do nível-alvo aparecem a vermelho, identificando as zonas prioritárias que requerem intervenção imediata.

O índice global é obtido pela combinação de duas componentes [92]: por um lado, o grau de sujidade de cada categoria de resíduos, classificada numa escala de 0 (limpo) a 3 (muito sujo), com base em critérios descritos no Anexo F, e, por outro, a ponderação atribuída a cada categoria segundo o respetivo nível de gravidade, isto é, o grau de perturbação que cada tipo de resíduo provoca na perceção de limpeza do local, variando entre 1 (baixa perturbação) e 4 (perturbação muito elevada e

potencial risco para a segurança), conforme indicado na Tabela 5.6. No total são classificadas 13 categorias.

Tabela 5.6: Ponderação associada a cada categoria de resíduo, de acordo com a CortexIA [92]

Tipo de resíduo	Ponderação
Folhagem e flores	1
Cigarros e beatas	1
Pastilha elástica	1
Taxa de enchimento dos contentores	2
Publicidade ilegal	2
Papel, cartão e plásticos	2
Pedras, gravilha e areia	2
Garrafas, latas e outros recipientes	3
Resíduos ilegais	3
Tags e <i>graffitis</i>	3
Limpeza dos contentores	3
Excrementos	4
Cacos de vidro e seringas	4

Este índice e as respetivas ponderações refletem a perceção de limpeza por parte dos utilizadores, tendo sido definidos com base em inquéritos realizados à população de Zurique [92]. Ainda assim, a sua aplicação não é rígida, uma vez que a metodologia da CortexIA permite que cada cidade adapte o seu índice às características e sensibilidades da sua população, o que constitui precisamente um dos aspetos que o Porto pretende explorar no âmbito desta parceria.

Com isto, torna-se possível calcular o CCI com recurso à Equação 12 [89]:

$$CCI = 5 - \frac{(\sum \text{Grau de sujidade} \times \text{Gravidade})}{5} \quad (12)$$

Existe ainda a possibilidade de definir *hotspots*, através da definição de um nível de sujidade acima do qual uma área é automaticamente classificada como tal, ou de uma percentagem de desvio face ao objetivo estabelecido. Além disso, sempre que os níveis de sujidade atingem valores críticos, o sistema emite alertas automáticos, sinalizando a necessidade de intervenção imediata e permitindo uma resposta rápida e direcionada por parte das equipas de limpeza. Encontra-se ainda em desenvolvimento a capacidade de o sistema fornecer sugestões de frequência de intervenção.

Conforme referido anteriormente, esta metodologia já foi implementada em várias cidades europeias, tendo produzido resultados bastante positivos [93]. Em Utrecht, verificou-se um aumento do índice de limpeza urbana nas zonas prioritárias, passando de 3,7 para 4. Além disso, deixaram de existir reclamações na principal área comercial da cidade e foi possível libertar quatro trabalhadores de uma equipa de dez para desempenharem outras funções [93]. Em Genebra, a utilização do sistema permitiu reduzir o número de varredoras de três para duas e diminuir em cerca de 20% as horas de operação destes equipamentos, mantendo o mesmo nível de limpeza urbana. A identificação de hotspots possibilitou ainda a instalação estratégica de apenas 200 cinzeiros, em vez dos 900 inicialmente previstos, contribuindo para uma redução de 40% na presença de papéis e beatas no espaço público [93]. Em Basileia, ao analisar a utilização real dos veículos nos diferentes distritos, foi possível reduzir a frota em cerca de 15% através da criação de um sistema de reserva partilhada [93].

5.3.2. Método testado em Santiago, Chile

Foi também avaliada outra metodologia para a deteção e gestão de resíduos urbanos, que recorre mais uma vez ao *deep learning* (YOLOv8) [94].

Neste método, os dados foram recolhidos no centro histórico do município de Santiago, através de caminhadas observacionais realizadas por estudantes universitários, organizados em pares, equipados com câmaras Insta360 X3 com GPS integrado, montadas à altura do ombro, conforme é possível ver na Figura 5.6.

As câmaras capturavam automaticamente imagens panorâmicas a cada 3 segundos, registando simultaneamente a localização geográfica de cada fotografia. No total, foram obtidas mais de 10 000 imagens georreferenciadas [94].



Figura 5.6: Sistema de monitorização testado em Santiago, Chile [94].

Os percursos, realizados ao longo de vários dias úteis de maio de 2024, foram previamente definidos com recurso a algoritmos de *clustering* e análise espacial, permitindo agrupar diferentes tipos de espaços urbanos com base em variáveis como índice socioeconómico, densidade residencial, usos do solo, proximidade de transportes públicos e espaços verdes [94].

Para a deteção automática de resíduos, foi utilizado um modelo de *deep learning* baseado na arquitetura YOLOv8, treinado com o dataset TACO (*Trash Annotations in Context*), aplicado diretamente sem recurso a treino adicional. O modelo realizou uma classificação binária de cada imagem, determinando apenas a presença ou

ausência de resíduos, sem distinguir o tipo, material ou categoria dos resíduos encontrados [94].

Os resultados demonstraram um desempenho global satisfatório. Em termos de precisão, isto é, a proporção de detecções positivas que são efetivamente corretas, o modelo atingiu 89% [94]. Foi possível verificar que a presença de resíduos no município está fortemente associada a determinados contextos urbanos, como estações de metro, paragens de autocarro e mercados, entre outros, o que constitui uma informação relevante para compreender padrões espaciais de acumulação de resíduos e, assim, facilitar o planeamento de possíveis intervenções.

5.3.3. Método implementado em Bournemouth, Reino Unido

As cidades costeiras de Bournemouth, Boscombe, Christchurch e Poole, conhecidas coletivamente como BCP, têm sido um destino turístico muito apreciado há quase dois séculos [95]. Atualmente, milhões de visitantes afluem à região todos os verões, criando uma indústria turística local avaliada em mais de 590 milhões de libras por ano. Mas a par desta prosperidade económica, surge uma pressão sobre os serviços locais e sobre o concelho de BCP para que este responda ao aumento das necessidades de gestão de resíduos [95].

Assim, o concelho de BCP anunciou um reforçado Plano de Resposta Sazonal no valor de 3,5 milhões de libras, que incluiu a contratação de pessoal adicional, o aumento do número de contentores de resíduos e o apoio especializado de uma campanha de combate aos resíduos urbanos baseada em dados, financiada pela *McDonald's* e executada pela *Hubbub* e pela *Ellipsis Earth* [95].

A *Ellipsis Earth* é uma empresa britânica de tecnologia ambiental que recorre a IA e a *machine learning* para identificar, mapear e analisar resíduos no ambiente, com uma área de atuação bastante abrangente, que cobre autoestradas, praias, cidades e espaços urbanos, entre outros contextos.

Com uma precisão superior a 90%, este sistema é capaz de classificar resíduos por tipo, peso, volume, marca e valor de reciclagem, identificando mais de 50 tipos de resíduos de origem humana através de câmaras instaladas em drones e veículos [96]. Para além disso, permite determinar onde e quando os resíduos são depositados, quanto tempo permanecem no terreno e qual o seu destino final. Este estudo detalhado pode ser utilizado para realizar avaliações automatizadas do índice de limpeza urbana, de acordo com o método utilizado no Reino Unido, já referido anteriormente, que atribui classificações de limpeza de A a D baseadas nas normas do *Department for Environment, Food & Rural Affairs* (DEFRA) e para desenvolver modelos preditivos que permitam identificar padrões de deposição de

resíduos, possibilitando assim direcionar intervenções no momento e no local mais adequados [96].

Neste contexto, em março e agosto de 2021, a Ellipsis Earth conduziu o levantamento de resíduos mais cientificamente rigoroso alguma vez realizado no Reino Unido. Durante esse estudo, equipas terrestres e aéreas recolheram imagens (Figura 5.7) numa área total de 475 000 m², abrangendo praias, parques e zonas urbanas de BCP, num total de 2 500 mil milhões de *data points* recolhidos [95].



Figura 5.7: Drone operado pela Ellipsis Earth [97].

Estas imagens foram rapidamente processadas através do *software* desenvolvido pela empresa, permitindo identificar e mapear 47 categorias de resíduos de acordo com a localização, tipo, momento e duração. Além disso, foram mapeadas e avaliadas 350 papelarias já existentes do conselho de BCP, bem como analisadas duas lojas da McDonald's enquanto potenciais fontes de resíduos [95]. Com estes dados, foi ainda possível desenhar vários mapas relativos ao índice de limpeza urbana, conforme é possível ver na Figura 5.8.

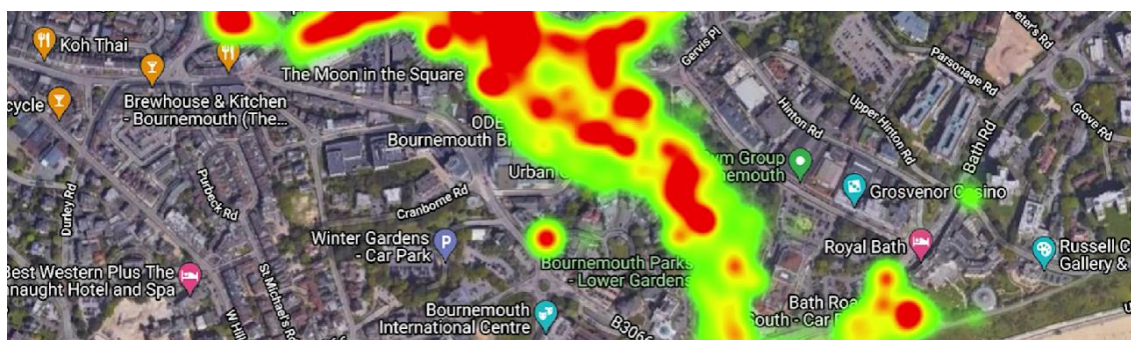


Figura 5.8: Mapa do índice de limpeza urbana obtido pela Ellipsis Earth [95].

Durante uma única semana, foram registados mais de 128 mil itens de resíduos [95]. Entre os mais comuns encontravam-se beatas de cigarro, guardanapos de papel e fragmentos de plástico provenientes de embalagens de comida e bebidas rasgadas por animais. Em média, era descartado um item de resíduos a cada 3 segundos, permanecendo no solo durante cerca de 6 horas nas zonas urbanas e parques e 8 horas nas praias [95]. E dos milhares de toneladas de resíduos

depositados em toda a área de BCP, mais de 40% correspondeu ao chamado "*tidy littering*", situações em que as pessoas tentaram fazer a sua parte, transportando os resíduos até um contentor, mas foram obrigadas a depositá-los nas proximidades devido ao contentor estar cheio ou inacessível [95].

Com base nestes resultados, e em colaboração com a Hubbub e a McDonald's, foram propostas diversas medidas para melhorar os níveis de limpeza urbana na região de BCP. Ao nível operacional, destacaram-se o reforço das operações de recolha manual de resíduos em pontos críticos, o aumento e ajustamento da frequência de esvaziamento dos contentores em locais problemáticos e a intensificação das ações regulares de limpeza urbana em zonas com maior acumulação de resíduos [95].

Ao nível da sensibilização e interação com a população, foram sugeridas soluções inovadoras, como a instalação de "*ballot bins*" (Figura 5.9) e contentores interativos luminosos ("*disco bins*"), de forma a incentivar comportamentos mais responsáveis. Foram ainda recomendadas melhorias na infraestrutura urbana, incluindo a substituição de contentores pouco eficientes por modelos maiores, mais acessíveis e visualmente apelativos, o reforço da sinalética urbana, a melhoria da rotulagem dos contentores [95]. Adicionalmente, propôs-se a criação de bibliotecas ou sistemas de aluguer de brinquedos para reduzir o abandono deste tipo de resíduos no espaço público.



Figura 5.9: Exemplo de "*ballot bins*" implementado pela Hubbub [95].

Os resultados obtidos após a implementação das intervenções da Hubbub demonstraram um impacto muito positivo na redução dos resíduos urbanos [95]. Nas zonas onde as intervenções foram colocadas nos locais identificados através da análise de dados realizada pela Ellipsis Earth, verificou-se uma redução média de 75% na deposição de resíduos [95]. Em alguns locais específicos, a redução aproximou-se mesmo dos 90%. Em contraste, nas áreas com os contentores já existentes do conselho BCP não se registou qualquer diminuição significativa dos

níveis de resíduos [95]. As intervenções direcionadas para tipos específicos de resíduos revelaram-se particularmente eficazes. Os contentores luminosos destinados a reduzir os resíduos associados ao consumo noturno de álcool permitiram uma redução global de 79% dos resíduos e uma diminuição de 88% das garrafas de vidro e latas [95]. Já os “ballot bins”, direcionados para zonas com elevada deposição de beatas de cigarro, reduziram este tipo de resíduo em 73%, contribuindo ainda para uma redução geral de 60% dos resíduos urbanos nessas áreas [95].

5.3.4. Método testado em Amsterdão, Países Baixos

Em 2020, foi proposto por [98] o *Urban Object Detection Kit* (UODK), um sistema portátil e de baixo custo que utiliza smartphones instalados em veículos municipais, como camiões de recolha de resíduos, carros de polícia, entre outros, para capturar e analisar imagens das ruas em tempo real enquanto estes desempenham as suas tarefas habituais pela cidade [98]. O sistema pode ainda ser alargado a veículos de voluntários ou integrado em automóveis já equipados com câmaras, como, por exemplo, veículos desenvolvidos para condução autónoma [98].

O *kit* (*streaming client*) é composto por um smartphone (Figura 5.10), um suporte, um carregador para automóvel, uma aplicação web e um autocolante informativo [98]. O smartphone é instalado no *tablier* do veículo e ligado à tomada elétrica do carro para evitar falhas de energia durante a operação, sendo possível instalar múltiplos dispositivos num único veículo. É também afixado um autocolante no veículo a informar os cidadãos sobre a atividade do sistema e a indicar onde podem obter informação adicional [98].

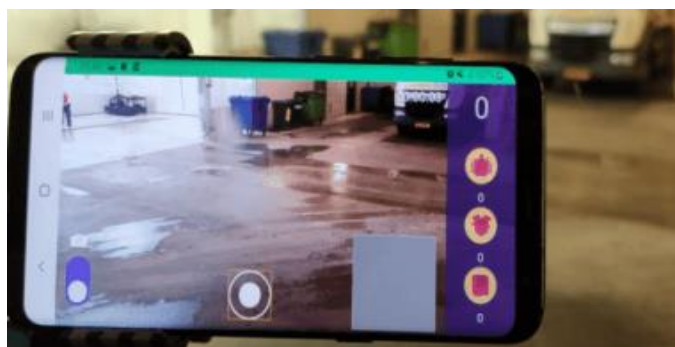


Figura 5.10: Exemplo de um smartphone a executar o *scanning client* [98].

Uma vez iniciada a recolha, a matrícula do veículo é registada e os fotogramas são enviados para o servidor de distribuição, acompanhados da localização geográfica e da respetiva marca temporal [98]. Cada fotograma é previamente redimensionado para 608 × 608 píxeis e posteriormente analisado pelo modelo YOLOv3, que deteta

automaticamente rostos e matrículas presentes na imagem, desfocando-os antes de qualquer armazenamento [98]. Após este processo, o mesmo modelo procede à deteção de objetos urbanos relevantes para a monitorização do espaço público, como sacos de resíduos, contentores, cartão, colchões, postes e *graffitis*, entre outros. Os dados resultantes são armazenados, sendo posteriormente apresentados num *dashboard* destinado aos funcionários municipais, conforme é possível ver na Figura 5.11.

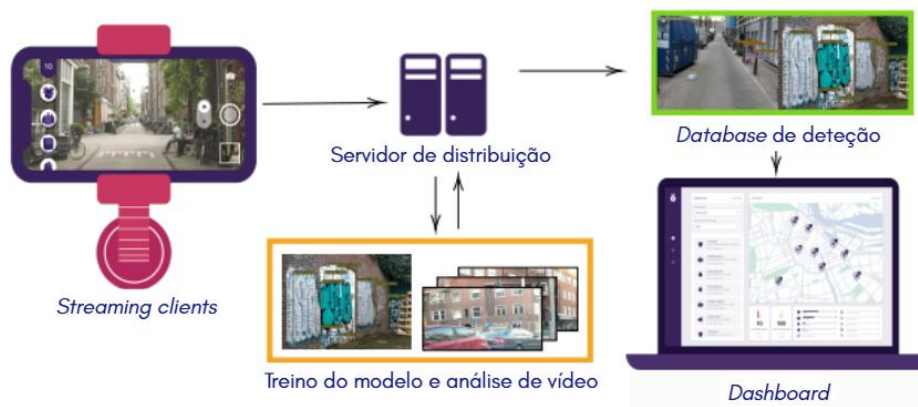


Figura 5.11: Processo de deteção do UODK [98].

5.4. Tabela-resumo

A análise comparativa qualitativa e quantitativa das tecnologias é desenvolvida na Secção 7.3, sendo aqui incluída uma tabela-resumo (Tabela 5.7) para sistematização da informação.

Tabela 5.7: Tabela-resumo das metodologias analisadas no Estado da Arte

Parâmetro	Keep Britain Tidy	Qazvin	AVPU	Granada	Porto	Vancouver	Genebra	Santiago	Bournemouth	Amsterdão
Categoria	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Ciência Cidadã	IA	IA	IA	IA
Tecnologia/Instrumento	Inspeção visual e contagem manual	Contagem manual	Ficha em papel ou <i>app</i> móvel	Contagem manual com ficha	App móvel de contagem	<i>App Litterati</i>	Câmara em veículo	Câmara em peões	Câmara em drones	Câmara do telemóvel
Processo de registo	Classificação visual A–D por indicador e contagem	Contagem por categoria	Contagem por categoria	Contagem + determinação da dimensão + características da rua	Contagem + determinação da dimensão + localização	Captura de Imagem + Recolha do resíduo	Captura de Imagem	Captura de Imagem	Captura de Imagem	Captura de Imagem
Localizações Consideradas	Avaliação global do local	Passeios; Faixa adjacente à rua (até 1 metro da estrada)	Passeio, sarjetas, mobiliário urbano, paredes (municípios responsáveis); espaços verdes	Passeio, papelarias, alcorques; faixa de rodagem não incluída	Passeio/Guia; Caldeiras/Flores; Placas Ajudadas; Bocas de Lobo e Papelarias	Qualquer zona de acesso público	Via pública visível a partir do veículo	Via pública visível ao nível do ombro do peão	Praias, parques, zonas urbanas, florestas, entre outros	Via pública visível a partir do para-brisas do veículo
Unidade de Amostragem	Transecto de 50 m	Passeio entre 2 interseções	Área: 1000 a 3000 m ²	Área: 300 a 500 m ²	250 m ² (ruas não pedonais); 500 m ² (pedonais)	-	Imagem ≈ 15 m ² (7 imagens / 20 m percorridos)	Imagem panorâmica a cada 3 s	Sem informação	3 frames por segundo
Frequência	Avaliações repartidas pelas 4 estações	Pontual	Mensal (> 20 000 hab.) ou trimestral (< 20 000 hab.)	Não referido	Pontual	Contínuo	Contínuo / tempo real (sempre que o veículo circula)	Pontual	Quando contratado	Pontual
Horário de Recolha	Ao longo do dia	17h–20h (primavera/verão); 14h–17h (outono/inverno) – após limpeza noturna	Antes da limpeza diária (manual ou mecanizada)	Após limpeza da equipa (sem hora fixa)	~1 hora antes da limpeza urbana	Qualquer hora (submissão livre)	Qualquer hora	Durante o dia	Qualquer hora	Qualquer hora

Parâmetro	Keep Britain Tidy	Qazvin	AVPU	Granada	Porto	Vancouver	Genebra	Santiago	Bournemouth	Amsterdão
Categorias de Resíduos	7 categorias	9 categorias	12 categorias	8 categorias	11 categorias	-	13 categorias	Classificação binária	+ 50 categorias	6 categorias
Fórmula principal	Índice de limpeza DEFRA (A-D)	$\frac{\sum W_i \times N_i}{Área} \times K$	$\frac{\sum (N_i \times \lambda_i)}{Área} \times 100$	$\frac{\lambda \times C}{n \times S} \times 100$	$\begin{aligned} &(PG \times P_{PG}) \\ &+ (PA \times P_{PA}) \\ &+ (CF \times P_{CF}) \\ &+ (BL \times P_{BL}) \\ &+ (P \times P_p) \end{aligned}$	-	$5 - \frac{(\sum GS \times G)}{5}$	-	Índice de limpeza DEFRA (A-D)	-
Variáveis Consideradas	-	W_i : Ponderação associada à categoria N_i : Número de resíduos por categoria K : 20	λ_i : Ponderação associada à categoria N_i : Número de resíduos por categoria	C : Quantidade total ponderada de resíduos λ : Fator de correção (tipo de pavimento e intensidade da chuva) n : Circunstâncias Extraordinárias S : Área de Observação (comprimento e largura equivalente)	PG, PA, CF : fatores determinados pela classificação por categoria, por tamanho e pela opinião do público BL, P : em termos de limpeza das bocas de lobo e das papeleiras P_x : ponderações baseadas na opinião do público em termos dos locais	-	GS : Grau de Sujidade G : Gravidade	-	-	-

6. Metodologia

6.1. Análise comparativa da percepção da população e recalibração do índice de limpeza urbana

Conforme já referido anteriormente, em 2019 foi realizada uma avaliação da percepção da população relativamente à limpeza urbana da cidade do Porto, com o objetivo de conhecer a opinião dos cidadãos sobre o estado de limpeza de determinadas ruas assim como o grau de incómodo provocado por diferentes tipos de resíduos e pelos locais onde estes se podem encontrar.

No âmbito do presente estudo, e considerando o tempo entretanto decorrido, procedeu-se a uma nova avaliação com o objetivo de atualizar a informação disponível e ajustá-la à realidade e ao contexto atuais, bem como de aplicar estes conhecimentos na recalibração do índice de limpeza urbana da cidade do Porto. Adicionalmente, numa perspetiva futura, pretende-se ainda utilizar os conhecimentos obtidos no Projeto-piloto que a Porto Ambiente irá implementar em parceria com a CortexIA.

6.1.1. Desenvolvimento dos Inquéritos

Foram realizados dois inquéritos relativamente semelhantes, mas em contextos diferentes, ao longo de um mês, entre abril e maio, utilizando a plataforma *Google Forms*. O primeiro foi aplicado presencialmente, mediante abordagem direta a transeuntes nas ruas da cidade, enquanto o segundo foi disponibilizado *online* e partilhado com os colaboradores das empresas municipais do Porto e com várias Juntas de Freguesia do município.

O inquérito presencial teve lugar em diversas ruas da cidade do Porto, tendo estas sido agrupadas em quatro zonas específicas: Baixa, Ribeira, Boavista e Foz, conforme se apresenta na Figura 6.1.



A: Baixa, B: Ribeira, C: Boavista, D: Foz

Figura 6.1: Mapas das zonas e ruas onde foram aplicados os inquéritos.

A seleção destas áreas foi efetuada tendo em conta o projeto-piloto que será implementado. Em princípio, a metodologia da CortexIA será aplicada apenas em

zonas da cidade com maior circulação de pessoas, por serem aquelas onde, previsivelmente, a quantidade de resíduos descartados na via pública é maior. Assim, foram escolhidas ruas representativas dentro dessas áreas, incluindo vias pedonais e não pedonais, com predominância de usos comerciais. O conjunto de ruas selecionadas encontra-se representado no Anexo G.

No que respeita à estrutura do inquérito de rua, apresentado no Anexo H, as duas primeiras questões centravam-se na avaliação do nível de limpeza: a primeira questão pedia ao inquirido que avaliasse o nível de limpeza da rua onde se encontrava, enquanto a segunda pedia uma avaliação mais abrangente, relativa ao nível geral de limpeza das ruas da cidade do Porto. Em ambos os casos, foi utilizada uma escala de 1 a 5, em que 1 correspondia a "Muito Baixo" e 5 a "Muito Bom".

No inquérito online apresentado no Anexo I optou-se por uma abordagem distinta, uma vez que seria demasiado exaustivo para os participantes avaliar cada rua individualmente. Assim, em vez de uma avaliação por rua, solicitou-se aos inquiridos que classificassem o nível de limpeza de cada zona da cidade de forma global, considerando o conjunto de ruas selecionadas que a compõem, também numa escala de 1 a 5.

Ambos os inquéritos incluíram ainda duas questões comuns, semelhantes às do inquérito realizado em 2019. A primeira teve como objetivo identificar os tipos de resíduos cuja presença no espaço público mais incomoda os cidadãos, tendo sido solicitado aos inquiridos que classificassem cada categoria de resíduo numa escala de 1 a 5, em que 1 correspondia a “não me incomoda nada” e 5 a “inaceitável”.

A seleção destas categorias baseou-se, por um lado, no inquérito realizado no estudo anterior (Secção 5.1.5) e, por outro, de forma mais relevante, nos tipos de resíduos detetáveis pelas câmaras da CortexIA, apresentados na Tabela 5.6. Para além das categorias de resíduos, foram também incluídas algumas situações consideradas incomodativas, como *graffitis*, panfletos, papeleiras cheias e contentores não limpos, elementos igualmente passíveis de deteção pelo sistema de câmaras da CortexIA.

No total, foram selecionadas 14 categorias e situações, representadas na Figura 6.2. Os resíduos correspondem a papel e cartão e plástico, garrafas e latas, sacos do lixo, resíduos alimentares, dejetos de animais, resíduos verdes, incrustações, pedras e areia, vidros e beatas de cigarros. Para além destas, foram igualmente incluídas situações consideradas incomodativas e passíveis de deteção pelo

sistema de câmaras, nomeadamente a má limpeza dos contentores, *graffitis*, afixação ilegal e papeleiras cheias.



Figura 6.2: Categorias de resíduos consideradas para a avaliação do índice de incómodo.

Por fim, a última questão teve como principal objetivo identificar os locais onde a presença de resíduos é considerada mais impactante pelos cidadãos. Para esse efeito, solicitou-se aos inquiridos que ordenassem, de 1 a 4, sendo 1 o local onde o desconforto é maior e 4 aquele onde é menor, as seguintes localizações: passeio/guia (PG), placas ajardinadas (PA), caldeiras/floreiras (CF) e papeleiras (PP), categorias idênticas às utilizadas no inquérito anterior (Secção 5.1.5). Para facilitar a compreensão por parte dos participantes, estas designações foram simplificadas, conforme ilustrado na Figura 6.3.



Figura 6.3: Localizações avaliadas quanto ao incómodo da presença de resíduos.

Relativamente às bocas de lobo, uma vez que estas não são tão visíveis ao público, optou-se por não as incluir no inquérito, de forma a evitar uma possível desvalorização desta componente.

Estaria ainda prevista uma última pergunta comum a ambos os inquéritos, relacionada com a aceitação da utilização da IA na limpeza urbana, mas esta acabou por não ser incluída.

Importa referir que, para efeitos de análise estatística, os inquiridos foram caracterizados segundo três variáveis: o tipo de relação que estabelecem com a

cidade (residentes, estudantes, trabalhadores, turistas ou visitantes ocasionais), o género e a faixa etária.

6.1.2. Caracterização do Perfil dos Inquiridos

Com os dados obtidos através dos inquéritos, procedeu-se inicialmente a uma análise descritiva do perfil dos inquiridos, com o objetivo de caracterizar a amostra em função do género, da faixa etária e da forma de frequentar a cidade do Porto (estudante, morador, trabalhador ou turista/visitante), permitindo, assim, identificar a distribuição das respostas por estes grupos.

De seguida, foi realizada uma análise estatística com o objetivo de avaliar se o género, a faixa etária e a forma de frequentar a cidade influenciam as avaliações atribuídas. Para tal, recorreu-se ao teste t para amostras independentes na comparação entre géneros e à análise de variância (ANOVA de um fator) para a comparação entre faixas etárias e entre os diferentes tipos de utilizadores da cidade.

Em todas as análises foi considerado um nível de significância de 5% ($p < 0,05$), sendo este o critério utilizado para determinar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre grupos.

6.1.3. Determinação do Nível de Limpeza global, das zonas e das ruas, de acordo com a perceção da população

Para a determinação do nível global de limpeza da cidade do Porto, segundo a perceção da população, foram consideradas as respostas provenientes de ambos os inquéritos. No inquérito presencial, esta avaliação foi recolhida através de uma questão direta relativa à perceção global da limpeza da cidade. No inquérito online, uma vez que não existia uma questão específica para esta avaliação, o valor global foi calculado com base na média das avaliações atribuídas às quatro zonas em análise, sendo posteriormente efetuada a agregação de todas as respostas obtidas.

Adicionalmente, sendo que ambos os inquéritos incluíram um espaço destinado a comentários e sugestões livres, foi possível recolher observações qualitativas por parte dos inquiridos. Estes contributos foram posteriormente analisados e organizados por temas, tendo sido realizada uma contagem aproximada da frequência dos principais assuntos referidos, com o objetivo de identificar as temáticas mais recorrentes associadas à perceção da limpeza urbana.

No que respeita à avaliação do nível de limpeza das quatro zonas selecionadas, o procedimento adotado foi semelhante ao utilizado na análise global. Assim, foram consideradas as respostas de ambos os inquéritos, sendo que no inquérito online

existia uma questão direta de avaliação por zona, enquanto no inquérito presencial estas avaliações foram obtidas através da média das ruas pertencentes a cada zona. Importa ainda referir que, no inquérito online, a opção “Não Frequento” foi convertida em valor nulo para efeitos de cálculo.

Por fim, o nível de limpeza das ruas foi determinado com base no inquérito específico às ruas, tendo sido seguido um procedimento semelhante ao utilizado na análise por zonas. Os resultados foram posteriormente comparados entre ruas e entre zonas, sendo complementados com a interpretação dos comentários dos inquiridos, de forma a contextualizar as avaliações obtidas.

6.1.4. Recalibração do Índice de Limpeza da Cidade do Porto

As duas últimas respostas obtidas nos inquéritos permitiram atualizar o conhecimento sobre o incómodo causado na população por diferentes categorias de resíduos e pelas respetivas localizações onde estes se podem encontrar.

No entanto, o principal contributo destas respostas foi a possibilidade de ajustar dois dos fatores que integram o Índice de Limpeza desenvolvido para a cidade do Porto: os índices de incómodo associados a cada categoria de resíduos (w_i) e as ponderações relativas aos locais onde esses resíduos se encontram (P_x).

Conforme descrito na Secção 2.1.5, o cálculo do Índice de Limpeza depende da avaliação feita pelos inquiridos atribuída à localização onde os resíduos podem se encontrar depositados. De acordo com a Equação 5, isto corresponde aos coeficientes de ponderação P_{PA} , P_{CF} , P_{BL} e P_P . Desta forma, com os dados obtidos para cada localização, foi calculada a média ponderada das classificações, tendo sido posteriormente somadas todas as médias. Cada média individual foi então dividida por esta soma, obtendo-se assim um conjunto de ponderações normalizadas cuja soma total é igual a 1.

Importa ainda referir que, uma vez que as bocas de lobo não foram incluídas no inquérito de perceção pública, foi necessário atribuir uma ponderação a este componente, que será explicada na Secção 7.2.2. Posteriormente, as ponderações das restantes componentes foram ajustadas proporcionalmente, garantindo que a sua soma permanecesse igual a 1.

O cálculo do índice de limpeza depende igualmente da avaliação feita pelos inquiridos relativamente às tipologias de resíduos passíveis de serem encontrados na via pública, bem como das restantes situações consideradas no âmbito do inquérito. Nesse sentido, os valores do índice de incómodo (w_i), presente na Equação 8 da Secção 5.1.5, foram também atualizados de forma análoga ao procedimento adotado para a ponderação atribuída à localização.

6.1.5. Comparação entre os resultados de 2019 e 2026

Conforme referido na Secção 5.1.5, em 2019 foram realizadas campanhas de quantificação e caracterização de resíduos em várias ruas da cidade do Porto, nas quais os resíduos foram contabilizados por categoria e localização, incluindo passeio, guia, caldeiras, floreiras e placas ajardinadas, tendo também sido registado o estado das papeleiras (totais, vazias e por esvaziar) e das bocas de lobo (totais e limpas).

As categorias utilizadas para distinguir os resíduos correspondem às apresentadas na Tabela E.2, onde se diferencia não só o tamanho de cada ocorrência, mas também a sua tipologia, por exemplo, dentro da categoria dos vidros, há uma distinção entre pedaços de vidro e garrafas, ou, no caso das sujidades aderentes, o tamanho da respetiva incrustação.

Para cada amostragem, definiu-se como unidade de amostragem 250 m² no caso de ruas não pedonais e 500 m² no caso de ruas pedonais, com uma base inicial de 8 amostras por rua. O número de amostras variou de rua para rua, em função do respetivo comprimento, de forma a garantir a máxima cobertura possível. A determinação da área teve em conta apenas a largura e o comprimento dos passeios das ruas em questão, pelo que, dentro da margem de erro referida, se inclui, quando aplicável, a pequena área da guia do passeio ao longo das amostras.

Estes dados permitiram aplicar a metodologia então desenvolvida, com o objetivo de determinar o grau de limpeza de cada rua.

Assim, começou-se por analisar as alterações na perceção da população relativamente às diferentes categorias de resíduos e aos locais onde estes ocorrem. Importa referir que, uma vez que as categorias de resíduos dos dois inquéritos não coincidem totalmente, foi necessário estabelecer uma correspondência entre elas, explicada no Anexo J.

De seguida, pretendeu-se aplicar os novos índices de incómodo e ponderações de localização aos dados das campanhas de quantificação e caracterização de 2019, nas ruas coincidentes com aquelas onde foram realizados ou estavam previstos os inquéritos, presentes na Tabela K.1 do Anexo K.

Uma vez que foram realizadas várias amostragens por rua, nas quais se contabilizaram os diferentes tipos de resíduos presentes, verificava-se pontualmente que determinadas contagens apresentavam valores consideravelmente superiores aos das restantes amostragens da mesma rua, o que poderia distorcer os resultados e afastá-los da realidade.

Para mitigar este efeito, procedeu-se à determinação do desvio relativo à média do número de unidades desse resíduo por rua ($\bar{x}$), calculado através da Equação 13.

$$Desvio\ Relativo = \frac{N^o\ Unidades - \bar{x}_{resíduo, rua}}{\bar{x}_{resíduo, rua}} \times 100 \quad (13)$$

Assim, após uma análise global para aferir variações, optou-se por, sempre que a contagem de um tipo específico de resíduo numa determinada amostra apresentasse um desvio relativo superior a 130% face à média das restantes amostras dessa rua, remover essa contagem. Este limiar foi definido com base numa avaliação visual, a partir da qual se verificou um aumento significativo dos valores. As restantes contagens da mesma amostra, referentes aos demais tipos de resíduos, foram mantidas, preservando a informação recolhida nas restantes observações.

Esta alteração foi aplicada apenas nas situações em que a disparidade entre o número de resíduos da mesma categoria, entre diferentes amostras da mesma rua, era mais acentuada, nomeadamente em PEA pequenos, PENA pequenos e médios, pedaços de vidro, folhas e ramagens pequenas, incrustações até 500 cm² e superiores a 500 cm², RA pequenos e ORO pequenos.

Além disso, uma vez que as campanhas de caracterização de resíduos de 2019 assentam nas categorias então definidas, e dado que estas diferem das categorias utilizadas em 2026, foi necessário adaptar os respetivos Índices de Incómodo, de forma a garantir que a soma dos índices das categorias de 2026 adaptadas totalizasse 1.

Resolvidas estas questões, aplicou-se a metodologia de cálculo do Índice de Limpeza aos dados já sem *outliers* nas ruas já referidas, incorporando as novas ponderações e os índices de incómodo atualizados.

6.2. Levantamento e Avaliação de Ferramentas Existentes

Com o objetivo de identificar e analisar as ferramentas existentes da avaliação do nível de limpeza das cidades, realizou-se um levantamento das metodologias já desenvolvidas, recorrendo à revisão de artigos científicos e, no caso das metodologias comercializadas, à consulta dos *websites* das respetivas empresas.

A partir das metodologias assim identificadas no Estado da Arte, procedeu-se a uma avaliação qualitativa de cada uma delas, com o intuito de identificar os seus principais pontos fortes e limitações, bem como possíveis oportunidades de melhoria.

De forma a complementar esta análise, aplicaram-se as diferentes metodologias aos dados obtidos nas campanhas de caracterização de 2019, nas ruas descritas na Tabela K.1 do Anexo K, com objetivo de as comparar entre si e avaliar quais os aspetos a que cada uma atribui maior relevância.

Contudo, esta avaliação quantitativa não pôde ser aplicada a todas as metodologias analisadas. Tal deve-se ao facto de algumas delas apresentarem uma natureza essencialmente visual, como é o caso da metodologia da *Keep Britain Tidy*, a qual se baseia sobretudo numa apreciação global do estado da rua, sem recurso direto à contagem de resíduos para o cálculo do índice. Pelo mesmo motivo, foram igualmente excluídos o método implementado em Bournemouth, uma vez que o cálculo do índice é equivalente ao da *Keep Britain Tidy*, bem como o método utilizado em Vancouver. Também foram excluídas a abordagem testada com recurso à Litterati e as metodologias de Santiago e Amsterdão, uma vez que estas se apresentam mais como ferramentas de suporte à aplicação de índices do que como metodologias de cálculo do índice de limpeza. Assim, a comparação quantitativa restringiu-se às metodologias de Qazvin, AVPU, Granada, Porto e Genebra.

Uma vez que as diferentes metodologias utilizam categorias de resíduos distintas e estabelecem requisitos específicos relativamente às características dos resíduos e dos locais de amostragem, foi necessário adaptar os dados de 2019 a cada uma delas, processo que será explicado nas próximas secções.

Em todos os casos, os cálculos foram realizados com base apenas nas categorias com equivalência entre metodologias, excluindo as beatas e as pastilhas elásticas, cuja inclusão conduzia a valores de limpeza sistematicamente baixos, distorcendo os resultados, bem como os *outliers* previamente identificados na Secção 6.1.5. Adicionalmente, uma vez que a maioria das metodologias não distingue entre diferentes localizações, optou-se por considerar apenas os dados recolhidos nos passeios.

O processo de adaptação dos dados e os aspetos específicos relevantes para a implementação prática de cada metodologia são descritos de seguida.

6.2.1. Método testado em Qazvin (CEI)

O método de Qazvin destacou-se pela sua estrutura simples, considerando um número reduzido de categorias de resíduos e não incluindo outros parâmetros além da área, do número de resíduos por categoria e do respetivo peso. Esta simplicidade não se traduziu, no entanto, numa adaptação direta: as suas categorias são bastante gerais e abrangentes, o que dificultou a identificação de

equivalências exatas e exigiu a adoção de uma abordagem de generalização na classificação dos resíduos.

Assim, materiais como papéis e embalagens alimentares foram incluídos na categoria do plástico, uma vez que, apesar da designação conter a palavra “papéis”, a própria descrição da categoria de plástico para Qazvin (Anexo B) inclui embalagens de alimentos, garrafas e recipientes, bem como embalagens de rebuçados e bolachas, o que se adequa melhor a esta classificação. Por outro lado, os papéis e embalagens não alimentares foram classificados como papel e cartão, uma vez que, na descrição desta categoria na metodologia de Qazvin, são incluídos exemplos como jornais, maços de cigarro, pedaços de papel, recibos de multibanco e outros resíduos majoritariamente não alimentares. Os dejetos caninos, por sua vez, foram incluídos na categoria de "Resíduos Sanitários", ainda que a sua descrição não clarifique explicitamente esta inclusão.

Vários resíduos ficaram sem correspondência, nomeadamente as categorias “Sacos de indiferenciados”, “Folhas e ramagens”, “Incrustações”, “Resíduos Alimentares” e “Outros Resíduos Orgânicos”. Quanto às categorias consideradas em Qazvin, não houve correspondência nas categorias da “Borracha”, “Têxtil” e “Madeira”.

A equivalência entre categorias encontra-se sistematizada na Tabela L.1 do Anexo L.

6.2.2. Método criado pela AVPU (IMSP)

Relativamente ao IMSP, o estabelecimento da correspondência com as categorias dos dados foi simples, uma vez que as categorias definidas eram, na sua maioria, bastante semelhantes. A equivalência entre categorias encontra-se sistematizada na Tabela L.2 do Anexo L.

A principal diferença identificada foi no caso dos metais, que foram associados à categoria de papéis/embalagens alimentares. Ficaram sem correspondência as categorias "Outros Metais" (dentro do grupo dos metais), "Outros Resíduos Orgânicos" e "Resíduos Alimentares". Quanto às categorias consideradas no IMSP, não houve correspondência nos depósitos ilegais, nos pequenos resíduos orgânicos agrupados, nos *graffitis*, nos cartazes e nos folhetos.

Uma vez que a contagem foi realizada por número de resíduo, foi também necessário adaptar os valores obtidos às unidades de contagem definidas na Tabela C.1. Em várias categorias, esta correspondência foi direta, nomeadamente no caso dos papéis e embalagens alimentares e não alimentares, garrafas, dejetos de cães, sacos de resíduos domésticos e resíduos alimentares orgânicos.

Importa ainda referir que, no caso dos fragmentos de vidro, apesar de estar definido que se considera uma unidade por cor, dado que não foi possível garantir se os fragmentos contabilizados pertenciam ou não à mesma cor, optou-se por considerar uma unidade por cada fragmento registado.

Contudo, existiram algumas categorias que exigiram um cuidado adicional na adaptação dos dados, nomeadamente as folhas e sujidades aderentes. No caso das folhas secas, sendo considerada uma unidade por cada m² coberto, procedeu-se à divisão do número de unidades pela área total amostrada. Relativamente às sujidades aderentes, uma vez que apenas são consideradas nesta metodologia aquelas com área superior a 20 cm² e que uma pastilha elástica, por exemplo, apresenta normalmente dimensões inferiores a esse valor, foram apenas contabilizadas as sujidades aderentes com áreas até 500 cm² e superiores a esse limiar, de forma a respeitar os critérios definidos no método.

6.2.3. Método utilizado em Granada (IS)

O Índice de Sujidade teve também uma correspondência fácil entre categorias, tendo sido consideradas todas as constantes nos dados, sem que nenhuma fosse excluída. A maioria enquadra-se na categoria definida nessa metodologia como “Resíduos Inorgânicos”, nomeadamente papéis, embalagens alimentares e não alimentares, metais, vidros e pedaços de vidro, sacos de indiferenciados e pontas de cigarro. No grupo dos resíduos orgânicos, foram igualmente consideradas duas subcategorias distintas, correspondentes aos resíduos alimentares e a outros resíduos orgânicos.

Importa também referir que uma das categorias consideradas pelo método utilizado em Granada corresponde ao esvaziamento das papeleiras e, uma vez que esta informação foi também registada nas campanhas de caracterização, optou-se por incluí-la, considerando-se que o número de papeleiras por esvaziar corresponde ao total de papeleiras menos as papeleiras vazias. Quanto ao Índice de Sujidade, não foram preenchidos os itens relativos a caldeiras por limpar e limpas, bem como a resíduos de varredura não recolhidos.

A equivalência entre categorias encontra-se sistematizada na Tabela L.3 do Anexo L.

Passando agora para as características da rua propriamente dita, e conforme já referido na sua descrição no Estado da Arte, este método depende também da largura equivalente, que tem em conta a largura e o comprimento da rua, bem como a modalidade de estacionamento. Contudo, uma vez que os dados utilizados na avaliação dos índices de limpeza das ruas foram obtidos em 2019, não foi possível determinar com exatidão o comprimento avaliado em cada amostra, nem a sua

localização exata, o que impossibilitou também a identificação da modalidade de estacionamento correspondente. Desta forma, a componente da largura equivalente não foi tida em conta nas avaliações realizadas.

Por outro lado, no que diz respeito ao fator de correção que considera o tipo de pavimento e a intensidade de vento e chuva, todos os cálculos foram realizados assumindo condições de baixa intensidade e pavimento em bom estado, o que resulta num fator igual a 1. De igual modo, no que se refere às circunstâncias especiais, foi inicialmente assumido um cenário normal, também correspondente a um valor de 1.

6.2.4. Método desenvolvido para o Porto (IL)

Por sua vez, no que diz respeito ao Índice de Incómodo, foram utilizados os parâmetros definidos com base nos inquéritos realizados em 2026 e em 2019. Dado que nas outras metodologias não foram consideradas outras localizações além do passeio, com exceção do IS e do CCI, por corresponderem a categorias previstas pelas próprias metodologias, e tendo em conta que a metodologia aplicada ao Porto contemplava inicialmente várias localizações, optou-se por atribuir ao passeio uma ponderação de 100%, sendo nula para todas as restantes localizações. Esta decisão visou garantir a comparabilidade dos resultados e prendeu-se, igualmente, com a maior complexidade inerente à definição de ponderações alternativas.

6.2.5. Método utilizado em Genebra (CCI)

O *Clean City Index* pôde também ser aplicado aos nossos dados, tendo sido necessário estabelecer uma correspondência entre as categorias, conforme se pode observar na Tabela L.4 do Anexo L.

Depois de definidas as categorias equivalentes, foi também necessário proceder à conversão do número de resíduos, uma vez que se trata de uma situação particular, dado que as unidades de contagem foram definidas por imagem captada pela câmara, sendo que cada imagem corresponde a uma área de 15 m². Assim, foi necessário normalizar primeiro todos os dados para esta mesma área de referência.

Algumas categorias apresentam uma correspondência direta, nomeadamente beatas, caixotes do lixo, garrafas, latas e outros e excrementos. Por outro lado, no caso das pastilhas elásticas, folhagem e flores, bem como dos fragmentos de vidro, a quantificação baseia-se na percentagem de ocupação da superfície ou no volume, parâmetros que não foi possível determinar com os dados obtidos em 2019. Por esse motivo, estas categorias foram excluídas da análise.

Posteriormente, foi necessário atribuir o grau de sujidade a cada categoria, de acordo com o Anexo F, que está normalizado para os 15 m² de cada imagem capturada.

7. Resultados e Discussão

7.1. Avaliação da Percepção da População sobre a Limpeza Urbana da Cidade do Porto

A avaliação da percepção da população relativamente ao nível de limpeza urbana da cidade do Porto foi realizada com base nas respostas às primeiras duas questões dos inquéritos presenciais e às primeiras três questões dos inquéritos online, ambos apresentados no Anexo H e no Anexo I. Os dois inquéritos totalizaram 556 respostas ao longo de um mês, das quais 275 foram recolhidas no inquérito presencial e 281 no inquérito online.

Numa primeira fase, procedeu-se a uma análise estatística preliminar do perfil dos inquiridos, avaliando de que forma o género, a faixa etária e o modo como frequentam a cidade podem influenciar as avaliações atribuídas. Seguiu-se a discussão da avaliação à globalidade da cidade do Porto, depois por zona e, por fim, por rua.

Importa ainda referir que, conforme já dito anteriormente, para uma melhor compreensão, as avaliações são expressas nas categorias "Muito Bom", "Bom", "Médio", "Baixo" e "Muito Baixo", às quais foram atribuídos, em termos estatísticos, os valores 5, 4, 3, 2 e 1, respetivamente.

7.1.1. Caracterização do Perfil dos Inquiridos

A análise inicia-se com a caracterização do perfil dos inquiridos, cujas estatísticas globais se encontram no conjunto de gráficos representados na Figura 7.1.

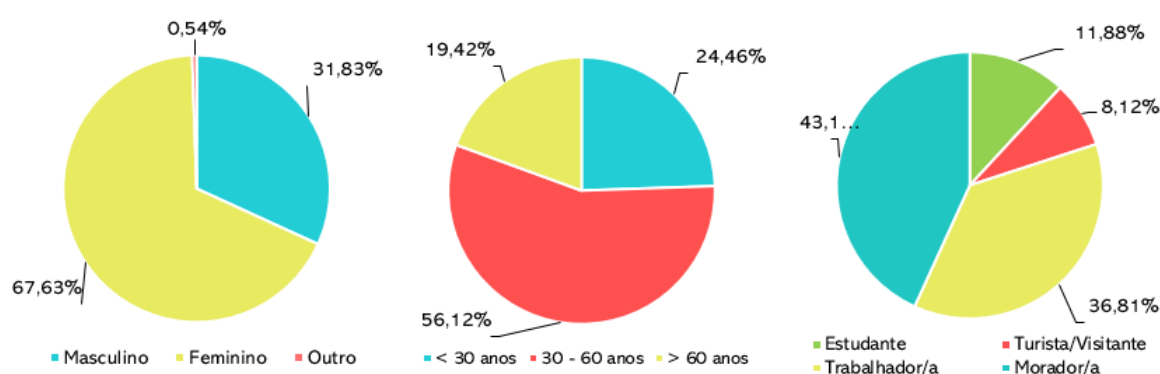


Figura 7.1: Caracterização do perfil dos inquiridos.

A partir da figura é possível aferir que existe uma maior predisposição de pessoas do género feminino para responder aos inquéritos, uma vez que, representam cerca de 67,63% do total de inquiridos, face a 31,83% de respostas obtidas pelo sexo

masculino. Relativamente à faixa etária, mais de metade dos inquiridos (56,12%) concentra-se entre os 30 e os 60 anos, correspondendo a uma população em idade ativa. Por outro lado, no que diz respeito à forma como os inquiridos frequentam a cidade do Porto, destacam-se os moradores, que representam cerca de 43,19% dos inquiridos, seguidos dos trabalhadores, com 36,81%. Este resultado é coerente, uma vez que estes grupos são os que mantêm um contacto mais frequente e direto com as ruas da cidade, sendo, por isso, aqueles que terão mais interesse em responder e que mais beneficiam de eventuais intervenções no âmbito deste inquérito.

Relativamente às avaliações realizadas, considerando todas as respostas obtidas, tanto no que respeita à avaliação da rua, da zona, como também à avaliação global do nível de limpeza da cidade do Porto, foi realizada uma análise comparativa das avaliações em função do perfil dos inquiridos.

Relativamente à diferença entre géneros, apresenta-se a distribuição das avaliações atribuídas, na Figura 7.2.

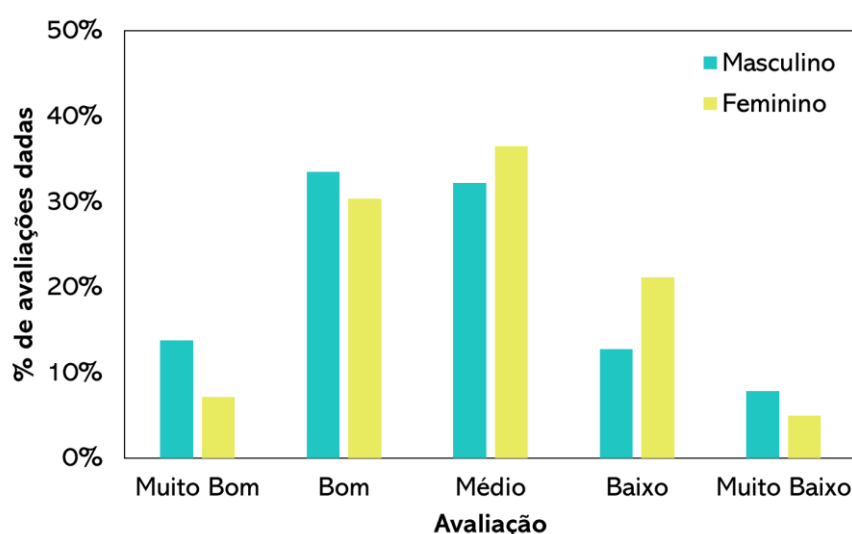


Figura 7.2: Distribuição das avaliações do nível de limpeza da cidade do Porto pelos inquiridos, de acordo com o género.

Foi possível verificar que as respostas do género masculino apresentaram uma maior percentagem na classificação “Bom”, correspondente a 33,5% das suas respostas, e “Médio”, correspondente a 32,2% das suas respostas. Por sua vez, as mulheres registaram uma maior percentagem na classificação “Médio”, correspondente a 36,4% das suas respostas, seguido da classificação “Bom”, correspondente a 30,3%.

Considerando que a classificação "Muito Bom" corresponde a 5, "Bom" a 4, e assim sucessivamente, a média global das respostas situou-se na categoria "Médio" em

ambos os géneros, tendo o género masculino registado um valor superior (3,33) comparativamente com o género feminino (3,14). O valor $p = 0,002$, obtido através de um teste T para duas amostras com variâncias desiguais, é inferior ao limiar de significância estatística ($p < 0,05$), o que indica que estes resultados são significativamente diferentes, indicando uma tendência para uma menor exigência por parte dos inquiridos do género masculino.

Esta análise foi também realizada para as diferentes faixas etárias, conforme se pode observar na Figura 7.3.

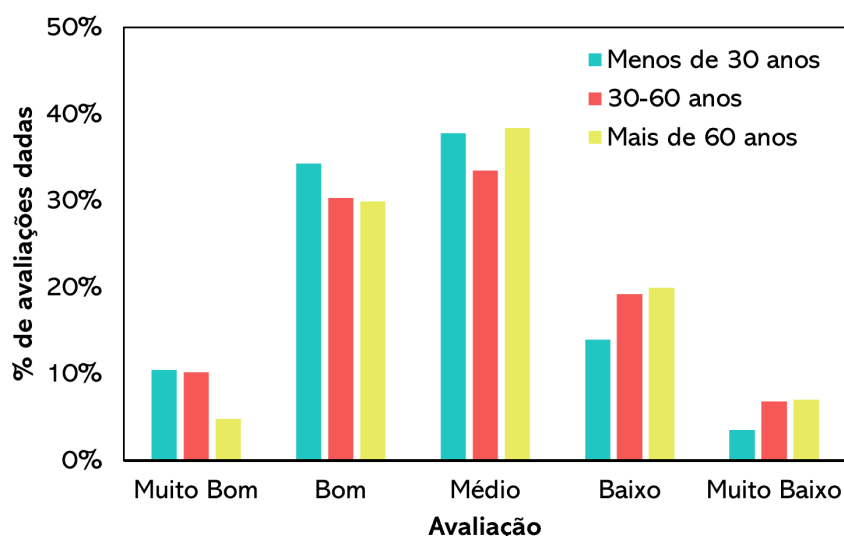


Figura 7.3: Distribuição das avaliações do nível de limpeza da cidade do Porto pelos inquiridos, de acordo com a faixa etária.

Os resultados indicam que a classificação "Médio" é a mais frequente em todas as faixas etárias, representando mais de 30% das respostas em cada grupo. Em contraste, a classificação "Muito Bom" é a menos selecionada no grupo com mais de 60 anos (3,5%), enquanto a classificação "Muito Baixo" regista as percentagens mais reduzidas nas faixas etárias com menos de 30 anos e entre 30 e 60 anos, com 3,49% e 6,83%, respetivamente.

Relativamente às médias obtidas por faixa etária, os grupos apresentam valores decrescentes à medida que a idade aumenta, com o grupo com menos de 30 anos a registar a média mais elevada (3,34), seguido do grupo entre 30 e 60 anos (3,18) e, por fim, do grupo com mais de 60 anos (3,06). O valor $p = 0,003$, obtido através de uma análise ANOVA de fator único, é inferior ao limiar de significância estatística ($p < 0,05$), o que indica que existem diferenças estatisticamente significativas entre as faixas etárias, o que nos permite concluir que a faixa etária exerce uma influência sobre as avaliações atribuídas, sendo os inquiridos mais jovens aqueles que tendem a avaliar de forma mais positiva a limpeza da cidade.

Por fim, no que respeita à forma como os inquiridos frequentam a cidade, a Figura 7.4 ilustra a distribuição das avaliações atribuídas por cada tipo de utilizador.

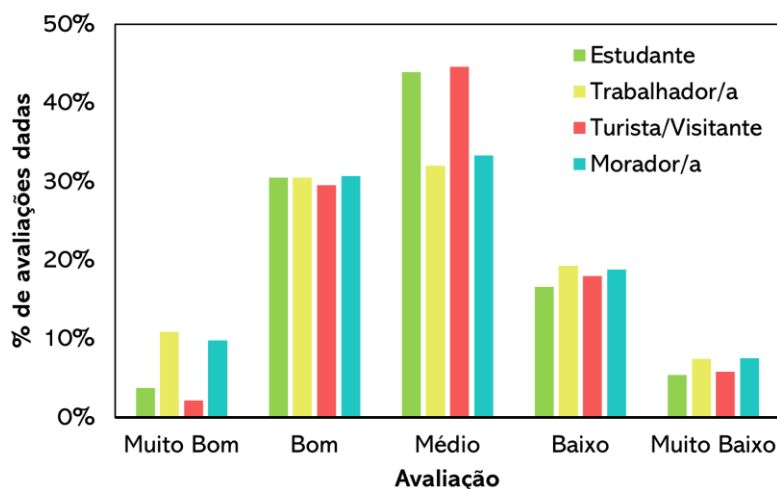


Figura 7.4: Distribuição das avaliações do nível de limpeza da cidade do Porto, de acordo com a forma de frequentar a cidade.

Pela análise dos resultados apresentados na figura, verifica-se que a classificação "Médio" é dominante em todos os grupos, sendo particularmente expressiva nos turistas/visitantes (44,6%) e nos estudantes (43,85%), correspondendo a quase metade das avaliações destes grupos. Por outro lado, os moradores e os trabalhadores revelam uma perceção globalmente mais positiva, sendo os grupos com maior proporção de respostas "Muito Bom", com 9,75% e 10,91%, respetivamente.

Relativamente às médias obtidas, os quatro grupos apresentam valores muito próximos entre si, com os trabalhadores a registarem a média mais elevada (3,18), seguido dos moradores (3,16), estudantes (3,11) e, por fim, turista/visitante (3,04). Em todo o caso, o valor $p = 0,486$, obtido através de uma análise ANOVA de fator único, é muito superior ao limiar de significância estatística ($p < 0,05$), o que indica que não existem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Desta forma, infere-se relativamente aos resultados obtidos que o tipo de utilizador não exerce uma influência significativa sobre as avaliações atribuídas.

7.1.2. Avaliação do Nível de Limpeza Global da cidade do Porto

Para avaliar o nível global de limpeza da cidade do Porto, foram utilizadas duas fontes de dados: o inquérito presencial, com 275 respostas que incluíam uma questão direta sobre a avaliação global, e o inquérito online, com 908 respostas válidas, uma vez que cada inquirido respondeu para 4 zonas. Para efeitos de comparação e análise global, as respostas do inquérito online foram agregadas, permitindo obter uma medida única representativa da perceção geral. As respostas

detalhadas por inquérito e por classificação encontram-se na Tabela M.1 do Anexo M.

Com base nesses valores, apresenta-se a Figura 7.5, na qual se representa a distribuição percentual das classificações atribuídas ao nível de limpeza global.

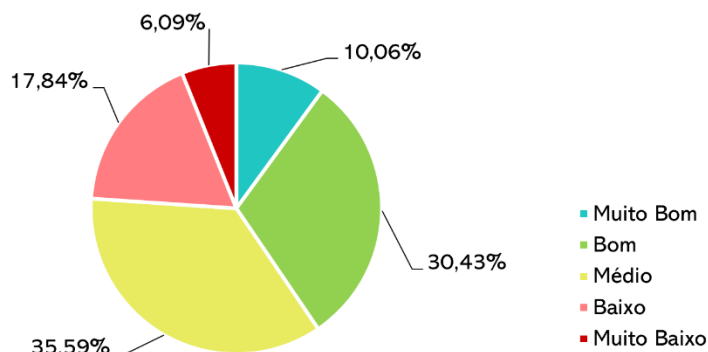


Figura 7.5: Distribuição percentual das avaliações do nível de limpeza global da cidade do Porto.

Neste conjunto de respostas, a classificação "Médio" revelou-se a mais frequente, representando 36% das respostas, seguida de "Bom" com 30%, perfazendo em conjunto mais de metade do total. Desta forma, a média global obtida foi de 3,20, situando-se dentro do nível "Médio", o que indica uma perceção globalmente moderada da limpeza urbana por parte dos inquiridos, reconhecendo-se o esforço dos serviços, mas com margem considerável para melhoria.

Uma vez que ambos os inquéritos incluíam espaço para sugestões e comentários livres, muitos dos inquiridos aproveitaram para fundamentar as suas avaliações, ora reconhecendo positivamente o trabalho dos serviços de limpeza urbana e de recolha de resíduos, ora apontando críticas e sugerindo melhorias. A maioria destes contributos incide sobre temas semelhantes, tendo sido realizada uma contagem aproximada com o objetivo de identificar os assuntos mais recorrentes, conforme ilustrado na Figura 7.6. De seguida descrevem-se alguns dos aspetos realçados.

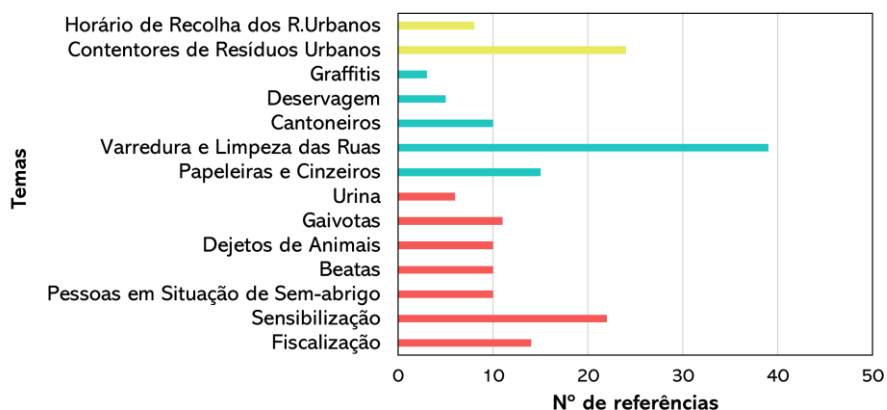


Figura 7.6: Temas mais referidos nos comentários e sugestões dos inquiridos.

No que respeita à limpeza urbana, a limpeza das ruas (varredura e lavagem) é o tema mais referido pelos inquiridos, com reclamações quanto à frequência dos serviços, especialmente em zonas residenciais e fora dos circuitos turísticos. Salienta-se que a atuação da Porto Ambiente procura responder de forma adequada às diferentes realidades do território, com base em planeamentos operacionais ajustados às características e dinâmicas de cada zona. Ainda assim, existem fatores que, em determinados contextos, transcendem a própria capacidade de intervenção direta da Porto Ambiente e que podem contribuir para uma degradação mais acelerada do estado de limpeza entre intervenções programadas, apesar da resposta contínua e estruturada dos serviços.

As papeleiras são apontadas como insuficientes em várias zonas, com destaque para áreas de maior afluência, sendo sugerida a instalação de modelos com cinzeiro incorporado. Importa referir que muitas vezes estas estão disponíveis mas não são corretamente utilizadas ou a sua localização pode não corresponder exatamente aos pontos de maior conveniência para os utilizadores, o que leva à perceção de inexistência dos equipamentos. Acresce que existem condicionantes técnicas e urbanísticas que, em determinadas situações, limitam ou mesmo impedem a instalação de papeleiras em certos locais. Para além disso, podem também ocorrer constrangimentos associados à envolvente urbana e à atividade comercial.

Os cantoneiros foram alvo de críticas quanto ao comportamento profissional, ainda que surjam também alguns elogios a trabalhadores específicos. É, também, solicitada uma maior frequência de intervenção ao nível da deservagem e manutenção, nomeadamente nas caldeiras das árvores e espaços verdes dos bairros residenciais, ainda que a gestão destes não seja da responsabilidade da Porto Ambiente. Os *graffitis*, embora com menor expressão, são mencionados como um problema de degradação visual do espaço público, sendo sugerida maior vigilância noturna e uma resposta mais célere na sua remoção.

Relativamente à recolha de resíduos urbanos, ainda que não seja da responsabilidade do serviço de limpeza urbana, o seu impacto visual na limpeza das ruas e a sua menção pelos inquiridos justifica a sua inclusão. Os contentores de resíduos urbanos constituem a principal preocupação, com reclamações sobre o subdimensionamento do sistema e a frequência de recolha, bem como sobre a sua manutenção. Neste âmbito, os inquiridos sugerem a adoção de modelos com pedal e uma melhor adequação da sua capacidade e localização. O horário de recolha é igualmente criticado, uma vez que a circulação dos camiões em horário

diurno condiciona o trânsito, ao passo que a recolha noturna perturba o descanso dos moradores em zonas residenciais.

No âmbito da recolha, importa referir que este serviço é regularmente planeado e ajustado com base em critérios técnicos e operacionais, procurando responder às necessidades do território e garantir a sua eficácia. Ainda assim, a perceção de insuficiência pode, em alguns casos, ser amplificada por fatores como a intensidade de utilização dos equipamentos e a rapidez com que se gera a deposição de resíduos, não refletindo integralmente a capacidade de resposta assegurada no terreno.

Entre outras situações frequentemente referidas, destaca-se a necessidade de sensibilização da população e de promoção do civismo. Neste sentido, muitos inquiridos atribuem os problemas de limpeza não tanto à atuação da Porto Ambiente, mas sobretudo aos comportamentos inadequados dos utilizadores do espaço público. Assim, sugerem a implementação de campanhas dirigidas a moradores e utilizadores, abordando temas como a correta utilização dos contentores, o cuidado com os dejetos de animais e o descarte de beatas, bem como a responsabilização dos estabelecimentos comerciais pela manutenção do espaço envolvente.

É relevante salientar que a Porto Ambiente já desenvolve ações neste domínio, nomeadamente através da sua participação em iniciativas e eventos no município do Porto, onde promove a sua atividade e dinamiza ações de sensibilização sobre gestão de resíduos e limpeza urbana, contribuindo precisamente para os objetivos identificados pelos inquiridos.

A fiscalização é também apontada de forma recorrente como insuficiente, sendo relatadas situações em que alguns estabelecimentos continuam a infringir as regras mesmo após penalizações. Neste sentido, os inquiridos propõem o agravamento das coimas e uma maior presença das autoridades no terreno.

Por fim, registam-se várias queixas relacionadas com a presença de pessoas em situação de sem-abrigo, identificadas por alguns inquiridos como um fator de degradação visual e de higiene, devido à acumulação de resíduos nos locais onde permanecem.

7.1.3. Avaliação do Nível de Limpeza das Zonas

Passando agora para a avaliação do nível de limpeza das 4 zonas selecionadas, no Anexo N, é possível consultar o número de respostas obtido para cada nível de classificação, por zona, tanto para o inquérito online como para o inquérito presencial. Com estes dados, foi possível obter a Figura 7.7, que representa as

médias de limpeza obtidas para cada uma das 4 zonas avaliadas em comparação com a média no nível de limpeza global já analisado na Secção 7.1.2.

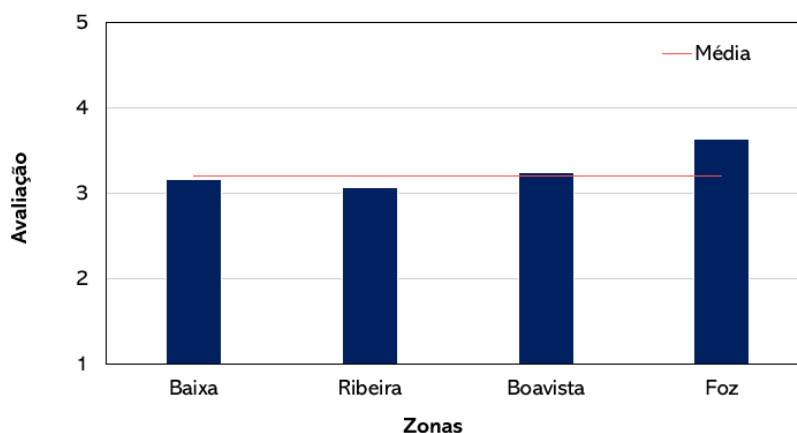


Figura 7.7: Médias do nível de limpeza atribuídas a cada zona, segundo a percepção da população, em comparação com a média global.

Da análise da figura, constata-se que todas as zonas registaram uma média superior a 3, sendo a Foz a que apresenta os níveis de limpeza mais elevados (3,63), seguida da Boavista (3,23), da Baixa (3,16) e, por fim, da Ribeira (3,07), que regista os valores mais baixos.

Os valores mais baixos atribuídos à Baixa e à Ribeira podem ser justificados pelo facto de estas zonas serem de maior pressão turística e terem maior afluência de pessoas, incluindo também ruas da *Movida* (zona de diversão noturna). Estes valores ajudam a explicar as queixas recorrentes de moradores e comerciantes, principalmente sobre situações de vidros partidos espalhados na via pública, urina na via pública e excesso de resíduos nos contentores, que resulta em deposições indevidas de resíduos à sua volta.

Na Boavista, surgem críticas sobretudo relacionadas com sobrelotação dos ecopontos, subdimensionamento do sistema de deposição de resíduos em geral, limpeza irregular e acumulação de resíduos em pontos específicos, como junto a mercados ou áreas comerciais.

Por fim, a zona da Foz é a que apresenta a melhor avaliação, o que poderá estar associado a uma combinação de fatores, como a menor intensidade de vida noturna, e ser uma zona predominantemente residencial. Além disso, é comum verificar-se uma menor percentagem de resíduos em espaços mais recreativos, como parques, fenómeno também observado no estudo de Qazvin, possivelmente porque a poluição nestes locais tem um maior impacto percecionado pelas pessoas [27].

7.1.4. Avaliação do Nível de Limpeza das Ruas

Relativamente à classificação das ruas, foi possível avaliar 26 ruas pertencentes às quatro zonas em análise (Baixa, Ribeira, Boavista e Foz). A Baixa destacou-se como a zona com o maior número de ruas avaliadas (15), seguindo-se a Ribeira e a Foz, com 4 ruas cada, e a Boavista, com 3.

Importa referir que não foi possível realizar os inquéritos em todas as ruas selecionadas no Anexo G, uma vez que estes foram conduzidos apenas por uma única pessoa, o que limitou a capacidade de cobertura. Além disso, embora o questionário não fosse particularmente demorado, era necessário algum tempo para conseguir reunir os dez inquiridos por rua. Acresce que, em várias ruas com elevada presença de turistas, nomeadamente na zona da Ribeira, a recolha de respostas revelou-se mais difícil, o que também condicionou a realização do trabalho nesta zona em específico.

Por outro lado, algumas ruas, apesar de terem respostas registadas, estas não foram consideradas nesta análise por não atingirem um número mínimo de 7 respostas. A média de respostas por rua avaliada foi de 10,2.

A Figura 7.8 apresenta as médias do nível de limpeza atribuídas a cada rua avaliada, de acordo com a perceção dos inquiridos, onde o valor 1 corresponde a "Muito Baixo" e o valor 5 a "Muito Bom". As ruas encontram-se diferenciadas por cores consoante a zona em que se inserem e as respetivas médias são apresentadas em comparação com a média global, representada pela linha vermelha. As médias obtidas podem ser consultadas no Anexo O.

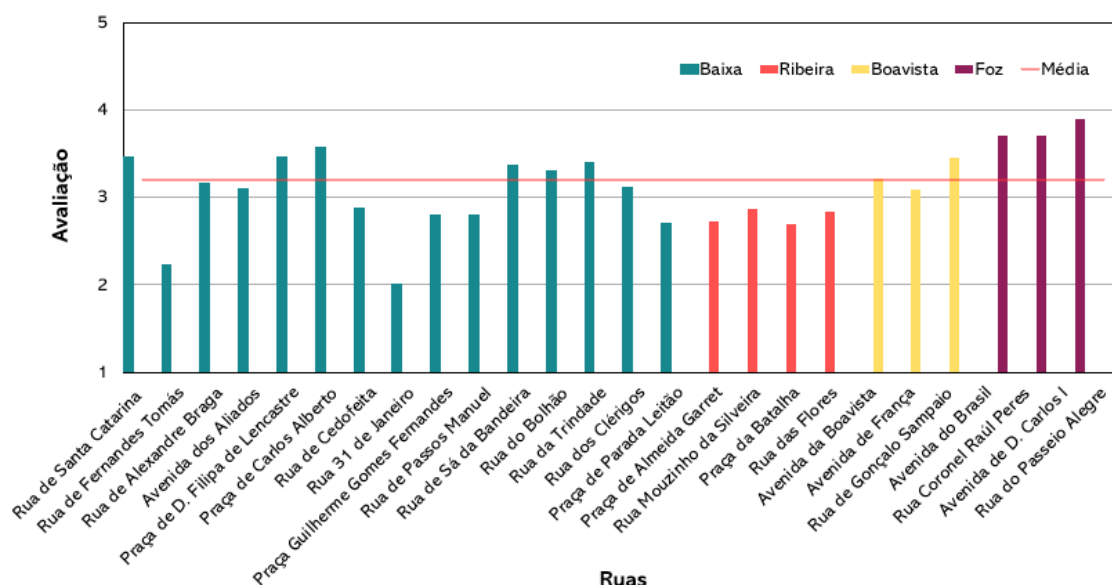


Figura 7.8: Resultados (valores médios) do nível de limpeza atribuído a cada rua, segundo a perceção da população e comparação com a média global.

De uma forma geral, observa-se que a maioria das ruas apresenta valores próximos da média de 3,13, o que indica uma percepção globalmente moderada do nível de limpeza urbana.

Contudo, existem algumas ruas que se destacam negativamente, nomeadamente a Rua de Fernandes Tomás e a Rua 31 de Janeiro, com médias de 2,22 e 2,00, respetivamente, indicativos de uma percepção desfavorável da limpeza. É de notar que ambas são ruas adjacentes à Rua de Santa Catarina, o que torna o contraste ainda mais evidente.

Na Rua 31 de Janeiro, as queixas centram-se essencialmente em dois problemas: a presença de *graffitis* nas fachadas dos edifícios e a permanência de pessoas sem-abrigo que pernoitam na zona, situação que contribui para a acumulação de resíduos e para condições de higiene precárias, com impacto direto na qualidade do ambiente urbano, nomeadamente através de maus cheiros persistentes.

Além disso, estas ruas apresentam uma reduzida ou quase inexistente contentorização, devido a constrangimentos técnicos e ao facto de serem servidas pelo sistema de recolha PAP comercial. Embora exista uma janela horária definida para a colocação dos resíduos na via pública, verificam-se frequentemente incumprimentos, o que faz com que sacos e contentores permaneçam no espaço público durante períodos prolongados, contribuindo para uma imagem negativa do local. Acresce que a elevada produção de resíduos leva, por vezes, a que a frequência de recolha seja insuficiente para responder às necessidades imediatas, resultando na acumulação de resíduos nas áreas envolventes aos pontos de deposição.

Por outro lado, a Avenida D. Carlos I, com uma média de 3,90, e a Rua do Passeio Alegre, com uma média de 3,80, destacam-se positivamente, refletindo uma percepção mais favorável por parte dos inquiridos relativamente à sua limpeza.

Para uma melhor visualização espacial das avaliações das ruas por zona, foram produzidos 4 mapas através do ArcGIS, nos quais cada rua é representada por cores de acordo com a classificação atribuída.

Assim, o vermelho corresponde a valores inferiores ou iguais a 2, indicando avaliações mais baixas, o amarelo corresponde a valores inferiores ou iguais a 3, o verde a valores inferiores ou iguais a 4; e o azul corresponde a valores inferiores ou iguais a 5, representando as avaliações mais elevadas, que neste caso não existiram. Na Figura 7.9 encontra-se representado o mapa obtido para as ruas da zona da Baixa.



Figura 7.9: Mapa com a avaliação da limpeza das ruas de acordo com a percepção do público, obtida para as ruas da Baixa.

A partir da sua análise, é possível concluir que se trata de uma zona heterogênea, caracterizada pela coexistência de ruas classificadas a vermelho, amarelo e a verde. Dentro das ruas assinaladas a verde, destacam-se aquelas com médias superiores a 3,40, a Praça de Carlos Alberto, a Praça D. Filipa de Lencastre e, em particular, a Rua de Santa Catarina, esta última com especial relevância por ser uma das artérias mais frequentadas da cidade do Porto. Em contrapartida, ainda nesta zona, os valores mais reduzidos foram registados na Rua 31 de Janeiro, a única rua registada a cor vermelha, e na Rua de Fernandes Tomás.

Importa destacar que na Rua de Alexandre Braga, junto ao Mercado do Bolhão, são comuns as reclamações relativas à insuficiência de papeleiras, contentores e cinzeiros, problema que se agrava com o elevado fluxo de turistas que saem do mercado com embalagens de comida e copos de plástico descartáveis. Salienta-se que este problema já tinha sido anteriormente identificado pela Porto Ambiente, encontrando-se atualmente em fase de aprovação um projeto de reforço da rede de papeleiras. Contudo, no caso específico da área envolvente ao edifício do Bolhão, a eventual instalação de equipamentos junto à fachada carece de autorização superior. Acresce que, ao longo do restante arruamento, enquanto alternativa de localização, verifica-se uma disponibilidade muito reduzida ou inexistente de espaço para a colocação de papeleiras, situação ainda condicionada pela frequente oposição de alguns comerciantes à sua instalação, o que pode dificultar a concretização das soluções previstas.

Destaca-se também a Rua dos Clérigos e a Praça da Parada Leitão, ambas na *Movida*, cujos comentários incidem sobretudo na presença de resíduos na via pública e no odor a urina. Ainda assim, vários inquiridos reconhecem o esforço do

Município na limpeza destas áreas, considerando que, embora o trabalho realizado seja positivo, haveria margem para melhorias.

Na Figura 7.10, encontra-se representado o mapa obtido para as ruas da zona da Ribeira.



Figura 7.10: Mapa com a avaliação da limpeza das ruas de acordo com a percepção do público, obtida para as ruas da Ribeira.

Relativamente às ruas da zona da Ribeira, este conjunto apresenta as avaliações mais baixas entre todas as áreas analisadas. Verifica-se que todas as ruas registam valores inferiores a 3, situando-se, portanto, abaixo da média global, o que é evidenciado pela sua classificação em amarelo.

A principal reclamação, transversal aos inquiridos, prende-se com o número insuficiente de papeleiras, sentida na Rua de Mouzinho da Silveira, na Rua das Flores e na Praça da Batalha. Este problema agrava-se pelo crescente fluxo de pessoas nesta zona, impulsionado pelo aumento do comércio, nomeadamente a Feira da Alegria na Batalha, e pelo turismo, cada vez mais expressivo. Importa referir que, nestes locais, a Porto Ambiente assegura o cumprimento do rácio considerado adequado para a instalação de papeleiras (de 130 e 80 litros), sendo estas alvo de recolha três vezes por dia. Além disso, do ponto de vista operacional, as possibilidades de intervenção adicional são limitadas, uma vez que se tratam de ruas com múltiplas condicionantes urbanísticas e restrições de enquadramento do espaço público.

Na Rua das Flores, em particular, os comerciantes queixam-se especificamente do descarte inadequado de resíduos por parte dos turistas e de outros comerciantes, que recorrem às papeleiras para depositar resíduos que deveriam ser depositados nos equipamentos de proximidade, ou através do sistema PAP, contribuindo para o seu enchimento desnecessário. Na mesma rua, é também referida a necessidade de reforçar a frequência da lavagem, em especial durante os meses de verão.

Na Praça da Batalha, por sua vez, surge ainda outra preocupação: a falta de cuidado na gestão dos resíduos alimentares distribuídos a pessoas carentes, cujo descarte posterior nem sempre é feito de forma adequada.

Na Figura 7.11, encontra-se representado o mapa obtido para as ruas da zona da Boavista.

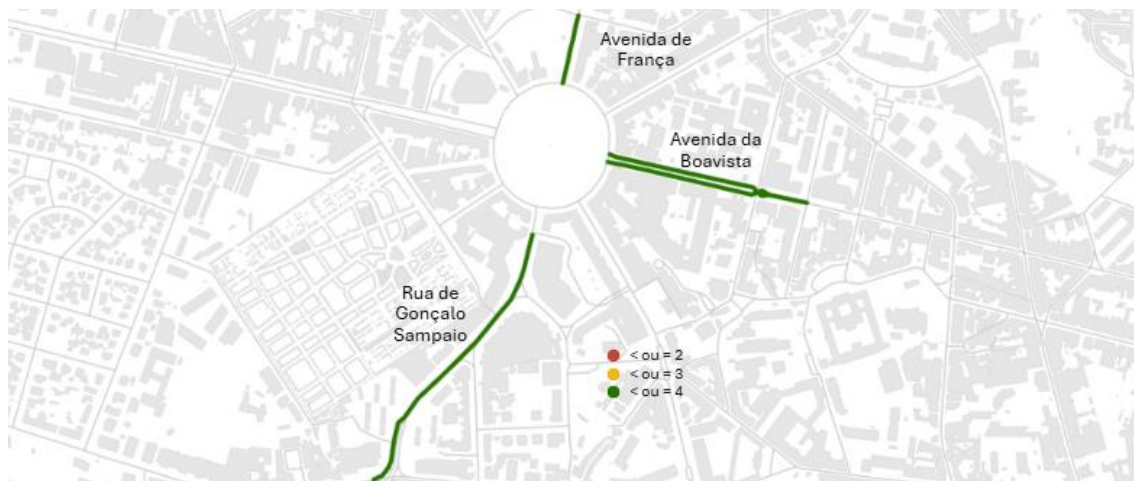


Figura 7.11: Mapa com a avaliação da limpeza das ruas de acordo com a percepção do público, obtida para as ruas da Boavista.

Relativamente à zona da Boavista, todas as ruas obtiveram resultados relativamente semelhantes e próximos da média global, todas a verde. A Rua de Gonçalo Sampaio e a Avenida de França destacam-se pela positiva, o que assume particular relevância tendo em conta a elevada afluência de pessoas nestas vias, quer devido ao fluxo de utilizadores provenientes do metro, quer à presença de polos de atração como o Mercado do Bom Sucesso e o Shopping Cidade do Porto.

Na Figura 7.12 encontra-se representado o mapa correspondente às ruas da zona da Foz, onde se verifica que todas se encontram assinaladas a verde.

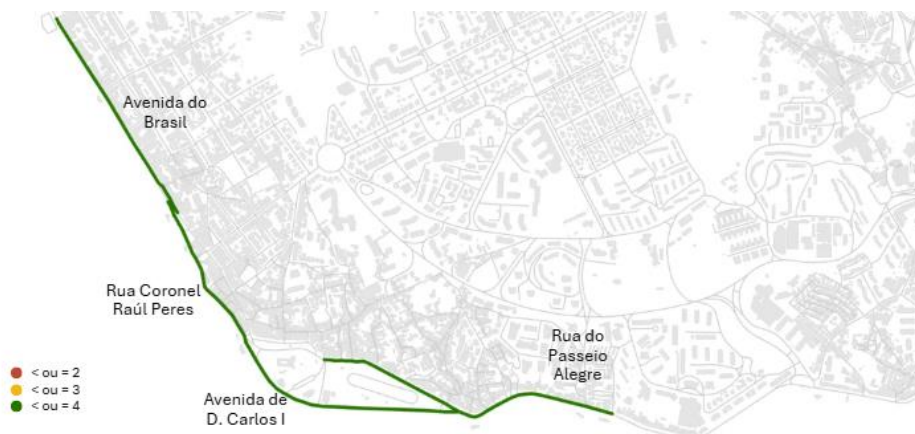


Figura 7.12: Mapa com a avaliação da limpeza das ruas de acordo com a percepção do público, obtida para as ruas da Foz.

Conforme anteriormente referido, as classificações mais elevadas observadas nas ruas da Foz poderão estar associadas ao facto de esta zona apresentar uma menor densidade populacional e um carácter predominantemente residencial.

A principal queixa registada nesta área prende-se com a maior incidência de gaivotas, que, aproveitando o fecho inadequado dos contentores ou a deposição de sacos de resíduos fora dos locais apropriados, rasgam os sacos e dispersam os resíduos pela via pública.

7.2. Recalibração do Índice de Limpeza

Conforme referido na metodologia, as duas últimas respostas de ambos os inquéritos serviram para recalibrar dois dos fatores que compõem o Índice de Limpeza criado para a cidade do Porto: os Índices de Incómodo associados às categorias dos resíduos (w_i) e as ponderações relativas à localização onde estes se podem encontrar (P_x).

7.2.1. Recalibração dos Índices de Incómodo (w_i) e das Ponderações da Localização (P_x)

Com base nos inquéritos realizados, apresentam-se, na Figura 7.13, as médias das respostas obtidas para cada categoria de resíduos, numa escala de 1 a 5, em que 1 corresponde a "Não Incomoda Nada" e 5 a "Inaceitável". A distribuição do número de avaliações atribuídas a cada categoria encontra-se descrita com maior detalhe na Tabela P.1 do Anexo P.

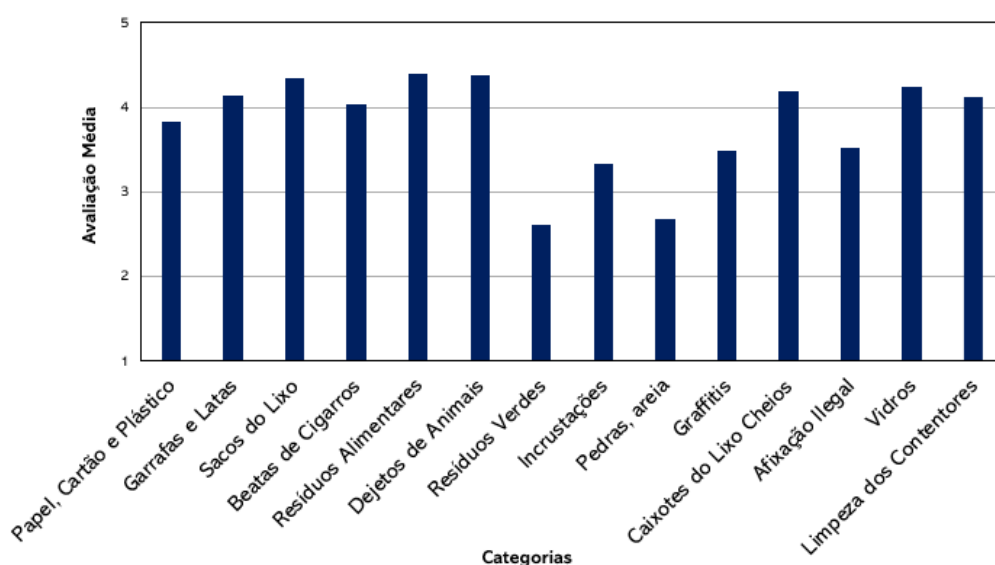


Figura 7.13: Distribuição das avaliações por categoria de resíduos.

Da análise da Figura 7.13 destacam-se os resíduos alimentares, os dejetos de animais e os sacos do lixo como as categorias que mais incomodam, a par dos caixotes do lixo cheios, dos vidros e da má limpeza dos contentores, todas elas com classificações médias acima de "Incomoda Muito".

Em sentido oposto, os resíduos verdes e as pedras e a areia revelam-se consideravelmente mais normalizados, registando classificações próximas de "Não incomoda nada" ou "Incomoda Pouco". Este resultado é justificável pelo facto de os resíduos verdes serem de origem natural e, por conseguinte, mais difíceis de controlar, ao passo que pedras e areia constituem ocorrências pouco frequentes e com reduzido impacto visual.

Numa posição intermédia, as incrustações apresentam valores de incómodo moderados, o que poderá estar relacionado com o facto de vários inquiridos referirem que raramente as percebem ou que, pela sua presença constante, deixaram de lhes prestar atenção. Também os *graffitis* e a afixação ilegal registaram valores relativamente baixos, possivelmente por não constituírem resíduos em sentido estrito nem indicadores diretos de má limpeza, mas antes manifestações de pouco civismo que afetam a qualidade estética do espaço público.

Assim, foi possível calcular o Índice de Incómodo (w_i) para cada uma das categorias avaliadas, tendo-se obtido os resultados apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1: Resultados dos índices de incómodo atribuídos a cada categoria/situação selecionada

Categorias/Situações	w_i
Papel, Cartão e Plástico	0,072
Garrafas e Latas	0,078
Sacos do Lixo	0,081
Beatas de Cigarros	0,076
Resíduos Alimentares	0,082
Dejetos de Animais	0,082
Resíduos Verdes	0,049
Incrustações	0,062
Pedras, areia	0,050
<i>Graffitis</i>	0,065
Caixotes do Lixo Cheios	0,079
Afixação Ilegal	0,066
Vidros	0,079
Limpeza dos Contentores	0,077

Por sua vez, a Figura 7.14 apresenta as médias das ordenações atribuídas pelos inquiridos a cada tipo de localização, no que diz respeito ao incómodo provocado pela presença de resíduos. A escala utilizada varia entre 1 e 4, em que 1

corresponde à localização considerada menos incomodativa e 4 à mais incomodativa. Note-se que, nos inquéritos, a escala encontra-se invertida, tendo os valores sido revertidos na presente análise para facilitar a leitura e o cálculo das ponderações. A distribuição detalhada das avaliações encontra-se na Tabela P.2 do Anexo P.

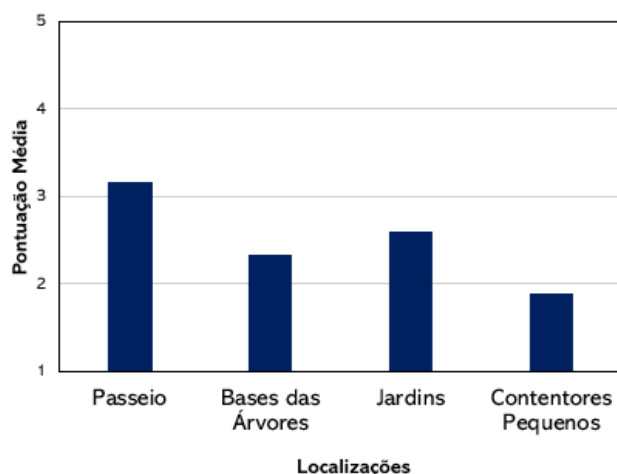


Figura 7.14: Distribuição das avaliações por localização onde os resíduos se podem encontrar.

A partir da análise da Figura 7.14 verifica-se que a presença de resíduos no passeio foi considerada a mais incomodativa, o que se justifica pela sua maior visibilidade e pelo impacto mais direto que exerce sobre os cidadãos. Seguem-se as placas ajardinadas e as caldeiras/floreiras, onde a presença de resíduos é igualmente percecionada como incomodativa, por contrastar com a natureza destes espaços. Por fim, as papeleiras registaram o menor nível de incómodo, o que poderá dever-se ao facto de constituírem, por definição, locais destinados à deposição de resíduos, tornando a sua presença mais esperada e, consequentemente, menos incomodativa.

Assim, foi possível calcular as ponderações associadas ao incómodo provocado pelos diferentes tipos de localização onde os resíduos podem ser encontrados. Importa referir que, uma vez que as bocas de lobo não foram incluídas no inquérito de perceção pública, foi necessário atribuir-lhes uma ponderação de forma indireta. Desta forma, à semelhança do procedimento adotado no inquérito realizado em 2019 e após análise dos resultados obtidos, optou-se por equipará-las às bases das árvores, dada a sua relevância no contexto da limpeza da via pública. Esta alocação também viabiliza a comparação posterior a realizar na secção seguinte.

Na Tabela 7.2 apresentam-se os resultados obtidos nestes cálculos.

Tabela 7.2: Resultados das ponderações relativas à localização

Localização	P_x
Passeio	0,26
Bases das Árvores e Bocas de Lobo	0,19 ¹
Jardins	0,21
Contentores Pequenos	0,15

¹ As localizações "Bases das Árvores" e "Bocas de Lobo" partilham a mesma ponderação (0,19), sendo por isso apresentadas conjuntamente numa única linha da tabela.

7.2.2. Comparação entre os resultados de 2019 e de 2026

Relativamente aos Índices de Incómodo, uma vez que as categorias de resíduos dos dois inquéritos realizados em 2019 e 2026 não coincidem totalmente, foi necessário estabelecer uma correspondência entre elas. As equivalências definidas, cujo processo de determinação se encontra descrito no Anexo J, encontram-se na Tabela 7.3.

Tabela 7.3: Categorias de resíduos equivalentes entre os inquéritos de 2019 e os de 2026

Categorias 2019	Categorias 2026
Papéis e Embalagens Alimentares	Papel, Cartão e Plástico
Papéis e Embalagens Não Alimentares	Papel, Cartão e Plástico
Vidros e Pedacos de Vidro	Vidros
Pontas de Cigarro	Beatas de Cigarros
Dejetos Caninos	Dejetos de Animais
Sacos de Indiferenciados	Sacos do Lixo
Folhas e Ramagens	Resíduos Verdes
Incrustações	Incrustações
Resíduos Alimentares	Resíduos Alimentares
Metais	Garrafas e Latas

Desta forma, com as categorias equivalentes, torna-se possível comparar as médias obtidas para os índices de incómodo nos dois anos, conforme ilustrado na Figura 7.15.

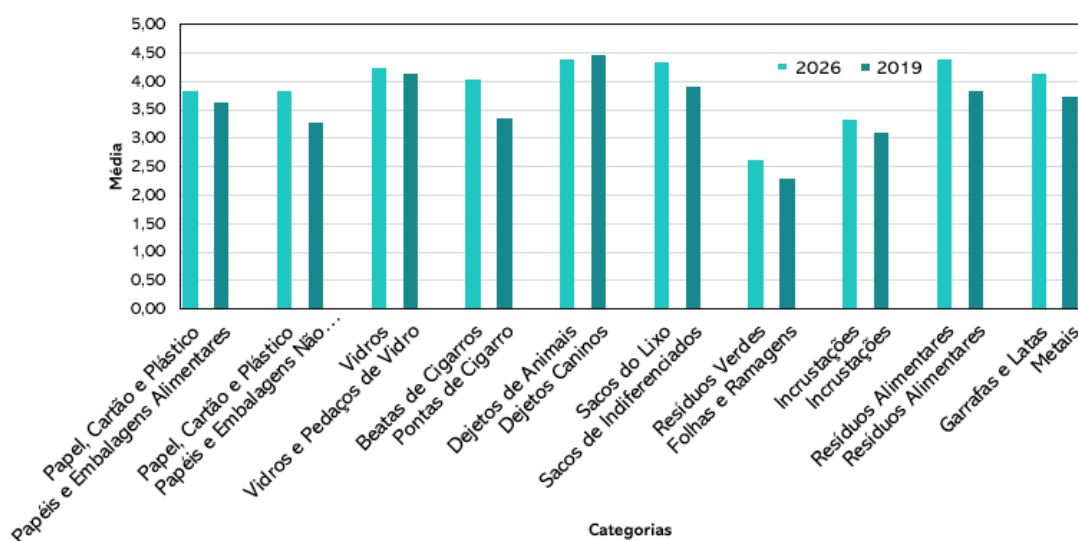


Figura 7.15: Comparação das médias obtidas para as diferentes categorias de resíduos, entre 2019 e 2026.

Pela análise da figura, verificou-se que os resultados obtidos nos dois inquéritos apresentam uma elevada consistência global, evidenciada por variações médias de 0,36 e um desvio percentual relativo médio de 10,5%.

Observa-se, contudo, uma tendência generalizada para valores mais elevados nesta calibração, o que poderá refletir atualmente uma maior exigência dos cidadãos relativamente à limpeza do espaço público. Esta tendência é particularmente evidente nas categorias de papéis e embalagens não alimentares, pontas de cigarro e nos resíduos alimentares. A única exceção corresponde aos dejetos caninos, que apresentaram um valor ligeiramente superior em 2019 na avaliação prévia, embora com uma diferença reduzida de 0,08, correspondente a um desvio percentual relativo de 1,7%.

No caso das ponderações de localização, a comparação realizada foi direta, uma vez que ambos os inquéritos consideraram as mesmas categorias. Os valores obtidos para cada ano podem ser consultados na Figura 7.16.

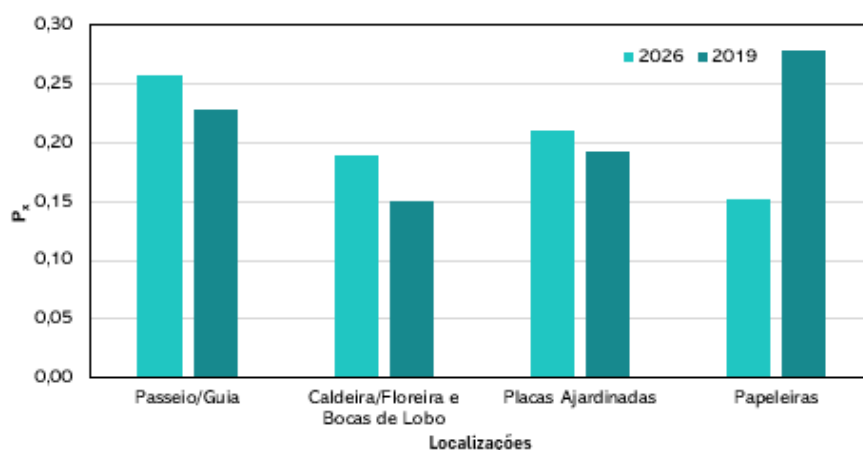


Figura 7.16: Comparação das ponderações de localização de 2019 e 2026.

Neste parâmetro, a análise da figura evidencia diferenças assinaláveis entre os dois períodos. Em 2019, a presença de resíduos nas papeleiras era considerada o local mais incomodativo, ao passo que, em 2026, passou a ser o menos incomodativo. Esta inversão poderá ser reflexo de uma melhoria na regularidade do serviço de esvaziamento das papeleiras. Em sentido contrário, o passeio tornou-se, em 2026, o local com maior nível de incómodo percecionado, tendo ocupado a segunda posição em 2019. Por sua vez, as placas ajardinadas surgiam em terceiro lugar no período de 2019, enquanto em 2026 essa posição passou a ser partilhada pelas caldeiras/floreiras e pelas bocas de lobo.

Importa, assim, salientar que se verificam alterações na perceção dos inquiridos, quer ao nível das categorias de resíduos, quer, de forma ainda mais evidente, relativamente às localizações onde estes ocorrem. Estas mudanças podem resultar de vários fatores: por um lado, poderão refletir uma evolução nas expectativas e no grau de exigência dos cidadãos relativamente à limpeza do espaço público, possivelmente influenciada por uma maior sensibilização ambiental e por padrões urbanos mais elevados. Por outro lado, podem também estar associadas a alterações reais nas condições de limpeza urbana, nomeadamente ao agravamento ou à melhoria de determinados problemas, bem como a mudanças nos hábitos de utilização do espaço público.

Para avaliar o impacto da recalibração dos parâmetros no Índice de Limpeza de acordo com o modelo anteriormente desenvolvido, este foi calculado para um conjunto de ruas do Porto com base nos dados das campanhas de 2019, mas aplicando quer os parâmetros de 2019, como os de 2026.

Dado que as campanhas de caracterização de resíduos de 2019 se baseiam nas categorias então definidas, que diferem das utilizadas em 2026 e não existe correspondência direta entre várias delas foi necessário, para além de estabelecer

essa correspondência, proceder à adaptação dos respetivos Índices de Incómodo, de forma que a sua soma totalizasse 1. Os valores dos Índices de Incómodo ajustados às categorias adaptadas, encontram-se representados na Tabela 7.4.

Tabela 7.4: Índices de incómodo ajustados

Categorias 2019	w _i 2019	Categorias 2026	w _i 2026
Papéis e Embalagens Alimentares	0,102	Papel, Cartão e Plástico	0,056
Papéis e Embalagens Não Alimentares	0,092	Vidros	0,108
Vidro e Pedacos de Vidro	0,116	Beatas de Cigarros	0,103
Pontas de Cigarro	0,094	Dejetos de Animais	0,112
Dejetos Caninos	0,125	Sacos do Lixo	0,111
Sacos de Indiferenciados	0,109	Resíduos Verdes	0,067
Folhas e Ramagens	0,064	Incrustações	0,085
Incrustações	0,087	Resíduos Alimentares	0,112
Resíduos Alimentares	0,107	Garrafas e Latas	0,106
Metais	0,104		

Note-se que a categoria “Papel, Cartão e Plástico” engloba duas das categorias definidas em 2019, “Papéis e Embalagens Alimentares” e “Papéis e Embalagens não Alimentares”. Relativamente às ponderações de localização, uma vez que as tipologias se mantiveram inalteradas, as utilizadas são idênticas às apresentadas na Tabela 7.2, no caso de 2026 e na Tabela E.1 do Anexo E no caso de 2019. Assim, de acordo com a metodologia descrita na Secção 6.1.5, procedeu-se à remoção dos *outliers* dos dados de caracterização e, posteriormente, seguindo a metodologia da Secção 5.1.5, calcularam-se os Índices de Limpeza para o conjunto de ruas em análise, tendo-se obtido a Figura 7.17.

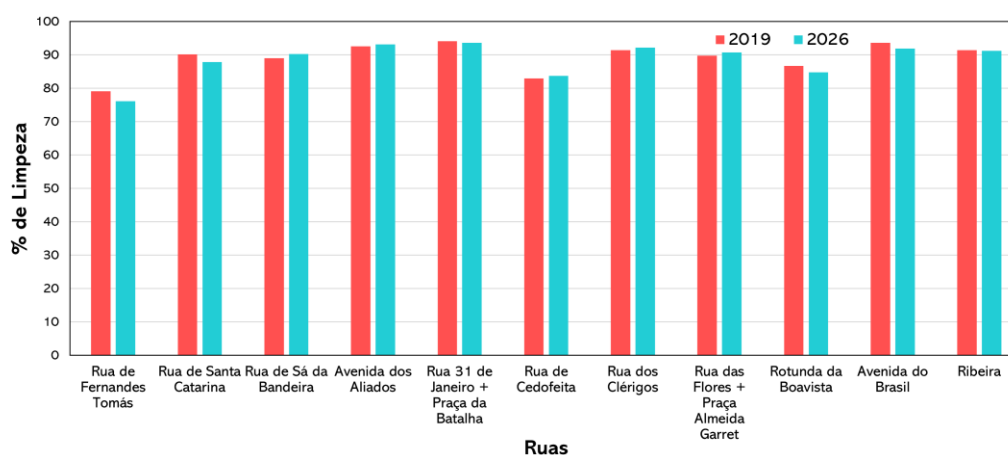


Figura 7.17: Índices de Limpeza obtidos para o conjunto de ruas em análise, com as ponderações e índices de incómodo de 2019 e de 2026.

A observação da figura indica que os valores são, na sua maioria, bastante próximos, variando no máximo entre si em 4%. De forma a identificar a origem desta variação, começou-se por analisar o efeito dos índices de incómodo. Para tal, foram

igualados os valores entre gráficos, verificando-se que as variações entre resultados se mantinham praticamente idênticas às observadas na Figura 7.17, o que sugere que este parâmetro não apresenta, por si só, uma influência determinante na variação observada, quando comparado com o efeito das localizações.

Por outro lado, ao igualar as ponderações associadas à localização, a variação praticamente desaparece, passando os valores a ser praticamente constantes (com uma variação máxima de 0,20%), o que indica que as ponderações da localização são o fator que mais contribui para o efeito observado.

Procedeu-se também a uma análise adicional em que cada ponderação foi isoladamente definida como dominante (100%), enquanto as restantes foram anuladas (0%). Desta forma, foi possível avaliar o contributo individual de cada componente da localização para a variação observada. Verificou-se, então, que a componente relativa ao passeio é a que gera maior impacto, originando variações que chegam quase aos 2%. Este resultado ajuda a explicar a variação observada, uma vez que, de acordo com os dados disponíveis, esta localização apresenta níveis de limpeza relativamente elevados e que, nos inquéritos de 2026, o passeio foi identificado como a localização mais importante.

7.3. Avaliação de Ferramentas Existentes e o seu Impacto na Determinação do Índice de Limpeza

Como suporte a esta análise, destaca-se a Tabela 5.7, que visa facilitar a interpretação dos resultados das metodologias avaliadas, correspondentes às 10 abordagens identificadas no Estado da Arte, bem como facilitar a aplicação prática de algumas destas metodologias, nomeadamente o CEI, IMSP, IS, IL e CCI. Um resumo desta avaliação pode ser encontrado na Tabela 7.6.

7.3.1. Avaliação Qualitativa

A avaliação qualitativa teve o objetivo de identificar os seus principais pontos fortes, limitações e eventuais oportunidades de melhoria de cada uma das metodologias.

7.3.1.1. Método desenvolvido pela Keep Britain Tidy

No que diz respeito ao método desenvolvido pela *Keep Britain Tidy*, explicada na Secção 5.1.1, embora seja um dos métodos manuais mais simples apresentados, destaca-se por ter sido efetivamente implementado em Inglaterra durante vários anos. Trata-se de uma metodologia relativamente simples, padronizada e consistente, assente num processo de amostragem estatisticamente robusto, garantindo uma elevada representatividade do território. Para além disso,

apresenta a vantagem de estar alinhado com a legislação em vigor, conferindo-lhe maior relevância e aplicabilidade prática.

No entanto, este método apresenta algumas limitações. Por basear-se em avaliações visuais, está sujeito a algum grau de subjetividade. Acresce que não considera a quantidade real de resíduos, tendendo a generalizar as categorias avaliadas. Por outro lado, não integra a percepção da população relativamente ao impacto visual ou incómodo causado pelos diferentes tipos de sujidade.

7.3.1.2. Método testado em Qazvin

No caso do método testado em Qazvin, explicado na Secção 5.1.2, quando comparado com o método implementado no Reino Unido, apesar de ainda ser um sistema relativamente simples, subjetivo e dependente da observação humana, bem como de abranger um número reduzido de categorias de resíduos, apresenta-se como uma abordagem mais completa, uma vez que não se limita apenas à avaliação visual do estado das ruas, como ocorre no método britânico, que depende em grande medida da apreciação dos avaliadores, mas sim de integrar a contagem efetiva dos resíduos observados.

Para além disso, o CEI considera o potencial de dano ambiental associado a cada tipo de resíduo através do coeficiente W_i , um aspeto raramente incorporado neste tipo de índices. No entanto, apesar da sua relevância ambiental, este coeficiente apresenta uma limitação importante relacionada com a percepção humana. Com efeito, resíduos mais perigosos do ponto de vista ambiental não são necessariamente aqueles que causam maior impacto visual ou incómodo na percepção da limpeza urbana por parte da população, dimensão essa que não é considerada neste índice.

Importa ainda referir que este estudo teve um carácter pontual e não foi implementado de forma contínua. Embora exista potencial para a sua aplicação regular ao longo do tempo, tal não se verificou neste caso, ao contrário do método utilizado no Reino Unido, que foi aplicado de forma sistemática e contínua durante vários anos.

7.3.1.3. Método desenvolvido pela AVPU

O método desenvolvido pela AVPU, explicado na Secção 5.1.3, apresenta-se como uma abordagem mais completa quando comparado com o método aplicado em Qazvin, uma vez que, para além de considerar o número de resíduos, integra uma lista mais abrangente de categorias, cada uma com uma unidade de contagem específica, reconhecendo que diferentes tipos de resíduos têm impactes visuais distintos.

Adicionalmente, este método incorpora a percepção da população através de uma escala de sensibilidade, baseada na média das avaliações realizadas por cerca de 200 agentes formados na aplicação dos indicadores. Assim, os resíduos podem ser classificados como de alta sensibilidade, quando são mais visíveis ou geram maior incómodo, ou de baixa sensibilidade, quando o seu impacto na percepção de limpeza é reduzido.

Outra vantagem relevante prende-se com o facto de este método já se encontrar amplamente implementado em várias cidades, apresentando orientações claras quanto ao número mínimo de amostras, à divisão por tipologias de setor e à periodicidade das avaliações, a qual é definida em função da dimensão populacional.

Contudo, o método mantém algumas limitações: tal como outros métodos baseados na contagem manual, depende da avaliação dos agentes. Para além disso, trata-se de um processo relativamente moroso e exigente em termos de recursos humanos, uma vez que cada avaliação tem uma duração média de cerca de 30 minutos e requer pessoal devidamente qualificado. Por fim, a periodicidade das avaliações, tipicamente mensal ou trimestral, pode não ser suficiente para captar variações de curto prazo na produção e acumulação de resíduos.

Ainda assim, trata-se de um dos métodos manuais mais completos e amplamente aplicados à escala urbana.

7.3.1.4. Método utilizado em Granada

O método utilizado em Granada, explicado na Secção 5.1.4, destaca-se por ser, entre os métodos manuais apresentados, um dos mais completos e abrangentes, incorporando um maior número de fatores na avaliação da limpeza urbana. Ainda assim, mantém-se dependente da subjetividade do avaliador.

Para além da quantidade e dimensão dos resíduos, este modelo inclui também a avaliação de resíduos em papeleiras e em alcorques. Além disso, introduz o conceito de largura equivalente, que não se limita à largura real do passeio, mas também à tipologia de estacionamento existente na rua.

O método integra ainda, através de um fator de correção, variáveis relacionadas com o tipo de pavimento (asfalto em bom ou mau estado, ou solo natural), as condições meteorológicas e a eventual existência de circunstâncias extraordinárias. Entre estas incluem-se, por exemplo, a presença de paragens de autocarro, a realização de mercados ou feiras temporárias e a existência de obras de construção, fatores que podem influenciar significativamente a quantidade de resíduos observados.

Em síntese, o método de Granada representa uma evolução significativa face a abordagens anteriores, ao incorporar um conjunto mais alargado de variáveis que permitem uma avaliação mais ajustada à realidade urbana. No entanto, apesar da sua maior abrangência e nível de detalhe, continua a depender da observação direta do avaliador, o que introduz algum grau de subjetividade. Assim, trata-se de um método mais completo e refinado, mas que ainda não elimina totalmente as limitações associadas aos métodos manuais de avaliação da limpeza urbana.

7.3.1.5. Método criado para o Porto

Relativamente ao método desenvolvido para a cidade do Porto, explicado na Secção 5.1.5, este foi concebido com base em várias metodologias previamente analisadas, com o objetivo de alcançar uma abordagem ainda mais exigente e completa na avaliação do nível de limpeza urbana.

Desta forma, o método considera 11 categorias distintas de resíduos, bem como um processo de normalização que tem em conta a possibilidade de diferentes dimensões dos mesmos. Para além disso, incorpora uma análise detalhada dos locais onde os resíduos podem ser encontrados, incluindo não apenas as zonas tradicionalmente avaliadas, como passeios, guias, placas ajardinadas e caldeiras/floreiras, mas também elementos adicionais como o estado de limpeza das bocas de lobo e das papeleiras.

Um dos principais avanços deste método consiste na integração da perceção da população no cálculo do índice. Assim, são atribuídos diferentes pesos tanto às categorias de resíduos como às localizações, com base na forma como estes são percebidos pelos cidadãos, permitindo aproximar o indicador técnico da perceção real do espaço urbano.

7.3.1.6. Método testado em Vancouver, Canadá

Relativamente à *Litterati*, cuja aplicação encontra-se explicada na Secção 5.2.1, um dos principais pontos positivos é o facto de exigir menos recursos humanos, permitindo ao mesmo tempo uma recolha contínua de dados ao longo de todo o ano, ao contrário das auditorias municipais, que tendem a ser pontuais. Adicionalmente, contribui para a redução de custos associados ao trabalho de campo e à logística das operações de monitorização, facilitando também a organização e o acesso à informação recolhida. Outro aspeto relevante é que pode possibilitar um cálculo do índice de limpeza mais rigoroso quando comparado com métodos tradicionais baseados em contagens manuais e avaliações visuais.

No entanto, esta abordagem apresenta limitações importantes. Em primeiro lugar, normalmente verifica-se um enviesamento temporal, uma vez que a atividade de monitorização tende a ser mais intensa em determinados períodos, especialmente

nos meses de verão, como junho e julho [56]. Em segundo lugar, existe um enviesamento espacial significativo: os utilizadores tendem a registar dados em locais mais acessíveis ou frequentados, como parques e áreas densamente povoadas, o que resulta numa cobertura desigual do território urbano [56].

Acresce ainda o facto de os dados recolhidos não incluírem áreas onde não foram identificados resíduos, o que levanta uma ambiguidade relevante, uma vez que a ausência de registos pode dever-se tanto à inexistência de resíduos como à falta de participação de voluntários nessas zonas [56].

Por fim, importa considerar que os participantes da plataforma pertencem frequentemente a grupos demográficos específicos, variando em termos de idade, nível de escolaridade, rendimento e contexto sociocultural, o que, mais uma vez, pode introduzir enviesamentos adicionais e comprometer a representatividade e objetividade dos dados obtidos.

Salienta-se ainda que estas limitações decorrem, em grande medida, do facto de que a recolha de dados é realizada por cidadãos, o que implica uma abordagem voluntária e não sistemática, sem garantia de cobertura uniforme do território. Ainda assim, caso esta metodologia fosse implementada por colaboradores municipais, com responsabilidade de monitorizar áreas previamente definidas, o seu potencial seria significativamente reforçado. Nessa situação, manter-se-iam as vantagens associadas à facilidade de recolha e organização de informação e, embora continuasse a ser necessário recorrer a recursos humanos, o tempo despendido na realização de auditorias seria provavelmente bastante inferior, tornando o processo mais eficiente.

7.3.1.7. Método utilizado em Genebra, Suíça

De uma forma geral, este método, explicado na Secção 5.3.1, permite obter uma perceção do estado da limpeza urbana de forma mais rápida do que as auditorias manuais, possibilitando uma avaliação mais frequente e contínua do espaço urbano. Além disso, fornece informação relevante para o planeamento operacional dos serviços municipais, contribuindo para a otimização de rotas e para uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis. Acresce que, conforme referido anteriormente, a integração do sistema em veículos municipais já em circulação permite aproveitar infraestruturas e operações existentes, reduzindo os custos adicionais de implementação e enquadrando-se naturalmente nas rotinas operacionais do município.

A principal desvantagem reside no facto de poder implicar custos de investimento inicial e de manutenção relativamente elevados, o que poderá constituir um obstáculo para municípios com recursos financeiros mais limitados. Acresce a isso

o facto de a cobertura espacial e temporal da monitorização depender diretamente dos percursos e horários dos veículos municipais, o que faz com que possam existir áreas com menor frequência de monitorização ou períodos sem recolha de dados, mesmo que os itinerários possam ser ajustados e adaptados.

Importa igualmente referir que, uma vez que as câmaras se encontram instaladas nos veículos de recolha e de limpeza urbana, a captação de imagens fica condicionada ao campo de visão disponível a partir da via pública, não permitindo adaptações significativas nem o acesso a ruas mais estreitas ou de difícil circulação. Contudo, esta limitação poderá ser parcialmente resolvida através da utilização de outros meios de transporte, como bicicletas, que oferecem maior flexibilidade de circulação e permitem alcançar áreas menos acessíveis aos veículos de recolha convencionais.

7.3.1.8. Método testado no Chile

Relativamente à utilização de câmaras de inteligência artificial montadas em pessoas, explicadas na Secção 5.3.2, esta metodologia apresenta vantagens relevantes, nomeadamente o baixo custo de implementação que a pode tornar acessível a municípios com orçamentos limitados.

Adicionalmente, a sua implementação é mais simples quando comparada com sistemas baseados em câmaras instaladas em veículos de recolha, uma vez que apenas requer a colocação dos dispositivos nos utilizadores, sem necessidade de integração em estruturas mais complexas ou modificações nos veículos.

Outra vantagem importante é que, visto que o processo de recolha se baseia em caminhadas realizadas por pessoas, existe uma maior flexibilidade na cobertura de zonas pedonais e do centro histórico, permitindo o acesso a áreas onde os veículos municipais não conseguem circular facilmente, mas que estão, ainda assim, acessíveis a peões e precisam de uma avaliação. Além disso, existe ainda a possibilidade de alargar para outras zonas, até fora do ambiente urbano, como nas praias.

Importa ainda referir que os percursos a pé permitem captar informação muito próxima do nível do solo, o que pode melhorar a deteção de pequenos resíduos que poderiam passar despercebidos em sistemas montados em veículos ou drones. Na mesma linha de pensamento, como o sistema é operado por um utilizador, existe também a possibilidade de este, sempre que necessário, orientar manualmente a câmara para zonas obstruídas ou de difícil visibilidade, permitindo captar informação mais detalhada de locais específicos que poderiam não ser devidamente registados por sistemas fixos.

Mesmo assim, para além de apresentar ainda uma precisão global relativamente baixa, o sistema baseia-se apenas numa classificação binária, o que não permite obter uma perceção detalhada do índice de limpeza, uma vez que diferentes tipos e dimensões de resíduos influenciam de forma distinta a avaliação do estado de limpeza urbana bem como a gestão do serviço de limpeza.

Outra questão importante é que, por depender de recursos humanos, este processo exige um maior esforço organizacional e torna-se mais moroso e dispendioso quando comparado com o sistema descrito anteriormente. Usando esta metodologia, não haverá a possibilidade de existir uma cobertura da cidade tão completa.

7.3.1.9. Método utilizado em Bournemouth, Inglaterra

Comparado com os métodos anteriormente referidos, a utilização de drones na monitorização da limpeza urbana apresenta várias vantagens relevantes. Este método, explicado na Secção 5.3.3, destaca-se pela capacidade de cobrir grandes áreas num curto período e de monitorizar zonas de difícil acesso, como autoestradas, canais e vias fluviais, rios, zonas costeiras e espaços verdes, de forma mais rápida e segura do que métodos baseados em caminhadas ou auditorias manuais. Além disso, permite captar imagens a diferentes altitudes e ângulos de observação, o que possibilita uma maior adaptação da perspetiva às características do local monitorizado, reduzindo problemas associados a obstruções visuais causadas por veículos, vegetação ou outros elementos do espaço urbano.

A utilização de drones pode ainda reduzir a necessidade de recursos humanos no terreno, diminuindo o tempo e o esforço associados às campanhas tradicionais de inspeção urbana, podendo ainda contribuir para uma redução dos custos operacionais a médio prazo. Além disso, graças à sua flexibilidade operacional, podem ser facilmente mobilizados para monitorizar áreas específicas após eventos, festivais ou situações excecionais, ao contrário de abordagens mais dependentes de recursos humanos ou da deslocação de veículos, que são mais demoradas e logisticamente complexas.

Contudo, a sua utilização pode também exigir um investimento inicial mais elevado em equipamento, *software* e formação de operadores, além de custos de manutenção, quando comparado com os outros métodos. Além disso, podem também estar restritos às condições meteorológicas, uma vez que vento forte, chuva, nevoeiro ou baixa luminosidade podem comprometer a estabilidade do voo e a qualidade das imagens recolhidas, reduzindo a fiabilidade dos dados obtidos.

Outra desvantagem relevante é que na maior parte dos países, incluindo Portugal, a utilização de drones em espaço urbano encontra-se sujeita a regras rigorosas relacionadas com segurança aérea, proteção de dados e privacidade, o que, para além de poder limitar a sua utilização em determinadas zonas e contextos, pode também tornar o processo de autorização mais complexo e demorado.

7.3.1.10. Método testado em Amsterdão, Países Baixos

Face às restantes tecnologias analisadas, o UODK, explicado na Secção 5.3.4, destaca-se sobretudo pelo seu baixo custo e acessibilidade, uma vez que recorre a *hardware* comum, como smartphones e a veículos municipais já em circulação, eliminando a necessidade de infraestrutura dedicada.

Contudo, as suas desvantagens partilham algumas limitações comuns às câmaras instaladas em veículos. À semelhança destas, e em contraste com os drones ou os métodos pedestres, a cobertura geográfica fica restrita às rotas habitualmente percorridas pelos veículos municipais, podendo deixar determinadas zonas sem monitorização regular. A precisão do modelo constitui uma limitação relevante, uma vez que apresenta um número elevado de falsos positivos, isto é, identifica resíduos mesmo quando estes não estão presentes, o que implica a necessidade de verificação humana dos resultados, reduzindo assim a sua autonomia operacional.

Ainda assim, para municípios com orçamentos limitados que procuram uma solução funcional e de fácil implementação, o UODK representa uma opção viável e promissora. Com o uso continuado, o modelo poderá evoluir, passando depois para a deteção em contextos pedonais e, numa cidade como Amsterdão, onde a bicicleta é o meio de transporte dominante, estendendo-se naturalmente à identificação de situações a partir de câmaras montadas em bicicletas municipais ou de serviço.

7.3.2. Aplicação prática das metodologias

A Tabela 7.5 mostra a média, valores máximos e mínimos das classificações atribuídas segundo as diferentes metodologias, de forma a entender melhor as variações e a dispersão dos resultados obtidos.

Tabela 7.5: Média, valores máximos e mínimos das classificações atribuídas segundo as metodologias CCI, CEI, IMSP, IS, IL 2019 e IL 2026

	CCI	CEI	IMSP	IS	IL 2019	IL 2026
Média	4,83	4,00	4,42	4,67	4,33	4,50
Máximo	5	5	5	5	5	5
Mínimo	4	3	3	4	2	2

Pela análise da tabela, verifica-se que todas as metodologias atribuíram, pelo menos uma vez, a classificação máxima de 5. Ainda assim, o CCI distingue-se por registar a média de classificações mais elevada, apresentando como valor mínimo um 4. Em sentido inverso, o CEI corresponde à metodologia com as classificações globalmente mais baixas, situando-se a sua média em 4. Já o IL, tanto na versão de 2019 como na de 2026, sobressai por apresentar o valor mínimo mais baixo entre todas as metodologias analisadas, com a atribuição da classificação 2 a uma rua, ao contrário do que se verifica nas restantes abordagens.

Os resultados obtidos para cada metodologia, apresentados já em escala qualitativa e por rua, encontram-se representados na Figura 7.18.

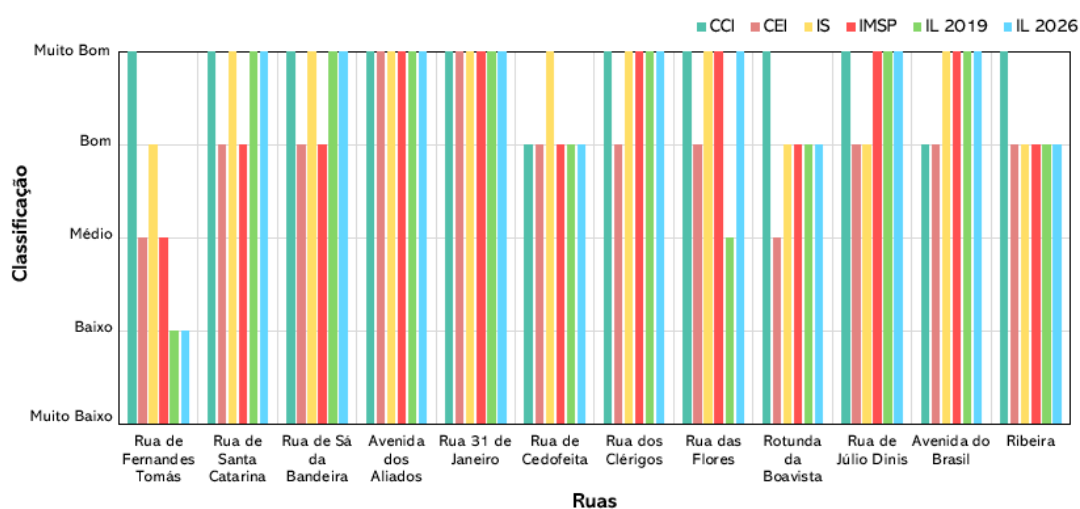


Figura 7.18: Resultados do Índice de Limpeza da aplicação do CCI, CEI, IS, IMSP e IL de 2019 e de 2026.

A partir desta figura é possível verificar que, de forma geral, a classificação das ruas é positiva, situando-se maioritariamente entre “Bom” e “Muito Bom”. Ainda assim, verificam-se diferenças relevantes consoante a metodologia aplicada: o nível de limpeza da mesma rua pode ser avaliado como “Muito Bom” por um método e “Médio” e até “Baixo” por outro, o que não implica necessariamente um erro, mas deve-se ao facto de cada metodologia considerar critérios distintos, seja pela inclusão ou exclusão de determinados parâmetros, seja pela atribuição de diferentes pesos aos mesmos, influenciando, assim, os resultados.

Apesar dessas variações, algumas ruas destacam-se pela consistência das avaliações. A Avenida dos Aliados e a Rua 31 de Janeiro obtiveram, de forma unânime, a classificação de “Muito Bom” em todas as metodologias, evidenciando uma avaliação muito positiva independente dos critérios utilizados.

Por outro lado, a Rua de Fernandes Tomás apresenta, de forma geral, classificações mais baixas, embora tenha sido avaliada como “Muito Bom” pelo CCI. Um padrão semelhante observa-se na Rotunda da Boavista, que regista uma classificação de

“Médio” e quatro de “Bom”, apesar de o CCI atribuir ao seu nível de limpeza a classificação de “Muito Bom”.

Para interpretar de forma mais rigorosa estes resultados, torna-se necessário analisar cada metodologia individualmente, bem como compreender o contributo relativo de cada categoria para o resultado, uma vez que são precisamente as diferenças na ponderação dessas categorias que explicam as divergências observadas entre métodos. Para tal, a Tabela Q.1 do Anexo Q apresenta as médias da contagem de resíduos por categoria e por rua, obtidas a partir dos dados das campanhas de caracterização e normalizadas a 100 m², servindo de base à análise que se segue.

7.3.2.1. Método testado em Qazvin

Na Figura 7.19 apresentam-se os resultados do CEI obtidos através da aplicação da metodologia de Qazvin. Os valores totais podem ser consultados na Tabela R.1 do Anexo R. De notar que quanto mais baixo o CEI, melhor será o nível de limpeza.

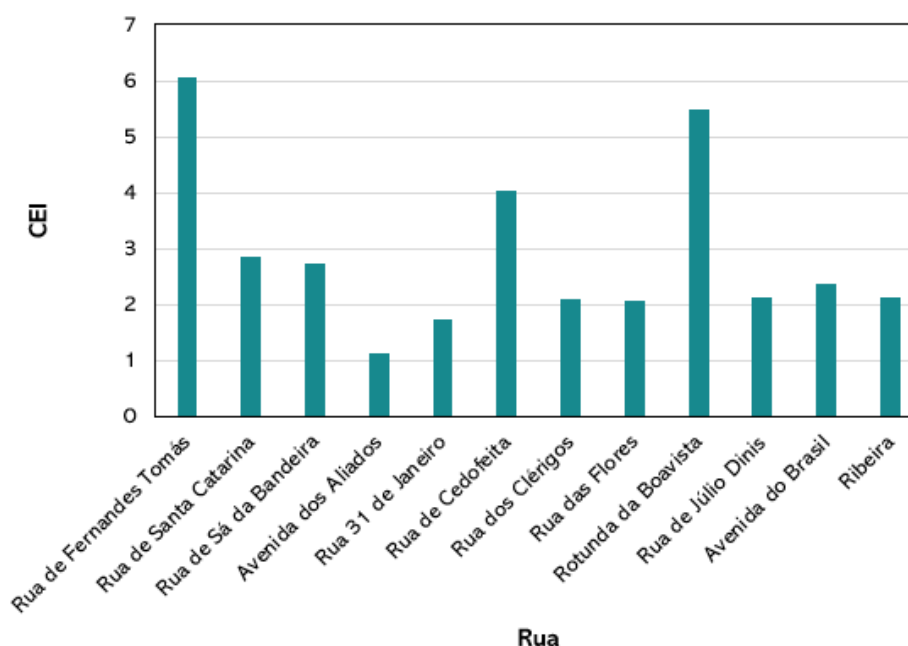


Figura 7.19: Resultados da aplicação do CEI aos dados recolhidos em 2019.

Pela análise da figura, observa-se que, de forma geral, as ruas avaliadas apresentam um desempenho relativamente positivo. Apenas a Rua de Fernandes Tomás e a Rotunda da Boavista se situam acima do valor 5, correspondendo a um nível de limpeza “Médio”. Em contrapartida, a Rua 31 de Janeiro e a Avenida dos Aliados destacam-se pelos melhores resultados, apresentando valores inferiores a 2, o que indica um nível de limpeza muito bom.

Para melhor compreender os resultados obtidos, foi elaborada a Figura S.1 do Anexo S, que ilustra o contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do

índice de limpeza, para cada rua. A análise conjunta da tabela e da figura permite concluir que, no âmbito desta metodologia, a categoria que mais contribui para os resultados obtidos é o papel e cartão, mesmo com uma ponderação igual a 1, uma vez que regista um número significativamente elevado de unidades face às restantes, o que justifica o seu maior impacto global. O plástico, apesar de apresentar uma ponderação superior (1,5), revela um contributo inferior ao do papel e cartão. As restantes categorias apresentam um impacto reduzido na base de dados analisada, destacando-se apenas o vidro de forma residual.

Deste modo, verifica-se que as ruas com piores classificações correspondem, em geral, àquelas onde se registam maiores quantidades deste tipo de resíduos. Em sentido inverso, ruas como a Rua 31 de Janeiro e a Avenida dos Aliados, por apresentarem menores quantidades destas categorias, obtêm valores de CEI mais baixos e, consequentemente, melhores classificações.

Esta metodologia engloba categorias bastante abrangentes, o que dificultou a sua adaptação integral às categorias utilizadas na contagem. Por esse motivo, pelo menos cinco categorias presentes nos dados originais, correspondentes aos sacos de indiferenciados, às folhas e ramagens, às incrustações e aos resíduos alimentares e orgânicos, relevantes e frequentes no contexto da limpeza urbana, foram eliminadas por completo. Adicionalmente, os dejetos de cães, embora tenham sido considerados nesta análise, não se encontram claramente contemplados na metodologia original, evidenciando lacunas na definição das categorias. Caso todos estes elementos fossem devidamente integrados, os valores obtidos pelo CEI seriam ainda mais baixos do que os apresentados, o que é problemático dado que, numa aplicação real da metodologia, tenderiam simplesmente a ser ignorados apesar da sua elevada frequência.

Ainda assim, o CEI foi a metodologia que apresentou, no geral, avaliações qualitativas mais baixas, comportamento que poderá estar associado à forma como os resíduos são contabilizados. Cada unidade é contada de forma integral, sem diferenciação por tamanho, sem ponderações específicas e sem consideração de aglomerações, o que resulta em contagens essencialmente "brutas". A título de exemplo, as beatas de cigarro, embora não tenham sido contabilizadas nesta análise, são classificadas com 2 pontos devido ao seu impacto ambiental e, quando presentes em grande número, podem originar valores artificialmente elevados que não refletem de forma realista a situação observada.

7.3.2.2. Método desenvolvido pela AVPU

A aplicação do IMSP revelou algumas limitações práticas. Apesar da aparente simplicidade, dada a semelhança entre as suas categorias e as utilizadas na

recolha de dados, com apenas a categoria "outros resíduos orgânicos" sem equivalência, e a existência de unidades de contagem pré-definidas, os valores obtidos foram consistentemente superiores aos valores de referência, que variam tipicamente entre 0 e 10. Esta discrepância sugere a existência de alguma incoerência na própria metodologia descrita, possivelmente associada ao facto de determinados aspetos do processo de amostragem não estarem suficientemente clarificados nas fontes consultadas. Assim, é provável que exista algum elemento metodológico não totalmente explicitado nas fontes analisadas, que condiciona diretamente a comparação dos valores obtidos.

Neste sentido, com vista a aproximar os resultados obtidos aos valores de referência existentes na literatura, procedeu-se a um ajuste da metodologia, substituindo o fator multiplicativo de 100, presente na Equação 3, pelo valor de 10. Esta alteração permitiu obter os valores presentes na Figura 7.20. Os valores totais encontram-se disponibilizados na Tabela R.2 do Anexo R. Mais uma vez, quanto mais baixo o IMSP, melhor será o nível de limpeza.

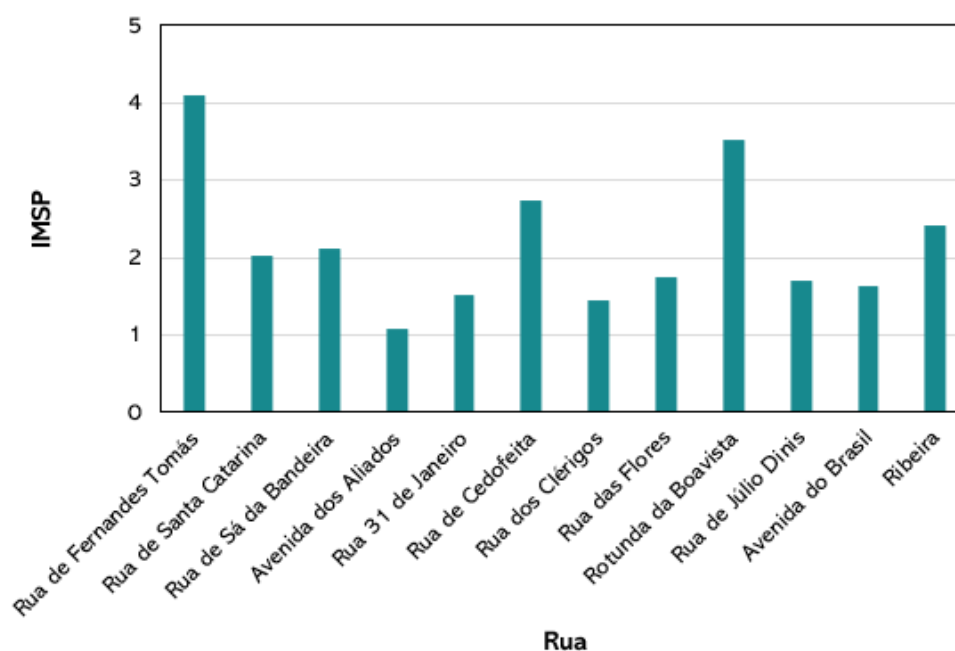


Figura 7.20: Resultados da aplicação do IMSP aos dados recolhidos em 2019.

A partir da figura, é possível verificar que a Rua de Fernandes Tomás e a Rotunda da Boavista destacam-se novamente como os locais com níveis mais baixos de limpeza. Este resultado pode ser facilmente explicado pela Figura S.2 do Anexo S que evidencia, à semelhança do verificado anteriormente, o predomínio das categorias de papéis e embalagens, tanto não alimentares como alimentares, bem como das sujidades aderentes, como os principais fatores explicativos. A estas seguem-se a Rua de Cedofeita e a Ribeira.

No extremo oposto, a Avenida dos Aliados obteve o melhor IMSP. Contudo, contrariamente ao observado na metodologia de Qazvin, foi a Rua dos Clérigos a ocupar o segundo lugar, e não a Rua 31 de Janeiro. Esta diferença explica-se pelo peso das sujidades aderentes: embora a Rua 31 de Janeiro apresente valores inferiores na generalidade das categorias, os valores elevados desta categoria específica, que não foi considerada na metodologia de Qazvin, penalizam o seu índice global de forma considerável, ainda que todas as restantes categorias lhe fossem mais favoráveis.

A Ribeira constitui um exemplo semelhante, apesar de registar menos embalagens alimentares do que a Rua de Cedofeita, os elevados valores de sujidades aderentes colocaram-na como o quarto local com pior classificação.

Esta situação aponta para uma possível limitação da metodologia no tratamento das sujidades aderentes: embora a metodologia exclua sujidades com área inferior a 20 cm², as restantes foram contabilizadas individualmente, sem qualquer critério de agregação. Este procedimento poderá sobrestimar o seu impacto real no índice, sugerindo que a adoção de um método de contagem por aglomerados, à semelhança do equacionado para outras categorias, poderia conduzir a resultados mais representativos da realidade observada.

7.3.2.3. Método utilizado em Granada

Relativamente ao Índice de Sujidade, os valores obtidos estão representados na Figura 7.21, encontrando-se os valores totais na Tabela R.3 do Anexo R. Mais uma vez, quanto mais baixo o IS, melhor será o nível de limpeza.

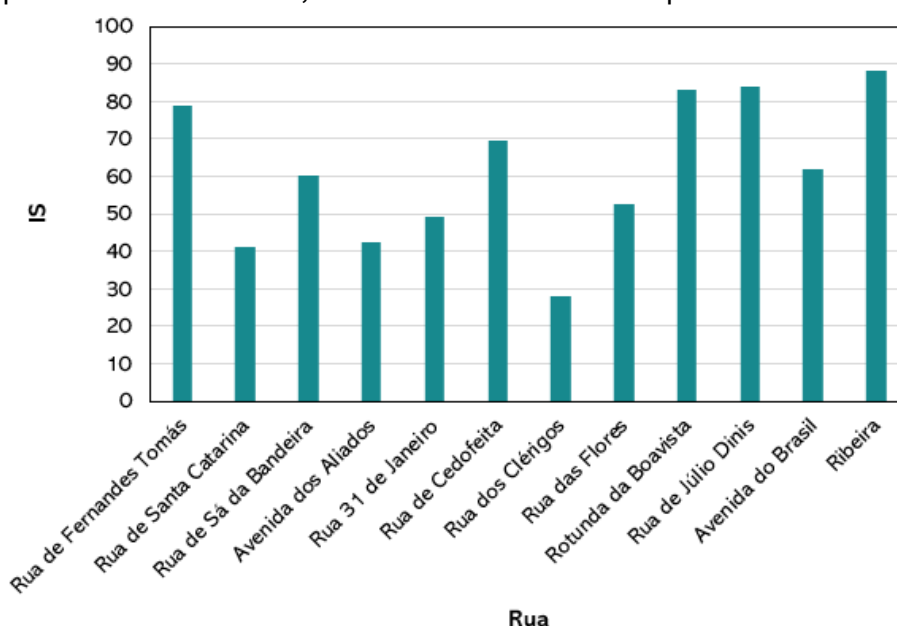


Figura 7.21: Resultados da aplicação do IS aos dados recolhidos em 2019.

Da análise da figura, verifica-se que todos os resultados se situam nos níveis bom e muito bom do índice de sujidade de Granada, o que constitui um desempenho globalmente positivo. Os resultados mais negativos foram registados na Ribeira e na Rua de Júlio Dinis, contrariamente ao padrão observado nas metodologias anteriores, onde a Rua de Fernandes Tomás e a Rotunda da Boavista tendiam a ocupar as piores posições. No extremo oposto, a Rua dos Clérigos e a Rua de Santa Catarina obtiveram as classificações mais positivas.

A análise da Figura S.3 do Anexo S permite compreender melhor estes resultados. No caso da Ribeira e da Rua de Júlio Dinis, os resultados mais negativos explicam-se essencialmente pela presença de folhas e de resíduos aderidos ao pavimento, cuja soma dos valores é superior aos das restantes categorias, ainda que a sua ponderação seja de 1. Ainda assim, uma vez que ambas as ruas se mantiveram na classificação de 4, pode considerar-se que a metodologia respondeu de forma adequada, não penalizando de forma excessiva o índice de limpeza global. Em sentido oposto, a Rua dos Clérigos e a Rua de Santa Catarina beneficiaram da ausência de árvores nas suas imediações, o que se traduziu em valores mais baixos na categoria das folhas e apresentaram valores muito residuais das restantes categorias, contribuindo para que obtivessem classificações superiores às da Rua 31 de Janeiro e da Avenida dos Aliados.

Em suma, a aplicação da metodologia de Granada revelou-se relativamente simples no que diz respeito às categorias de resíduos, uma vez que a distinção entre orgânicos e inorgânicos foi suficientemente abrangente para enquadrar todos os tipos de materiais considerados.

No entanto, esta generalização levanta algumas limitações na coerência da pontuação atribuída ao nível do incómodo: apesar de existir uma diferenciação por tamanhos, diferentes tipos de resíduos inorgânicos podem gerar impactes visuais e de incomodidade bastante distintos. Por exemplo, um saco de lixo e uma caixa de cartão de dimensões semelhantes foram classificados da mesma forma, embora o seu impacto na perceção do espaço urbano possa não ser equivalente. O mesmo se verifica entre resíduos inorgânicos de pequena dimensão, como fragmentos de vidro e beatas, que receberam a mesma pontuação por partilharem categoria e escala, apesar de o perigo e o impacto visual associados a cada um não serem comparáveis em termos absolutos.

7.3.2.4. Método criado para o Porto

Os valores do índice de limpeza obtidos através da metodologia do Porto, quer a partir dos índices de incómodo determinados em 2026, quer com os de 2019, encontram-se representados na Figura 7.22, podendo os valores totais ser

consultados na Tabela R.4 do Anexo R. Neste índice, quanto maior a % melhor o nível de limpeza.

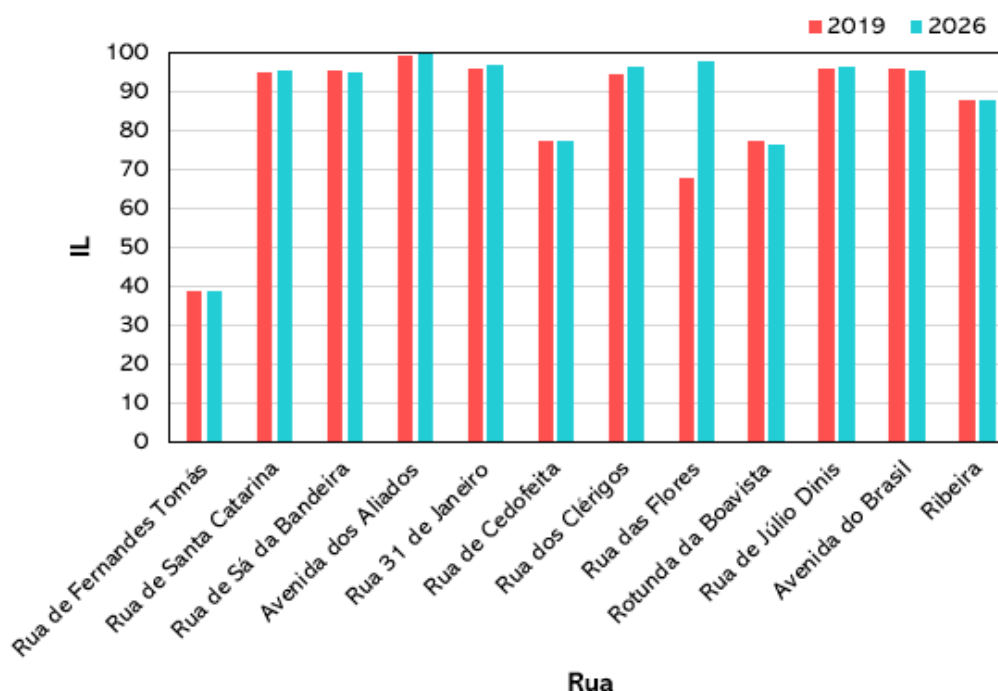


Figura 7.22: Resultados da aplicação do IL aos dados recolhidos em 2019.

A partir da análise da figura, verifica-se que os resultados obtidos seguem, de forma geral, o padrão observado nas metodologias anteriores. Contudo, destaca-se o caso da Rua de Fernandes Tomás, que obteve a classificação de “Baixo”, a mais baixa registada, o que, embora coerente com os resultados das restantes metodologias, representa uma penalização consideravelmente mais acentuada em comparação com as classificações que lhe foram atribuídas pelas outras abordagens. Por outro lado, as restantes ruas foram classificadas como limpas ou muito limpas, com a Avenida dos Aliados e a Rua 31 de Janeiro a apresentarem os valores mais elevados, resultado já consistente com o observado anteriormente.

Os resultados da Rua de Fernandes Tomás podem ser explicados pelo funcionamento desta metodologia: o cálculo não se baseia numa simples multiplicação do número de categorias pelo seu peso, implica, antes, duas etapas distintas.

Na primeira etapa, os resíduos são separados por tamanho e é atribuída uma ponderação em função desse tamanho. Só depois é aplicada a escala da Tabela E.3 que determina a pontuação de cada categoria: o valor máximo definido na tabela é atribuído quando a categoria se encontra no nível mínimo de sujidade, zero quando ultrapassa o limiar máximo, e um valor intermédio nos restantes casos.

Na segunda etapa, os valores de todas as categorias são multiplicados entre si para obter o valor final da rua. Esta operação tem uma consequência direta: se qualquer categoria atingir o valor zero, o resultado total da rua será igualmente zero. Caso fossem consideradas diferentes localizações, o valor resultante seria ainda ponderado pelo peso de cada uma, podendo assumir um valor diferente de zero. Contudo, uma vez que neste estudo apenas se considera a localização do passeio, sempre que a multiplicação resulta em zero, o valor total da rua é também zero.

Foi precisamente este efeito que condicionou o resultado da Rua de Fernandes Tomás, que atingiu o valor zero em diversas ocasiões na categoria de papéis e embalagens não alimentares, categoria que, como já havia sido referido, apresenta uma quantidade elevada de resíduos. O mesmo fenómeno foi registado na Rotunda da Boavista e em Cedofeita, embora com menor expressão.

Ainda assim, a Rua das Flores destaca-se como uma exceção importante: ao contrário das restantes, apresentou valores significativamente inferiores em 2026 face a 2019. Esta diferença deve-se ao facto de o índice de 2019 incluir a categoria de outros resíduos orgânicos, o que não acontece no índice de 2026. Nessa rua, essa categoria excedeu o limite máximo em várias amostras, levando à atribuição de classificação zero e, por consequência, a um valor global bastante reduzido em 2019. Este exemplo evidencia claramente o impacto que uma única categoria pode ter no resultado final, podendo influenciar de forma decisiva a avaliação do nível de limpeza de uma rua.

De um modo geral, considera-se que este é o índice que melhor abrange todos os aspetos, quer pelo vasto leque de categorias de resíduos contempladas, quer pela distinção entre diferentes dimensões, com especial atribuição de ponderações específicas a cada tamanho. Destaca-se ainda o estabelecimento de uma escala definida, que introduz limites claros na avaliação, evitando assim o recurso exclusivo a operações de soma e multiplicação que poderiam conduzir a resultados desproporcionais. Acresce a possibilidade de atribuir ponderações baseadas na perceção do público, não apenas relativamente às categorias de resíduos, mas também às diferentes localizações onde estes podem ser encontrados, o que contribui para uma abordagem mais representativa da realidade observada.

Contudo, o facto de esta metodologia ser tão abrangente implica também um aumento significativo da sua complexidade, o que pode dificultar a sua aplicação prática, exigir maior tempo de análise e aumentar a probabilidade de erros na sua implementação. Além disso, a necessidade de recolher e tratar um volume mais elevado de dados pode constituir um entrave em contextos com recursos limitados, tornando pertinente a ponderação entre o nível de detalhe pretendido e a viabilidade operacional da sua utilização.

7.3.2.5. Método utilizado em Genebra

Os dados também foram aplicados na metodologia da CortexIA, o que nos permitiu obter os resultados apresentados na Figura 7.23. Os valores totais encontram-se representados na Tabela R.5 do Anexo R. Quanto maior o valor obtido, melhor o nível de limpeza da rua em questão.

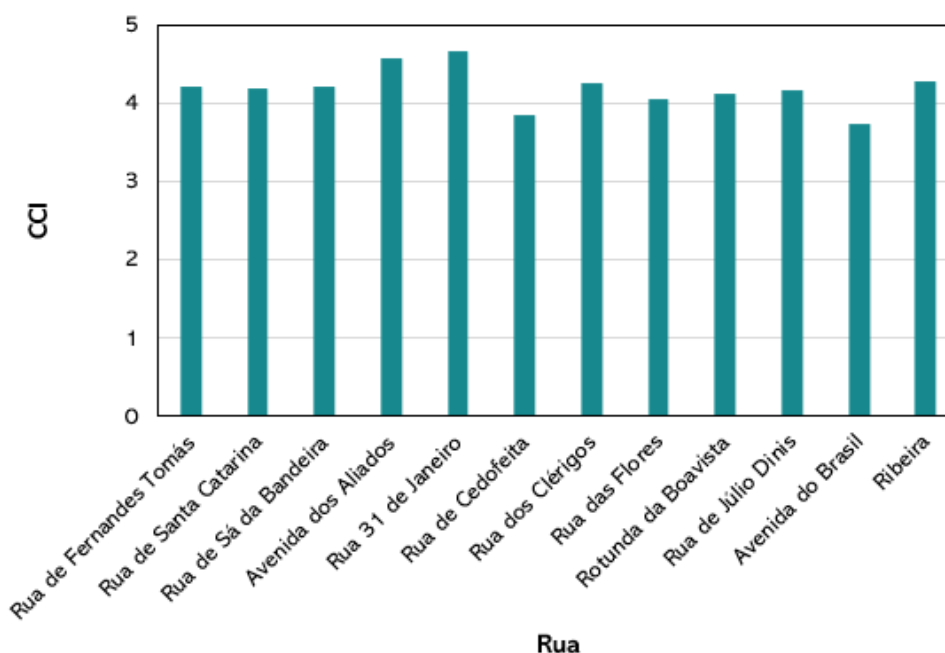


Figura 7.23: Resultados da aplicação da metodologia de Genebra aos dados recolhidos em 2019.

Pela análise da figura, verifica-se uma reduzida variação entre as diferentes ruas, situando-se todas acima do nível 4 (Bom), o que indica uma avaliação globalmente positiva. Esta baixa variabilidade poderá dever-se, em grande medida, às limitações inerentes ao método, uma vez que foi concebido para aplicação com recurso a câmaras. Neste contexto, várias categorias de resíduos não foram consideradas, quer por não serem distinguíveis através de imagem, quer por dependerem de critérios como a percentagem de área ocupada na fotografia ou o volume dos resíduos, parâmetros que não foi possível avaliar com os dados disponíveis. Consequentemente, a análise ficou restringida a um conjunto reduzido de categorias, nomeadamente papel/cartão e plástico, garrafas, latas e outros recipientes, excrementos e caixotes do lixo.

Importa, contudo, salientar que o CEI também operava com um número limitado de categorias, até inferior ao considerado nesta metodologia, e ainda assim apresentou classificações mais baixas, o que sugere que a reduzida variabilidade observada não se deve apenas à limitação categorial. Neste sentido, a estrutura de ponderações atribuídas a cada tipo de resíduo parece desempenhar um papel determinante nos resultados obtidos. De facto, as categorias mais frequentes,

como papel, cartão e plástico, apresentam uma ponderação relativamente baixa (2), enquanto os excrementos, apesar de menos comuns, possuem uma ponderação significativamente superior (4). Dado que a presença de excrementos é reduzida ou inexistente em várias das ruas analisadas, como se observa na Figura S.4 do Anexo S, os valores finais tendem a ser mais elevados, contribuindo para uma avaliação global mais positiva.

Esta dinâmica ajuda a explicar por que razão a Avenida do Brasil e a Rua de Cedofeita apresentam os resultados mais baixos, ainda que acima do nível 4, possivelmente devido à presença pontual desta categoria mais penalizadora. Em contraste, ruas como a Rua 31 de Janeiro e a Avenida dos Aliados, onde não foram registados excrementos, evidenciam os melhores desempenhos. Assim, conclui-se que, mais do que a diversidade de categorias consideradas, é sobretudo o sistema de ponderação que condiciona os resultados finais desta metodologia.

De uma forma geral, este método revela-se bastante completo e adequado ao contexto para o qual foi concebido, nomeadamente a aplicação em ambiente real através de câmaras instaladas na via pública. No entanto, a sua utilização direta sobre um conjunto de dados já extraídos constitui uma adaptação que não corresponde ao cenário ideal/ devidamente representativo de aplicação, uma vez que o método depende da análise em imagem e não de dados previamente estruturados.

Ainda assim, importa salientar algumas limitações associadas ao facto de a deteção ser realizada por inteligência artificial a partir de imagem, em vez de observação humana direta. Esta abordagem reduz a capacidade de distinção entre categorias fundamentais de resíduos, uma vez que nem sempre permite uma identificação rigorosa das diferentes tipologias. Por exemplo, o sistema não distingue resíduos alimentares de outros tipos de matéria orgânica, nem diferencia adequadamente entre papel, cartão e plástico. Do mesmo modo, não identifica variações de dimensão dos resíduos nem reconhece elementos específicos como sacos de lixo, que podem ter impacto relevante na perceção da sujidade do espaço urbano.

7.3.3. Análise Crítica

Com o objetivo de sistematizar e facilitar a comparação entre as diferentes metodologias analisadas, apresenta-se na Tabela 7.6 um resumo das suas principais características qualitativas. Esta síntese permite identificar, de forma mais direta, os critérios em que cada abordagem se destaca e aqueles em que apresenta lacunas, servindo de base à discussão que se segue sobre os fatores que mais influenciam os resultados de um índice de limpeza urbana.

Tabela 7.6: Tabela-resumo das características de cada uma das metodologias

Parâmetro	Keep Britain Tidy	Qazvin	AVPU	Granada	Porto	Vancouver	Genebra	Santiago	Bournemouth	Amsterdão
Tem um Índice de Limpeza associado	X	X	X	X	X		X		X	
Quantificação do número de resíduos	¹	X	X	X	X	¹	X	¹	¹	¹
Distinção por categoria de resíduo	¹	X	X	X	X	¹	X		¹	¹
Distinção por dimensão do resíduo				X	X	¹			¹	
Unidade de contagem definida			X		X		X		Sem informação	
Ponderação por categoria de resíduo		X	X	X	X		X		²	
Ponderação por localização					X		²		²	
Considera características físicas da rua				X			²		²	
Considera características meteorológicas				X			²		²	
Considera circunstâncias extraordinárias				X			²		²	

Nº de categorias de resíduos suficiente			X	X	X					
Integra a percepção da população			X		X		X			
Menor exigência de recursos						X	X			X
Maior rapidez de recolha							X		X	X
Avaliação da totalidade do território							X		X	X
Acesso a zonas de difícil circulação								X	X	
Menor risco de enviesamento							X	X	X	X
Utiliza infraestrutura existente						X	X			X
Pode ser realizado diariamente						X	X		X	X

¹ Não consta no índice/não tem índice associado, mas realiza a contagem e/ou distinção de tal.

² Não consta no índice/ não tem índice associado, mas realiza a análise em imagens georreferenciadas e com data, portanto é possível adicionar.

Apesar das diferenças evidentes entre metodologias, todas partilham um objetivo comum: quantificar ou avaliar qualitativamente o nível de limpeza do espaço urbano. Contudo, quando os resultados obtidos pela sua aplicação são confrontados com a percepção direta da população sobre as mesmas ruas, verifica-se que esse objetivo nem sempre é atingido da forma esperada.

Destaca-se de imediato uma diferença significativa entre os resultados da avaliação da limpeza das ruas obtidos pela aplicação das metodologias e os obtidos através da percepção da população. O caso mais expressivo é o da Rua 31 de Janeiro, classificada de forma unânime como "Muito Bom" por todas as metodologias aplicadas, foi simultaneamente a rua com a avaliação mais baixa por parte dos inquiridos.

Uma parte desta discrepância pode ser explicada pelo desfasamento temporal entre os dados utilizados: os dados de caracterização de resíduos correspondem a 2019, ao passo que os inquéritos de percepção foram realizados em 2026. É possível que as condições de limpeza das ruas se tenham alterado entretanto, e que situações que não constituíam problema em 2019 se tenham agravado nos anos seguintes. Este desfasamento reforça, desde logo, a necessidade de avaliações frequentes e contínuas que acompanhem a evolução real do espaço urbano ao longo do tempo. No entanto, a dimensão da discrepância observada sugere que o desfasamento temporal não é a única explicação: a percepção humana da limpeza urbana é influenciada por um conjunto de fatores que estes dados não capturaram: a presença de *graffitis*, o estado de conservação das fachadas, a sensação de insegurança, o odor ou a memória acumulada de episódios negativos repetidos numa determinada rua. A Rua 31 de Janeiro foi associada, nos inquéritos, precisamente a este tipo de fatores: *graffitis*, presença de sem-abrigo e contentorização insuficiente, que, não sendo contabilizáveis como resíduos, pesam decisivamente na avaliação subjetiva dos cidadãos.

Esta discrepância não deve, por isso, ser entendida como uma limitação direta das metodologias, mas antes como um indicador da necessidade de calibrar o índice de forma mais próxima da percepção real da população. Em particular, sugere-se a revisão do sistema de ponderações, com eventual reforço do peso atribuído às categorias mais valorizadas pelos cidadãos, bem como a exploração futura de variáveis complementares que reflitam o estado geral do espaço público para além da simples presença de resíduos. A integração regular de dados de percepção, como os recolhidos neste estudo, no processo de calibração do índice constitui, nesse sentido, um passo essencial para aproximar os resultados quantitativos da experiência real de quem utiliza as ruas da cidade.

Esta reflexão conduz a uma conclusão mais ampla sobre o que foi possível observar na aplicação prática das diferentes metodologias: embora cada abordagem seja válida no seu contexto, nenhum índice pode ser considerado absoluto nem universalmente "o melhor". Diferentes metodologias traduzem a realidade de formas distintas e os resultados variam de forma significativa em função de três fatores fundamentais: as categorias consideradas, o sistema de ponderação e o método de contagem. Pequenas alterações nestes elementos são suficientes para provocar diferenças relevantes na classificação das mesmas ruas, como ficou demonstrado na aplicação prática das metodologias analisadas.

No que respeita às categorias, metodologias com categorias demasiado agregadas tendem a perder sensibilidade, como acontece em Granada, ao agrupar diferentes tipos de resíduos orgânicos ou inorgânicos, enquanto abordagens demasiado restritivas podem excluir elementos relevantes ou tornar a avaliação excessivamente complexa. As categorias mais essenciais para qualquer índice de limpeza urbana robusto são aquelas que, sem serem excessivamente específicas nem demasiado generalizadas, conseguem refletir as diferenças de impacto visual e na saúde pública. Neste estudo, destacaram-se com especial relevância: o papel, cartão e plásticos e embalagens, pela sua elevada frequência no espaço urbano; os resíduos alimentares e orgânicos, pelo seu impacto visual e sanitário; as incrustações, pela sua recorrência; os excrementos animais, pelo forte impacto na perceção pública; e o vidro e recipientes, pelo risco associado e pela sua persistência no espaço urbano. A ausência de diferenciação por tamanho, aglomeração ou visibilidade dos resíduos pode, adicionalmente, distorcer de forma significativa o índice, conduzindo a sobrestimações ou subestimações do nível real de sujidade.

Outro aspeto central é que o sistema de ponderação é frequentemente mais determinante do que o número de categorias consideradas. As metodologias de Granada e do Porto demonstram que a forma como os resíduos são valorizados (em função do seu impacto visual, da perceção pública e do risco ambiental) tem maior influência nos resultados do que a simples diversidade categorial. Em contrapartida, abordagens mais brutas de contagem tendem a amplificar categorias muito frequentes, como papel e cartão, sem refletir adequadamente o impacto real no espaço urbano.

A conclusão mais evidente retirada desta avaliação é que as abordagens baseadas em inteligência artificial representam um salto qualitativo face às metodologias anteriores. Os métodos manuais, desde os mais simples, como o desenvolvido pela *Keep Britain Tidy*, até aos mais elaborados, como o criado para o Porto, partilham uma limitação estrutural: dependem da observação humana, o que

introduz subjetividade inevitável, maior consumo de recursos, uma cobertura geográfica e temporal necessariamente limitada e uma periodicidade de avaliação, geralmente mensal ou trimestral, insuficiente para captar as variações reais do espaço urbano ao longo do tempo.

É neste contexto que a CortexIA se destaca como a abordagem com maior potencial de transformação, uma vez que dispõe de um índice de limpeza definido, baseado na contabilização e em ponderações atribuídas às diferentes categorias segundo a percepção humana e a sua gravidade para a saúde pública, com unidades de contagem bem estabelecidas.

As imagens, ao serem georreferenciadas e associadas a uma componente temporal, permitem ajustar os resultados em função da realidade observada em cada momento, o que no futuro poderá ainda evoluir no sentido de incorporar ponderações associadas à localização, tal como na metodologia do Porto, bem como considerar características específicas das ruas, condições meteorológicas e eventuais circunstâncias extraordinárias que influenciem a avaliação, à semelhança do que é feito na abordagem de Granada.

Ao mesmo tempo, o sistema exige menos recursos, é mais rápido do que os métodos manuais e assegura uma boa cobertura do território, ainda que com maiores limitações no acesso a zonas de difícil circulação. Pode ser utilizado de forma diária e utiliza a infraestrutura existente, tornando-se uma solução eficiente e sustentável quando comparada, por exemplo, com a utilização de drones.

O único ponto menos favorável desta metodologia é o facto de não permitir distinguir tamanhos e diferentes tipos de resíduos, aliado à dependência da captação por câmara em vez da observação visual direta. Acresce que, na aplicação prática realizada neste estudo, não foi possível avaliar o seu pleno potencial, uma vez que várias categorias dependem de parâmetros como a percentagem de ocupação da imagem ou o volume dos resíduos, não determináveis a partir dos dados de 2019.

8. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

No âmbito do presente estudo, foi realizada uma análise de enquadramento do projeto nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com o objetivo de identificar as principais áreas de impacto deste trabalho, permitindo compreender de que forma o desenvolvimento e a implementação de novas ferramentas de determinação do índice de limpeza, bem como a integração da perceção da população nesta área, contribuem para metas globais relacionadas com a indústria, inovação e infraestruturas, cidades e comunidades sustentáveis e produção e consumo sustentáveis.

Na Tabela 8.1 apresentam-se os ODS identificados, as respetivas metas específicas, a contribuição do projeto e os indicadores de desempenho definidos para avaliar o seu impacto.

Tabela 8.1: Enquadramento do trabalho nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS	Meta	Contribuição	Indicadores de Desempenho e Métricas
9	9.4	Atualmente, a cidade do Porto não dispõe de qualquer sistema de monitorização sistemática do nível de limpeza urbana. Este trabalho contribui para colmatar esta lacuna através de uma avaliação do nível de limpeza da cidade de acordo com a perceção da população, da atualização da perceção da população relativamente ao incómodo causado pelos diferentes tipos de resíduos e às localizações onde estes costumam ser encontrados e através da avaliação e comparação de diferentes metodologias existentes de avaliação da limpeza urbana, com vista a identificar a mais adequada para futura adoção pela Porto Ambiente.	Nível de limpeza da cidade, por zona/rua, segundo a perceção da população (inquéritos); Índices de incómodo atualizados, por categoria de resíduo e por localização; Nº de metodologias/tecnologias de monitorização avaliadas comparativamente; Grau de adequação técnica de cada metodologia ao contexto do Porto (avaliação qualitativa).
11	11.6	A implementação futura de uma metodologia validada por este trabalho permitirá à Porto Ambiente	Nº de circuitos de limpeza otimizados com

		otimizar a gestão das operações de limpeza urbana nomeadamente o planeamento dos circuitos, a afetação de recursos e a priorização de intervenções, contribuindo para a redução do impacto ambiental negativo per capita associado à limpeza da cidade.	base na monitorização implementada; Consumo de água por habitante associado às operações de limpeza urbana (l/habitante/ano); Consumo de combustível/eletricidade por habitante associado às operações de limpeza urbana (l/habitante/ano); Emissões de CO₂ por habitante associadas aos equipamentos de limpeza urbana (kg/habitante/ano); Quantidade de resíduos urbanos no espaço público por habitante (kg ou unidades/habitante).
12	12.2	A determinação periódica do nível de limpeza vai contribuir para o uso mais eficiente dos recursos naturais (água, combustível) associados à limpeza urbana.	Consumo de combustível por circuito (l/h ou l/km); Volume de água utilizado por operação de limpeza (l/dia).
	12.5	A caracterização detalhada dos resíduos urbanos por categoria vai fornecer dados que podem orientar estratégias de prevenção e redução da produção de resíduos.	Quantidade de resíduos por categoria (unidades/100 m²); evolução da quantidade de resíduos entre campanhas (comparação 2019 vs. atual).

9. Conclusões

A presente dissertação teve como principal objetivo o levantamento, a aplicação e a comparação de diferentes metodologias de avaliação da limpeza urbana, com vista a apoiar a Porto Ambiente na futura implementação de um sistema de monitorização sistemática, atualmente inexistente, do nível de limpeza da cidade do Porto. Para tal, o trabalho desenvolveu-se em três fases: a implementação de um inquérito, com vista à determinação da perceção da população relativamente à limpeza urbana e ao incómodo causado por diferentes tipos de resíduos e pelas localizações onde estes se podem encontrar; a recalibração, com base nesse inquérito, do Índice de Limpeza criado especificamente para a cidade do Porto; e o levantamento e a avaliação comparativa de outras metodologias existentes, manuais, baseadas em ciência cidadã e mais automatizadas, baseadas em inteligência artificial.

No que respeita à resposta dos inquéritos, estes totalizaram 556 respostas ao longo de um mês, das quais 275 foram recolhidas no inquérito presencial e 281 no inquérito online. A média global obtida foi de 3,20/5, situando-se dentro do nível "Médio", o que indica uma perceção moderada da limpeza urbana por parte dos inquiridos, reconhecendo-se o esforço dos serviços, mas com margem considerável para melhoria. As principais queixas incidiram sobre a própria limpeza das ruas (varredura e lavagem), nomeadamente a necessidade de aumentar a frequência e melhorar o serviço em si. À escala das zonas, a Foz destacou-se como a mais bem avaliada e a Ribeira como a zona com piores resultados, um padrão consistente com o maior fluxo turístico e a maior pressão de utilização nestas últimas. À escala da rua, foram avaliadas 26 ruas. Destacaram-se negativamente a Rua de Fernandes Tomás (2,22) e a Rua 31 de Janeiro (2,00), associadas a *graffitis*, presença de sem-abrigo e contentorização insuficiente. Em contraste, a Avenida D. Carlos I (3,90) e a Rua do Passeio Alegre (3,80), ambas na Foz, registaram as melhores avaliações, reforçando o padrão de zonas residenciais e menos turísticas com limpeza melhor percecionada.

Relativamente à recalibração do Índice de Limpeza, as médias de incómodo registadas em 2026 evidenciam que os resíduos alimentares (4,40), os dejetos de animais (4,38) e os sacos de lixo (4,34) são os que mais contribuem para o desconforto percecionado. Estes valores refletem o impacto significativo destas categorias na perceção visual, olfativa e nas condições de higiene do espaço público. Por outro lado, os resíduos verdes (2,62) e as pedras e areia (2,69) apresentam os níveis de incómodo mais reduzidos, o que se explica pela sua origem maioritariamente natural e pela menor associação a comportamentos de descarte inadequado. Quanto à localização, o passeio obteve a ponderação mais

elevada ($P_x = 0,26$), confirmando-se como o local cuja presença de resíduos mais incomoda a população, dada a sua visibilidade e o contacto direto e constante dos cidadãos com este espaço, seguido dos jardins (0,21) e, com valores semelhantes, das bases das árvores e das bocas de lobo (0,19 cada). Os contentores pequenos registaram a ponderação mais baixa (0,15), o que poderá estar associado ao facto de serem locais já destinados à deposição de resíduos, tornando a sua presença mais esperada e, por isso, menos incomodativa.

A comparação entre os parâmetros obtidos em 2019 e em 2026 revelou uma elevada consistência global nos Índices de Incómodo associados a cada categoria de resíduos, com uma tendência generalizada para valores ligeiramente superiores em 2026, indicativa de uma maior exigência da população relativamente à limpeza do espaço público. Já nas ponderações relativas à localização, registaram-se alterações mais significativas, destacando-se a inversão do incómodo associado às papeleiras (de mais para menos incomodativas) e ao passeio (de segunda para primeira posição). A aplicação destes parâmetros recalibrados aos dados de 2019 mostrou que as ponderações de localização, em particular a do passeio, são o fator que mais influencia a variação do Índice de Limpeza, e não tanto os Índices de Incómodo por categoria de resíduo. Por outro lado, a comparação entre os valores calculados pelo índice e a perceção direta da população sobre as mesmas ruas evidenciou uma discrepância relevante, com o índice calculado a atribuir, de forma sistemática, classificações mais favoráveis do que as percecionadas pelos cidadãos, uma limitação importante a ter em conta em futuras afinações do modelo.

No que diz respeito à avaliação comparativa qualitativa das metodologias existentes, as abordagens baseadas em inteligência artificial destacaram-se como a solução mais vantajosa, ao possibilitarem uma monitorização contínua e automatizada sem depender de amostragem manual. Os métodos manuais, da *Keep Britain Tidy*, Qazvin (CEI), AVPU (IMSP), Granada (IS) e Porto (IL), mostram uma evolução progressiva em número de categorias e integração da perceção pública, mas partilham a mesma limitação: dependem da observação humana, com a subjetividade e o consumo de recursos que isso implica. É nas metodologias baseadas em tecnologia e IA que se identifica o maior potencial para uma gestão mais otimizada dos serviços de limpeza urbana da cidade do Porto. O método de Genebra (CCI), com câmaras em veículos municipais, aproveita rotas já existentes para uma monitorização contínua. O sistema testado no Chile, com câmaras transportadas por pessoas, oferece maior flexibilidade em zonas pedonais; os drones da Ellipsis Earth cobrem rapidamente grandes áreas, incluindo locais de difícil acesso e o UODK de Amsterdão mostra que soluções *low-cost*, baseadas em

smartphones, são viáveis para municípios com orçamentos limitados. A isto soma-se o potencial da ciência cidadã (*Litterati*), que, apesar de enviesamentos espaciais e temporais, poderia tornar-se relevante se integrada de forma estruturada nas operações municipais.

Por fim, uma avaliação quantitativa através da aplicação das cinco metodologias comparáveis (CEI, IMSP, IS, IL e CCI) aos dados de 2019 mostrou resultados globalmente positivos, mas com divergências relevantes entre métodos para a mesma rua, devido a critérios e ponderações distintos. A Avenida dos Aliados e a Rua 31 de Janeiro destacaram-se pela consistência entre metodologias, enquanto a Rua de Fernandes Tomás foi sistematicamente penalizada, à exceção do CCI. Esta exceção explica-se pela estrutura de ponderações do CCI, que atribui maior peso a categorias como os dejetos de animais, menos frequentes nesta rua, atenuando assim o impacto das categorias mais abundantes. Nas restantes metodologias, a penalização deve-se essencialmente à elevada quantidade de papel, cartão e plástico registada nesta rua, categorias muito frequentes que métodos de contagem mais diretos, como o CEI, tendem a amplificar. No caso do IL do Porto, o efeito é ainda mais acentuado devido ao carácter multiplicativo do seu cálculo: quando qualquer categoria atinge o valor zero, que ocorre repetidamente na categoria de papel e embalagens nesta rua, o resultado total é igualmente zero, conduzindo a uma penalização considerável.

Em suma, do ponto de vista prático, este trabalho fornece à Porto Ambiente uma base técnica sólida para apoiar a tomada de decisão sobre o futuro sistema de monitorização da limpeza urbana da cidade do Porto, bem como para sustentar o desenvolvimento de estratégias futuras.

Em primeiro lugar, a análise e validação de diferentes metodologias, aliadas à atualização do Índice de Limpeza com base na perceção mais recente da população, incluindo a recalibração dos parâmetros da metodologia originalmente desenvolvida para o Porto, serão integradas na abordagem da CortexIA, o que permitirá a incorporação do conhecimento sobre os aspetos a que a população atribui maior importância no contexto da limpeza urbana, garantindo que a nova metodologia reflete as expectativas dos cidadãos. Além disso, os inquéritos realizados à avaliação das ruas, zonas e à perceção geral da limpeza urbana permitirão à Porto Ambiente obter uma visão mais clara das principais críticas e preocupações dos cidadãos, o que irá constituir uma ferramenta essencial para a definição de novas estratégias, possibilitando não só a implementação de campanhas de sensibilização mais direcionadas, alinhadas com as críticas mais comuns, mas também uma atuação mais focada nas áreas consideradas mais

problemáticas, promovendo intervenções mais eficazes e ajustadas à realidade local.

10. Limitações e Trabalho Futuro

Este trabalho apresenta algumas limitações que importa assinalar. Em primeiro lugar, os inquéritos de rua basearam-se numa amostra reduzida (em média, cerca de 10 pessoas por rua) e não abrangeram a totalidade das ruas inicialmente planeadas, o que condiciona a representatividade dos dados e limita a generalização dos resultados a outras áreas da cidade do Porto. Em segundo lugar, a comparação entre os valores obtidos através do Índice de Limpeza recalibrado e a perceção direta da população evidenciou uma discrepância sistemática, com o índice a atribuir classificações mais favoráveis do que aquelas percecionadas pelos cidadãos.

Por fim, a aplicação das diferentes metodologias a dados recolhidos em 2019 revelou-se limitativa. A necessidade de adaptação desses dados implicou a perda de informação relevante, uma vez que várias metodologias consideram categorias que não foram contempladas nas campanhas de recolha originais e vice-versa, tendo, por isso, sido desconsideradas. Acresce que, para evitar a obtenção de valores excessivamente elevados e desadequados, foi também necessário excluir categorias como beatas e pastilhas elásticas, o que contribuiu para a desvalorização de componentes relevantes da realidade observada. No que diz respeito à metodologia baseada em inteligência artificial, inspirada na abordagem aplicada em Genebra, verificou-se que, embora tenha sido possível adaptá-la ao conjunto de dados disponível, a sua aplicação ficou fortemente limitada. Tal deve-se ao facto de muitas das categorias e parâmetros considerados dependerem de dados recolhidos por sistemas de imagem e não de contagens manuais. Consequentemente, não foi possível incorporar grande parte dessas dimensões na análise, o que restringe significativamente o alcance da metodologia e impede uma avaliação comparável à obtida no seu contexto original.

Como trabalho futuro, recomenda-se o alargamento dos inquéritos de perceção a um conjunto mais amplo de ruas e zonas da cidade, preferencialmente com o apoio de uma equipa de recolha mais alargada, de modo a aumentar a representatividade e robustez dos resultados obtidos. A informação recolhida deverá ser utilizada na atualização dos pesos e ponderações do Índice de Limpeza a integrar na solução CortexIA a implementar no Porto, assegurando que o modelo reflete de forma mais rigorosa e atual a perceção da população. Sugere-se ainda a exploração do potencial da inteligência artificial na caracterização dos resíduos de varredura, atualmente sem destino de valorização definido. Adicionalmente, deverá ser assegurada a continuidade da recalibração periódica do Índice de Limpeza, bem como a sua otimização progressiva com base na incorporação de novos dados,

permitindo a evolução contínua do modelo e o reforço da sua capacidade de suporte à decisão na gestão da limpeza urbana.

Referências

- [1] World Bank. (2024). *Urban Development*. World Bank Group. <https://www.worldbank.org/ext/en/topic/urban-development>
- [2] Kumar, A. (2024). A novel framework for waste management in smart city transformation with industry 4.0 technologies. *Research in Globalization*, 9, 100234.
- [3] Rashed, A. H. (2023). The impacts of unsustainable urbanization on the environment. In *Sustainable regional planning*. IntechOpen.
- [4] Rahimi Hezarvand, S., Morovati, M., Parsa, S., & Torkashvand, J. (2025). A case study on litter management and clean environment index in small tourism cities. *Scientific Reports*, 15(1), 36727.
- [5] Nejadsadeghi, E., Khosravani, F., Morovati, M. *et al.* Study of pollution status in urban environment caused by attitude and waste littering behavior of citizens. *Sci Rep* **14**, 25570 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76238-8>
- [6] Moradgholi, M., Masihi, N., Zare Bidoki, M., & Kazembeigi, F. (2023). Investigation of environmental pollution in residential areas from littered wastes. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 11(3), 189-193.
- [7] AVPU. (2020). *Intervention (1er décembre 2020)*. Réseau CRPV. <https://www.reseau-crpv.fr/wp-content/uploads/2021/03/Intervention-AVPU-1er-decembre-2020.pdf>
- [8] Naumov, N., Varadzhakova, D., & Naydenov, A. (2021). Sanitation and hygiene as factors for choosing a place to stay: perceptions of the Bulgarian tourists. *Anatolia*, 32(1), 144-147
- [9] Jafari, A. J., Latifi, P., Kazemi, Z., Kazemi, Z., Morovati, M., Farzadkia, M., & Torkashvand, J. (2021). Development a new index for littered waste assessment in different environments: A study on coastal and urban areas of northern Iran (Caspian Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112684.
- [10] ALU – Associação Limpeza Urbana. (2021). *A importância e impacto do sector da limpeza urbana em Portugal*. https://static1.squarespace.com/static/5f63382b03cd3d4b807f52c9/t/6172a72ad0d9b82782b9b069/1634903858658/a+importancia+e+impacte+do+sector+da+limpeza+urbana+em+portugal_2021+%282%29.pdf
- [11] Darabi, K., Moein, H., Kazembeigi, F., Nakhaei, S., & Badeenezhad, A. (2025). A review of key factors influencing anthropogenic litter density and associated risks in Urban area. *Discover Sustainability*, 6(1), 1018.
- [12] Moore, D. L. (2019). Needle stick injuries in the community. *Paediatrics & Child Health*, 23(8), 532-538.
- [13] Tung, M., Jackson, J., Ferreira, C., Hayden, K. A., & Ens, T. (2023). Strategies for addressing needle debris: A scoping review of needle debris and discarded

- drug paraphernalia associated with substance use. *International Journal of Drug Policy*, 120, 104183.
- [14] Cinquepalmi, V., Monno, R., Fumarola, L., Ventrella, G., Calia, C., Greco, M. F., ... & Soleo, L. (2013). Environmental contamination by dog's faeces: a public health problem?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(1), 72-84.
- [15] Al-Khatib, I. A. (2009). Children's perceptions and behavior with respect to glass littering in developing countries: A case study in Palestine's Nablus district. *Waste management*, 29(4), 1434-1437.
- [16] Karimi, K., & Faghri, A. (2021). The issues of roadside litter: A review paper. *Current Urban Studies*, 9(4), 779-803.
- [17] Torkashvand, J., Farzadkia, M., Sobhi, H. R., & Esrafil, A. (2020). Littered cigarette butt as a well-known hazardous waste: a comprehensive systematic review. *Journal of hazardous materials*, 383, 121242.
- [18] Hadiuzzaman, M., Salehi, M., & Fujiwara, T. (2022). Plastic litter fate and contaminant transport within the urban environment, photodegradation, fragmentation, and heavy metal uptake from storm runoff. *Environmental research*, 212, 113183.
- [19] Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: a micro issue?. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634-6647.
- [20] Farzadkia, M., Sedeh, M. S., Ghasemi, A., Alinejad, N., Kazemi, M. S., Jafarzadeh, N., & Torkashvand, J. (2022). Estimation of the heavy metals released from cigarette butts to beaches and urban environments. *Journal of Hazardous Materials*, 425, 127969.
- [21] Green, A. L. R., Putschew, A., & Nehls, T. (2014). Littered cigarette butts as a source of nicotine in urban waters. *Journal of hydrology*, 519, 3466-3474.
- [22] Cortexia. (2020). *What is the impact of clean cities on the environment?* <https://www.cortexia.ch/what-is-the-impact-of-clean-cities-on-the-environment>
- [23] Cortexia. (2022). *A guide to best practices towards cleaner cities.* <https://www.cortexia.ch/a-guide-to-best-practices-towards-cleaner-cities/>
- [24] World Bank. (2025). *Clean cities, bright futures: Accelerating investment and reforms in solid waste management in developing countries.* <https://www.worldbank.org/en/results/2025/04/30/clean-cities-bright-futures-accelerating-investment-and-reforms-in-solid-waste-management-in-developing-countries>
- [25] Ojedokun, O. (2016). Development and psychometric evaluation of the littering prevention behavior scale. *Ecopsychology*, 8(2), 138-152.
- [26] Gholami, M., Torkashvand, J., Rezaei Kalantari, R., Godini, K., Jonidi Jafari, A., & Farzadkia, M. (2020). Study of littered wastes in different urban land-uses: An

- 6 environmental status assessment. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(2), 915-924.
- [27] Farzadkia, M., Alinejad, N., Ghasemi, A., Rezaei Kalantary, R., Esrafil, A., & Torkashvand, J. (2023). Clean environment index: A new approach for litter assessment. *Waste Management & Research*, 41(2), 368-375
- [28] Darabi, K., Hassani, G., Alinejad, N., & Badeenezhad, A. (2023). Spatial and temporal variation of CBPI and leakage of heavy metals from cigarette butts into the urban environment. *Scientific Reports*, 13(1), 1424.
- [29] Weber, R., Van Onselen, L., Silvester, S., & Boks, C. (2010). Influence of packaging design on littering and waste behaviour. *Packaging Technology and Science*, 23(5), 239-252.
- [30] Porto Ambiente (2019). *Regulamento n.º 26/2019: Regulamento de serviço de gestão de resíduos urbanos e limpeza do espaço público no Município do Porto. Diário da República*, 2.ª série (n.º 4), 7 de janeiro.
- [31] Porto Ambiente. (2026). *Porto Ambiente*. <https://www.portoambiente.pt/>
- [32] Guedes, M., Pires, J. C., Martins, F. G., Lucas, C. S., Claro, H., Pereira, M. F. R., & Dias, J. M. (2026). Development of a tool to enhance street cleaning service efficiency: The case study of Porto city, Portugal. *Waste Management & Research*, 44(4), 376-388.
- [33] Porto Ambiente (2025). *Varredura*. Porto Ambiente. <https://www.portoambiente.pt/limpeza-da-via-publica/varredura>
- [34] Porto Ambiente. (2025). *Limpeza de sarjetas*. <https://www.portoambiente.pt/limpeza-da-via-publica/limpeza-de-sarjetas>
- [35] Porto Ambiente. (2025). *Limpeza de fachadas*. <https://www.portoambiente.pt/limpeza-da-via-publica/limpeza-de-fachadas-1>
- [36] Porto Ambiente. (2026). *Porto Ambiente integra os órgãos sociais da Associação Limpeza Urbana*. <https://www.portoambiente.pt/noticias/porto-ambiente-integra-os-orgaos-sociais-da-associacao-limpeza-urbana>
- [37] Porto Ambiente. (2025). *Água para reutilização (ApR)*. https://www.portoambiente.pt/limpeza-da-via-publica/agua_para_reutilizacao
- [38] Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management*. New York: McGraw Hill.
- [39] Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. D. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste management*, 29(3), 1176-1185.
- [40] Cook, E., Ionkova, K., Bhada-Tata, P., Yadav, S., & Van Woerden, F. (2026). What a waste 3.0: Global snapshot of solid waste management toward circularity until 2050.

- [41] Sevilla, A., Rodríguez, M. L., García-Maraver, Á., & Zamorano, M. (2013). An index to quantify street cleanliness: The case of Granada (Spain). *Waste management*, 33(5), 1037-1046.
- [42] PreZero. (2025). *Serviços urbanos*. <https://prezero.com/pt/servicos/servicos-urbanos>
- [43] Inova – Empresa Municipal de Cantanhede, E. M. (2025). *Indicadores de qualidade de serviços da ERSAR Residuais*. Inova-EM. https://www.inova-em.pt/servicos/aguas_residuais/indicadores_residuais/
- [44] CortexIA (2021). *Cleanliness management*. Cortexia: Smart, Clean, Sustainable. <https://www.cortexia.ch/cleanliness-management/?lang=en>
- [45] López, I., Gutiérrez, V., Collantes, F., Gil, D., Revilla, R., & Gil, J. L. (2017). Developing an indicators plan and software for evaluating street cleanliness and waste collection services. *Journal of Urban Management*, 6(2), 66-79.
- [46] Keep Britain Tidy. (2026). *Homepage*. <https://www.keepbritaintidy.org/>
- [47] Keep Britain Tidy (2015). *Local environmental quality survey of England (LEQSE): Analysis of 2014/15 data* (Project ID EQ0107). Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- [48] Keep Britain Tidy. (2025). *A rubbish reality: Our litter problem and why it matters*. <https://www.keepbritaintidy.org/sites/default/files/2025-11/KBT%20Rubbish%20Reality%20Report%20Jan%2025.pdf>
- [49] London Borough of Camden. (2025). *Camden Education and Enforcement Team – Keep Britain Tidy Survey* [Data set]. Camden Open Data Portal. https://opendata.camden.gov.uk/Your-Council/Camden-Education-and-Enforcement-Team-Keep-Britain/i878-fu9w/about_data
- [50] Association des Villes pour la Propreté Urbaine. (2026). *Qu'est-ce que l'AVPU? AVPU*. <https://www.avpu.fr/qui-sommes-nous/>
- [51] Association des Villes pour la Propreté Urbaine. (2021). *Présentation AVPU 2021* [PDF]. <https://www.avpu.fr/wp-content/uploads/2021/02/Pr%C3%A9sentation-AVPU-2021.pdf>
- [52] Association des Villes pour la Propreté Urbaine. (2016). *Mode d'emploi des indicateurs objectifs de propreté* [PDF]. Clean Europe Network. https://cleaneuropenetwork.eu/pdf/AVPU_Mode%20demploi%20des%20Indicateurs%20Objectifs%20de%20Proprete.pdf
- [53] Ville de Versailles. (2019). *Procès-verbal du conseil municipal : Séance du 22 mars 2019* [PDF]. https://www.versailles.fr/Statics/Mairie/Conseil_Municipal/Ordres_du_jour-comptes-rendus-proces_verbaux/2019/CM_14-11-2019_PV.pdf
- [54] Commune de Schaerbeek. (2026). *Plan de propreté de l'espace public 2026-2031* [PDF]. https://www.1030.be/data/media/document/plan_de_proprete_2026.pdf

- [55] Federación Galega de Municipios e Provincias. (2025). *Guía técnica para a xestión de residuos municipais e limpeza viaria*. FEGAMP. <https://www.fegamp.gal/sites/default/files/documentos/guiatecnica.pdf>
- [56] Watkins, L., Bonter, D. N., Sullivan, P. J., & Walter, M. T. (2024). Methods for monitoring urban street litter: a comparison of municipal audits and an app-based citizen science approach. *Environmental Science: Advances*, 3(6), 885-896.
- [57] Kako, S. I., Muroya, R., Matsuoka, D., & Isobe, A. (2024). Quantification of litter in cities using a smartphone application and citizen science in conjunction with deep learning-based image processing. *Waste Management*, 186, 271-279.
- [58] Dillon Consulting Limited. (2023). *Street litter audits: 2023 results*. City of Vancouver. <https://vancouver.ca/files/cov/street-litter-audit-survey-report-2023.pdf>
- [59] Ballatore, A., Verhagen, T. J., Li, Z., & Cucurachi, S. (2022). This city is not a bin: Crowdmapping the distribution of urban litter. *Journal of Industrial Ecology*, 26(1), 197-212.
- [60] Minnucci, M. (2021). Fight litter using the *Litterati* app & data. Keep Massachusetts Beautiful. <https://keepmassbeautiful.org/news-events/the-kmb-blog/overview.html/article/2021/05/07/fight-litter-using-the-Litterati-app-data>
- [61] OECD. (2025). *Artificial intelligence for advancing smart cities* (Issues Note). OECD. <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/programmes/cfe/the-oecd-programme-on-smart-cities-and-inclusive-growth/Issues-Note-AI-for-advancing-smart-cities.pdf>
- [62] Ben Dhaou, S., Isagah, T., Distor, C., & Ruas, I. C. (2024). *Global assessment of responsible artificial intelligence in cities: Research and recommendations to leverage AI for people-centred smart cities*. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/08/global_assessment_of_responsible_ai_in_cities_21082024.pdf
- [63] Guo, K., Lu, Y., Gao, H., & Cao, R. (2019). Artificial intelligence-based semantic internet of things in a user-centric smart city. *Sensors*, 18(5), 1341.
- [64] Neshenko, N., Nader, C., Bou-Harb, E., & Furht, B. (2020). A survey of methods supporting cyber situational awareness in the context of smart cities. *Journal of Big Data*, 7(1), 92.
- [65] Yigitcanlar, T., & Cugurullo, F. (2020). The sustainability of artificial intelligence: An urbanistic viewpoint from the lens of smart and sustainable cities. *Sustainability*, 12(20), 8548.

- [66] Nam, K., Dutt, C.S., Chathoth, P. *et al.* The adoption of artificial intelligence and robotics in the hotel industry: prospects and challenges. *Electron Markets* **31**, 553–574 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12525-020-00442-3>
- [67] Hwang, H., & Park, M. H. (2020). The Threat of AI and Our Response: The AI Charter of Ethics in South Korea. *Asian Journal of Innovation & Policy*, 9(1).
- [68] Viale Pereira, G., Cunha, M. A., Lampoltshammer, T. J., Parycek, P., & Testa, M. G. (2017). Increasing collaboration and participation in smart city governance: A cross-case analysis of smart city initiatives. *Information Technology for Development*, 23(3), 526-553.
- [69] Hagendorff, T. (2019). The ethics of AI ethics--an evaluation of guidelines. *arXiv preprint arXiv:1903.03425*.
- [70] Freire, C. A., Ferreira, F. A., Carayannis, E. G., & Ferreira, J. J. (2021). Artificial intelligence and smart cities: A DEMATEL approach to adaptation challenges and initiatives. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(5), 1881-1899.
- [71] Instituto Nacional de Estatística. (2025). Sociedade da informação e do conhecimento – Inquérito à utilização de tecnologias da informação e da comunicação nas empresas
- [72] Herath, H. M. K. K. M. B., & Mittal, M. (2022). Adoption of artificial intelligence in smart cities: A comprehensive review. *International journal of information management data insights*, 2(1), 100076.
- [73] Goswami, A., NV, P., P, P., & Saudagar, A. K. J. (2026). Route optimization in urban waste management using locally adjusted discrete cuckoo search: a hybrid metaheuristic approach. *Scientific Reports*.
- [74] Sreejith, S., Ramya, R., Roja, R., & Kumar, A. S. (2019, March). Smart bin for waste management system. In *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)* (pp. 1079-1082). IEEE.
- [75] Bano, A., Ud Din, I., & Al-Huqail, A. A. (2020). AIoT-based smart bin for real-time monitoring and management of solid waste. *Scientific Programming*, 2020(1), 6613263.
- [76] Australian Broadcasting Corporation. (2019). Smart bins detecting smelly rubbish and Wi-Fi benches, all part of Hobart's hi-tech future.
- [77] Kshirsagar, P. R., Kumar, N., Almulhi, A. H., Alassery, F., Khan, A. I., Islam, S., ... & Dekeba, K. (2022). Artificial Intelligence-Based Robotic Technique for Reusable Waste Materials. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 2073482.
- [78] Feng, C., Nie, G., Naveed, Q. N., Potrich, E., Sankaran, K. S., Kaur, A., & Sammy, F. (2022). [Retracted] Optimization of Sorting Robot Control System

- Based on Deep Learning and Machine Vision. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 5458703.
- [79] Ghanbari, F., Kamalan, H., & Sarraf, A. (2023). Predicting solid waste generation based on the ensemble artificial intelligence models under uncertainty analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25(2), 920-930.
 - [80] Wu, F., Niu, D., Dai, S., & Wu, B. (2020). New insights into regional differences of the predictions of municipal solid waste generation rates using artificial neural networks. *Waste Management*, 107, 182-190.
 - [81] NILG.AI. (2024). *AI waste management*. <https://nilg.ai/202409/ai-waste-management/>
 - [82] Valorsul. (2025). *Valorsul investe em robot de triagem com IA para tratar resíduos urbanos*. <https://www.valorsul.pt/pt/informacao/noticias/valorsul-investe-em-robot-de-triagem-com-ia-para-tratar-residuos-urbanos/>
 - [83] Krichen, M. (2023). Convolutional neural networks: A survey. *Computers*, 12(8), 151.
 - [84] Putra, F. F., & Prabowo, Y. D. (2021). Low resource deep learning to detect waste intensity in the river flow. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10(5), 2724-2732.
 - [85] Kryvenchuk, Y., & Marusyk, A. (2024). Plastic Waste on Water Surfaces Detection Using Convolutional Neural Networks. In *COLINS (2)* (pp. 169-185).
 - [86] Yandouzi, M. I. M. O. U. N., & Mimoun, M. (2024). Elevating plastic litter surveillance: Drones and deep learning for efficient detection. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 102(11).
 - [87] Mehanna, S., Berchiche, N., Niare, A. B., Maaradji, A., Hacid, H., & Soukane, A. (2024). Towards real-time image mining for waste detection in deserts. In *Innovation and Technological Advances for Sustainability* (pp. 352-359). CRC Press.
 - [88] Córdova, M., Pinto, A., Hellevik, C. C., Alaliyat, S. A. A., Hameed, I. A., Pedrini, H., & Torres, R. D. S. (2022). Litter detection with deep learning: A comparative study. *Sensors*, 22(2), 548.
 - [89] Cortexia. (2024). *Definition of the Clean City Index (CCI)*
 - [90] Cortexia. (2020). *Our technology*. <https://www.cortexia.ch/technologies/?lang=en>
 - [91] Cortexia. (2020). *Our services*. <https://www.cortexia.ch/services/?lang=en>
 - [92] Cortexia. (2020). *Description of the Clean City Index*. <https://www.cortexia.ch/description-of-the-cleanliness-index/?lang=en>
 - [93] Cortexia. (2021). *More efficient city cleaning thanks to the AI-driven cleanliness measurement*. <https://www.cortexia.ch/more-efficient-city-cleaning-thanks-to-the-ai-driven-cleanliness-measurement/?lang=en>

- [94] Valenzuela-Levi, N., Nilo, C., Ponce-Méndez, J., & Ramírez, N. G. (2026). Mapping waste mismanagement: Detecting litter hotspots with geospatial AI and pedestrian imagery. *Resources, Conservation and Recycling*, 228, 108772.
- [95] Ellipsis Earth. (2021). *Impact report: Bournemouth, Christchurch and Poole, UK*. Ellipsis Earth, in partnership with Hubbub and McDonald's.
- [96] Ellipsis Earth. (2025). *Solution*. <https://www.ellipsis.earth/solution>
- [97] Lewis, N. (2021). *Drones are helping to clean up the world's plastic pollution*. CNN. <https://edition.cnn.com/2021/06/23/europe/ellipsis-drone-plastic-pollution-c2e-spc-intl>
- [98] Sukel, M., Rudinac, S., & Worring, M. (2020, June). Urban object detection kit: A system for collection and analysis of street-level imagery. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Multimedia Retrieval* (pp. 509-516).

Anexo A. Método desenvolvido pela *Keep Britain Tidy*

Lista de parâmetros que também são contabilizados [47]:

- Tipos de lixo – a partir de uma lista predefinida, identificação do tipo de lixo presente no local de inquérito;
- Fonte aproximada do lixo – com base no lixo presente no local, é indicada a sua origem aproximada, podendo variar entre doméstica, geral, comercial, entre outras;
- Carrinhos de compras abandonados presentes no local;
- Contagem de lixo – são contabilizados os seguintes itens:
 - Sacos de supermercado de uso único
 - Sacos reutilizáveis de supermercado
 - Outros sacos de plástico de retalho com marca
 - Outros sacos de plástico de retalho sem marca
 - Sacos não plásticos
 - Fezes de cão
 - Fezes de cão ensacadas
 - Garrafas de plástico
- Indicação da proporção de lixo reciclável no local de inquérito
- Indicação da presença de lixo prejudicial no local de inquérito
- Indicação de resíduos colocados para recolha
- Localização do lixo
- Localização de detritos
- Tipo de detritos
- Número de sarjetas entupidas ou bloqueadas
- Percentagem aproximada de ervas daninhas secas
- Localização do crescimento de ervas daninhas
- Crescimento de ervas daninhas enraizadas em detritos
- Proporção aproximada das fontes de manchas (pastilha elástica, lama/sujidade, veículos, comida/bebida, construção e paan/khat)
- Composição de cartazes ilegais – proporção aproximada por tipo de afixação
- Tipo de deposição ilegal de resíduos (*fly-tipping*)
- Dimensão da deposição ilegal de resíduos
- Tipo de terreno afetado pela deposição ilegal
- Classificação do estado das áreas pavimentadas
- Causa do mau estado das áreas pavimentadas

- Classificação do estado da faixa de rodagem
- Causa do mau estado da faixa de rodagem
- Contagem de buracos (*potholes*)
- Presença de iluminação
- Iluminação defeituosa
- Estado das valetas/canais de drenagem
- Estado da sinalização rodoviária horizontal
- Presença de contentores no local, tipo de contentor, design, posicionamento, dimensão, nível de enchimento e classificação de limpeza
- Limpeza e manutenção de espaços ajardinados

Anexo B. Método testado em Qazvin

Tabela B.1: Coeficiente atribuído às diferentes categorias de resíduos, de acordo com o método de Qazvin [27]

Categoria	Exemplos de tipos de resíduo	W_i
Tabaco	Beatas de cigarro, tabaco	2
Plástico	Sacos (ex. de compras), bebidas (garrafas, recipientes e bidões), embalagens de comida, garrafas e recipientes, embrulhos de rebuçados e bolachas, <i>nylons</i>	1,5
Borracha	Balões, fitas, botas, pneus e correias	1,5
Tecido	Pano, têxteis	1
Papel e cartão	Jornais, embalagens <i>tetrapack</i> (leite ou sumo), maços de cigarro, pedaços de papel, recibos de multibanco	1
Madeira	Pauzinhos de gelado	1
Metal	Tampas de garrafa, latas de bebida, latas de comida, embrulhos de folha de alumínio	1
Vidro	Garrafas	1
Resíduos sanitários	Fraldas, pensos higiénicos, preservativos, lenços de papel	2

Por exemplo, as beatas de cigarro são consideradas resíduos perigosos, pelo que o seu W_i é 2. O lenço de papel, por sua vez, pelo seu potencial de contaminação microbiana, foi igualmente definido como 2. Já os plásticos, pela sua durabilidade no ambiente e decomposição em microplásticos, têm um W_i de 1,5.

Anexo C. Método desenvolvido pela AVPU

Tabela C.1: Unidades a serem consideradas para cada tipologia de resíduo, de acordo com a metodologia da AVPU [52]

Tipologia	Unidades de Contagem
Papéis e embalagens alimentares	1 unidade / resíduo
Papéis e embalagens não alimentares	1 unidade / resíduo
Garrafas de vidro	1 unidade / garrafa
Fragmentos de vidro	1 unidade / cor
Beatas	1 unidade / 10 beatas em 10 m ²
Dejetos de cães	1 unidade / dejetos
Depósitos ilegais	< 1 m ³ = 1 unidade N m ³ = N unidades
Sacos de resíduos doméstico	1 unidade / saco
Folhas mortas	1 unidade / 1 m ² coberto N m ³ = N unidades
<i>Graffitis</i>	< 1 m ² = 1 unidade N m ² = N unidades
Cartazes e autocolantes	< 1 m ² = 1 unidade N m ² = N unidades
Sujidades aderentes	> 20 cm ² = 1 unidade N × 20 cm ² = N unidades
Resíduos alimentares orgânicos	1 unidade / resíduo
Pequenos resíduos orgânicos agrupados	1 unidade / 20 cm ²

Tabela C.2: Coeficiente de ponderação para os diferentes tipos de sujidade, de acordo com a metodologia da AVPU [52]

Sensibilidade	Tipo de Sujidade	Coeficiente de Ponderação
Alta	Fezes de Cães	×3
	Depósitos Ilegais	×3
	Sacos de Resíduos Domésticos	×2
	Papéis/Embalagens Alimentares	×2
Média	Vidros e cacos	×1
	Papéis/embalagens não alimentares	×1
	Cigarros	×1
	Resíduos alimentares orgânicos	×1
Baixa	<i>Graffitis</i>	×0,5
	Cartazes e folhetos	×0,5
	Sujidades Aderentes	×0,33
	Folhas secas	×0,33

Tabela C.3: Descrição das diferentes tipologias de locais, de acordo com a metodologia da AVPU [52]

Categoria	Descrição
Comércios	Ruas (ruas pedonais, praças, largos) com vocação principalmente comercial, com elevada afluência de população maioritariamente externa.
Estações	Ruas com fluxo de população não residente: estações ferroviárias, metro, paragens de autocarro, elétrico, etc.
Zonas unifamiliares (<i>pavillonnaires</i>)	Ruas com habitação de baixa densidade, do tipo moradias ou pequenos edifícios. Trata-se sobretudo de locais com frequência de residentes.
Habitação coletiva de centro urbano	Ruas do centro da cidade com habitação relativamente densa, mas com frequência maioritariamente de residentes.
Habitação coletiva de periferia	Ruas de bairros periféricos, geralmente de grandes conjuntos habitacionais, com frequência essencialmente de residentes.
Câmara Municipal	Ruas ou praças no centro da cidade que dão acesso a equipamentos públicos com valor simbólico para a comunidade (câmara municipal, teatro, equipamentos emblemáticos).
Escolas	Ruas que servem estabelecimentos de ensino (desde o pré-escolar até ao ensino universitário).
Parques e jardins	Espaços verdes como jardins ou parques de maior dimensão. A avaliação pode limitar-se aos caminhos e às suas margens (1 a 2 metros de cada lado).
Escritórios	Ruas que servem zonas empresariais ou escritórios, com pouca presença de residentes.

Anexo D. Método utilizado em Granada, Espanha

A explicação do processo de determinação dos fatores que constituem o cálculo do Índice de Sujidade [41, 55]:

S: Área de observação

A área de observação corresponde ao troço completo de rua ou passeio, num único lado ou em ambos os lados da via, onde será avaliado o nível de limpeza e pode ser calculada através da seguinte expressão [41]:

$$S = L \times E \quad (14)$$

Em que L corresponde ao comprimento do troço inspecionado, que varia em função da largura equivalente, de forma que a parcela de amostragem tenha uma superfície compreendida entre 300 e 500 m², e em que E corresponde à largura equivalente, dependente da largura real do passeio e da modalidade de estacionamento existente no momento da inspeção, obtida através da seguinte tabela:

Tabela D.1: Parâmetros de determinação da largura equivalente (E), de acordo com método utilizado em Granada [41]

Largura Real do Passeio (m)	Largura equivalente (m)			
	<2	<5	<7	<10
Sem estacionamento	3	5	6	8
Estacionamento em paralelo	5	7	8	11
Estacionamento em espinha	7	9	10	12

Estes dois fatores são relevantes uma vez que passeios mais largos permitem que os resíduos se espalhem por uma área maior, aumentando a quantidade total observada e que a presença de estacionamento reduz a área acessível à limpeza, concentrando resíduos em zonas de difícil acesso.

λ : Fator de Correção

O fator de correção tem em consideração a intensidade do vento e da chuva, bem como o tipo e o estado do pavimento, dado que estas variáveis influenciam diretamente a eficácia da limpeza. Este pode ser determinado a partir da seguinte tabela:

Tabela D.2: Parâmetros de determinação do Fator de Correção (λ), de acordo com o método utilizado em Granada [41]

Fator de Correção (λ)				
Tipo de Pavimento		Intensidade vento/chuva		
		Baixo	Médio	Alto
Asfalto	Bom Estado	1	0,8	0,6
	Mal Estado	0,9	0,7	0,5
Terra		0,8	0,6	0,5

Esta correção assegura que a avaliação reflita a situação de forma mais realista, uma vez que ruas com pavimento degradado ou em terra, expostas a condições meteorológicas mais severas, tendem a acumular maior quantidade de resíduos, mesmo quando a limpeza é realizada de forma correta e regular.

Circunstâncias Extraordinárias (n)

Além disso, deve também ter-se em conta o número de circunstâncias extraordinárias (n) que ocorrem durante a prestação do serviço como, por exemplo, a existência de uma paragem de autocarro ou a realização de mercados ou feiras temporárias e até de obras de construção, que podem aumentar quantidade de resíduos observados [41]. Este fator pode assumir um valor entre 1 e 2, sendo que o valor 1 corresponde à ausência de situações que aumentem a presença de resíduos na área.

Quantidade Total ponderada de resíduos (C)

Por fim, os resíduos presentes na área de estudo que sejam claramente visíveis para o cidadão são classificados e contabilizados. Estes resíduos são organizados por categorias, e a cada um é atribuído um valor. A sua valorização deverá ser feita de acordo com a tabela seguinte, multiplicando o número de resíduos encontrados pelo respetivo valor de ponderação:

Tabela D.3: Classificação de resíduos e pontuação atribuída, de acordo com a metodologia utilizada em Granada [41]

Classificação dos Resíduos		Pontos
Inorgânicos	Pequenos	1
	Médios	2
	Grandes	4
Orgânicos	Pequenos	2
	Médios	4
	Grandes	6
Papeleiras	Por esvaziar	3
	Vazios	0
Alcorques	Por limpar	6
	Limpos	0
Resíduos de varredura não recolhidos		6
Folhas		1
Excrementos de Animais		3
Resíduos aderidos ao pavimento		2

Anexo E. Método criado para a cidade do Porto

Tabela E.1: Ponderações (P_x) relativas à localização dos resíduos, baseadas nos inquéritos realizados no Porto, em 2019 [32]

Localização	P_x
PG	0,229
CF	0,150
PA	0,192
BL	0,150
PP	0,279

Tabela E.2: Fator de normalização do tamanho, específico para cada categoria i e para cada dimensão j [32]

Categoria de Resíduo	Pequeno ($j=1$)	Médio ($j=2$)	Grande ($j=3$)
PEA	1	3	9
PENA	1	3	9
RA	1	3	9
ORO	1	3	9
PC	1	-	-
DC	1	-	-
SI	1	-	-
FR	1	1,5	2
I	Pastilha Elástica	Pequeno	Grande
		(< 500 cm ²)	(≥ 500 cm ²)
	0,5	0,8	1
VPV	Fragmentos de Vidro	Garrafas	
		25 cL a 50 cL	50 cL a 1 L
	1	6	9
M	Latas de Refrigerante	Outros Metais	
	6	1	

Tabela E.3: Valor máximo e mínimo e ajuste linear para cada categoria de resíduo [32]

Categoria de Resíduo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Ajuste Linear
PEA	3	22	$I_i = -5,3R_i + 115,8$
PENA	5	30	$I_i = -4R_i + 120$
RA	1	6	$I_i = -20R_i + 120$
ORO	1	4	$I_i = -33,3R_i + 133,3$
PC	40	300	$I_i = -0,4R_i + 115,4$
DC	0	2	$I_i = -50R_i + 100$
SI	0	2	$I_i = -50R_i + 100$
FR	80	200	$I_i = -0,8R_i + 166,7$
I	100	900	$I_i = -0,1R_i + 112,5$
VPV	10	60	$I_i = -2R_i + 120$
M	5	18	$I_i = -7,7R_i + 138,6$

Tabela E.4: Índice de incómodo relativo à tipologia de resíduo (w_i), determinado com base nos resultados dos inquéritos realizados [32]

Categoria de Resíduo	w_i
PEA	0,092
PENA	0,083
VPV	0,105
PC	0,085
DC	0,113
SI	0,099
FR	0,058
I	0,078
RA	0,097
ORO	0,093
M	0,094

Anexo F. Método utilizado em Genebra, Suíça

Cada categoria de resíduos deve ser avaliada separadamente segundo os critérios abaixo [92]:

- 0: sem sujidade
- 1: sujidade ligeira
- 2: sujidade média
- 3: sujidade intensa

Folhagem e flores - Categoria 1: Baixa perturbação

Em tempo húmido, a folhagem e as flores que cobrem as ruas representam um risco de segurança. Em tempo seco, tal não se verifica.

Tabela F.1: Critérios de avaliação da folhagem e flores

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 a 5% da superfície
1 = ligeira	5 a 25% da superfície
2 = média	25 a 50% da superfície
3 = intensa	Mais de 50% da superfície

Cigarros e beatas - Categoria 1: Baixa perturbação

As beatas de cigarro na via pública podem constituir uma perturbação segundo o critério do "Peão Urbano".

Tabela F.2: Critérios de avaliação das beatas de cigarro

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 a 3 beatas em toda a superfície
1 = ligeira	4 a 10 beatas em toda a superfície
2 = média	11 a 50 beatas em toda a superfície
3 = intensa	Mais de 50 beatas em toda a superfície

Pastilha elástica - Categoria 1: Baixa perturbação

Sujidade diária, ainda pouco percecionada pela população.

Tabela F.3: Critérios de avaliação da pastilha elástica

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 a 5% da superfície
1 = ligeira	5 a 10% da superfície
2 = média	10 a 20% da superfície
3 = intensa	Mais de 20% da superfície

Taxa de enchimento dos contentores - Categoria 2: Perturbação média

Quando os contentores estão cheios, os resíduos são colocados ao lado. Por objeto, considerar apenas uma vez cada caixote.

Tabela F.4: Critérios de avaliação da taxa de enchimento dos contentores

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	Contentores vazios (não se vê nada)
1 = ligeira	Contentores quase cheios
2 = média	Contentores completamente cheios
3 = intensa	Contentores a transbordar com resíduos no chão

Publicidade ilegal - Categoria 2: Perturbação média

A afixação ilegal de publicidade é perturbadora quando esconde informação importante ou obstrui a visibilidade.

Tabela F.5: Critérios de avaliação da publicidade ilegal

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 m ²
1 = ligeira	Até 1 m ²
2 = média	1 a 2 m ²
3 = intensa	Mais de 2 m ²

Papel, cartão e plásticos (ex.: embalagens de refeições para levar) - Categoria 2: Perturbação média

Uma imagem desagradável segundo o critério do "Peão Urbano".

Tabela F.6: Critérios de avaliação do papel, cartão e plásticos

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 peças
1 = ligeira	1 a 5 peças
2 = média	6 a 15 peças
3 = intensa	Mais de 15 peças

Pedras, gravilha e areia - Categoria 2: Perturbação média

Pedras, gravilha ou areia na via pública podem constituir um risco de segurança.

Tabela F.7: Critérios de avaliação das pedras, gravilha ou areia

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 a 2% da área observada
1 = ligeira	2 a 5% da área observada
2 = média	5 a 10% da área observada
3 = intensa	Mais de 10% da área observada

Garrafas, latas e outros recipientes - Categoria 3: Perturbação grave e parcialmente problemática

As garrafas representam um risco de segurança.

Tabela F.8: Critérios de avaliação das garrafas, latas e outros recipientes

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 peças
1 = ligeira	1 a 5 peças
2 = média	6 a 15 peças
3 = intensa	Mais de 15 peças

Resíduos ilegais - Categoria 3: Perturbação grave e parcialmente problemática

Os resíduos ilegais ocorrem em vários locais do espaço público, mas frequentemente junto a pontos de recolha de resíduos. Incluem mobiliário, tapetes, eletrodomésticos, roupas, bicicletas, contentores, sacos, etc. (considerar cada objeto apenas uma vez).

Tabela F.9: Critérios de avaliação de resíduos ilegais

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 m ³
1 = ligeira	½ m ³
2 = média	1 m ³
3 = intensa	Mais de 1 m ³

Tags e graffitis - Categoria 3: Perturbação grave e parcialmente problemática

Tags e graffitis não autorizados no domínio público (estradas e edifícios) são considerados sujidade.

Tabela F.10: Critérios de avaliação de tags e graffitis

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 m ²
1 = ligeira	Até 1 m ²
2 = média	1 a 5 m ²
3 = intensa	Mais de 5 m ²

Limpeza dos contentores - Categoria 3: Perturbação grave e parcialmente problemática

A sujidade nos contentores de resíduos prejudica a imagem do local e dificulta a reciclagem adequada por parte dos cidadãos. A sujidade em questão inclui: restos de comida, autocolantes, manchas, danos por fogo, vandalismo, beatas esmagadas, dejetos de pássaros, etc.

Tabela F.11: Critérios de avaliação da limpeza dos contentores

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0% da superfície exterior
1 = ligeira	Até 2% da superfície exterior
2 = média	2 a 5% da superfície exterior
3 = intensa	Mais de 5% da superfície exterior

Excrementos - Categoria 4: Perturbação muito grave e ameaça à segurança

Excrementos na via pública (zonas pedonais e rodoviárias, espaços verdes frequentados). Apenas a sujidade visível é considerada, não os odores.

Tabela F.12: Critérios de avaliação dos excrementos

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	0 peças
1 = ligeira	Até 1 peça
2 = média	2 a 3 peças
3 = intensa	Mais de 3 peças

Fragmentos de vidro e seringas - Categoria 4: Perturbação muito grave e ameaça à segurança

Fragmentos de vidro e seringas na via pública causam ferimentos e ameaçam a segurança das pessoas.

Tabela F.13: Critérios de avaliação de fragmentos de vidro e seringas

Grau de sujidade	Critério de avaliação
0 = nenhuma	Fragmentos e seringas: 0 peças
1 = ligeira	Fragmentos: máx. 0,5 m ² da superfície considerada Seringas: até 2 peças
2 = média	Fragmentos: máx. 1 m ² da superfície considerada Seringas: 3 a 5 peças
3 = intensa	Fragmentos: aprox. 1 m ² da superfície considerada Seringas: 6 ou mais peças

Anexo G. Ruas consideradas no planeamento dos inquéritos de rua

Tabela G.1: Ruas consideradas no planeamento dos inquéritos de rua

Zona 1 - Baixa	Zona 2 - Ribeira
Praça dos Poveiros	Praça de Almeida Garret
Rua de Passos Manuel	Rua Mouzinho da Silveira
Rua de Fernandes Tomás	Avenida D. Afonso Henriques
Rua de Santa Catarina	Rua das Flores
Rua de Alexandre Braga	Rua de S. João
Rua de Sá da Bandeira	Rua do Infante D. Henrique
Avenida dos Aliados	Cais da Ribeira
Rua do Bolhão	Praça da Batalha
Rua da Trindade	Passeio das Virtudes
Praça D. Filipa de Lencastre	Rua de Miragaia
Praça Guilherme Gomes Fernandes	Cais das Pedras
Largo do Moinho de Vento	Zona 3 - Boavista
Rua 31 de Janeiro	Avenida da Boavista
Rua do Ator João Guedes	Rua de Nossa Sr ^a . de Fátima
Praça de Carlos Alberto	Avenida de França
Rua de Cedofeita	Rua de Gonçalo Sampaio
Jardim da Cordoaria	Rua de Júlio Dinis
Praça de Parada Leitão	Zona 4 - Foz
São Filipe de Nery	Avenida de Montevideu
Rua dos Clérigos	Avenida do Brasil
Rua das Carmelitas	Rua Coronel Raúl Peres
Praça Gomes Teixeira	Avenida de D. Carlos I
	Esplanada do Castelo
	Rua do Passeio Alegre

Anexo H. Estrutura dos inquéritos de rua

Determinação do Índice de Limpeza Urbana da Cidade do Porto

* Indica uma pergunta obrigatória

Identificação do Participante

Idade *

☐ Menos de 30 anos

☐ 30 - 60 anos

☐ Mais de 60 anos

Género *

☐ Feminino

☐ Masculino

☐ Outro

De que forma frequenta a cidade do Porto? *

☐ Morador/a

☐ Trabalhador/a

☐ Estudante

☐ Turista/Visitante

☐ Outra: _____

Figura H.1: Estrutura dos inquéritos de rua (1).

Identificação da Rua *

A sua resposta

Questão 1: Avaliação do Nível de Limpeza

Avalie, com base no seu conhecimento, o grau de limpeza **da rua onde se encontra.** *

- ☐ Muito Baixo
- ☐ Baixo
- ☐ Médio
- ☐ Bom
- ☐ Muito Bom

Avalie, com base no seu conhecimento, o grau de limpeza geral **das ruas da cidade do Porto.**

- ☐ Muito Baixo
- ☐ Baixo
- ☐ Médio
- ☐ Bom
- ☐ Muito Bom

Figura H.2: Estrutura dos inquéritos de rua (2).

Questão 2: Tipo de Resíduo

Assinale com um "x" o quanto este tipo de resíduo o/a incomoda quando este se encontra depositado na rua, sendo 1 = "Não me incomoda nada" e 5 = "Inaceitável".

Em caso de dúvida, as fotografias abaixo exemplificam o tipo de resíduo.

	1 - Nada	2 - Pouco	3 - Moderadamente	4 - Muito	5 - Inaceitável
Papel, Cartão e Plástico	☐	☐	☐	☐	☐
Garrafas e Latas	☐	☐	☐	☐	☐
Sacos do Lixo	☐	☐	☐	☐	☐
Beatas de Cigarros	☐	☐	☐	☐	☐
Resíduos Alimentares*	☐	☐	☐	☐	☐
Dejetos de Animais	☐	☐	☐	☐	☐
Resíduos Verdes**	☐	☐	☐	☐	☐
Incrustações***	☐	☐	☐	☐	☐
Pedras, areia	☐	☐	☐	☐	☐
Graffitis	☐	☐	☐	☐	☐
Caixotes do Lixo Cheios	☐	☐	☐	☐	☐
Afixação Ilegal	☐	☐	☐	☐	☐
Vidros	☐	☐	☐	☐	☐
Limpeza dos Contentores	☐	☐	☐	☐	☐

Figura H.3: Estrutura dos inquéritos de rua (3).



Figura H.4: Estrutura dos inquéritos de rua (4).

Questão 3: Distinção do Local

Ordene por ordem decrescente os seguintes locais de 1 a 4, sendo 1 o local onde mais lhe incomoda ver resíduos e 4 o que menos lhe incomoda. *

Não é permitido repetir respostas. Só pode utilizar uma vez cada numero.

Em caso de dúvida, as fotografias abaixo exemplificam os tipos de locais.

	1	2	3	4
Passeio	☐	☐	☐	☐
Bases das Árvores	☐	☐	☐	☐
Jardins	☐	☐	☐	☐
Contentores pequenos	☐	☐	☐	☐



Comentários Finais

Caso tenha algum comentário ou sugestão, por favor partilhe connosco.

A sua resposta

Muito obrigada!

[Anterior](#)

[Enviar](#)

[Limpar formulário](#)

Figura H.5: Estrutura dos inquéritos de rua (5).

Anexo I. Estrutura dos inquéritos online

Determinação do Índice de Limpeza Urbana da Cidade do Porto

* Indica uma pergunta obrigatória

Identificação do Participante

Idade *

☐ Menos de 30 anos

☐ 30 - 60 anos

☐ Mais de 60 anos

Género *

☐ Feminino

☐ Masculino

☐ Outro

De que forma frequenta a cidade do Porto? *

☐ Morador/a

☐ Trabalhador/a

☐ Estudante

☐ Turista/Visitante

☐ Outra: _____

Figura I.1: Estrutura dos inquéritos online (1).

Questão 1: Avaliação do Nível de Limpeza

Nesta secção, o Município do Porto foi dividido em **quatro zonas distintas**. Para facilitar a interpretação, pode consultar as figuras abaixo, onde estão indicadas as ruas correspondentes a cada zona.



Figura I.2: Estrutura dos inquéritos online (2).

Avalie, com base no seu conhecimento, o grau de limpeza das ruas da zona da **Baixa**, caso a frequente. *

Se não frequenta essa zona ou não tem uma opinião definida, selecione "Não frequento".

- ☐ Muito Baixo
- ☐ Baixo
- ☐ Médio
- ☐ Bom
- ☐ Muito Bom
- ☐ Não Frequento

Zona da Baixa

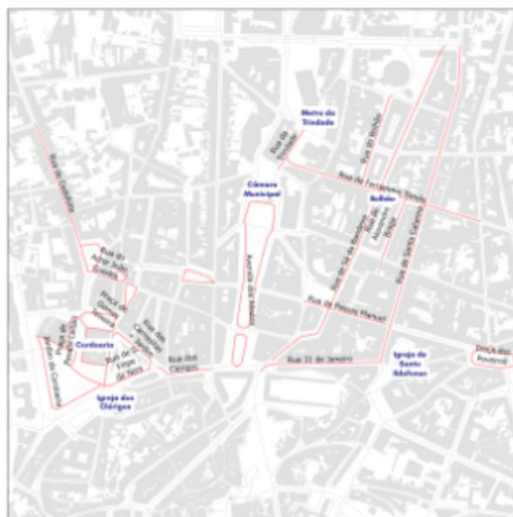


Figura I.3: Estrutura dos inquéritos online (3).

Avalie, com base no seu conhecimento, o grau de limpeza das ruas da zona da **Ribeira**, caso a frequente. *

Se não frequenta essa zona ou não tem uma opinião definida, selecione "Não frequento".

- ☐ Muito Baixo
- ☐ Baixo
- ☐ Médio
- ☐ Bom
- ☐ Muito Bom
- ☐ Não frequento

Zona da Ribeira



Figura I.4: Estrutura dos inquéritos online (4).

Avalie, com base no seu conhecimento, o grau de limpeza das ruas da zona da **Boavista**, caso a frequente. *

Se não frequenta essa zona ou não tem uma opinião definida, selecione "Não frequento".

- ☐ Muito Baixo
- ☐ Baixo
- ☐ Médio
- ☐ Bom
- ☐ Muito Bom
- ☐ Não Frequento

Zona da Boavista

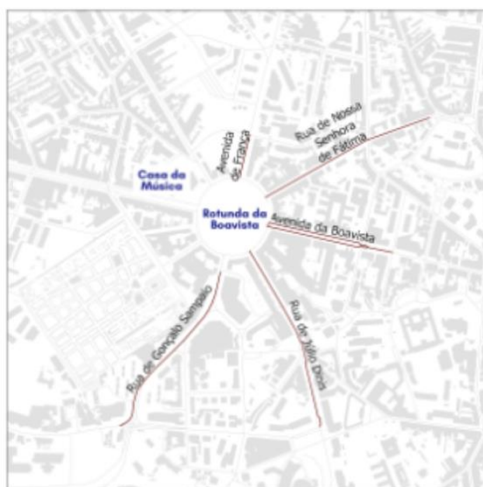


Figura I.5: Estrutura dos inquéritos online (5).

Avalie, com base no seu conhecimento, o grau de limpeza das ruas da zona da **Foz**, caso a frequente. *

Se não frequenta essa zona ou não tem uma opinião definida, selecione "Não frequento".

- ☐ Muito Baixo
- ☐ Baixo
- ☐ Médio
- ☐ Bom
- ☐ Muito Bom
- ☐ Não frequento

Zona da Foz

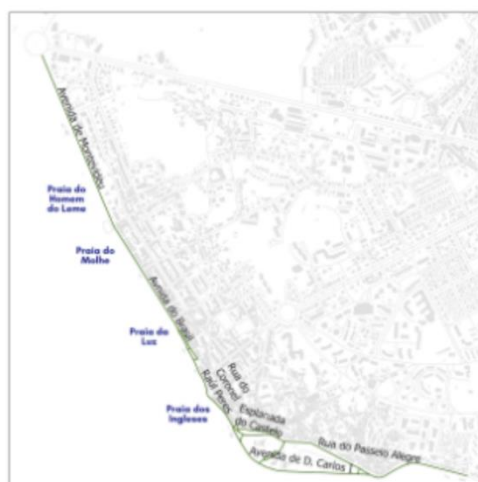


Figura I.6: Estrutura dos inquéritos online (6).

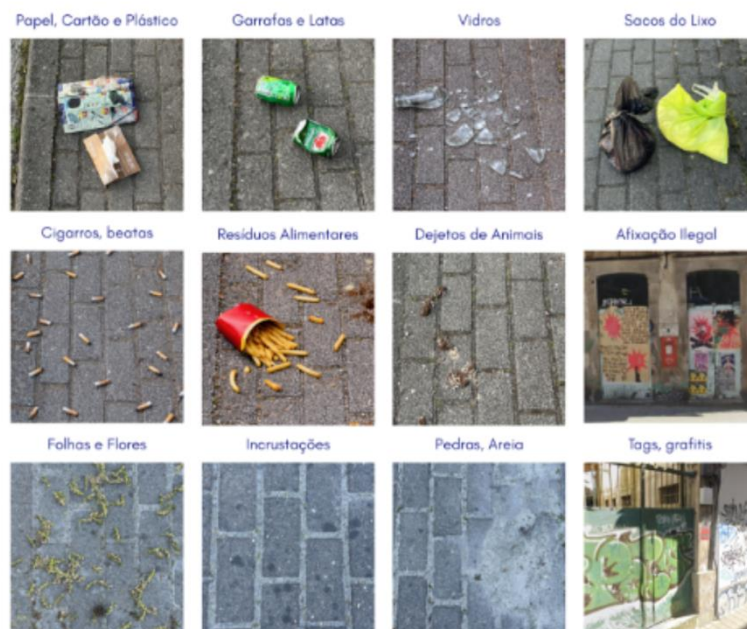
Questão 2: Tipo de Resíduo

Assinale com um "x" o quanto este tipo de resíduo o/a incomoda **quando este se encontra depositado na rua**, sendo 1 = "Não me incomoda nada" e 5 = "Inaceitável".

Em caso de dúvida, as fotografias abaixo exemplificam o tipo de resíduo.

	1 - Nada	2 - Pouco	3 - Moderadamente	4 - Muito	5 - Inaceitável
Papel, Cartão e Plástico	☐	☐	☐	☐	☐
Garrafas e Latas	☐	☐	☐	☐	☐
Sacos do Lixo	☐	☐	☐	☐	☐
Beatas de Cigarros	☐	☐	☐	☐	☐
Resíduos Alimentares*	☐	☐	☐	☐	☐
Dejetos de Animais	☐	☐	☐	☐	☐
Resíduos Verdes**	☐	☐	☐	☐	☐
Incrustações***	☐	☐	☐	☐	☐
Pedras, areia	☐	☐	☐	☐	☐
Graffitis	☐	☐	☐	☐	☐
Caixotes do Lixo Cheios	☐	☐	☐	☐	☐
Afixação Ilegal	☐	☐	☐	☐	☐
Vidros	☐	☐	☐	☐	☐
Limpeza dos Contentores	☐	☐	☐	☐	☐

Figura I.7: Estrutura dos inquéritos online (7).



* como restos de comida
 ** como folhas e ramagens
 *** como pastilha elástica

Figura I.8: Estrutura dos inquéritos online (8).

Questão 3: Distinção do Local

Ordene por ordem decrescente os seguintes locais de 1 a 4, sendo 1 o local onde mais lhe incomoda ver resíduos e 4 o que menos lhe incomoda. *

Não é permitido repetir respostas. Só pode utilizar uma vez cada numero.

Em caso de dúvida, as fotografias abaixo exemplificam os tipos de locais.

	1	2	3	4
Passeio	☐	☐	☐	☐
Bases das Árvores	☐	☐	☐	☐
Jardins	☐	☐	☐	☐
Contentores pequenos	☐	☐	☐	☐



Comentários Finais

Caso tenha algum comentário ou sugestão, por favor partilhe connosco.

A sua resposta

Muito obrigada!

[Anterior](#)

[Enviar](#)

[Limpar formulário](#)

Figura I.9: Estrutura dos inquéritos online (9).

Anexo J. Processo de determinação de equivalência entre as categorias definidas em 2019 e as definidas em 2026

Tabela J.1: Processo de determinação de equivalência entre as categorias definidas em 2019 e as definidas em 2026



De forma a possibilitar a comparação entre os resultados do inquérito de 2019 e os do inquérito de 2026, foi necessário estabelecer uma correspondência entre as categorias de resíduos utilizadas em ambos os estudos, conforme ilustrado na Tabela J.1.

Uma vez que a categoria “Papel, Cartão e Plástico” pode corresponder tanto a “Papéis e Embalagens Alimentares” como a “Papéis e Embalagens não Alimentares”, esta foi considerada duas vezes, permitindo assim a integração de ambas as categorias nos cálculos do nível de limpeza da cidade. Por sua vez, as categorias sem correspondência direta foram excluídas da análise comparativa.

Importa ainda referir que este processo foi realizado apenas para comparação e que na implementação futura dos resultados irão ser utilizadas as categorias implementadas em 2026.

Anexo K. Ruas selecionadas para a aplicação da metodologia criada para o Porto

Tabela K. 1: Ruas selecionadas para a aplicação da metodologia criada para o Porto

Rua de Fernandes Tomás
Rua de Santa Catarina
Rua de Sá da Bandeira
Avenida dos Aliados
Rua 31 de Janeiro + Praça da Batalha
Rua de Cedofeita
Rua dos Clérigos
Rua das Flores + Praça Almeida Garret
Rotunda da Boavista
Avenida do Brasil
Ribeira
Rua de Júlio Dinis

Anexo L. Correspondência entre categorias

Tabela L.1: Correspondência das categorias dos dados (a negrito) e as categorias do CEI

PEA		
PEA pequeno	PEA médio	PEA grande
Plástico	Plástico	Plástico
PENA		
PENA pequeno	PENA médio	PENA grande
Papel e Cartão	Papel e Cartão	Papel e Cartão
VPV		
Pedaços vidro	Garrafas de 25 a 33 cL	Garrafas de 75 cL a 1 L
Vidro	Vidro	Vidro
PC	DC	SI
Pontas de cigarro	Dejetos caninos	Sacos de indiferenciados
Tabaco	Resíduos Sanitários	Sem correspondência
FR	I	RA
Sem correspondência	Sem Correspondência	Sem Correspondência
M		ORO
Latas refrigerantes	Outros metais	
Metal	Metal	Sem correspondência

Tabela L.2: Correspondência das categorias dos dados (a negrito) e as categorias do IMSP

PEA		
PEA pequeno	PEA médio	PEA grande
Papéis/Embalagens Alimentares	Papéis/Embalagens Alimentares	Papéis/Embalagens Alimentares
PENA		
PENA pequeno	PENA médio	PENA grande
Papéis/Embalagens não alimentares	Papéis/Embalagens não alimentares	Papéis/Embalagens não alimentares
VPV		
Pedaços vidro	Garrafas de 25 a 33 cL	Garrafas de 75 cL a 1 L
Fragmentos de vidro	Garrafas de vidro	Garrafas de vidro
PC	DC	SI
Pontas de cigarro	Dejetos caninos	Sacos de indiferenciados
Beatas	Dejetos de cães	Sacos de resíduos doméstico
FR		
Folhas	Ramagens pequenas	Ramagens grandes
Folhas secas	Folhas secas	Folhas secas
I		
Pastilhas elásticas	Até 500 cm²	Maior 500 cm²
Sujidades Aderentes	Sujidades Aderentes	Sujidades Aderentes
M		RA
Latas refrigerantes	Outros metais	
Papéis/Embalagens Alimentares	Sem Correspondência	Sem Correspondência
ORO		

Tabela L.3: Correspondência das categorias dos dados (a negrito) e as categorias do IS

PEA		
PEA pequeno	PEA médio	PEA grande
Inorgânicos Pequenos	Inorgânicos Médios	Inorgânicos Grandes

PENA		
PENA pequeno	PENA médio	PENA grande
Inorgânicos Pequenos	Inorgânicos Médios	Inorgânicos Grandes

VPV		
Pedaços vidro	Garrafas de 25 a 33 cL	Garrafas de 75 cL a 1 L
Inorgânicos Pequenos	Inorgânicos Médios	Inorgânicos Grandes

PC	DC	SI
Pontas de cigarro	Dejetos caninos	Sacos de indiferenciados
Inorgânicos Pequenos	Excrementos de Animais	Inorgânicos Grandes

FR		
Folhas	Ramagens pequenas	Ramagens grandes
Folhas	Folhas	Folhas

I		
Pastilhas elásticas	Até 500 cm ²	Maior 500 cm ²
Resíduos aderidos ao pavimento	Resíduos aderidos ao pavimento	Resíduos aderidos ao pavimento

RA		
RA pequeno	RA médio	RA grande
Orgânicos Pequenos	Orgânicos Médios	Orgânicos Grandes

ORO		
ORO pequeno	ORO médio	ORO grande
Orgânicos Pequenos	Orgânicos Médios	Orgânicos Grandes

Metais		PAP
Latas refrigerantes	Outros metais	Papeleiras por esvaziar
Inorgânicos Pequenos	Inorgânicos Médios	Papeleiras por esvaziar

Tabela L.4: Correspondência das categorias dos dados (a negrito) e as categorias do CCI

PEA		
PEA pequeno	PEA médio	PEA grande
Papel, cartão, plástico	Papel, cartão, plástico	Papel, cartão, plástico
PENA		
PENA pequeno	PENA médio	PENA grande
Papel, cartão, plástico	Papel, cartão, plástico	Papel, cartão, plástico
VPV		
Pedaços vidro	Garrafas de 25 a 33 cL	Garrafas de 75 cL a 1 L
Fragmentos de vidro	Garrafas, latas e outros recipientes	Garrafas, latas e outros recipientes
PC	DC	SI
Pontas de cigarro	Dejetos caninos	Sacos de indiferenciados
Beata/cigarro	Excrementos	Não Considerado
FR		
Folhas	Ramagens pequenas	Ramagens grandes
Folhagem e Flores	Folhagem e Flores	Folhagem e Flores
I		
Pastilhas elásticas	Até 500 cm ²	Maior 500 cm ²
Pastilha elástica	Pastilha elástica	Pastilha elástica
M		PAP
Latas refrigerantes	Outros metais	Papeleiras por esvaziar
Inorgânicos Pequenos	Não considerado	Papeleiras por esvaziar
RA	ORO	
Não Considerado	Não Considerado	

Anexo M. Avaliação do nível de limpeza global

Tabela M.1: Avaliação do nível de limpeza **global** da cidade do Porto, obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online

Avaliação	Nº de Respostas Online	Nº Respostas nas Ruas	Total
Muito Bom	114	5	119
Bom	294	66	360
Médio	304	117	421
Baixo	145	66	211
Muito Baixo	51	21	72

Anexo N. Avaliação do nível de limpeza das zonas

Tabela N.1: Avaliação do nível da limpeza da **Zona da Baixa**, obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online

Avaliação	Nº de Respostas Online	Nº Respostas nas Ruas	Total
Muito Bom	27	7	34
Bom	64	49	113
Médio	96	53	149
Baixo	34	32	66
Muito Baixo	15	11	26

Tabela N.2: Avaliação do nível da limpeza da **Zona da Ribeira**, obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online

Avaliação	Nº de Respostas Online	Nº Respostas nas Ruas	Total
Muito Bom	19	2	21
Bom	57	10	67
Médio	68	12	80
Baixo	44	11	55
Muito Baixo	13	6	19

Tabela N.3: Avaliação do nível da limpeza da **Zona da Boavista**, obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online

Avaliação	Nº de Respostas Online	Nº Respostas nas Ruas	Total
Muito Bom	21	1	22
Bom	87	13	100
Médio	73	12	85
Baixo	42	5	47
Muito Baixo	16	1	17

Tabela N.4: Avaliação do nível da limpeza da **Zona da Foz**, obtida através dos inquéritos presenciais (ruas) e online

Avaliação	Nº de Respostas Online	Nº Respostas nas Ruas	Total
Muito Bom	47	7	54
Bom	86	20	106
Médio	67	10	77
Baixo	25	3	28
Muito Baixo	7	0	7

Anexo O. Avaliação do nível de limpeza das ruas

Tabela O.1: Avaliação do nível de limpeza das ruas da Cidade do Porto, obtida através dos inquéritos presenciais

Zona	Ruas	Avaliação Obtida
1	Rua de Passos Manuel	2,80
	Rua de Fernandes Tomás	2,22
	Rua de Santa Catarina	3,47
	Rua de Alexandre Braga	3,17
	Rua de Sá da Bandeira	3,36
	Avenida dos Aliados	3,10
	Rua do Bolhão	3,30
	Rua da Trindade	3,40
	Praça D. Filipa de Lencastre	3,46
	Praça Guilherme Gomes Fernandes	2,80
	Rua 31 de Janeiro	2,00
	Praça de Carlos Alberto	3,57
	Rua de Cedofeita	2,88
	Praça de Parada Leitão	2,70
	Rua dos Clérigos	3,11
2	Praça de Almeida Garret	2,73
	Rua Mouzinho da Silveira	2,88
	Rua das Flores	2,83
	Praça da Batalha	2,70
3	Avenida da Boavista	3,22
	Avenida de França	3,08
	Rua de Gonçalo Sampaio	3,45
4	Avenida do Brasil	3,70
	Rua Coronel Raúl Peres	3,70
	Avenida de D. Carlos I	3,90
	Rua do Passeio Alegre	3,80

Anexo P. Distribuição das avaliações relativas ao incômodo da população por categoria de resíduos e localização de ocorrência

Tabela P. 1: Distribuição das avaliações por categoria de resíduos

Tipo de Resíduo	Nº de Respostas					Média
	1	2	3	4	5	
Papel, Cartão e Plástico	13	48	128	172	173	3,83
Garrafas e Latas	8	32	76	182	236	4,13
Sacos do Lixo	6	29	64	113	322	4,34
Beatas de Cigarros	8	40	107	147	232	4,04
Resíduos Alimentares	8	22	49	127	328	4,40
Dejetos de Animais	15	22	49	105	343	4,38
Resíduos Verdes	108	157	146	76	47	2,62
Incrustações	53	89	137	140	115	3,33
Pedras, areia	101	141	162	83	47	2,69
<i>Graffiti</i>	38	95	133	105	163	3,49
Caixotes do Lixo Cheios	11	22	83	159	259	4,19
Afixação Ilegal	50	77	121	118	168	3,52
Vidros	11	34	66	130	293	4,24
Limpeza dos Contentores	16	24	97	141	256	4,12

Tabela P.2: Distribuição das avaliações por tipo de localização dos resíduos

Localização	Nº de Respostas				Média
	4	3	2	1	
Passeio	307	76	86	65	3,17
Bases das Árvores	44	190	203	97	2,34
Jardins	95	191	191	57	2,61
Contentores Pequenos	88	77	54	315	1,88

Nota: Embora nos inquéritos a questão solicitasse a ordenação das localizações de 1 a 4, sendo 1 o local onde a presença de resíduos mais incomoda e 4 o que menos incomoda, para efeitos do cálculo inverteu-se a escala, atribuindo a pontuação 4 à resposta “1”, 3 à resposta “2”, 2 à resposta “3” e 1 à resposta “4”, de forma que as localizações consideradas mais incomodativas adquirissem maior peso no índice.

Anexo Q. Valores médios de unidades de resíduos por categoria em cada rua

Tabela Q.1: Valores médios de unidades de resíduos por categoria em cada rua, normalizados por 100 m²

Rua	Categorias de Resíduos											
	PEA	PENA	VPV	PC	DC	SI	FR	I	RA	ORO	M	PP
Rua de Fernandes Tomás	3,63	23,40	1,20	0,00	0,00	0,29	3,86	17,14	2,91	0,97	0,34	0,06
Rua de Santa Catarina	2,56	9,91	0,25	0,00	0,04	0,01	1,08	11,29	1,12	0,38	0,28	0,06
Rua de Sá da Bandeira	1,67	11,04	0,02	0,00	0,00	0,00	7,18	17,87	0,89	0,36	0,16	0,18
Avenida dos Aliados	0,55	4,21	0,67	0,00	0,01	0,00	7,49	14,11	0,19	0,08	0,06	0,08
Rua 31 de Janeiro	1,00	6,82	0,16	0,00	0,00	0,07	3,73	16,89	0,42	0,38	0,29	0,02
Rua de Cedofeita	1,57	16,86	0,03	0,00	0,07	0,01	4,14	19,36	0,71	0,80	0,76	0,17
Rua dos Clérigos	1,55	7,70	0,20	0,00	0,00	0,00	0,35	5,90	1,45	0,75	0,30	0,15
Rua das Flores	1,69	7,56	0,07	0,00	0,01	0,03	0,93	18,11	0,36	1,09	0,20	0,23
Rotunda da Boavista	4,72	19,86	0,00	0,00	0,07	0,10	46,11	14,91	0,52	0,12	0,32	0,11
Rua de Júlio Dinis	1,38	8,04	0,03	0,00	0,11	0,00	38,04	16,15	0,42	0,32	0,35	0,05
Avenida do Brasil	1,58	8,80	0,18	0,00	0,20	0,00	29,73	9,57	0,28	0,09	0,20	0,03
Ribeira	1,68	6,45	1,25	0,00	0,02	0,05	0,00	36,97	0,60	0,10	0,50	0,07

Anexo R. Resultados obtidos da aplicação das metodologias a cada rua

Tabela R.1: Valores do Clean Environmental Index obtidos para cada rua

Rua	CEI	Qualitativa
Rua de Fernandes Tomás	6,08	Médio
Rua de Santa Catarina	2,87	Bom
Rua de Sá da Bandeira	2,74	Bom
Avenida dos Aliados	1,16	Muito Bom
Rua 31 de Janeiro	1,75	Muito Bom
Rua de Cedofeita	4,03	Bom
Rua dos Clérigos	2,11	Bom
Rua das Flores	2,08	Bom
Rotunda da Boavista	5,48	Médio
Rua de Júlio Dinis	2,14	Bom
Avenida do Brasil	2,39	Bom
Ribeira	2,15	Bom

Tabela R.2: Valores do IMSP obtidos para cada rua

Rua	IMSP	Qualitativo
Rua de Fernandes Tomás	4,11	Médio
Rua de Santa Catarina	2,03	Bom
Rua de Sá da Bandeira	2,12	Bom
Avenida dos Aliados	1,09	Muito Bom
Rua 31 de Janeiro	1,52	Muito Bom
Rua de Cedofeita	2,74	Bom
Rua dos Clérigos	1,46	Muito Bom
Rua das Flores	1,74	Muito Bom
Rotunda da Boavista	3,52	Bom
Rua de Júlio Dinis	1,70	Muito Bom
Avenida do Brasil	1,62	Muito Bom
Ribeira	2,41	Bom

Tabela R.3: Valores do IS obtidos para cada rua

Rua	IS	Qualitativo
Rua de Fernandes Tomás	78,91	Bom
Rua de Santa Catarina	41,18	Muito Bom
Rua de Sá da Bandeira	60,40	Muito Bom
Avenida dos Aliados	42,43	Muito Bom
Rua 31 de Janeiro	49,00	Muito Bom
Rua de Cedofeita	69,53	Muito Bom
Rua dos Clérigos	28,00	Muito Bom
Rua das Flores	52,77	Muito Bom
Rotunda da Boavista	83,08	Bom
Rua de Júlio Dinis	83,74	Bom
Avenida do Brasil	61,84	Muito Bom
Ribeira	88,33	Bom

Tabela R.4: Valores do IL obtidos para cada rua

Rua	IL		Qualitativo	
	2019	2026	2019	2026
Rua de Fernandes Tomás	38,86	38,54	Baixo	Baixo
Rua de Santa Catarina	95,17	95,49	Muito Bom	Muito Bom
Rua de Sá da Bandeira	95,56	95,07	Muito Bom	Muito Bom
Avenida dos Aliados	99,24	99,59	Muito Bom	Muito Bom
Rua 31 de Janeiro	95,79	96,76	Muito Bom	Muito Bom
Rua de Cedofeita	77,41	77,16	Bom	Bom
Rua dos Clérigos	94,69	96,63	Muito Bom	Muito Bom
Rua das Flores	67,93	97,64	Médio	Muito Bom
Rotunda da Boavista	77,51	76,37	Bom	Bom
Rua de Júlio Dinis	95,93	96,27	Muito Bom	Muito Bom
Avenida do Brasil	95,88	95,62	Muito Bom	Muito Bom
Ribeira	87,77	87,63	Bom	Bom

Tabela R.5: Valores do CCI obtidos para cada rua

Rua	CCI	Qualitativa
Rua de Fernandes Tomás	4,21	Muito Bom
Rua de Santa Catarina	4,19	Muito Bom
Rua de Sá da Bandeira	4,22	Muito Bom
Avenida dos Aliados	4,58	Muito Bom
Rua 31 de Janeiro	4,67	Muito Bom
Rua de Cedofeita	3,86	Bom
Rua dos Clérigos	4,25	Muito Bom
Rua das Flores	4,04	Muito Bom
Rotunda da Boavista	4,13	Muito Bom
Rua de Júlio Dinis	4,16	Muito Bom
Avenida do Brasil	3,73	Bom
Ribeira	4,28	Muito Bom

Anexo S. Contributo de cada categoria de resíduos de acordo com a metodologia

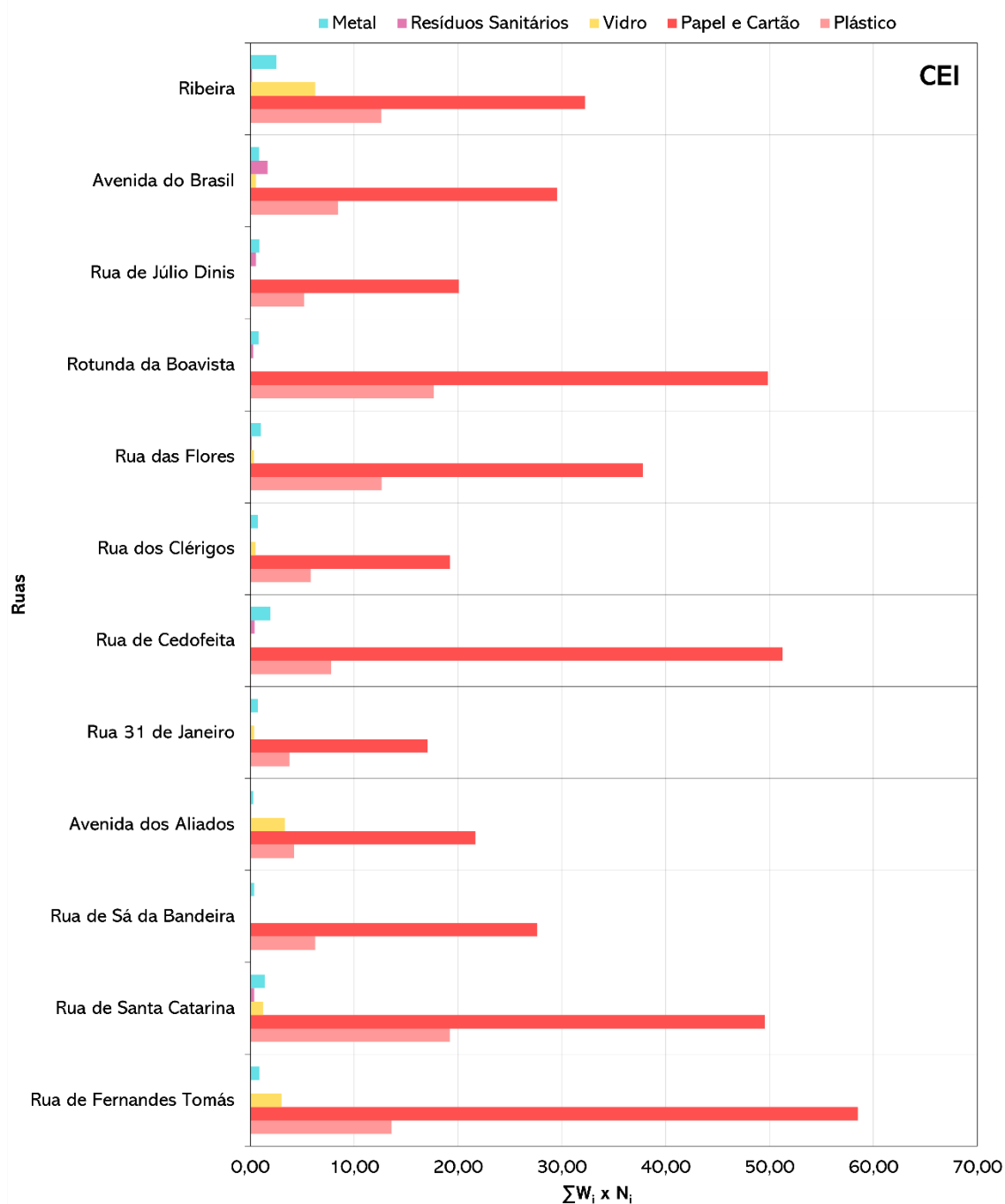


Figura S.1: Contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do CEI.

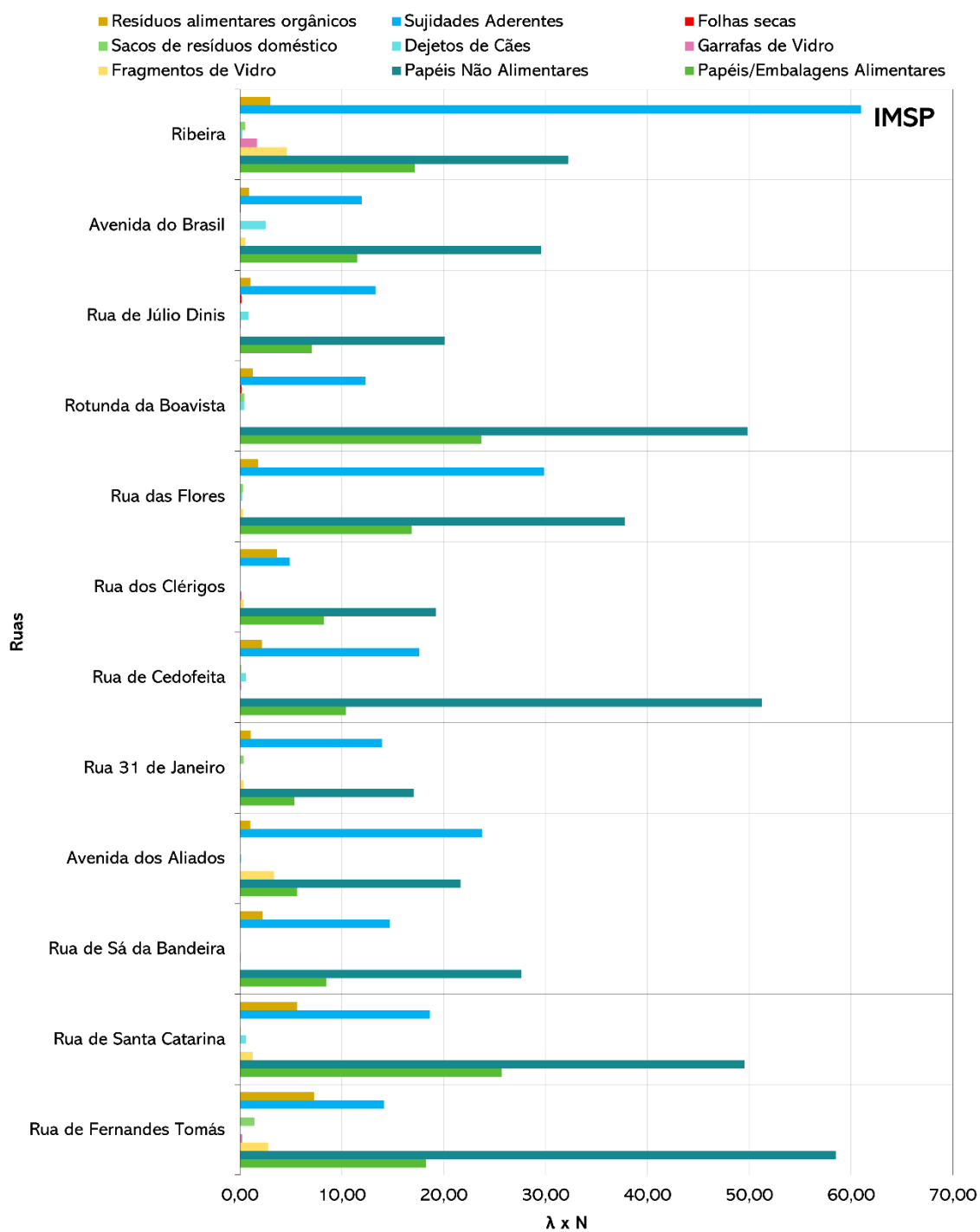


Figura S.2: Contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do IMSP.

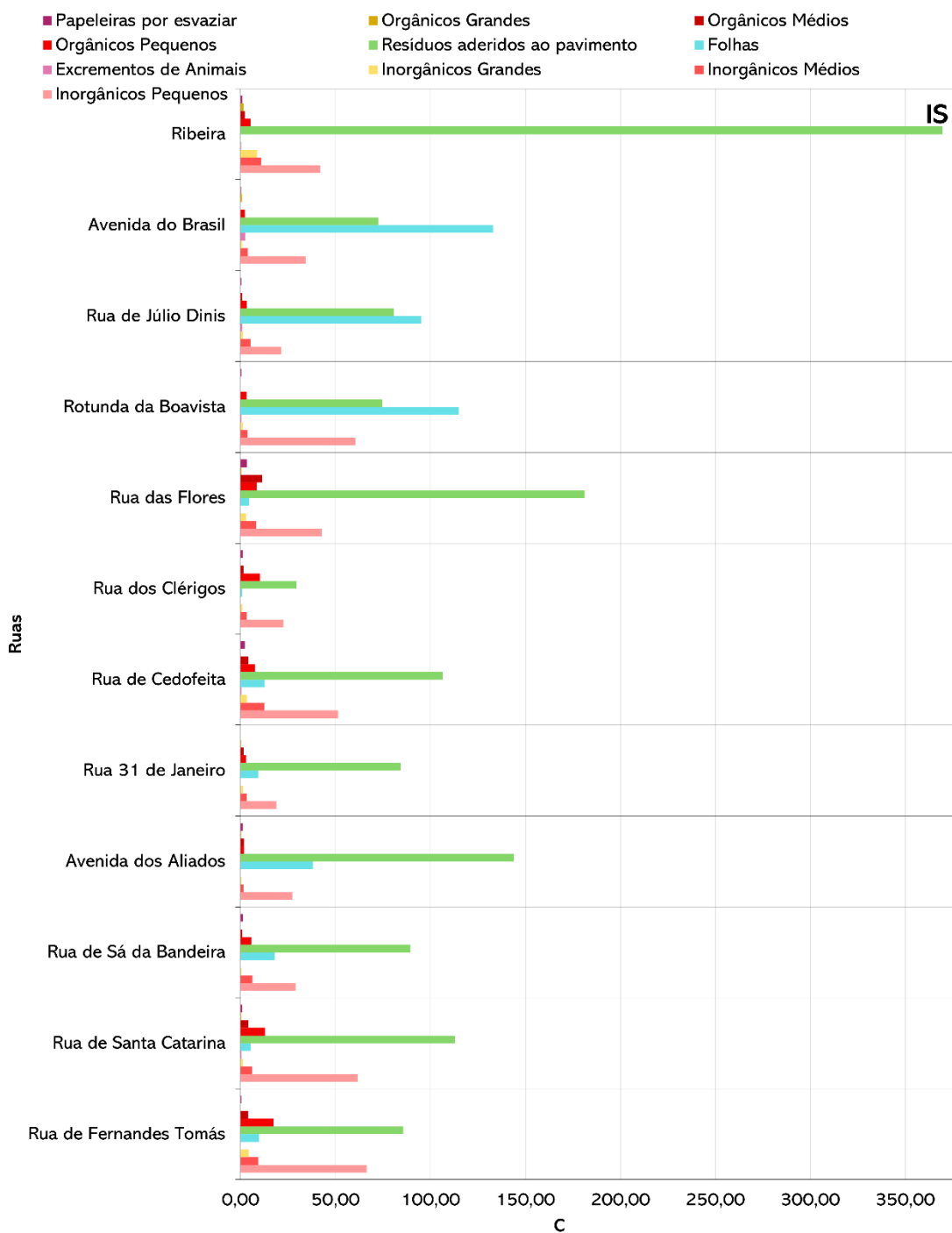


Figura S.3: Contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do IS.

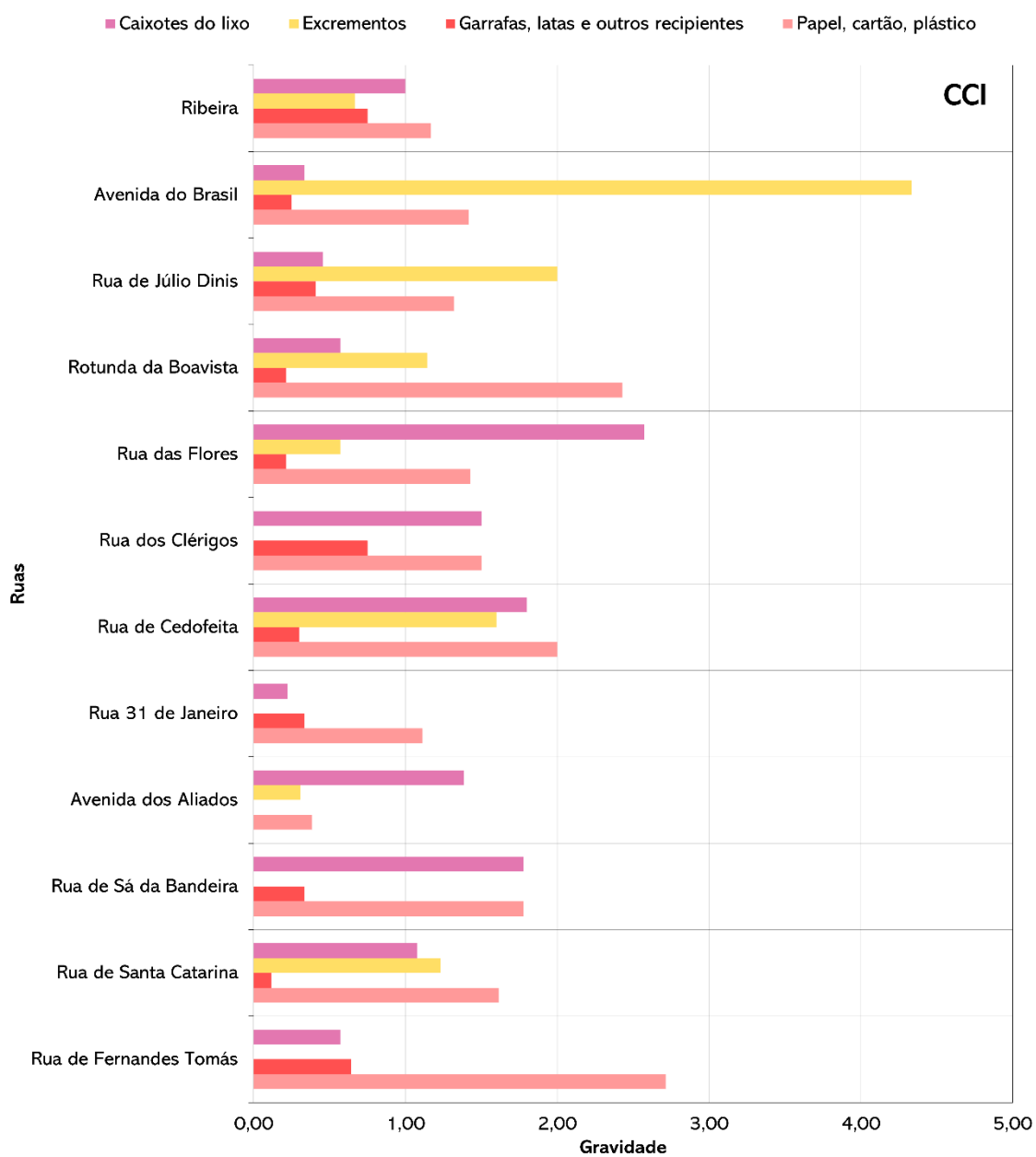


Figura S.4: Contributo de cada categoria de resíduos para o valor final do CCI.