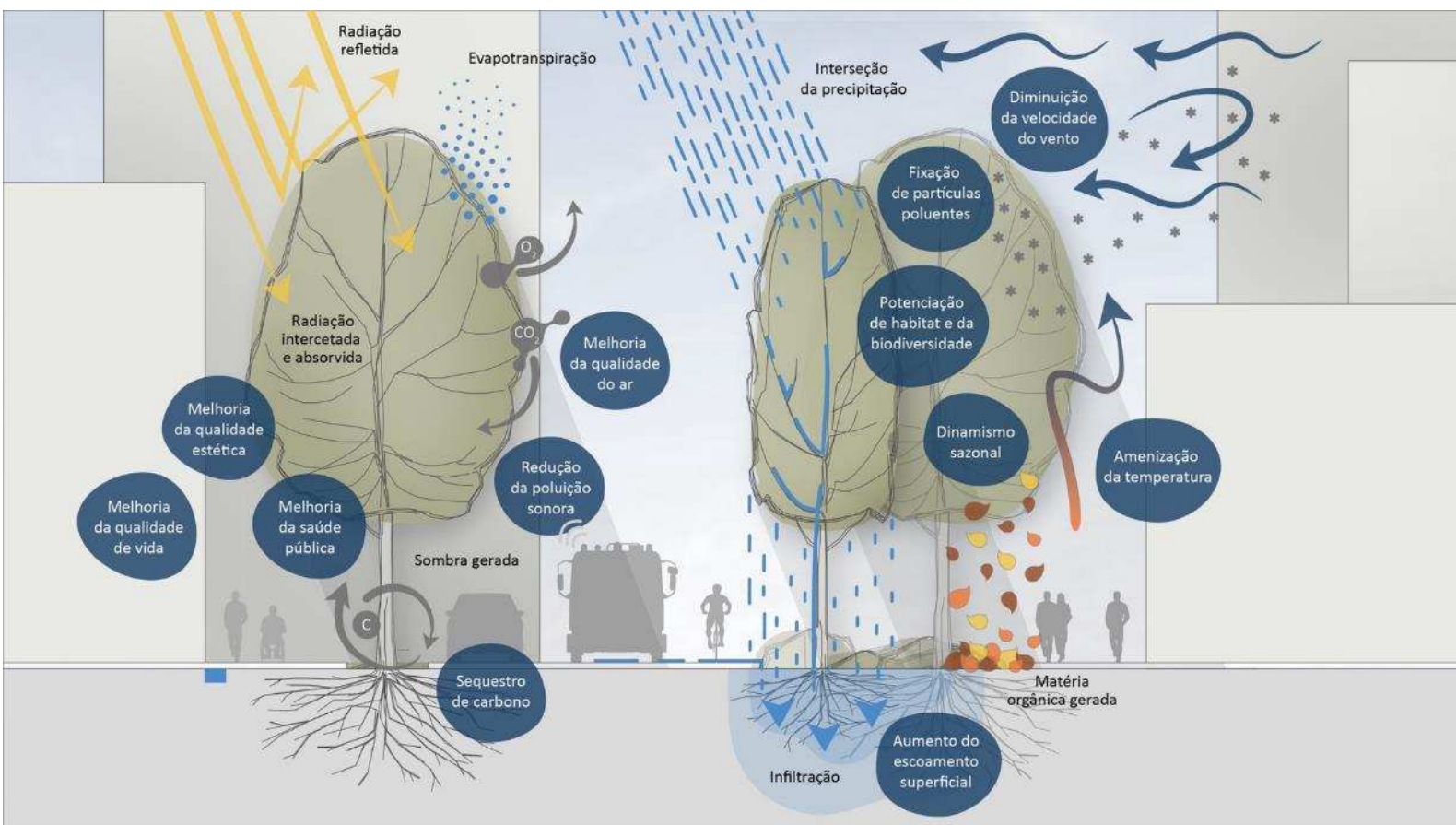


PLANO DE ARBORIZAÇÃO DA CIDADE DO PORTO

Caracterização e diagnóstico da situação existente

Setembro 2021



FICHA TÉCNICA

Equipa Arquitetura Paisagista

Paulo Farinha Marques (coordenação)

Filipa Guilherme

Cláudia Fernandes

José Miguel Lameiras

Manuel Gentil Rebelo

Rita Araújo

Francisca Aguiar Pinto

João Santiago



INSTITUTO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E AGROAMBIENTE DA UNIVERSIDADE DO PORTO (ICETA)



CENTRO DE INVESTIGAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E RECURSOS GENÉTICOS (CIBIO-INBIO)



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO (FCUP)

Equipa Bioclimatologia Urbana

Ana Monteiro

Helena Madureira

Maysa Valença

Mafalda Moreira

Maria Pacheco



CENTRO DE ESTUDOS DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO (CEGOT)



FACULDADE DE LETRAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO (FLUP)

Dezembro, 2021

Relatório apresentado no âmbito de prestação de serviços à Câmara Municipal do Porto, Departamento de Planeamento e Gestão Ambiental.

Índice

1. Introdução geral	1
2. Objetivos e conceitos	6
3. Metodologia	12
3.1. Definição do objeto de estudo	13
3.2. Tipologia de arborização de arruamento.....	14
3.3. Tipologia de ruas de acordo com a sua dimensão largura.....	16
4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e arborização existente.....	19
4.1. Largura das ruas.....	19
4.1.1. Ruas muito estreitas	20
4.1.2. Ruas estreitas	20
4.1.3. Ruas médias.....	21
4.1.4. Ruas largas.....	22
4.1.5. Ruas muito largas	23
4.2. Arborização de arruamento.....	24
4.2.1. Ruas arborizadas e não arborizadas.....	24
4.2.2. Espécies de árvores de arruamento.....	28
4.2.3. Tipos de alinhamento de arborização.....	36
4.3. Ruas associadas a espaços parcelares	38
5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto	40
5.1. As árvores e a temperatura	48
5.2. As árvores e a ventilação	62
5.3. As árvores como reguladoras da qualidade do ar.....	68
5.4. As árvores e a regularização das condições hidrológicas.....	72
5.5. Contribuição da arborização dos arruamentos para qualidade de vida, a saúde e o bem-estar dos portuenses	76

6. Diagnóstico: oportunidades e constrangimentos das ruas da cidade do Porto para arborização	78
6.1. Síntese 1: largura da rua e largura da árvore.....	78
6.1.1. Ruas arborizadas, com espécie de copa adequada.....	81
6.1.2. Ruas arborizadas, com espécie de copa inadequada.....	83
6.1.3. Ruas arborizadas, sem potencial de arborização	84
6.1.4. Ruas não arborizadas, com potencial de arborização.....	86
6.1.5. Ruas arborizáveis e não arborizáveis (variáveis espaciais)	87
6.2. Síntese 2: largura da rua, largura da árvore e conforto térmico <i>outdoor</i>	89
6.3. Espécies e cultivares mais e menos adequadas.....	91
7. Conclusão e considerações finais.....	99
8. Referências.....	102
9. Anexos	107
Índice de figuras	iii

Índice de figuras

Figura 1 - Dinâmica ecológica e paisagística da arborização de arruamento – o ecossistema da rua.	2
Figura 2 - Rua da Estação. Reprodução de uma Gravura de José Augusto de Oliveira, a partir de fotografia de Emílio Biel tirada em 1895. (Silva, 1985).	4
Figura 3 - Representação conceptual da árvore. Tracejado verde: dimensão biológica; tracejado vermelho: dimensão operacional e simplificada. Adaptada de CMP, 2017.	7
Figura 4 - Árvores de copa estreita ilustrativas da menor árvore de arruamento (Baummapper, 2020; Van den Berk Nurseries, s.d.).	9
Figura 5 - Representação esquemática da menor árvore de arruamento.	9
Figura 6 - Ilustração da hipótese da rua mínima arborizável, mostrando as dimensões aproximadas da largura mínima dos elementos fundamentais de uma rua arborizada.	10
Figura 7 - Metodologia de trabalho.	12
Figura 8 - Mapa das ruas do Porto (objeto de estudo).	13
Figura 9 - Exemplos de: a) árvore de copa estreita, <i>Prunus cerasifera</i> var. <i>atropurpureum</i> ; b) árvore de copa média, <i>Liquidambar styraciflua</i> ; c) árvore de copa larga, <i>Platanus x acerifolia</i>	15
Figura 10 - Representação esquemática dos diferentes tipos de arborização de arruamento: a) alinhamento unilateral; b) alinhamento bilateral; c) alinhamento central; d) alinhamento múltiplo.	16
Figura 11 - Representação esquemática de uma rua muito estreita.	17
Figura 12 - Representação esquemática de uma rua estreita.	17
Figura 13 - Representação esquemática de uma rua média.	18
Figura 14 - Representação esquemática de uma rua larga.	18
Figura 15 - Representação esquemática de uma rua muito larga.	18
Figura 16 - Mapa das ruas classificadas de acordo com a sua largura.	19
Figura 17 - Proporções das classes das ruas classificadas de acordo com a sua largura.	20
Figura 18 - Exemplos de ruas muito estreitas: a) Rua do Almada, b) Rua do Bonjardim; e ruas estreitas: c) Rua de Fez, d) Rua de Passos Manuel.	21
Figura 19 - Exemplos de ruas médias: a) Rua de Sá da Bandeira, b) Rua de Faria Guimarães, c) Rua Dr. Corino de Andrade.	21
Figura 20 - Exemplos de ruas largas: a) Rua do Marechal Saldanha, b) Rua de S. João de Brito, c) Avenida das Congostas, d) Avenida de Rodrigues de Freitas, e) Rua de Pinto Bessa.	22
Figura 21 - Exemplos de ruas muito largas: a) Rua de Damião de Góis, b) Avenida da Boavista.	23
Figura 22 - Mapa de presença de arborização de arruamento.	24
Figura 23 - Proporção de ruas arborizadas e ruas não arborizadas.	25
Figura 24 - Exemplo de: a) rua arborizada: Rua de Guerra Junqueiro, e b) rua não arborizada: Rua do Bolhão.	25

Figura 25 - Proporção de ruas arborizadas e ruas não arborizadas em cada classe de largura de rua.	26
Figura 26 - Exemplos de ruas muito estreitas arborizadas: a) Rua de Manuel Bandeira; b) Rua de Santa Maria. Origem das imagens: Google Earth.....	26
Figura 27 - Exemplos de: a) rua estreita arborizada, Avenida Flor da Rosa com <i>Acer negundo</i> e <i>Celtis australis</i> ; b) rua média arborizada, Rua de Sá da Bandeira com <i>Acer rubrum</i> ; c) rua larga arborizada, Alameda de 25 de Abril com <i>Acer pseudoplatanus</i> ; d) rua muito larga arborizada, Rua de Gonçalo Cristóvão com <i>Acer platanoides</i> 'Crimson King'.	27
Figura 28 - Gráfico da população de árvores de arruamento distribuída por família e género.....	28
Figura 29 - Quantificação das árvores de arruamento no conjunto das ruas da cidade, por número de indivíduos.	29
Figura 30 - Quantificação das espécies de arruamento dominantes em cada troço de rua.....	29
Figura 31 - Exemplos de espécies de arruamento relevantes na cidade: a) <i>Celtis australis</i> , Rua do Dr. José de Figueiredo; b) <i>Prunus cerasifera</i> var. <i>atropurpureum</i> , Rua de Soares de Passos; c) <i>Acer pseudoplatanus</i> , Alameda de 25 de Abril; d) <i>Platanus x acerifolia</i> , Rua de Camões; e) <i>Liquidambar styraciflua</i> , Rua de Faria Guimarães.....	30
Figura 32 - <i>Thuja plicata</i> na Rua do Engenheiro Custódio Guimarães.....	30
Figura 33 - Mapa das espécies dominantes em cada rua.....	31
Figura 34 - Mapa de ruas arborizadas classificadas pela largura expectável da copa da espécie dominante.	31
Figura 35 - Proporção das ruas arborizadas com árvore de copa estreita, média e larga.	32
Figura 36 - Proporção de ruas arborizadas classificadas de acordo com a sua largura e a largura expectável da copa da espécie dominante.	33
Figura 37 - Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo a sazonalidade da espécie dominante.....	33
Figura 38 - Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo a origem da espécie dominante.....	34
Figura 39 - Exemplos de ruas arborizadas com espécies autóctones: a) Avenida de Vasco da Gama com <i>Celtis australis</i> ; b) Rua do Dr. Roberto Frias com <i>Fraxinus angustifolia</i>	34
Figura 40 - Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo o estatuto da espécie dominante.	35
Figura 41 - <i>Acer negundo</i> na Rua do Campo Alegre.	35
Figura 42 - Mapa das ruas arborizadas segundo o tipo de alinhamento da arborização.....	36
Figura 43 - Proporção das ruas arborizadas classificadas com o tipo de alinhamento da arborização.....	36
Figura 44 - Exemplos de ruas com alinhamentos bilaterais: a) Rua de Guerra Junqueiro, arborizada com <i>Aesculus x carnea</i> ; e b) Rua Dr. Corino de Andrade, arborizada com <i>Tilia x europaea</i>	37
Figura 45 - Exemplo de uma rua arborizada com alinhamento unilateral: Rua do Barão de Nova Sintra (<i>Grevillea robusta</i>).	37
Figura 46 - Exemplos de ruas arborizadas com alinhamentos centrais: a) Avenida de Camilo, <i>Acer negundo</i> e b) Avenida Flor da Rosa, <i>Celtis australis</i>	37
Figura 47 - Mapa das ruas associadas a espaços parcelares, que não são consideradas na fase de diagnóstico.	38
Figura 48 - a) Avenida de Vasco da Gama, onde a arborização do espaço parcelar participa na rua; b) Rua do Dr. Aarão de Lacerda, cuja arborização influencia e é influenciada pelo espaço parcelar adjacente. Origem das imagens: Google Earth.	38
Figura 49 - Impactes do uso do solo no sistema climático. Adaptado de Siddique et al. (2020).....	41

Figura 50 - Estímulos climáticos gerados pela urbanização. Adaptado de Exterior Architecture (2019).....	42
Figura 51 - Condicionantes específicas da matrisca climática. Adaptado de Oke et al.(2017).	43
Figura 52 - Os benefícios da arborização urbana.....	44
Figura 53 - Enquadramento geográfico do concelho do Porto.....	45
Figura 54 - Conforto bioclimático no Porto estimado a partir da PET (“Physiologically Equivalent Temperature”) mensal no Porto entre 2002-2016. Adaptado de CMP (2018)	46
Figura 55 - Morfologia e hidrografia portuense. Adaptado de CMP (2018).	47
Figura 56 - A arborização na rede viária municipal portuense. Adaptado de CMP (2018).	47
Figura 57 - Anomalias térmicas muito prováveis no Verão. Adaptado de CMP (2018).....	49
Figura 58 - Anomalias térmicas muito prováveis no Inverno. Adaptado de CMP (2018).....	50
Figura 59 - Aspect Ratios mais frequentes no Porto. Adaptado de Valença (2020)	50
Figura 60 - Sky view factor nos eixos viários municipais portuenses (sem cobertura vegetal).....	51
Figura 61 - Relação entre “Aspect Ratio” e exposição solar das fachadas e ruas. Adaptado de Valença (2021).....	52
Figura 62 - Relação entre orientação das ruas, “aspect ratio” e exposição solar. Adaptado de Valença (2021).....	53
Figura 63 - Distribuição dos eixos viários municipais do Porto de acordo com as diferentes classes de “Sky View Factor” (%).	54
Figura 64 - Número de horas estimadas de exposição solar no Porto tendo em conta a orientação das fachadas e a época do ano. Adaptado de Valença (2021).	54
Figura 65 - Probabilidade de projeção da sombra de diferentes volumes construídos tendo em conta a época do ano. Adaptado de Valença (2021).	55
Figura 66 - Padrão de exposição solar ao longo do ano numa rua de orientação e Este-Oeste (à esquerda) e Norte-Sul (à direita) no Porto. Adaptado de Valença (2021)	55
Figura 67 - Radiação solar nos eixos viários do Porto no momento dos solstícios e dos equinócios.	57
Figura 68 - Número de horas de sol nas ruas nos solstícios e equinócios.....	58
Figura 69 - Efeito da sombra das árvores na radiação solar global que atinge o solo.....	59
Figura 70 - Mapeamento dos benefícios potenciais da arborização viária para o conforto térmico outdoor.....	62
Figura 71 - Ventilação em urban canyons simétricos e assimétricos dependendo do aspect ratio. Adaptado de Oke et al. (2017).	63
Figura 72 - Principais estruturas de fluxos de ventilação em urban canyons. Adaptado de Oke et al (2017)	64
Figura 73 - Probabilidade de ocorrência de aceleração e travagem dos fluxos de ar no Verão. Adaptado de CMP (2018)	65
Figura 74 - Probabilidade de ocorrência de aceleração e travagem dos fluxos de ar no Inverno. Adaptado de CMP (2018).	65
Figura 75 - Quedas de árvores no Porto entre 2015 e 2021.....	67
Figura 76 - Probabilidade de ocorrência de degradação da qualidade do ar. Adaptado de CMP (2018)	70

Figura 77 - Dispersão de poluentes em Urban Canyon sem vegetação (a), com arbustos (b) e com árvores (c). Adaptado de Abhijith et al. (2017).....	71
Figura 78 - Coeficiente de escoamento. Adaptado de CMP (2018).....	73
Figura 79 - Ocorrência de inundações entre 1974 e 2014. Adaptado de CMP (2018).....	73
Figura 80 - Área impermeabilizada (%) por subsecção. Adaptado de CMP (2018).	74
Figura 81 - Impacte das árvores no escoamento superficial.....	75
Figura 82 - Síntese dos impactes da arborização das ruas para o conforto outdoor e para a saúde dos seres humanos.	77
Figura 83 - Mapa das ruas classificadas de acordo com a sua largura, considerando a agregação das duas classes de ruas mais largas.	78
Figura 84 - Matriz relacional da largura da rua e da largura da copa da árvore.	79
Figura 85 - Mapa síntese do potencial de arborização.....	80
Figura 86 - Proporção das ruas classificadas de acordo com a síntese do potencial de arborização.....	80
Figura 87 - Mapa das ruas arborizadas, com espécie de copa adequada, tendo em conta a largura da rua e a largura da copa da árvore.	81
Figura 88 - Exemplos de ruas arborizadas, com espécie de copa adequada: a) Rua do Engenheiro Ferreira Dias, rua larga com espécie de copa larga (<i>Zelkova serrata</i>); b) Avenida da França, rua muito larga com espécie de copa larga (<i>Tilia cordata</i>); c) Avenida dos Combatentes da Grande Guerra, rua larga com espécie de copa larga (<i>Platanus x acerifolia</i>); d) Alameda de Cartes, rua larga com espécie de copa larga (<i>Tilia x europaea</i>). Origem das imagens: Google Earth....	82
Figura 89 - Exemplos de ruas arborizadas, com espécie de copa adequada, mas subdimensionada: a) Avenida das Congostas, rua larga com espécie de copa média (<i>Acer platanooides</i>); b) Rua dos Campeões Europeus, rua larga com espécie de copa estreita (<i>Magnolia virginiana</i>). Origem das imagens: Google Earth.....	83
Figura 90 - Mapa das ruas arborizadas, com espécie de copa inadequada.	83
Figura 91 - Exemplos de ruas arborizadas, com espécie de copa inadequada: a) Rua do Marechal Saldanha, rua estreita com árvore de copa larga (<i>Platanus x acerifolia</i>); b) Rua do Duque da Terceira, rua média com árvore de copa larga (<i>Aesculus hippocastanum</i>). Origem das imagens: Google Earth.....	84
Figura 92 - Mapa das ruas arborizadas, sem potencial de arborização.....	84
Figura 93 - Exemplos de casos especiais de ruas arborizadas, sem potencial de arborização: a) Rua da Galeria de Paris, rua muito estreita com árvore de copa média (<i>Ginkgo biloba</i>); b) Rua dos Junquinhos (Bairro do Amial), rua muito estreita com árvore de copa larga (<i>Celtis australis</i>); c) Rua do Relógio, rua muito estreita com árvore de copa larga (<i>Celtis australis</i>); d) Passeio das Fontainhas, rua muito estreita com árvore de copa larga (<i>Platanus x acerifolia</i>).	85
Figura 94 - Mapa das ruas não arborizadas, com potencial de arborização.	86
Figura 95 - Exemplos de ruas não arborizadas, com potencial de arborização: a) Rua do Lidador; b) Rua da Constituição; c) Rua de Serpa Pinto; d) Rua de Pinto Bessa. Origem das imagens: Google Earth.....	87
Figura 96 - Mapa das ruas arborizáveis e não arborizáveis, de acordo com as variáveis espaciais.....	87
Figura 97 - Mapa das ruas arborizáveis, integrando ruas atualmente arborizadas e ruas atualmente não arborizadas.	88
Figura 98 – Adaptação e simplificação do efeito da arborização de arruamento para o conforto térmico <i>outdoor</i> , aplicado às ruas arborizáveis.	89

Figura 99 - Exemplos de ruas onde a arborização originária, potencialmente, desconforto térmico: a) Rua de D. João IV; b) troço da Rua de Fernandes Tomás; c) troço da Rua de Costa Cabral; d) troço da Rua de S. Roque da Lameira.....	90
Figura 100 - Espécies de altura potencial não adequada para arruamento: a) <i>Ligustrum</i> sp. na Rua 5 de Outubro e b) <i>Cercis siliquastrum</i> na Rua Rui Faleiro.....	92
Figura 101 - Exemplo de uma rua estreita arborizada com uma espécie de copa média (Rua de Passos Manuel, <i>Acer pseudoplatanus</i>).	92
Figura 102 - Exemplo de uma espécie de copa larga (<i>Platanus x acerifolia</i>) numa rua estreita (Rua António Carneiro).	92
Figura 103 - Exemplo de uma rua adequadamente arborizada: rua média com árvore de copa média (<i>Acer pseudoplatanus</i> na Avenida da França).....	93
Figura 104 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie perenifólia (<i>Pinus pinea</i> na Rua Henrique Lopes de Mendonça) que não cria ensombramento indesejado, durante as estações menos favoráveis, sobre as fachadas.	93
Figura 105 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie perenifólia (<i>Ligustrum</i> sp. na Rua 5 de Outubro) que causa ensombramento constante.	94
Figura 106 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie perenifólia (<i>Cupressus sempervirens</i> , na Travessa da Prelada) que não causa ensombramento das fachadas. Origem da imagem: Google Earth.	94
Figura 107 - Exemplo de uma espécie autóctone, <i>Fraxinus angustifolia</i> na Rua Dr. Roberto Frias.....	95
Figura 108 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie com estatuto de invasora (<i>Acer negundo</i> na Rua do Campo Alegre).	95
Figura 109 - Exemplos em que as raízes da árvore e o pavimento entraram em conflito e se verifica levantamento do pavimento: a) <i>Cercis siliquastrum</i> na Rua Engenheiro Carlos Amarante e b) <i>Sophora japonica</i> na Rua de Barbosa du Bocage.....	96
Figura 110 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie (com maior sensibilidade à poluição urbana e/ou salinidade) (<i>Ceiba speciosa</i> na Avenida da Boavista).....	97
Figura 111 - Mapa das ruas arborizáveis, de acordo com os critérios de dimensão do espaço.	99

1. Introdução geral

O Instituto de Ciências e Tecnologias Agrárias e Agroalimentares (ICETA), através do Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO), propôs-se a realizar uma reflexão propositiva sobre a arborização de ruas, avenidas, e outros espaços-canal da cidade do Porto. Este trabalho irá desenvolver-se em três fases:

- Fase 1: Caracterização e diagnóstico da situação existente;
- Fase 2: Plano;
- Fase 3: Protótipos de intervenção - ruas, espaços e espécies.

Esta reflexão incidirá prioritariamente ao nível de tipologias de organização espacial, desenho e materiais vegetais a utilizar, tentando otimizar a relação entre o espaço público disponível e as árvores que este pode sustentar, a curto, médio e longo prazo.

No contexto português de planeamento e ordenamento do território, o espaço-canal é definido como a área ocupada por infraestruturas de desenvolvimento linear, quer sejam implementadas à superfície do terreno, no subsolo ou no espaço aéreo, podendo surgir em contexto urbano ou rural (Decreto Regulamentar n.º15/2015 e Decreto Regulamentar n.º5/2019). Contudo, os espaços-canal, ou vias, estão fortemente associadas à imagem contemporânea do que constitui uma cidade (Lynch, 2011). Estas podem ser definidas como os canais de circulação, para pessoas e bens, podendo incluir tráfego de diversas naturezas – rodoviário, ferroviário, pedonal, aquático – mas em que o movimento, de pessoas ou bens, é sempre a função predominante.

Para além da função de movimento ou circulação, as exigências dos espaços urbanos obrigam a que a maioria da malha de espaços-canal neste contexto acomode também outras funções importantes: 1) função de lugar; 2) acesso direto a edifícios e espaços públicos; 3) drenagem, iluminação e outros serviços de utilidade pública; 4) estacionamento. A provisão desta diversidade de funções vai distinguir e realçar a importância dos arruamentos urbanos, quando comparados às vias destinadas a transporte de alta velocidade e/ou a grande distância, como auto-estradas e ferrovias, que excluem ou marginalizam a presença de peões (Cowan, 2005; Department for Transport, 2007).

A rua pode ser considerada como a menor unidade do espaço urbano, com forma própria, que contribui para a morfologia de uma cidade. Ao nível do planeamento e desenho urbano, a escala da rua é aquela que mais se aproxima da escala da perceção humana - a partir de qualquer ponto de observação numa cidade, é possível estabelecer uma relação próxima com os constituintes da rua e as suas características: as faixas de circulação; o edificado e os seus pormenores construtivos; o dinamismo sazonal e a sombra de uma árvore; o padrão, a estereotomia, a cor e a textura do pavimento; a sinalética e o mobiliário urbano. Para além disso, o traçado das ruas vai influenciar a disposição dos edifícios, dos quarteirões, dos espaços abertos e de outros espaços públicos, assim como a relação destes elementos entre si e com e as pessoas que usufruem do espaço urbano (Lamas, 2000).

Ao longo dos tempos, o desenho da rua e a sua importância foram sendo alterados à medida das necessidades da cidade. O aumento da população urbana, a introdução de veículos automóveis e as preocupações com o aumento dos níveis de poluição foram os elementos que mais condicionaram o pensamento da cidade. Neste sentido, a partir do século XIX foram propostas novas formas de pensar a cidade que valorizavam a presença de vegetação e de espaços verdes. Exemplos disso são os projetos urbanísticos para a cidade de Paris coordenados por Haussman, a cidade-jardim de Ebenezer Howard, os conceitos urbanísticos de Corbusier, e mais recentemente os conceitos de corredores verdes (Benevolo, 1978).

Na cidade, o bom desenvolvimento da vegetação, principalmente da que apresenta maiores dimensões, pode ser comprometido pela falta de espaço para o pleno desenvolvimento da parte radicular e aérea das plantas, pela falta de permeabilidade, pela excessiva compactação e contaminação dos solos, e também pela qualidade do ar negativamente modificada sobretudo pelas emissões do setor dos transportes e indústrias (Alegria, 2018). Apesar destas condicionantes, a árvore tem um papel preponderante nos serviços de ecossistemas proporcionando diversos benefícios ambientais, sociais, culturais ou estéticos. De acordo com a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), as árvores são essenciais para o conforto e a sustentabilidade das cidades. Os principais benefícios que lhes são atribuídos são: a diminuição da temperatura, a filtragem de poluentes e partículas finas e a regulação do ciclo da água (Borelli, 2016). A presença da árvore na cidade, contribui decisivamente para o aumento da qualidade de vida dos seus habitantes, pelos múltiplos serviços de ecossistemas que providencia, especialmente no âmbito da saúde e bem-estar físico e mental, mas também pelos benefícios económicos associados à valorização da propriedade e à redução dos consumos energéticos muito relacionados com a regulação da temperatura no interior dos edifícios (TDAG, 2012; Figura 1).

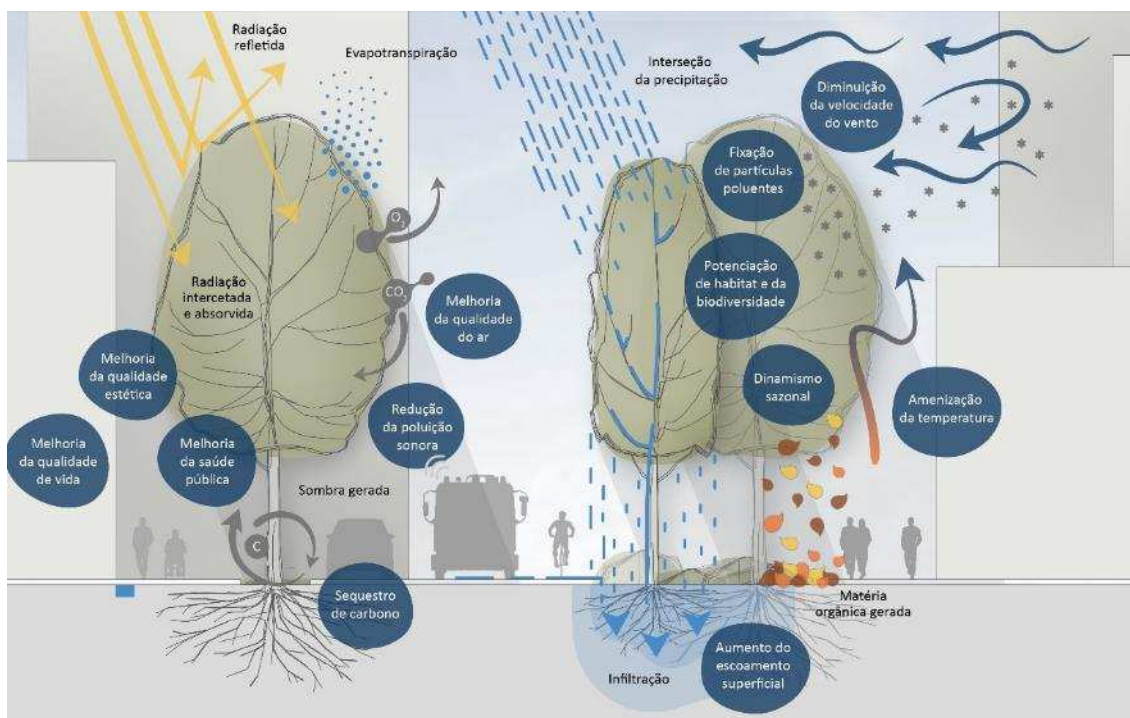


Figura 1 - Dinâmica ecológica e paisagística da arborização de arruamento – o ecossistema da rua.

A necessidade de as ruas acomodarem diversas funções reflete-se em inúmeras condicionantes para o desenvolvimento da árvore nestes espaços. A instalação de árvores no espaço urbano tem-se realizado muitas vezes sem seguir as melhores práticas no que se refere à seleção das espécies, às condições de instalação e falta de gestão eficaz (Carvalho, 2009). O aumento do número de planos de arborização realizados nos últimos anos são a prova de que existe uma necessidade crescente de adotar boas práticas e definir regras orientadoras para a introdução da árvore no contexto das ruas e outros espaços-canal. Esta torna-se uma tarefa difícil quando a árvore é apreendida como um elemento causador de problemas, nomeadamente por motivos de risco e segurança, o aumento de detritos orgânicos e disputa do espaço público (Fernandes et al., 2018), em geral podendo conflitar várias outras funções da rua, nomeadamente as de circulação automóvel e pedonal. Neste sentido, é fundamental examinar as ruas considerando as suas principais funções, de modo a refletir atentamente sobre o espaço necessário para o bom desenvolvimento morfológico e fisiológico da árvore e as incontornáveis funções vitais de circulação (por exemplo, veículos e equipamentos de combate a incêndio; veículos e equipamento de resgate de pessoas feridas e acidentadas; e mitigação de outros problemas de catástrofe).

Na cidade do Porto, a conceção de espaços para o passeio público remonta ao início do século XVII, quando Filipe II determinou a plantação da Alameda do Olival, situada entre a Cordoaria e o Mercado do Anjo. Esta era constituída por alinhamentos de negrilhos sob os quais havia bancos de pedra lavrada. Posteriormente foram concebidas novas alamedas, em locais estrategicamente escolhidos sob o ponto de vista cénico, onde eram plantados alinhamentos de árvores com bancos e geralmente vedadas com muros e gradeamentos. Em 1874, são referidos por Pinho Leal nove espaços com estas características, nomeadamente as Alamedas: do Olival, das Virtudes, da Vitória, da Lapa, da Aguardente, do Bonfim, do Prado Repouso, das Fontainhas e de Massarelos (Andresen, T. e Marques, T. P., 2001). Atualmente podemos ainda observar o Passeio das Virtudes ou das Fontainhas onde o carácter do local foi menos alterado.

A arborização das ruas ganhou maior importância em finais do século XIX (Pereira de Oliveira, 1973). Em 1892, segundo a Carta topográfica de Telles Ferreira, a árvore era um elemento frequente na pontuação de largos nomeadamente no Largo da Cruz, no Largo da Alfândega, no Largo dos Lóios, no Largo da Lapa e nos Largos de Santo André e da Póvoa, atualmente com topónimos alterados, respetivamente a Praça do Poveiros e a Praça Rainha Dona Amélia. A análise cartográfica permite-nos observar que já nessa altura havia ruas com alinhamentos de árvores que se mantiveram até aos dias de hoje, independentemente de terem sido alvo de intervenções ao longo dos tempos. Como exemplos mais relevantes temos a Rua da Restauração, a Rua de Monchique/Rua Nova da Alfândega, a Avenida da França (no troço existente junto à Praça Mouzinho de Albuquerque), Rua do Duque do Porto (atual Rua João das Regras), a Rua de Camões entre a Ordem da Trindade e a Rua Gonçalo Cristóvão que também era arborizada entre a Praça da República e a Rua do Bonjardim, e entre o local onde se pode encontrar o Silo Auto e a Rua de Santa Catarina (à data Rua Nova da Princesa). Nesta altura também as ruas dos Clérigos, da Estação (Figura 2) e a Rua Nova de Paranhos - que continuava como Estrada de Vila do Conde e que atualmente se designam como Rua do Carvalhido e Montes dos Burgos – eram ornamentadas com alinhamentos de árvores.

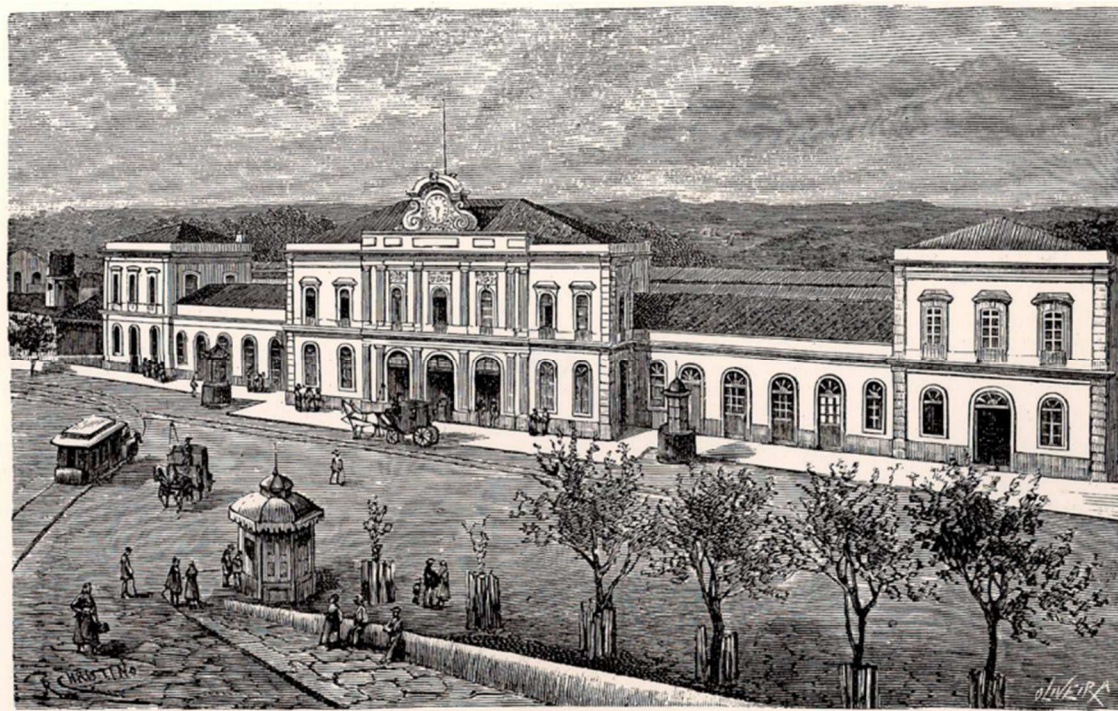


Figura 2 - Rua da Estação. Reprodução de uma Gravura de José Augusto de Oliveira, a partir de fotografia de Emílio Biel tirada em 1895. (Silva, 1985).

No caso da Avenida da Boavista, a mais extensa da cidade, o seu perfil sofreu várias alterações ao longo dos tempos. Em 1892, existia desde a Rua de Santa Isabel até ao cruzamento da Rua de Serralves (hoje Rua de Tânger) com a Estrada da Vilarinha, onde se encontra atualmente a Avenida do Dr Antunes Guimarães. Era arborizada em toda a sua extensão, com exceção do troço que começa na Praça da Boavista (atual Praça Mouzinho de Albuquerque) e que termina entre as ruas de Agramonte e do Mirante Vanzeler (atual Rua João de Deus). Mais tarde, nas fotografias aéreas de 1939 a Avenida está finalizada na extensão que hoje conhecemos, com novos troços arborizados, nomeadamente desde a Rua de António Bessa Leite até à Rua da Boavista e de Nevogilde (próximo da Rua António Aroso) até à Rua do Pinheiro Manso. Nesta altura o troço entre a Rua do Pinheiro Manso e a rua António Bessa Leite deixa de ser arborizado.

A presença de alinhamentos de árvores aumentava à medida que se construía novas e mais largas ruas, nomeadamente a oriente, com o desenho das ruas que saem do Largo Soares dos Reis, e a ocidente na Foz Nova (Fernandes, J., 1989). Na cartografia de Telles Ferreira (1892), estas ruas ainda se encontravam inacabadas tendo sido representados alguns troços do desenho ainda em fase de projeto. Nesta altura, apenas na Foz Nova, a Rua do Gama (atualmente denominada Rua de Diu) era arborizada. No entanto, em 1939/40, segundo o registo fotográfico aéreo, no Bonfim – as ruas do Conde Ferreira, Ferreira Cardoso e Joaquim António de Aguiar – e na Foz Nova – as ruas Gondarém, Marechal Saldanha, Molhe e Crasto - já tinham árvores de arruamento.

Em meados do século XX começaram a surgir na cidade vários bairros de casas económicas que tinham em comum uma matriz de desenho que contemplava, entre outros elementos, ruas arborizadas e pequenos jardins (Borges Pereira, 2012). As fotografias aéreas de 1939/40 comprovam o aparecimento de novas ruas arborizadas por toda a cidade, não só nas já referidas da Foz Nova e Bonfim, mas também na Boavista - as ruas de Guerra Junqueiro, António Cardoso, Cinco de Outubro e de Agramonte – em Paranhos – as ruas dos Castelos e Serpa Pinto - e em

Campanha – as ruas de Pinto Bessa e Padre António Vieira. Nas ruas com perfis mais largos como as avenidas Marechal Gomes da Costa, dos Combatentes e Camilo, surge um separador central com canteiros arborizados, semelhantes aos de hoje. Comparando a fotografia aérea (1939/40) com a carta de Telles Ferreira (1892) verifica-se que algumas ruas deixam de estar arborizadas, aproximando-se do perfil que apresentam atualmente, por exemplo a Rua da Estação, a Rua dos Clérigos e as Ruas do Carvalhido e Montes dos Burgos.

Mais tarde surgem novos empreendimentos urbanísticos que contemplam arborização em arruamento ou em pequenos jardins. Inicia-se assim na década de 60 o Parque Residencial da Boavista (Foco) e na década de 70 os projetos do Bairro Guerra Junqueiro (Direção dos Serviços de Habitação, 1977) e da Associação de Moradores da Zona dos Combatentes, de 1978, em que é possível observar-se o arranque da Alameda Eça de Queirós arborizada e alguns arruamentos onde entre o estacionamento se previam zonas plantadas (Direção dos Serviços de Obras, 1978).

Em 2009, a Direção Municipal de Serviços Urbanos e Ambiente da Câmara Municipal do Porto apresenta o 'Programa Municipal de Arborização' com a inventariação e diagnóstico das árvores da cidade e um conjunto de orientações a adotar nas futuras plantações. As propostas incidem sobre a escolha da árvore ao nível do porte, do compasso de plantação, das especificidades de cada espécie e da instalação (qualidade do solo, pavimentação e manutenção). São também definidos parâmetros de dimensionamento da arborização que se compatibilizem com a rede elétrica e apresentados alguns perfis de arruamento.

2. Objetivos e conceitos

O presente relatório consiste na caracterização e diagnóstico da situação existente ao nível da arborização das ruas da cidade do Porto. Este conjunto de informação deseja fornecer orientações de modo a produção de um plano de arborização para os próximos 30 anos que, para esse intervalo de tempo, otimize a presença de árvores no espaço público das ruas, em boa articulação com as funções e atividades que aí preferencialmente ocorrem. Assim, nesta primeira fase, pretende-se:

1. conhecer a situação existente da arborização das ruas na cidade do Porto;
2. identificar principais oportunidades e constrangimentos em relação à arborização das ruas;
3. relacionar e discutir a arborização das ruas de acordo com as suas dimensões, fluxos, funções mínimas essenciais e condições microclimáticas.

Face a estes objetivos, colocam-se as seguintes questões:

- Qual a principal função de uma rua?
- Qual é o espaço fundamental de uma rua?
- Qual a dimensão mínima de uma árvore de arruamento que cumpra estruturalmente funções ambientais, sociais e estéticas?
- Qual a dimensão mínima de uma rua que permita a existência de árvores de arruamento e garanta funções de circulação vitais /fundamentais?

Nesta fase de caracterização e diagnóstico para o desenvolvimento do plano de arborização e consequentes protótipos de intervenção, importa à partida evidenciar os pressupostos que assistem ao espaço-rua, assumindo o que deve constituir o dimensionamento essencial dos seus principais elementos constituintes e atividades.

A **rua** é aqui definida como um espaço-canal de uso público, geralmente aberto na malha construída e edificada (malha urbana), cuja função principal é garantir os fluxos, a facilitação da circulação, a ligação e o acesso entre os diversos espaços de utilização humana. A rua é igualmente um espaço público de estadia, encontro, relacionamento e identidade, facilitando o acesso e a interação com os espaços parcelares confinantes e com as atividades que aí ocorrem.

Sendo a rua um espaço linear, a sua multifuncionalidade está primeiramente condicionada pela dimensão **largura**; quanto mais larga for uma rua, mais componentes físicos poderá suportar e, desse modo, albergar também uma maior diversidade de fluxos e funções.

Neste contexto destacam-se as circulações e acessos de pessoas e veículos. Assim, e de acordo com as orientações atuais da CMP, a circulação de uma pessoa com mobilidade reduzida, deve ser garantida na rua ao longo de um corredor com 2,40m de largura (CMP, 2020). De igual modo, o corredor de circulação deve possibilitar a passagem de veículos de emergência, que necessitam

de uma largura mínima de 3,5m (idealmente esta deve aproximar-se de 6m; Portaria n.º 135/2020) e de uma altura livre de 4 a 5m. O corredor para veículos de emergência, pode ser partilhado com outros fluxos.

Uma vez garantidas as dimensões para os fluxos de pessoas com mobilidade reduzida e para veículos de emergência, poderá então considerar-se incluir o elemento **árvore**.

Uma **árvore** é uma planta lenhosa e de longa duração, que tem a tendência de emergir do solo com um caule principal (tronco) manifestando dominância apical; o tronco suporta por sua vez muitos ramos secundários. É constituída por parte subterrânea (raízes) parte aérea (troncos, ramos e folhas) formando um conjunto vivo indissociável. À dimensão da parte aérea (a diretamente visível pelos seres humanos) corresponde uma dimensão subterrânea desempenhada pelas raízes, não diretamente visível, que explora um volume de espaço no mínimo igual ao manifestado pela parte aérea, sendo habitualmente maior (Trowbridge e Bassuk, 2004; Figura 3). As árvores podem ser as maiores plantas da Terra, com grande variação de forma e tamanhos, desde cultivares anãs até indivíduos de 90 m de altura.

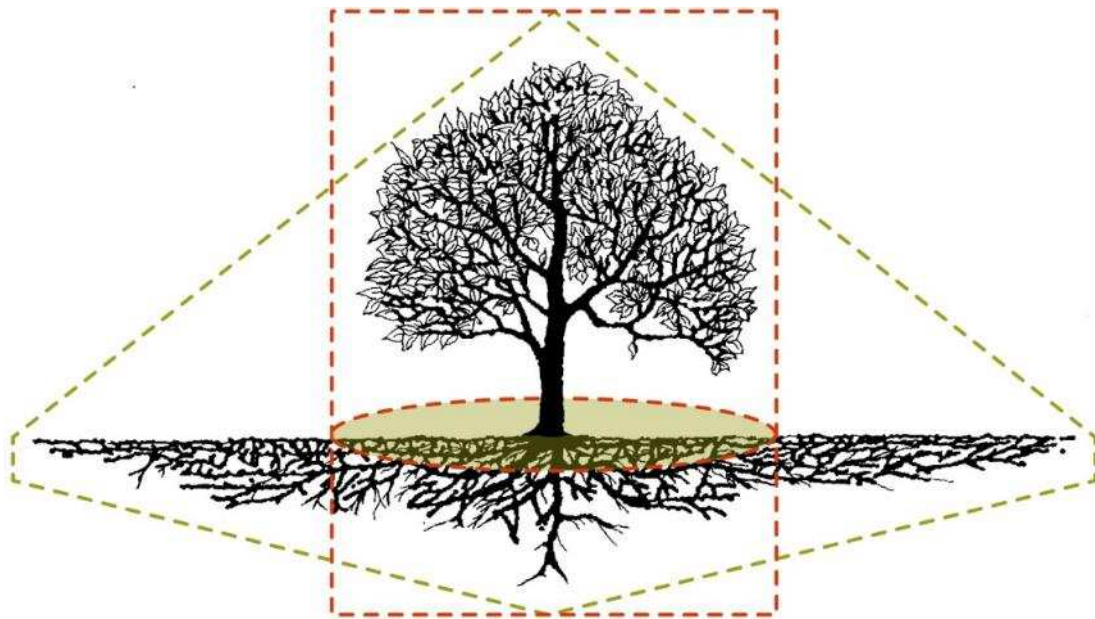


Figura 3 - Representação conceptual da árvore. Tracejado verde: dimensão biológica; tracejado vermelho: dimensão operacional e simplificada. Adaptada de CMP, 2017.

A arborização de arruamento é assim prioritariamente afirmada como uma questão espacial de interesse público o que pressupõe que, para existirem árvores de arruamento com viabilidade, tem que existir espaço disponível para acolher o seu desenvolvimento em quantidade e qualidade, durante 20-30 anos.

Importa agora registar que uma **árvore de arruamento** é aqui definida como um fanerófito florestal (planta lenhosa de altura superior a 5-6m) que se adequa às características espaciais e funcionais da rua. Neste sentido possibilita os fluxos de pessoas e veículos, e participa no

metabolismo e na composição espacial da rua. Para que isso aconteça a sua forma deve prever um fuste limpo, de modo a que sob a sua copa se possa circular com o mínimo de constrangimentos. Deve ser, preferencialmente, de folha caduca para garantir condições de iluminação das fachadas durante os períodos menos favoráveis (inverno). Deve ser plantada e poder crescer em solo/substrato fértil e permeável, num contexto de permanência no local (mínimo de 20 -30 anos) para garantir o bom desempenho de serviços de ecossistemas, pelo menos a curto e médio prazo.

Dependendo da largura da rua e das funções que esta acomoda, as dimensões das árvores de arruamento podem variar significativamente de acordo com essas oportunidades espaciais e funcionais, sobretudo ao nível da largura das copas.

Para compatibilizar a presença da árvore na rua, um espaço altamente disputado por múltiplas funções e interesses, revela-se importante discutir a **menor dimensão** deste elemento arbóreo, de modo a garantir que cumpra a provisão dos serviços de ecossistema que lhe são associados, e simultaneamente uma condição mínima de segurança e risco controlado para os utilizadores humanos. Tal sinergia é muito determinada pela articulação entre o espaço necessário e disponível para as principais funções da rua e o espaço para o desenvolvimento da árvore em condições de salubridade, segurança e dignidade, tendo em conta um cenário temporal de 20-30 anos. Este cenário temporal corresponde ao intervalo de tempo em que a maior parte das espécies de árvore de arruamento mais cultivadas na região do Porto atingem uma jovem maturidade (Moreira, 2008). Neste quadro, a dimensão **largura da rua e largura expectável da copa da árvore** para este cenário temporal são aqui entendidas como as variáveis mais significativas para esta reflexão.

Para identificar as características morfológicas e sazonais da **menor árvore de arruamento** foi realizada uma pesquisa sobre as espécies vulgarmente utilizadas neste âmbito, disponíveis no circuito comercial. Especial atenção foi dada a espécies e cultivares mais recentemente desenvolvidas para espaços constrangidos, caducifólias e de sazonalidade adequada ao fotoperíodo do hemisfério norte. Neste sentido entende-se que a menor árvore de arruamento deve observar os seguintes requisitos:

1. copa estreita e/ou colunar, para reduzir a competição pelo espaço;
2. caducifólia, para oferecer sombra no verão e exposição solar no inverno;
3. possibilidade de formação fuste limpo, para não interferir com a passagem de peões e/ou veículos no canal de circulação;
4. proporção aproximada de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ de fuste para $\frac{2}{3}$ a $\frac{3}{4}$ de copa, de forma a maximizar a área foliar.

Os resultados desta investigação revelaram espécies, como *Acer platanoides* 'Columnare', *Betula pendula* 'Fastigiata', *Carpinus betulus* 'Frans Fontaine', *Fagus sylvatica* 'Dawyck Purple', *Fraxinus ornus* 'Obelisk', *Ginkgo biloba* 'Fastigiata Blagon', *Liquidambar styraciflua* 'Paarl', *Liquidambar styraciflua* 'Slender Silhouette', *Populus tremula* 'Erecta', *Prunus serrulata* 'Sunset Boulevard', *Pyrus communis* 'Beech Hill', *Quercus palustris* 'Green Pillar', *Quercus robur* 'Fastigiata' e *Ulmus hollandica* 'Lobel', que poderão constituir a **menor árvore de arruamento** e cuja menor largura de copa pode ir até aos 4m, para um período de 20 a 30 anos (Figura 4; Figura 5).

2. Objetivos e conceitos



Figura 4 - Árvores de copa estreita ilustrativas da menor árvore de arruamento (Baummapper, 2020; Van den Berk Nurseries, s.d.).

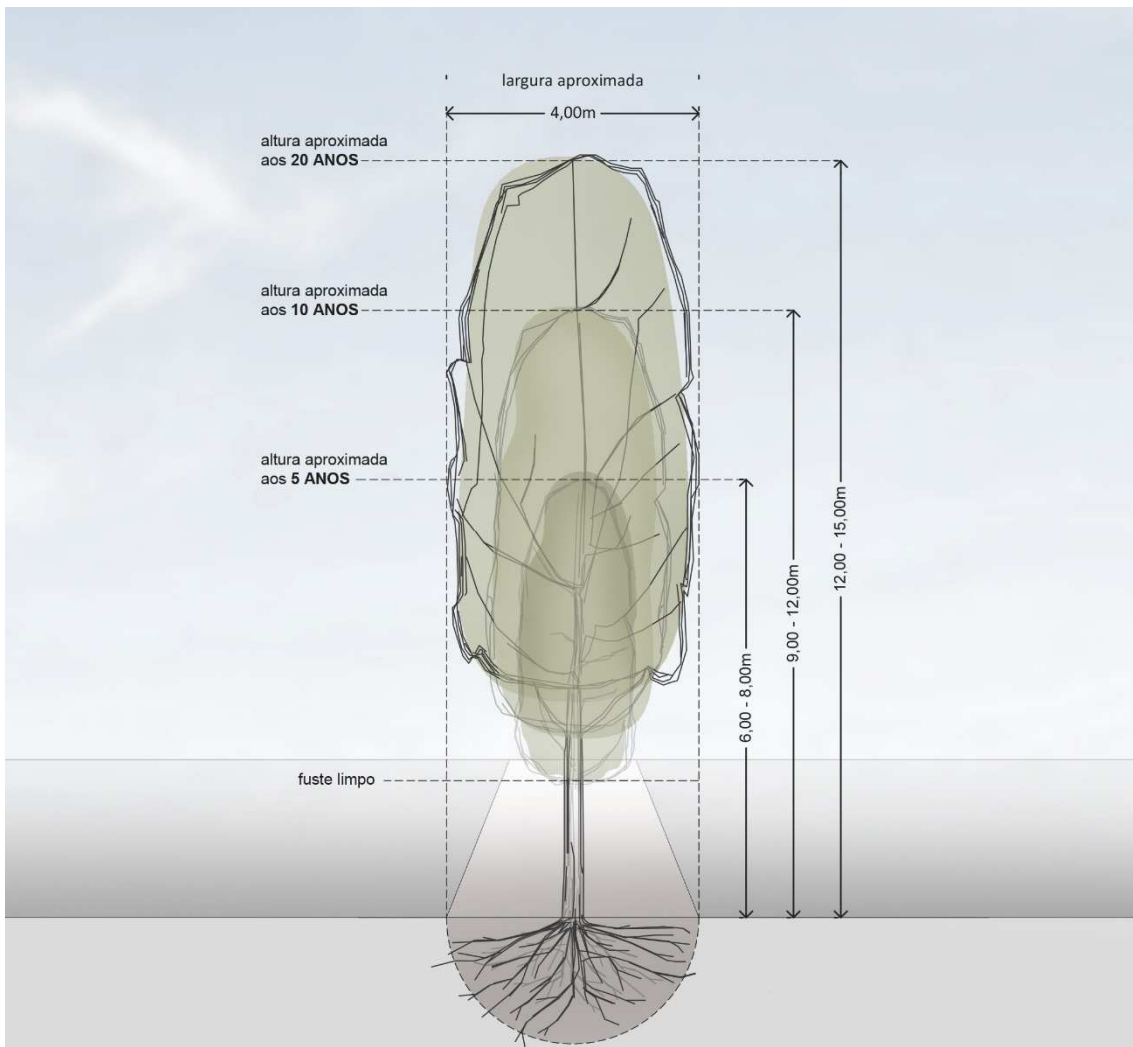


Figura 5 - Representação esquemática da menor árvore de arruamento.

Da reflexão sobre estes princípios orientadores, surgiu a formulação da **hipótese** do que poderá constituir a **rua mínima arborizável**. Neste sentido, a sua largura foi assim determinada em **10m**, como apresentado na Figura 6, e resulta da soma da largura mínima dos diversos elementos e funções fundamentais que ocorrem numa rua arborizada: 1) árvore de arruamento; 2) canal para circulação de pessoas com mobilidade reduzida; 3) canal para circulação de veículos de emergência. Alguns elementos foram ligeiramente sobredimensionados para permitir alguma flexibilidade e pequenos ajustes; foi também acrescentada uma distância de 1m entre a copa da árvore e o limite da rua, de modo a diminuir o conflito do arvoredo com as fachadas dos edifícios e os limites de propriedades privadas.

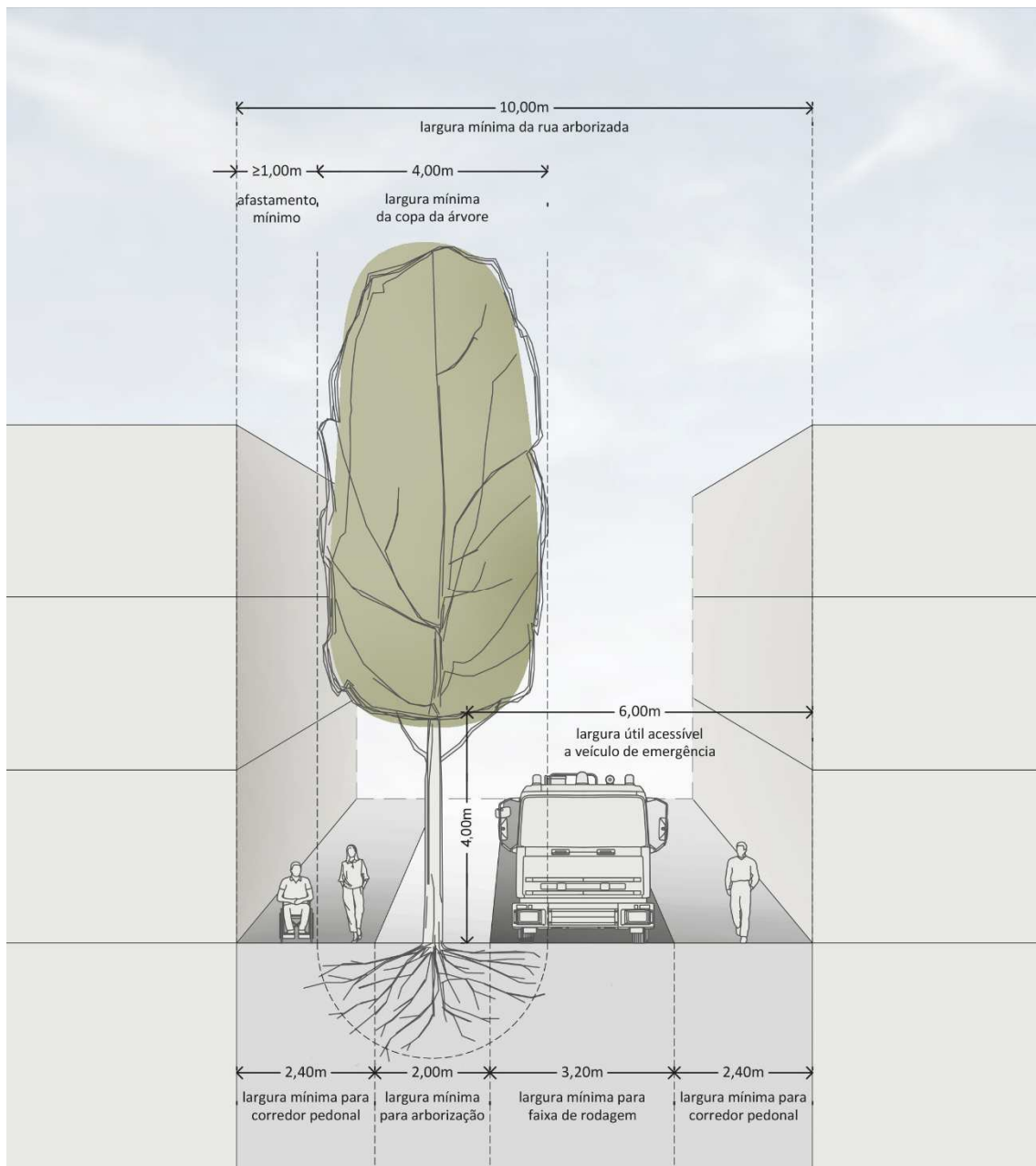


Figura 6 - Ilustração da hipótese da rua mínima arborizável, mostrando as dimensões aproximadas da largura mínima dos elementos fundamentais de uma rua arborizada.

2. Objetivos e conceitos

Assim, considera-se que as ruas com largura inferior a 10m não poderão ser arborizadas, de modo a possibilitar a eficiente e segura circulação de pessoas de mobilidade reduzida e dos veículos de emergência de acordo com os padrões atuais. Por outro lado, as ruas com largura superior a 10m, poderão acomodar progressivamente mais elementos, idealmente de forma simétrica, à medida que a sua dimensão largura aumenta, providenciando desse modo mais benefícios para os seus utilizadores.

3. Metodologia

A metodologia, representada esquematicamente na Figura 7, pretende explicitar os principais passos do trabalho apresentado no presente relatório. Resumidamente, após a formulação da hipótese já descrita no capítulo anterior, o trabalho iniciou-se com a recolha de dados através de visitas de campo e consulta de cartografia. A caracterização consistiu essencialmente na compilação e análise dos dados mais importantes. No diagnóstico foi feito o cruzamento e avaliação de toda a informação anterior referente às condições das ruas do Porto para suportar arborização. Por fim, na conclusão apresentam-se os resultados de uma forma mais sintética, fazendo a ponte para a fase seguinte do trabalho – o plano de arborização.

Na Figura 7 apresenta-se o organigrama metodológico destacando os principais momentos do trabalho.

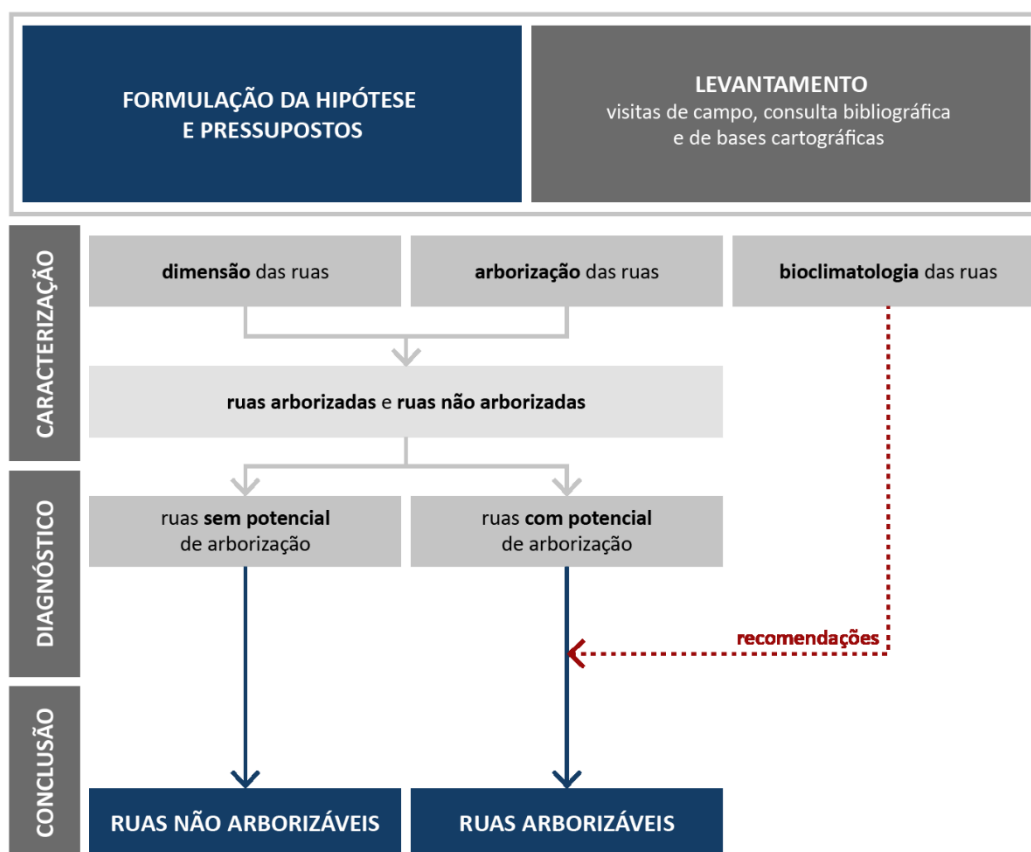


Figura 7 - Metodologia de trabalho.

3.1. Definição do objeto de estudo

A caracterização da situação existente consistiu no levantamento de informação sobre as **ruas** do Porto e a sua **arborização**. Este trabalho foi realizado através da consulta e análise de bases de dados já existentes, fornecidas pela Câmara Municipal do Porto, bem como da recolha de dados resultante de trabalho de campo.

Assim, identificou-se e balizou-se o objeto de estudo, o qual corresponde a todas as ruas da cidade do Porto (vias ou espaços-canal), existentes à data presente, e que têm um propósito multifuncional, isto é, permitem, pelo menos, o **trânsito pedonal** e garantem o **acesso direto a outros espaços públicos e a edifícios**. De acordo com estes critérios, foram excluídos os canais rodoviários da rede de serviço nacional (auto-estradas, itinerários principais, itinerários complementares e estradas nacionais), os canais de ligação internível e as ferrovias pesadas, como descritos no Regulamento do Plano Diretor Municipal mais atual (CMP, 2020). Uma vez que não estão de momento acessíveis os dados pormenorizados sobre a sua arborização, a Estrada da Circunvalação, embora desclassificada da rede de serviço nacional, não será abordada nesta fase de caracterização, à exceção do troço que se encontra totalmente no interior do concelho em Campanhã. Foram também excluídos da população em análise as pontes, viadutos, túneis e ruas associadas a edificado, pelas suas vincadas limitações à arborização.

O objeto de estudo será doravante evocado apenas como **ruas** e está representado na Figura 8 (todos os mapas podem ser consultados também em anexo, a uma escala maior). O mapeamento das ruas foi realizado em ambiente SIG (ArcMap 10.7), sendo os objetos registados como elementos lineares. Cada objeto corresponde a uma rua ou troço de rua com características semelhantes em relação à sua dimensão largura e arborização. O comprimento mínimo mapeável considerado foi 30m, isto é, troços de rua com dimensões inferiores a 30m não foram individualizados, mas integrados no troço adjacente com as características mais próximas.



Figura 8 - Mapa das ruas do Porto (objeto de estudo).

A primeira abordagem ao objeto de estudo consistiu no reconhecimento das ruas da cidade do Porto através da realização de visitas de campo para observação direta de uma amostra representativa da sua heterogeneidade. O registo dos dados de campo foi essencial para a confirmação dos parâmetros mais pertinentes na caracterização das ruas e da sua arborização, e guiou na seleção da melhor informação existente nas bases de dados cartográficas disponibilizadas pela Câmara Municipal do Porto.

3.2. Tipologia de arborização de arruamento

No âmbito deste trabalho, foram identificadas todas as árvores que participam nas ruas da cidade, daqui para a frente designadas por **árvores de arruamento**.

Todas as ruas do Porto foram classificadas de acordo com a presença ou ausência de arborização de arruamento. Entende-se como **rua arborizada** aquela onde a árvore surge como elemento presente em alinhamento contínuo ao longo dos seus troços constituintes. Todas as ruas onde a árvore surge de forma esporádica ou descontínua, sem constituir um alinhamento claro, é considerada rua não arborizada.

O seu mapeamento foi registado da seguinte maneira: para todas as ruas, abordadas nos seus diferentes troços, estimou-se visualmente, com o auxílio de ortofotomapas e registo espacial do arvoredo, a presença ou ausência de alinhamentos de árvores de arruamento e verificou-se se estes constituíam pelo menos 50% da extensão dos seus troços. Neste sentido, em situações em que o troço da rua evidencia a presença de árvores de arruamento em 50% ou mais da sua extensão, é classificado como troço de rua arborizado. Quando o troço da rua evidencia presença de árvores de arruamento em menos de 50% da sua extensão, é classificado como troço de rua não arborizado.

Para realizar o trabalho de inventariação da arborização de arruamento recorreu-se às bases cartográficas disponibilizadas pela Câmara Municipal do Porto referentes ao arvoredo total da cidade, inventariado até ao final de maio de 2021. Estas bases integram a localização de cada exemplar arbóreo, assim como a sua descrição de acordo com diversos atributos, nomeadamente a espécie. Foi feita uma classificação das espécies existentes de acordo com a dimensão da sua copa na maturidade, que é um dos fatores determinantes para a viabilidade da implantação das árvores nas ruas. Como já foi anteriormente referido, é empiricamente seguro afirmar que a maioria das espécies dominantes no Porto atingem a sua jovem maturidade ao fim de 20-30 anos. A estimativa da largura da copa de cada espécie teve em conta que uma árvore em ambiente urbano encontra mais restrições ao seu desenvolvimento natural, como acontece especialmente em contexto de solos mais impermeabilizados e compactados, e será mais difícil atingir os valores máximos estimados para a sua altura e largura. Desta forma, estimou-se que a **largura expectável da copa** neste tipo de ambiente será de aproximadamente menos 20% do que a largura máxima atingida em contexto natural (Sander set al., 2014). Importa, no entanto, referir que estes valores

são estimados, podendo ser diferentes das expectativas humanas. Neste processo obtiveram-se três classes:

- **Árvores de copa estreita:** largura expectável da copa inferior a 4m.
- **Árvores de copa média:** largura expectável da copa igual ou superior a 4m e inferior a 8m.
- **Árvores de copa larga:** largura expectável da copa igual ou superior a 8m.



Figura 9 - Exemplos de: a) árvore de copa estreita, *Prunus cerasifera* var. *atropurpureum*; b) árvore de copa média, *Liquidambar styraciflua*; c) árvore de copa larga, *Platanus x acerifolia*.

A identificação de todos os exemplares arbóreos associados às ruas do Porto permitiu também definir a espécie dominante em cada rua (pelo maior número de exemplares) e estudar com detalhe diferentes características dessa espécie, especialmente a largura expectável da copa, sazonalidade, origem e carácter invasor. Outros atributos foram ainda abordados, estando todos coligidos em anexo.

A disposição da arborização foi outra característica tida em conta, pois revela a localização, a posição e o arranjo espacial das árvores e respetivos alinhamentos na rua. Consideraram-se assim quatro categorias de disposição (Figura 10):

- **Alinhamento unilateral:** compreende os alinhamentos de árvores que se localizam apenas num dos lados da rua, apresentando uma assimetria ao nível da arborização em corte transversal, considerando-se de igual forma alinhamento únicos ou duplos.
- **Alinhamento bilateral:** compreende os alinhamentos de árvores que se localizam nos dois lados da rua, paralelamente ao longo do troço e apresentando simetria ao nível da arborização em corte transversal, considerando-se de igual forma alinhamento únicos ou duplos;

- **Alinhamento central:** compreende os alinhamentos de árvores que se localizam sobre o eixo ou centro da rua, considerando-se de igual forma alinhamento únicos ou duplos;
- **Alinhamento múltiplo:** compreende os alinhamentos de árvores que se localizam ao longo do troço em mais de dois locais da rua, não constituindo alinhamentos exclusivamente unilaterais, bilaterais ou centrais.

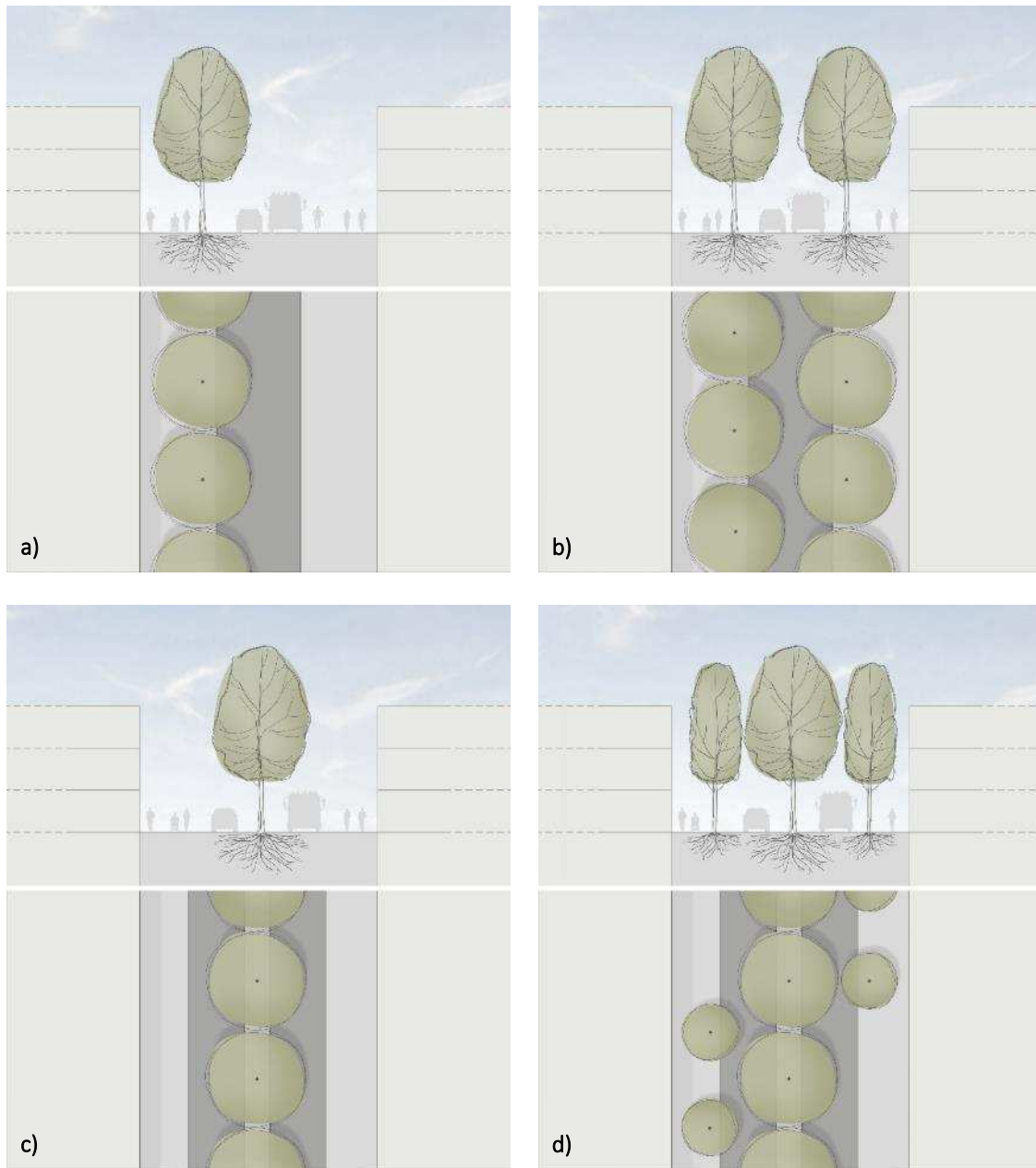


Figura 10 - Representação esquemática dos diferentes tipos de arborização de arruamento: a) alinhamento unilateral; b) alinhamento bilateral; c) alinhamento central; d) alinhamento múltiplo.

3.3. Tipologia de ruas de acordo com a sua dimensão largura

A largura da rua inclui todos os elementos constituintes dos corredores de circulação, como passeios, faixas de rodagem automóvel, cicloviás e zonas de estacionamento, considerando os

seus limites até às fachadas dos edifícios ou limites das propriedades adjacentes. Devido aos constrangimentos de tempo e limitações das bases de dados disponibilizadas, foi adotado um método expedito para a classificação da largura das ruas, uma vez que seria impraticável medir a largura exata de todas as ruas da cidade. Com vista a organizar e facilitar a caracterização das ruas, foram criadas cinco classes de largura, obtidas através da **relação entre a largura da copa da árvore e a largura da rua**, como explicado no capítulo anterior na formulação da **hipótese da menor rua arborizada**.

• Ruas muito estreitas (largura <10m):

Uma rua muito estreita apresenta uma largura inferior a 10m, o que será insuficiente para combinar um alinhamento de árvores de copa estreita (até 4m de largura), com um corredor pedonal ou viário que cumpram as dimensões mínimas.

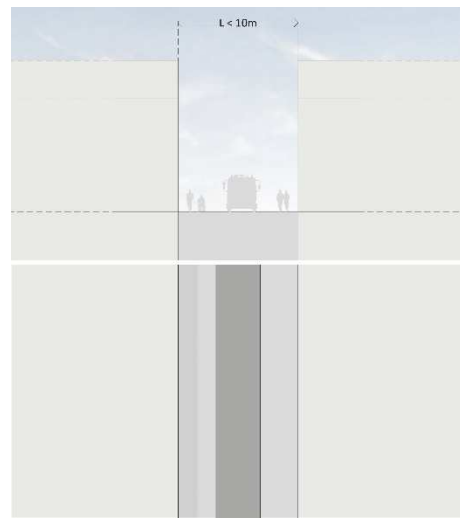


Figura 11 - Representação esquemática de uma rua muito estreita.

• Ruas estreitas (10m ≤ largura <14m):

Uma rua estreita manifesta uma largura igual ou superior a 10m, mas inferior a 14m, e também apresenta constrangimentos de espaço. No entanto, esta dimensão permite a combinação de um corredor pedonal com as dimensões mínimas, um canal viário que permite o acesso a veículos de emergência e um alinhamento de **árvores de copa estreita** (até 4m de largura), ou até dois alinhamentos se a posição dos indivíduos arbóreos for desfasada, garantindo também um metro de afastamento do limite da rua.

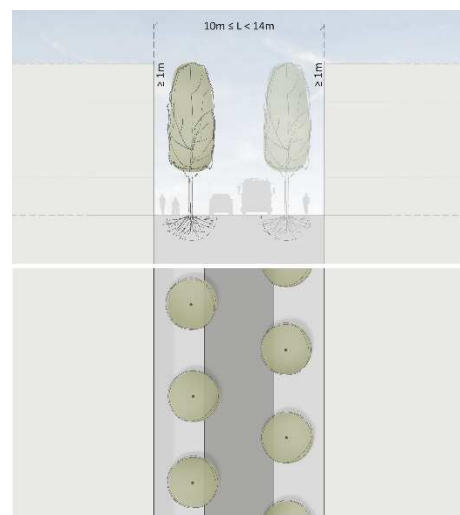


Figura 12 - Representação esquemática de uma rua estreita.

• Ruas médias ($14m \leq \text{largura} < 18m$):

Uma rua média tem uma largura igual ou superior a 14m e inferior a 18m. Nestes casos, verifica-se oportunidade de fluxos semelhante aos das ruas anteriores, mas, aos corredores de circulação, poderão ser acrescentados um ou dois alinhamentos de **árvores de copa média** (de 4 a 8m de largura), garantindo sempre um metro de afastamento do limite da rua.

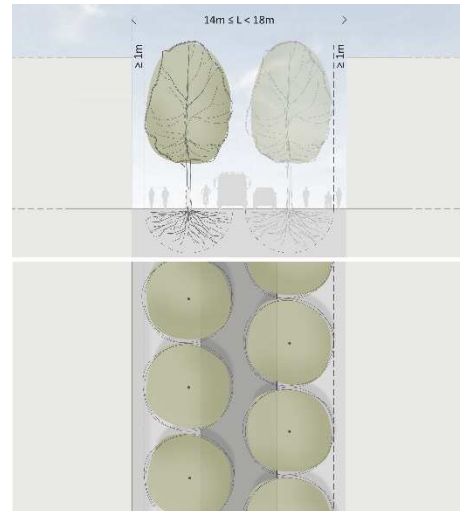


Figura 13 - Representação esquemática de uma rua média.

• Ruas largas ($18m \leq \text{largura} < 26m$):

Uma rua larga apresenta uma largura igual ou superior a 18m e inferior a 26m. Verificam-se maiores oportunidades de espaço e conseqüentemente de fluxos e atividades; aos corredores de circulação pedonal e de veículos, poderão ser acrescentados um ou dois alinhamentos de **árvores de copa larga** (de largura superior a 8m), mantendo um metro de afastamento do limite da rua.

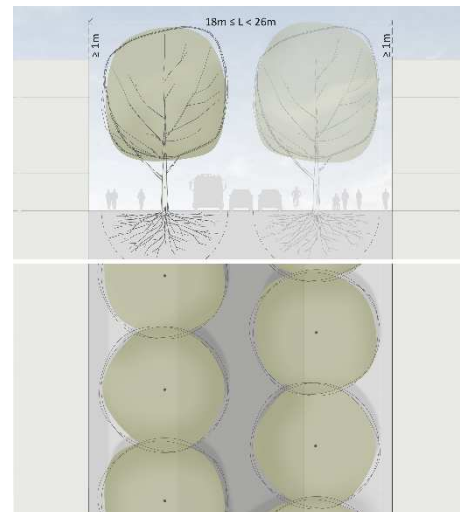


Figura 14 - Representação esquemática de uma rua larga.

• Ruas muito largas ($\text{largura} \geq 26m$):

Uma rua muito larga tem uma largura igual ou superior a 26m, o que permite uma grande flexibilidade de fluxos e atividades. A diversos corredores de circulação poderão ser integrados alinhamentos de **árvores de copa larga** (de largura superior a 8m) ou composições de alinhamentos de árvores de diversos tamanhos de copa, articulados entre si; em qualquer das situações, garante-se sempre, pelo menos, um metro de afastamento do limite da rua. Considerando as dimensões extraordinárias deste tipo de ruas, a arborização poderá também ser complementada com outros tipos de estrutura verde.

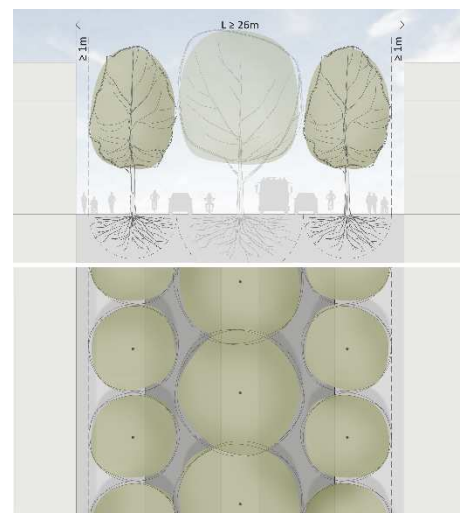


Figura 15 - Representação esquemática de uma rua muito larga.

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e arborização existente

Na cidade do Porto foram identificados 3557 troços de rua que correspondem a 533,7km. A existência de inúmeros troços próximos da dimensão mínima mapeável (30m) revela a elevada complexidade e heterogeneidade desta malha. Como exemplo desta particularidade, pode referir-se o caso da Avenida da Boavista, um dos maiores eixos da cidade, mas que foi neste trabalho repartido em 11 troços diferentes devido à constante variação em relação à sua largura e tipo de arborização. Por outro lado, salienta-se a Avenida do Marechal Gomes da Costa (com 1,5km) que apresentam características uniformes ao longo de toda a sua extensão.

4.1. Largura das ruas



Figura 16 - Mapa das ruas classificadas de acordo com a sua largura.

A classificação de todas as ruas do Porto de acordo com a sua dimensão **largura** resultou na trama apresentada na Figura 16. De um modo geral, as classes de largura mais reduzida são mais abundantes e as classes de largura elevada são mais escassas (Figura 17).

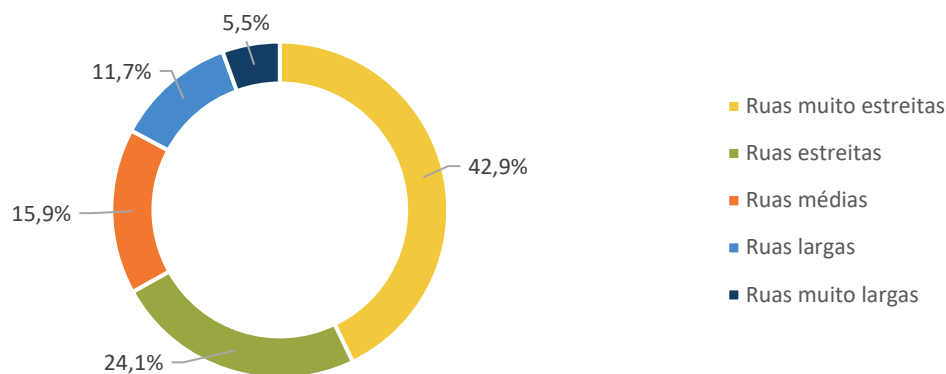


Figura 17 - Proporções das classes das ruas classificadas de acordo com a sua largura.

4.1.1. Ruas muito estreitas

As ruas com maior representatividade na cidade do Porto correspondem à classe das **ruas muito estreitas**, com dimensões de largura inferior a 10 metros, perfazendo 228,8km ou 42,9% das ruas da cidade. Estas ruas muito estreitas encontram-se dispersas por toda a cidade do Porto, havendo, contudo, uma concentração mais óbvia nos aglomerados urbanos mais antigos da cidade como o Centro Histórico e a Foz Velha. Fora destas zonas, a maioria destas ruas localizam-se em zonas habitacionais mais compactas, como os bairros de casas económicas de António Aroso, Amial, Condominhas, Paranhos, S. Roque da Lameira e Colónia Estêvão de Vasconcelos (Bairro dos Castelos), assim como em zonas que mantém ainda um carácter marcadamente rural, como a área de Campanhã junto ao rio Torto (núcleos de Areias, Azevedo, Meiral e S. Pedro de Azevedo). Contudo, podemos também destacar nesta categoria ruas mais estruturantes ao nível da distribuição dos fluxos, como por exemplo a Rua da Vilarinha, Rua de Tânger, Rua do Tenente Valadim, troços da Rua de Pedro Hispano, Rua do Almada, Rua do Bonjardim e troços da Rua de S. Roque da Lameira (Figura 18).

4.1.2. Ruas estreitas

As **ruas estreitas** distribuem-se equitativamente por toda a cidade, em 128,4km (24,1% das ruas). Revelam-se nesta classe alguns eixos estruturantes dos principais fluxos da cidade, e ruas associadas a zonas de edificação isolada de habitação coletiva (por exemplo, os Bairros da Fonte da Moura, Dr. Nuno Pinheiro Torres, Regado e Outeiro) e habitação unifamiliar (por exemplo, o Bairro da Vilarinha). Algumas ruas importantes que se podem destacar são: 1) a oeste – Rua do Crasto, Rua do Molhe, troços da Rua do Marechal Saldanha e troços da Rua das Condominhas; 2) a norte e oriente, contribuindo para a ligação com os concelhos limítrofes – Rua Monte dos Burgos, Rua do Amial, Rua de Costa Cabral, troços da Rua de S. Roque da Lameira, Rua das Escolas, Rua do Falcão e Rua do Cerco do Porto; 3) no centro da cidade – Rua de Santa Catarina, Rua da Alegria, Rua de D. João IV, Rua de Santos Pousada, Rua da Boavista, troços da Rua de Passos Manuel, Rua de Fernandes Tomás, Rua Antero de Quental, Rua de Latino Coelho e Rua Nova de S. Crispim (Figura 18).

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes



Figura 18 - Exemplos de ruas muito estreitas: a) Rua do Almada, b) Rua do Bonjardim; e ruas estreitas: c) Rua de Fez, d) Rua de Passos Manuel.

4.1.3. Ruas médias



Figura 19 - Exemplos de ruas médias: a) Rua de Sá da Bandeira, b) Rua de Faria Guimarães, c) Rua Dr. Corino de Andrade.

A classe de **ruas médias**, entre os 14 e os 18m de largura, corresponde a 84,8km, representando 15,9% da extensão total de ruas. Não parece haver um padrão claro na distribuição destas ruas, existindo alguns eixos importantes ao longo de toda a cidade, como: 1) a oeste – troços da Rua de Gondarém, Rua de Diogo Botelho, Rua das Sobreiras, troços da Rua de Fez, Rua de Sagres, Rua do Lidador, Rua de Delfim Ferreira, Rua do Engenheiro Ezequiel de Campos, troços da Rua do

Campo Alegre; 2) no centro – Rua da Restauração, troços da Rua Nova da Alfândega, Rua de Sá da Bandeira (Figura 19), troços da Rua de Passos Manuel, troços da Rua de Camões, troços da Rua de Faria Guimarães (Figura 19), Rua de Serpa Pinto, Rua da Constituição, Rua Alexandre Herculano; 3) a oriente – Avenida de Paiva Couceiro, Rua Dr. Corino de Andrade (Figura 19) e Rua de Nossa Senhora do Calvário. Nota-se também uma associação a algumas zonas residenciais com génese nos anos de 1940-1950, como o Bairro do Marechal Gomes da Costa, Bairro de Guerra Junqueiro e complexo urbanístico do Sul das Antas (a poente da Praça Dr. Francisco Sá Carneiro).

4.1.4. Ruas largas



Figura 20 - Exemplos de ruas largas: a) Rua do Marechal Saldanha, b) Rua de S. João de Brito, c) Avenida das Congostas, d) Avenida de Rodrigues de Freitas, e) Rua de Pinto Bessa.

As **ruas largas**, com largura compreendida entre os 18 e os 26m, contabilizam 62,2km de ruas, o que corresponde a apenas 11,7% das ruas da cidade. Nesta categoria, encontram-se algumas das grandes avenidas do Porto, assim como outras artérias importantes: 1) a oeste: troço da Rua de Gondarém, troço da Rua do Marechal Saldanha, troços da Rua do Jornal de Notícias, Avenida do Dr. Antunes Guimarães, Avenida Vasco da Gama, Rua de S. João de Brito, Rua Cinco de Outubro, troços da Rua do Ouro e Rua de D. Pedro V; 2) a norte: Avenida da Cidade de Xangai, Avenida das Congostas, Avenida do Conselho da Europa, Rua de João Andresen, troço da Rua de Faria Guimarães, troço da Rua do Dr. António Bernardino de Almeida, troço da Rua do Dr. Roberto Frias, troço da Rua de Augusto Lessa e Avenida dos Combatentes da Grande Guerra; 3) no centro: Rua de Nossa Senhora de Fátima, Rua de Júlio Dinis, Avenida de Rodrigues de Freitas, Avenida de Camilo e Rua de Mouzinho da Silveira; 4) a oriente: Avenida de Fernão de Magalhães, Rua de Pinto Bessa, Avenida da Cidade de León (Figura 20).

4.1.5. Ruas muito largas

A classe que corresponde a **ruas muito largas**, com dimensão igual ou superior a 26m, completa um total de 29,5km, apenas 5,5% das ruas do Porto. Nota-se uma preponderância deste tipo de ruas na zona ocidental da cidade, com a presença de grandes avenidas icónicas como a Avenida da Boavista, a Avenida do Marechal Gomes da Costa, a Avenida de Montevideu e a Avenida do Brasil. Embora com menos expressividade, esta classe está também presente a norte, representada pelas Alameda do Professor Hernâni Monteiro, Rua Alfredo Allen e Alameda de Eça de Queiroz; no centro salientam-se a Avenida dos Aliados, troço da Rua de Damião de Góis e troço da Rua de Gonçalo Cristóvão; a oriente destacam-se a Alameda das Antas, Alameda da Cruz Vermelha Portuguesa, Alameda de Cartes e Avenida Francisco Xavier Esteves (Figura 21).



Figura 21 - Exemplos de ruas muito largas: a) Rua de Damião de Góis, b) Avenida da Boavista.

4.2. Arborização de arruamento

4.2.1. Ruas arborizadas e não arborizadas



Figura 22 - Mapa de presença de arborização de arruamento.

Neste capítulo analisam-se as ruas da cidade do Porto de acordo com a presença de árvores, tendo sido classificadas em ruas arborizadas e ruas não arborizadas (ver definição proposta no capítulo 3.2), como ilustrado na Figura 22.

Na cidade do Porto existem 156,1km de **ruas arborizadas**, o que corresponde a 29,2% das ruas da cidade (Figura 23). A distribuição espacial das ruas arborizadas é bastante desigual na cidade, havendo uma clara concentração na zona ocidental, onde a arborização ocorre maioritariamente em grandes eixos como a Avenida da Boavista, Avenida de Montevideu, Avenida do Brasil, Avenida do Marechal Gomes da Costa, Avenida do Dr. Antunes Guimarães, Rua de Diogo Botelho, Rua do Campo Alegre e Rua de Guerra Junqueiro (Figura 24); também ocorre em ruas de menor dimensão localizadas em zonas como o Bairro de Marechal Gomes da Costa, o Bairro de Guerra Junqueiro ou a Cooperativa SACHE. A norte destacam-se as ruas da Zona Industrial, das urbanizações da Prelada, envolvente do Hospital de S. João e Pólo universitário da Asprela. Na parte oriental da cidade, merecem referência a Avenida de Fernão de Magalhães, várias ruas da zona das Antas e as novas artérias de Campanhã (Rua Dr. Corino de Andrade, Alameda da Cruz Vermelha Portuguesa, Alameda de Cartes, Avenida Artur de Andrade, Avenida Francisco Xavier Esteves e Avenida da Cidade de León). No centro da cidade as ruas arborizadas são menos frequentes, mas podem destacar-se alguns eixos, já mencionados anteriormente, como a Rua de Damião de Góis, Rua de Sá da Bandeira, Rua de Gonçalo Cristóvão, Avenida dos Aliados e Avenida de Rodrigues de Freitas; deve notar-se também que uma parte substancial da arborização das ruas nesta zona parece estar simultaneamente associada a espaços verdes emblemáticos como a Praça da República, Jardim de Carrilho Videira (Carregal), Jardim de João Chagas (Cordoaria) e o Jardim de Paulo Vallada.

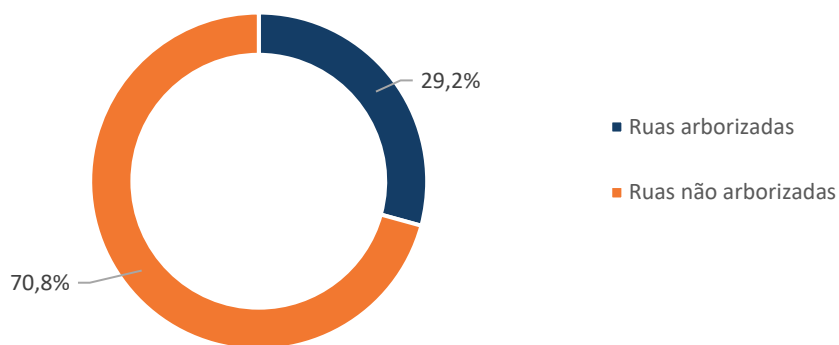


Figura 23 - Proporção de ruas arborizadas e ruas não arborizadas.

A maioria das ruas da cidade do Porto está, assim, incluída na categoria de **ruas não arborizadas** (377,6km; 70,8%). Para além do Centro Histórico e Foz Velha, a maior concentração de ruas não arborizadas encontra-se na zona mais central da cidade (zona interior da Via de Cintura Interna - VCI), podendo referir-se alguns eixos importantes como a Rua de Monte dos Burgos, Rua de Oliveira Monteiro, Rua da Boavista, Rua de Pedro Hispano, Rua da Constituição, Rua do Amial, Rua de Vale Formoso, Rua de Antero de Quental, Rua do Barão de Forrester, Rua de Cedofeita, Rua do Bonjardim, Rua de Santa Catarina, Rua da Alegria, Rua de D. João IV, Rua de Costa Cabral e Rua do Bolhão (Figura 24).



Figura 24 - Exemplo de: a) rua arborizada: Rua de Guerra Junqueiro, e b) rua não arborizada: Rua do Bolhão.

A presença reduzida de ruas arborizadas na zona sudeste da cidade pode ser justificada pelas menores taxas de urbanização que aí se verificam; contudo, a árvore surge nesta zona como elemento dominante da paisagem, embora num contexto mais rural ou florestal.

Cruzando a classificação das ruas de acordo com a sua largura com a classificação das ruas de acordo com a presença de arborização, obtêm-se os resultados ilustrados no gráfico da Figura 25.

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes

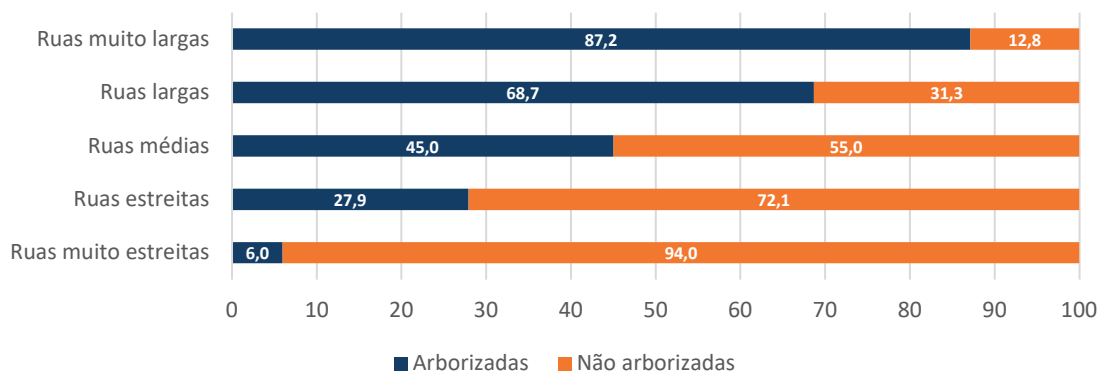


Figura 25 - Proporção de ruas arborizadas e ruas não arborizadas em cada classe de largura de rua.

Como seria expectável, a grande maioria das ruas muito estreitas não são arborizadas (94,0%; 215,1km), contudo existem ainda algumas ruas com estas características que são arborizadas. É importante referir que a arborização nestas ruas surge geralmente associada a espaços verdes parcelares, onde a árvore tem mais oportunidades para se desenvolver livremente, como é o caso da Rua de Manuel Bandeira (Figura 26). Existem também casos particulares de ruas muito estreitas onde a arborização surge dentro do espaço-canal (não associada a qualquer espaço parcelar), posicionando-se a árvore no centro da rua, como sucede na Rua de Santa Maria (Figura 26).

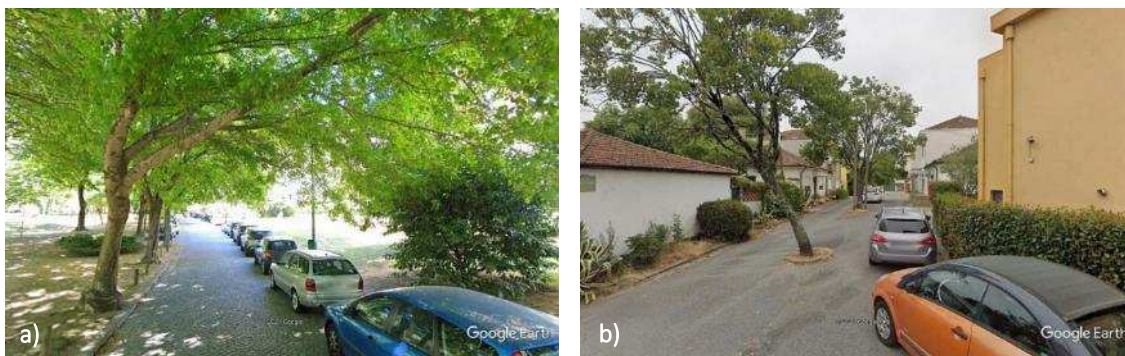


Figura 26 - Exemplos de ruas muito estreitas arborizadas: a) Rua de Manuel Bandeira; b) Rua de Santa Maria. Origem das imagens: Google Earth.

De modo semelhante, as ruas estreitas também são predominantemente não arborizadas (72,1%; 92,6km). As ruas médias dividem-se de forma mais equitativa entre ruas arborizadas (45,0%; 38,2km) e ruas não arborizadas (55,0%; 46,6km). No caso das ruas largas e muito largas, nota-se já uma preponderância de ruas arborizadas: 68,7% das ruas largas são arborizadas e 87,2% das ruas muito largas são arborizadas.

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes

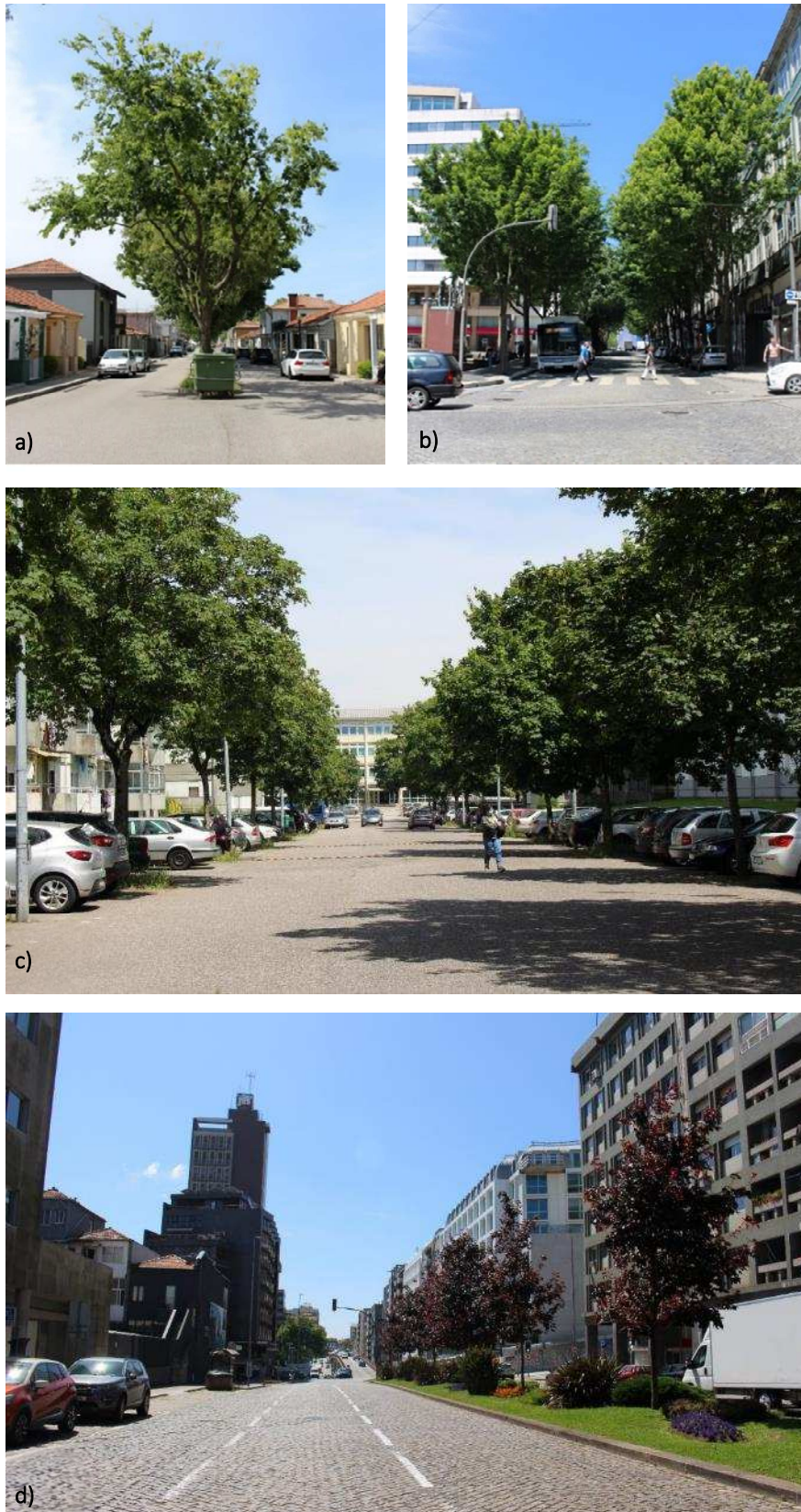


Figura 27 - Exemplos de: a) rua estreita arborizada, Avenida Flor da Rosa com *Acer negundo* e *Celtis australis*; b) rua média arborizada, Rua de Sá da Bandeira com *Acer rubrum*; c) rua larga arborizada, Alameda de 25 de Abril com *Acer pseudoplatanus*; d) rua muito larga arborizada, Rua de Gonçalo Cristóvão com *Acer platanoides* 'Crimson King'.

4.2.2. Espécies de árvores de arruamento

Para a contagem do número de indivíduos, teve-se por base o inventário arbóreo disponibilizado pelo município (datado de maio de 2021) e obtiveram-se 20 154 árvores que participam no conjunto das ruas do Porto, o que corresponde a cerca de 30% do arvoredo da cidade.

A mesma base de dados foi utilizada para o estudo da diversidade da população de árvores de arruamento. Foram feitas algumas correções aos nomes científicos das espécies de forma a serem utilizados os nomes aceites nas bases de dados oficiais da flora mundial (WFO, 2021).

No Porto foram contabilizadas 45 famílias, 102 géneros e 219 espécies de árvores associadas às ruas da cidade. As **famílias** mais representadas são as seguintes: Sapindaceae (19,3%), Malvaceae (9,9%), Platanaceae (8,7%), Fagaceae (8,0%), Oleaceae (7,1%) e Celtidaceae (6,9%). Os **géneros** mais representados são: *Acer* (15,9%), *Platanus* (8,7%), *Tilia* (8,1%), *Quercus* (7,0%), *Celtis* (6,9%) e *Liquidambar* (5,4%; Figura 28).

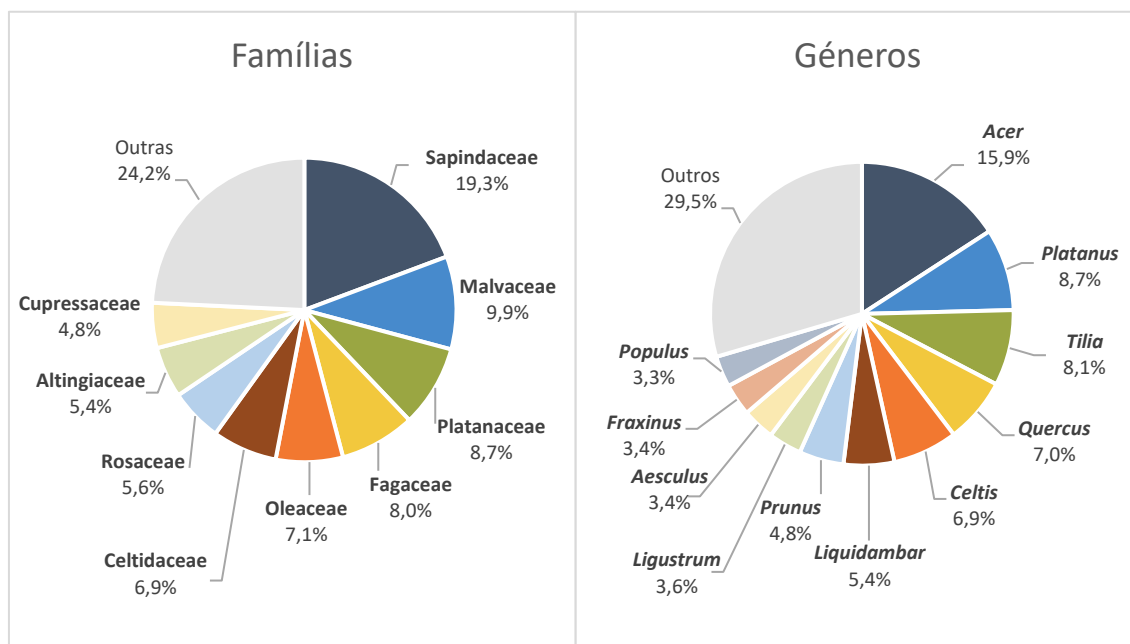


Figura 28 - Gráfico da população de árvores de arruamento distribuída por família e género.

As **espécies** de árvore de arruamento **mais abundantes ao nível do conjunto das ruas**, por ordem decrescente de importância, são: *Platanus x acerifolia*, *Celtis australis*, *Acer negundo*, *Liquidambar styraciflua*, *Tilia x europaea* e *Quercus rubra* (Figura 29); estas 6 espécies constituem 35,3% da população de árvores de arruamento.

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes

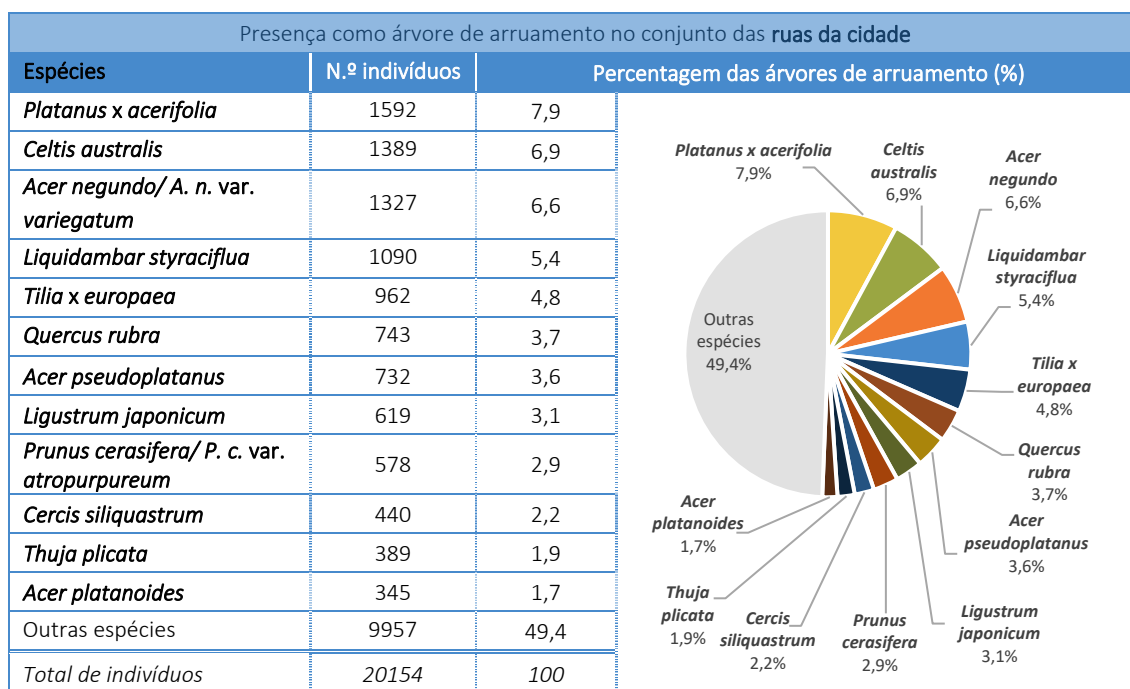


Figura 29 - Quantificação das árvores de arruamento no conjunto das ruas da cidade, por número de indivíduos.

A análise das espécies mais abundantes foi igualmente feita para cada uma das ruas. Na Figura 30, pode verificar-se que as **espécies mais abundantes ao nível de cada rua** são: *Platanus x acerifolia*, *Celtis australis*, *Acer negundo*, *Liquidambar styraciflua*, *Tilia x europaea* e *Quercus rubra*. De um modo geral, verifica-se que as espécies mais abundantes ao nível do conjunto das ruas da cidade correspondem também às espécies mais abundantes ao nível da rua.

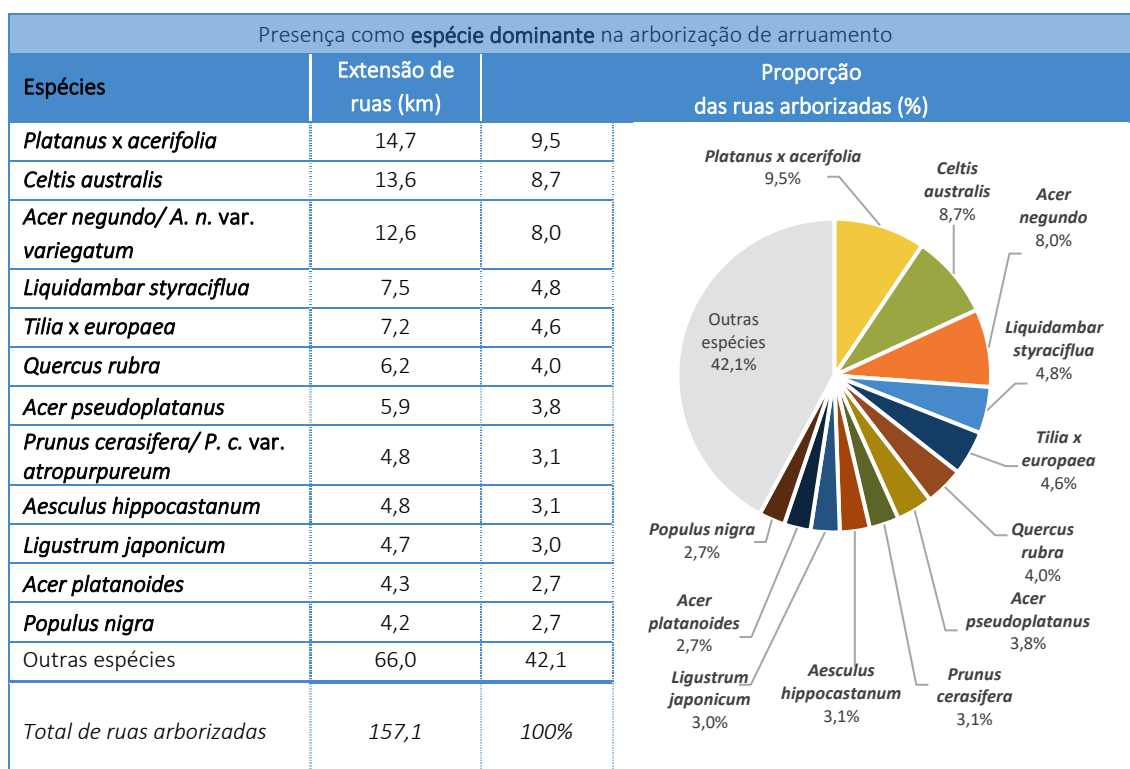


Figura 30 - Quantificação das espécies de arruamento dominantes em cada troço de rua.

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes



Figura 31 - Exemplos de espécies de arruamento relevantes na cidade: a) *Celtis australis*, Rua do Dr. José de Figueiredo; b) *Prunus cerasifera* var. *atropurpureum*, Rua de Soares de Passos; c) *Acer pseudoplatanus*, Alameda de 25 de Abril; d) *Platanus x acerifolia*, Rua de Camões; e) *Liquidambar styraciflua*, Rua de Faria Guimarães.

Deve também referir-se que, das 219 espécies de árvores de arruamento, apenas 100 foram consideradas dominantes na rua. Isto deve-se ao facto de algumas espécies terem apenas uma presença pontual ou constituírem apenas pequenos alinhamentos com pouca relevância na extensão total do troço de rua. Existem espécies que são abundantes ao nível do conjunto das ruas da cidade, contudo, nunca manifestam carácter dominante ao nível de cada rua; isto é, estão presentes em muitas ruas, mas em número reduzido em cada uma delas. Destaca-se o exemplo da *Thuja plicata*, da qual se registaram 389 exemplares no conjunto das ruas da cidade, mas esta só é dominante em apenas nove troços de rua (Figura 32).



Figura 32 - *Thuja plicata* na Rua do Engenheiro Custódio Guimarães.

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes

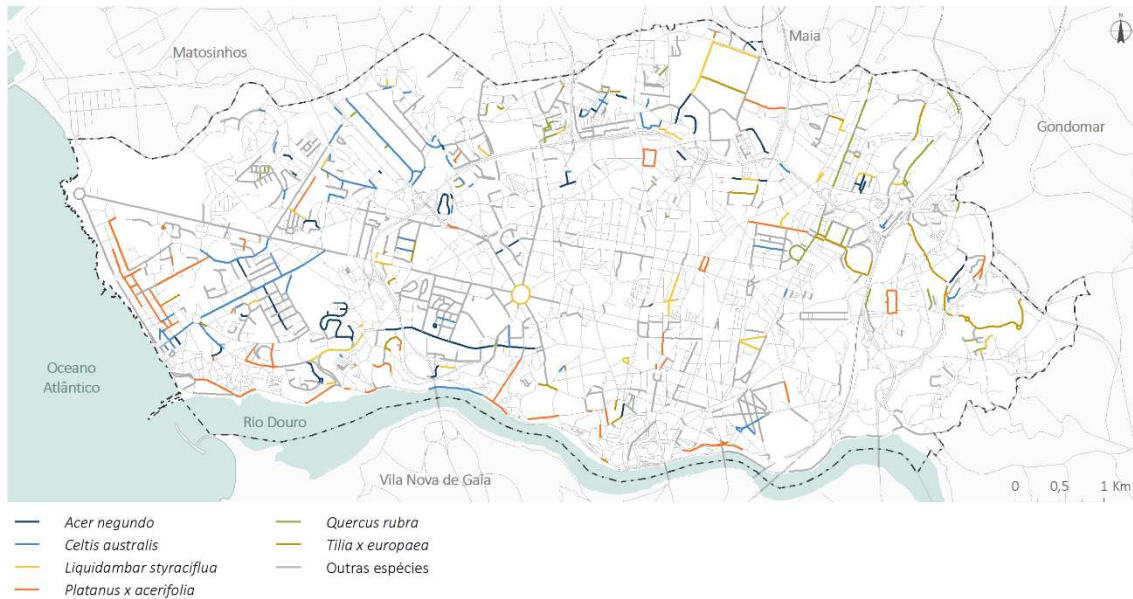


Figura 33 - Mapa das espécies dominantes em cada rua.

Analisando os padrões espaciais da distribuição das **principais espécies dominantes em cada rua** (Figura 33), verifica-se uma maior ocorrência destas espécies na zona ocidental, onde se podem destacar as ruas da Foz Nova (Rua de Gondarém, Rua do Marechal Saldanha, Rua do Crasto) arborizadas com *Platanus x acerifolia*, a Rua de Fez e a Avenida do Marechal Gomes da Costa arborizadas com *Celtis australis*, e a Rua do Campo Alegre arborizada com *Acer negundo*. Nas zonas norte e oriental da cidade, também se verifica a presença das principais espécies dominantes ao longo de eixos importantes; são exemplo disso a Avenida de Fernão de Magalhães, predominantemente arborizada com *Quercus rubra*, e as novas avenidas de Campanhã (Alameda das Antas, Alameda de Cartes, Avenida Francisco Xavier Esteves), dominadas por *Tilia x europaea*.

Para cada rua arborizada, a espécie dominante é seguidamente caracterizada de acordo com vários parâmetros: largura expectável da copa, sazonalidade, origem e estatuto de espécie invasora.



Figura 34 - Mapa de ruas arborizadas classificadas pela largura expectável da copa da espécie dominante.

Um dos parâmetros mais relevantes no âmbito do presente trabalho consiste na **largura expectável da copa**, cuja distribuição pode ser observada na Figura 34 e Figura 35. As espécies de copa larga (superior a 8m) são dominantes em 44,2% das ruas arborizadas da cidade, podendo destacar-se, por exemplo, algumas ruas da Foz Nova e grandes avenidas das Antas e Campanhã. As espécies que atingem uma largura média de copa (superior a 4m e igual ou inferior a 8m) são as mais abundantes em 39,4% das ruas arborizadas, como em troços da Avenida da Boavista e da Avenida da França, Avenida do Marechal Gomes da Costa, Avenida do Dr. Antunes Guimarães, Rua do Campo Alegre, Avenida dos Aliados, Rua de Passos Manuel, Avenida de Fernão de Magalhães e Alameda da Cruz Vermelha Portuguesa. Por sua vez, as espécies de copa estreita (inferior ou igual a 4m) predominam em apenas 16,4% das ruas arborizadas (por exemplo, Rua de Júlio Dinis, Rua de Cinco de Outubro e ruas do Bairro de Guerra Junqueiro).

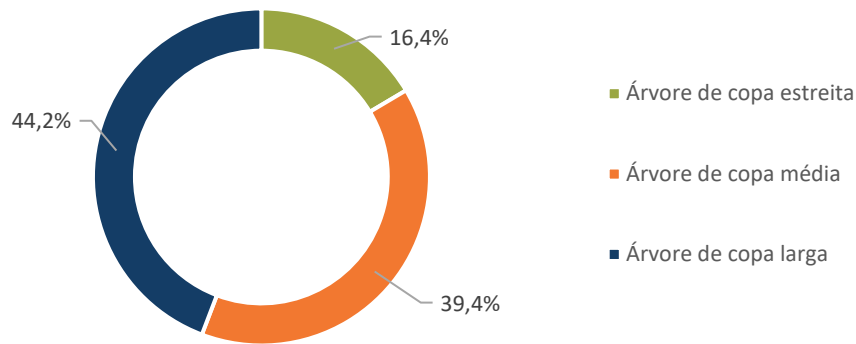


Figura 35 - Proporção das ruas arborizadas com árvore de copa estreita, média e larga.

A relação entre a largura da copa da árvore e a largura da rua é salientada neste trabalho como uma das principais condicionantes à arborização de arruamento, o que conduziu à análise cruzada destes dois parâmetros (Figura 36). Os resultados sugerem que não existe uma distinção óbvia das diferentes classes de largura de rua de acordo com as classes de árvores existentes, sendo que existe uma dominância de espécies de copa média e larga em todas as classes de largura de rua. Evidencia-se aqui que as árvores de copa média ocorrem com maior frequência do que seria esperado nas classes de ruas mais reduzida; exemplo desta situação pode ser visto na Rua da Galeria de Paris, rua muito estreita arborizada com *Ginkgo biloba*. Do mesmo modo, são abundantes as ruas estreitas e médias arborizadas com espécies de copa larga; por exemplo, o *Platanus x acerifolia* que está presente em locais como troços da Rua do Crasto e da Rua de Marechal Saldanha (ruas estreitas) e Rua da Restauração (rua média), e a *Celtis australis* é dominante na Rua de Diu, na Avenida Flor da Rosa (ruas estreitas) e na Rua de Joaquim António de Aguiar (rua média).

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes

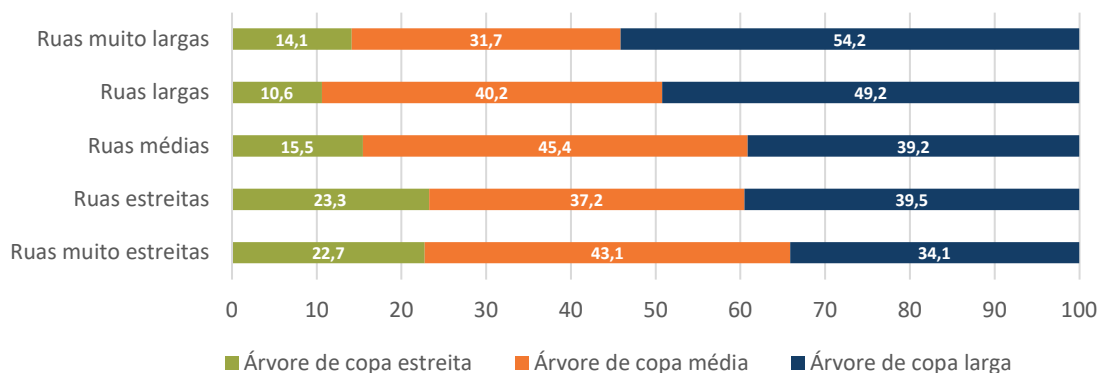


Figura 36 - Proporção de ruas arborizadas classificadas de acordo com a sua largura e a largura expectável da copa de espécie dominante.



Figura 37 - Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo a sazonalidade da espécie dominante.

A **sazonalidade** da espécie dominante de cada rua é também um fator a ter em conta. A Figura 37 revela que a maioria das ruas do Porto são predominantemente arborizadas com espécies de folha caduca (89,2%), existindo apenas algumas exceções, como por exemplo, a Avenida de Montevideu, arborizada com *Metrosideros excelsa*, ou a Rua de Júlio Dinis e a Rua de Cinco de Outubro, arborizadas com *Ligustrum lucidum/japonicum*, ambas espécies perenifólias.

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes



Figura 38 - Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo a origem da espécie dominante.

As espécies dominantes foram também classificadas de acordo com a sua **origem** (Figura 38). Os resultados revelam que cerca de 80% das ruas arborizadas recorrem a espécies alóctones, ou seja, espécies que não são naturais do nosso território. Podem aqui salientar-se alguns casos em que foram selecionadas espécies autóctones para a arborização de arruamento, como a Avenida Marechal Gomes da Costa e a Avenida de Vasco da Gama, ambas com *Celtis australis*, a Rua de S. João de Brito com *Acer pseudoplatanus*, um troço da Rua de Damião de Góis com *Populus alba* e um troço da Rua António Cardoso e a Rua do Dr. Roberto Frias, ambas com *Fraxinus angustifolia* (Figura 39).



Figura 39 - Exemplos de ruas arborizadas com espécies autóctones: a) Avenida de Vasco da Gama com *Celtis australis*; b) Rua do Dr. Roberto Frias com *Fraxinus angustifolia*.

4. Caracterização das ruas da cidade do Porto: largura da rua e árvores existentes



Figura 40 - Mapa das ruas arborizadas classificadas segundo o estatuto da espécie dominante.

Por outro lado, a Figura 40 mostra que mais de 8% das ruas arborizadas, são dominadas por espécies classificadas como **espécies invasoras**, segundo o Decreto-Lei n.º 92/2019, potencialmente contribuindo para a propagação destas espécies problemáticas na generalidade do território. As espécies invasoras que dominam a arborização de algumas ruas são: *Acer negundo*, *Acacia longifolia*, *Eucalyptus globulus*, *Albizia julibrissin* e *Robinia pseudoacacia*. Desta lista, destaca-se o *Acer negundo* que constitui uma das árvores de arruamento mais abundantes na cidade, marcando a presença, por exemplo, na Rua do Campo Alegre (Figura 41), Rua de Paulo da Gama, Rua de Oliveira Martins, Avenida de Camilo e Rua do Peso da Régua.



Figura 41 - *Acer negundo* na Rua do Campo Alegre.

4.2.3. Tipos de alinhamento de arborização

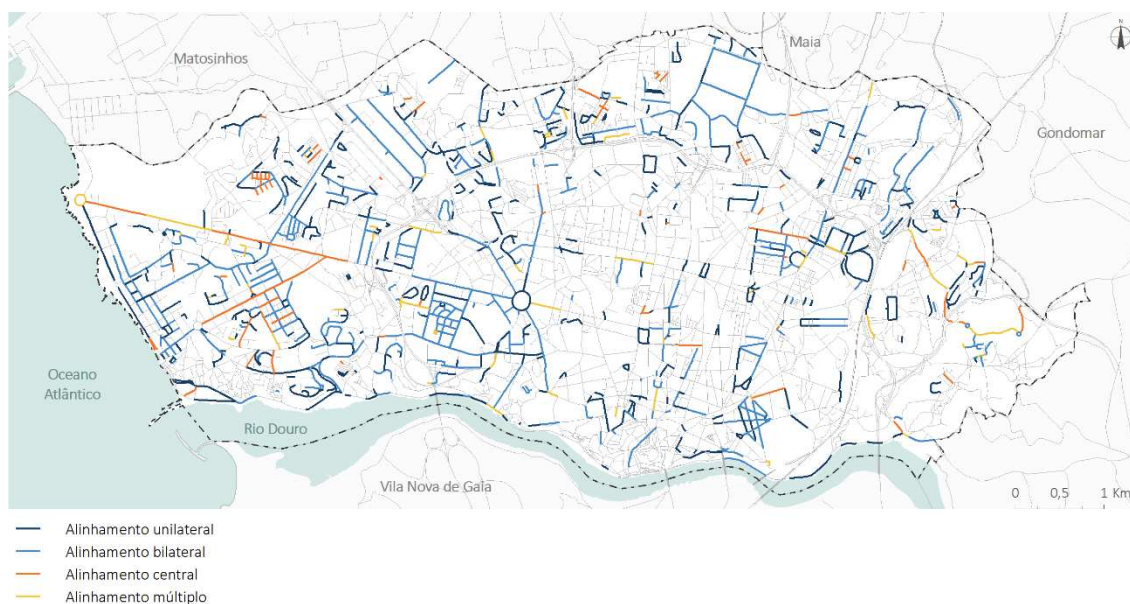


Figura 42 - Mapa das ruas arborizadas segundo o tipo de alinhamento da arborização.

Quanto ao tipo de alinhamento da arborização (Figura 42), verificou-se que 44,7% das ruas arborizadas apresentam alinhamentos bilaterais e 40,5% apresentam alinhamentos unilaterais (Figura 43).

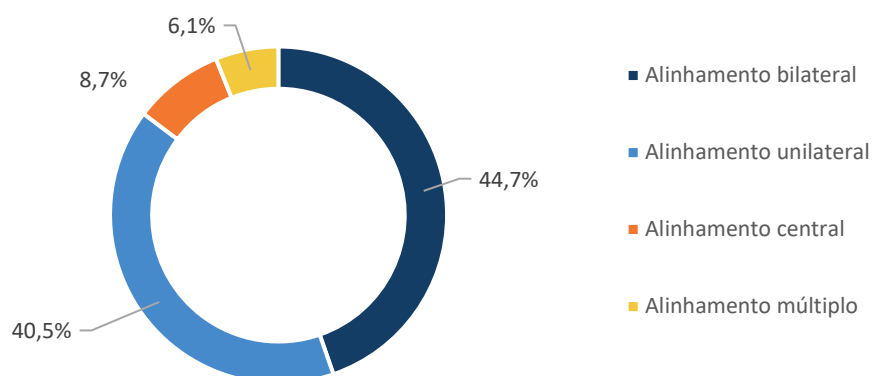


Figura 43 - Proporção das ruas arborizadas classificadas com o tipo de alinhamento da arborização.

A zona ocidental da cidade apresenta uma maior densidade de ruas arborizadas bilateralmente, onde se pode destacar, por exemplo, a Avenida do Dr. Antunes Guimarães, Rua do Crasto, Rua do Marechal Saldanha, Rua de S. João de Brito e Rua de Cinco de Outubro, Rua de António Cardoso, Rua do Campo Alegre e Rua de Guerra Junqueiro (Figura 44). A zona norte possui também alguns eixos importantes com esta configuração, como a Rua do Dr. António Bernardino de Almeida, Rua do Dr. Roberto Frias, Avenida de Fernão de Magalhães e Rua Dr. Corino de Andrade (Figura 44).



Figura 44 - Exemplos de ruas com alinhamentos bilaterais: a) Rua de Guerra Junqueiro, arborizada com *Aesculus x carnea*; e b) Rua Dr. Corino de Andrade, arborizada com *Tilia x europaea*.

As ruas arborizadas unilateralmente encontram-se dispersas por toda a cidade, não se concentrando especialmente em nenhuma área. Alguns exemplos de ruas arborizadas unilateralmente são a Rua de António Patrício, a Avenida Paiva Couceiro, a Rua do Barão de S. Cosme e Rua do Barão de Nova Sintra (Figura 45).



Figura 45 - Exemplo de uma rua arborizada com alinhamento unilateral: Rua do Barão de Nova Sintra (*Grevillea robusta*).

Os alinhamentos centrais e múltiplos são pouco abundantes na cidade e ocorrem em casos especiais. Ruas como a Avenida dos Combatentes da Grande Guerra, a Avenida de Camilo, a Alameda de Cartes e a Avenida do Marechal Gomes da Costa são casos emblemáticos onde as árvores surgem num alinhamento no centro da rua, tanto único como duplo (Figura 46). Os casos de alinhamentos múltiplos são muito escassos e resumem-se a situações como a Rua da Venezuela, a Avenida da Boavista (sobretudo a este da rotunda da Boavista), a Alameda das Antas e a Avenida do Bessa, em que a arborização surge num separador central e nas laterais do arruamento.



Figura 46 - Exemplos de ruas arborizadas com alinhamentos centrais: a) Avenida de Camilo, *Acer negundo* e b) Avenida Flor da Rosa, *Celtis australis*.

4.3. Ruas associadas a espaços parcelares



Figura 47 - Mapa das ruas associadas a espaços parcelares, que não são consideradas na fase de diagnóstico.

Existem ruas que manifestam arborização, embora esta não esteja implantada diretamente no espaço-canal que as define, mas sim num espaço verde que lhe é imediatamente adjacente; por exemplo, na Avenida de Vasco da Gama as árvores que lhe conferem o caráter de rua arborizada estão implantadas nos espaços verdes adjacentes pertencentes ao Bairro de Campinas (Figura 48). A influência da arborização das ruas também se reflete nos espaços adjacentes a estas, podendo gerar oportunidades se o espaço parcelar permitir a existência da árvore, ou gerar conflitos se o espaço parcelar antagonizar com esta; esta situação é mais evidente em casos de ruas de largura reduzida, como por exemplo na Rua do Dr. Aarão de Lacerda que confina com o Parque Desportivo de Ramalde / INATEL (Figura 48).

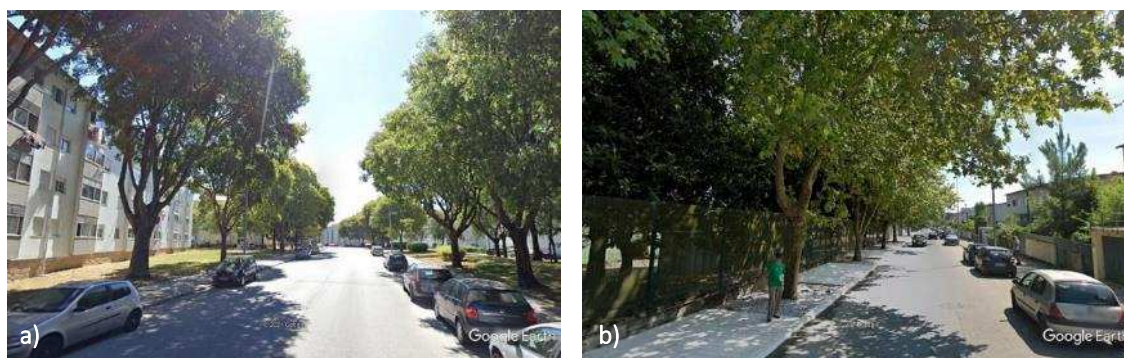


Figura 48 - a) Avenida de Vasco da Gama, onde a arborização do espaço parcelar participa na rua; b) Rua do Dr. Aarão de Lacerda, cuja arborização influencia e é influenciada pelo espaço parcelar adjacente. Origem das imagens: Google Earth.

Neste sentido, o planeamento da arborização deverá ter em conta o potencial introduzido pela existência de **espaços parcelares** adjacentes às ruas. No contexto do Porto, estes correspondem a espaços abertos não construídos, podendo ter solo permeável e vegetação, como por exemplo jardins ou praças (apenas foram considerados os espaços parcelares com uma área igual ou

superior a 300m²). Nestes locais, as árvores implantadas nas ruas terão mais espaço para expandir as suas copas sem gerar conflitos com fachadas de edifícios ou propriedades privadas; igualmente, as árvores implantadas no interior do espaço parcelar podem sobrepor a sua copa sobre o espaço-canal, participando na arborização da rua.

A Figura 47 apresenta, os principais espaços parcelares que poderão influenciar a arborização de arruamento, identificando as ruas a eles associadas. Os troços das ruas sujeitos a esta condição merecem uma avaliação diferente adaptada a este contexto, uma vez que nestes casos o espaço para a árvore não depende apenas da dimensão da rua, gerando espaços muito diferentes; neste sentido, não se enquadram no diagnóstico da arborização de arruamento.

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto

A rua: uma escala de análise

A intervenção humana no suporte biogeofísico tem causado impactes de grande magnitude em todos elementos do ecossistema – flora, fauna, solo, água e ar: no coberto vegetal, substituindo as espécies autóctones por outras mais desejadas, frequentemente por razões estéticas; na fauna, tanto pela exterminação de espécies consideradas repulsivas como pela destruição dos espaços onde se alimentavam, viviam e reproduziam; no solo, reconstruindo o seu perfil vertical para instalar as redes de abastecimento de água, energia e comunicações e impermeabilizando-o para instalar uma panóplia de equipamentos e infraestruturas que acomodam a produção, armazenamento e distribuição de bens e serviços; nos cursos de água, criando barragens, desviando-os do seu leito ou entubando-os, poder aproveitá-los tanto para o abastecimento como para a produção de energia ou até simplesmente para conquistar espaço utilizável para outros fins. Neste processo de reconfiguração do território para usos diversos, os seres humanos reconstruíram os vários mosaicos ecossistémicos locais à medida dos seus sonhos, orientados por modelos internacionais ancorados na convicção da capacidade ilimitada da ciência, da tecnologia e da disponibilidade infinita de recursos naturais e energia barata.

A flora natural foi, dentre todos os elementos do ecossistema, um dos mais delapidados. Neste processo de reestruturação do território para implementar sobretudo os modelos de urbanização tidos, nas últimas décadas, como os preferidos e os mais eficazes para dar resposta às expectativas de bem-estar e qualidade de vida de mais 56% dos 7,9 biliões de pessoas que habitam atualmente espaços urbanizados no planeta (83% na América do Norte, 81% na América Central e Sul, 75% na Europa, 51% na Ásia e 44% em África). Neste processo, a valorização da flora passou a ponderar preferencialmente a estética em detrimento de todos os seus outros atributos designadamente os de regulador térmico, higrométrico e anemométrico, sumidouro de dióxido de carbono e de outros poluentes ou de cenário promotor de saúde física e mental. A sua substituição voraz por espécies florísticas menos conflituosas com a maioria das funções urbanas ocorreu tão rapidamente que não permitiu, na maioria dos casos, compreender os impactes provocados, por exemplo, no sistema climático à escala local, regional, zonal e global.

As consequências desta interpretação recente do tipo de contexto promotor de qualidade de vida e bem-estar para os seres humanos multiplicou-se e contagiou praticamente a todas as latitudes sinalizando um padrão de desenvolvimento exigido por quase todos os seres humanos independentemente da latitude, do clima, da geomorfologia, da hidrologia ou das características sociais, económicas, políticas e culturais.

Este esforço de redesenhar os espaços vividos à imagem dos modelos de sucesso protagonizados por *endorsements* admirados universalmente e divulgados por todo o globo a uma velocidade alucinante impediu, aos seres humanos, o tempo necessário para observar, refletir e perceber as relações de causalidade entre cada uma das suas intervenções e as consequências, por exemplo, no balanço energético, no ciclo hidrológico, na qualidade do ar ou na saúde física e mental. Esse atropelo dos tempos modernos toldou até a investigação dedicada à inventariação das causas e

consequências das manifestações de mudança climática. Note-se que os processos de urbanização foram considerados pela primeira vez como uma das causas mais relevantes para explicar as modificações observadas no sistema climático global apenas no quinto e último relatório publicado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2015). Até então, a importância deste estímulo antrópico local para as manifestações de mudança climática global tinha sido ignorado em todos os relatórios do IPCC.

Dentre os vários elementos modificadores da equação do balanço energético causadores de rearranjos no sistema climático, a diminuição da área e da diversidade dos espaços verdes, típica em todas as áreas urbanizadas, é um fator muito relevante e bastante ilustrativo da severidade dos riscos que podem emergir quando dispensamos uma interpretação sistémica, holística e multiescalar em qualquer decisão sobre o planeta.

As opções de novos usos do solo, a artificialização da superfície terrestre, a proliferação de múltiplas volumetrias, a diversidade de atividades e a multiplicação de novos modos e ritmos de vida, propiciaram o fornecimento de muito mais energia para a baixa atmosfera e a sua captura sob o *canopy layer* (Figura 49). Este superavit energético coincidiu com a eliminação de consumidores naturais como são a água, o solo ou a flora. O que provocou condições para a acumulação local, regional, zonal e global de balanços energéticos constantemente positivos e, portanto, diferentes de zero, como seria desejável. A flora, pelo consumo de água, pela evapotranspiração, pela absorção de compostos gasosos pelo efeito de estufa, pelo sombreamento, etc. foi, por exemplo, um dos elementos que ao ser diminuído ou mesmo erradicado, contribuiu substantivamente para a criação de novos mosaicos climáticos (Figura 50).

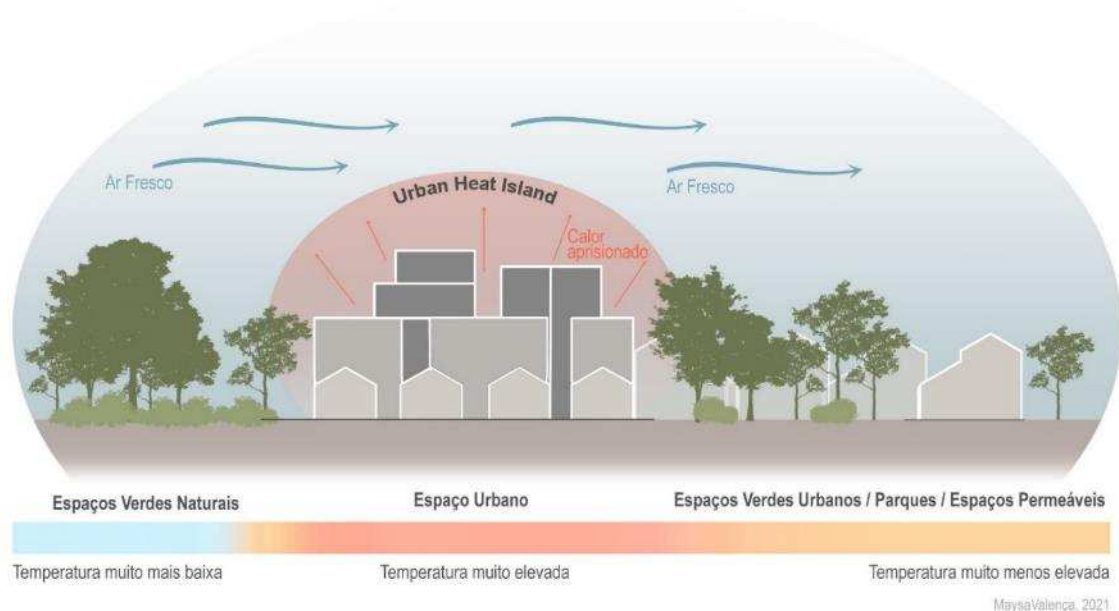


Figura 49 - Impactes do uso do solo no sistema climático. Adaptado de Siddique et al. (2020).

Contudo, as características caóticas do sistema climático não facilitaram, em tempo útil, o diagnóstico. Por outro lado, a opção preferencial por uma análise *top-down* também não ajudou os investigadores a perceberem a grande relevância das aparentemente pequenas alterações do suporte biogeofísico implementadas localmente. As experiências, bastante recentes, de

incluir também uma perspetiva de avaliação *bottom-up* na análise dos estímulos que podem explicar o comportamento do sistema climático, ajudou substantivamente a compreensão dos impactes de cada ação antrópica nos níveis de resolução do sistema climático hierarquicamente superiores. E tornou muito mais clara a relação entre a escolha de cada peça do puzzle urbano e o mosaico climático local gerado. Esta leitura *bottom-up* reorientou o foco da análise para a importância dos detalhes no resultado final observado. Passou por isso a tornar-se mais óbvio que o conhecimento científico e a inovação tecnológica podem e devem privilegiar como objetivo a curto e médio prazo a busca de mais conforto bioclimático à escala local porque é mais simples, eficaz, pedagógica e mobilizadora. A oferta local de soluções geradoras de melhor qualidade de vida e bem-estar é muito mais motivadora de mudanças de atitude e de expectativas de qualidade de vida ao mesmo tempo que contribui para impedir perturbações indesejáveis do sistema climático à escala regional, zonal e global.

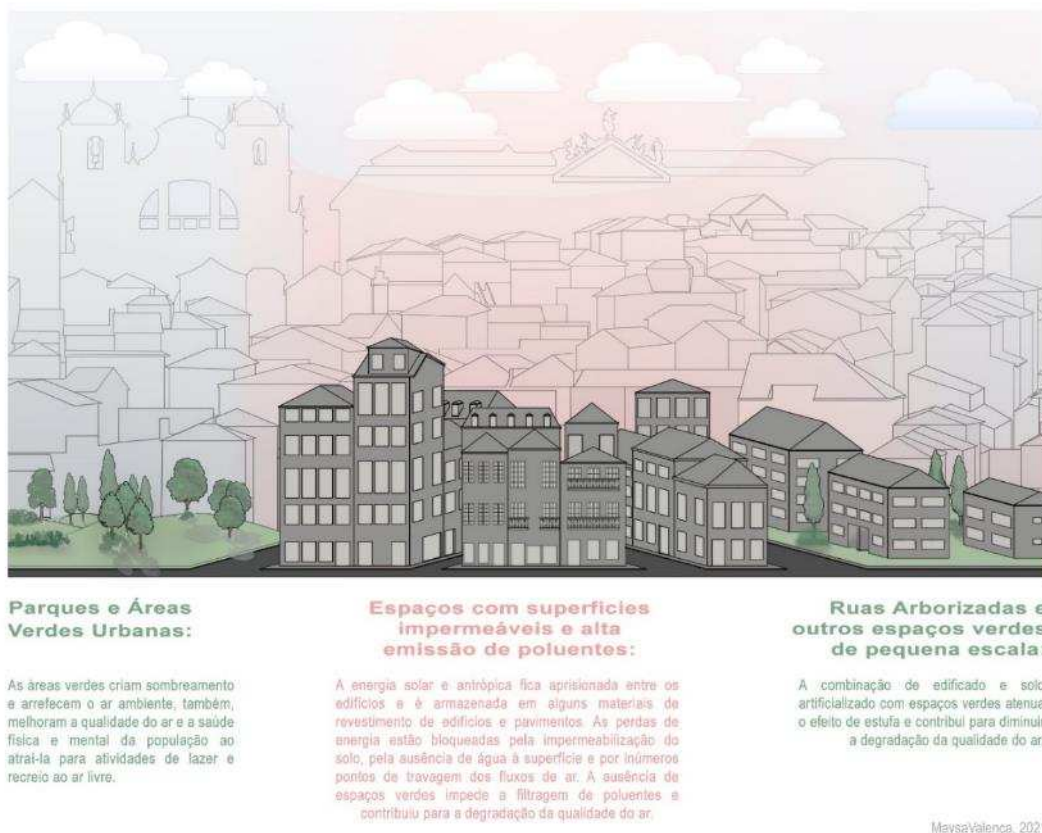


Figura 50 - Estímulos climáticos gerados pela urbanização. Adaptado de Exterior Architecture (2019).

Todavia, o diagnóstico dos mosaicos climáticos abaixo do *canopy layer* exige um plano de monitorização complexo que não é alimentado nem pelas fontes de dados tradicionais, nem pelo arsenal instrumental e metodológico habitualmente disponível. O detalhe necessário implica a leitura integrada do comportamento da matrioska climática à mesoescala, à escala local e à microescala (Figura 51).

À mesoescala, é necessário considerar o sítio e a posição geográfica (latitude, proximidade ao mar e ao rio, diferenciação altimétrica, etc.), a inclinação dos raios solares e o estado de tempo. À escala local é preciso adicionar ao atrito natural a rugosidade artificial, as formas e volumetrias, a diversidade de elementos presentes e o metabolismo existente. E, à escala da rua – microescala

– é essencial estimar como é que os comportamentos de cada um dos elementos climáticos nas duas escalas espaciais anteriores são modificados de acordo com a orientação, a exposição, o *Aspect Ratio*, o *Sky View Factor* e as características físico químicas específicas dos vários elementos, materiais, formas e volumes.

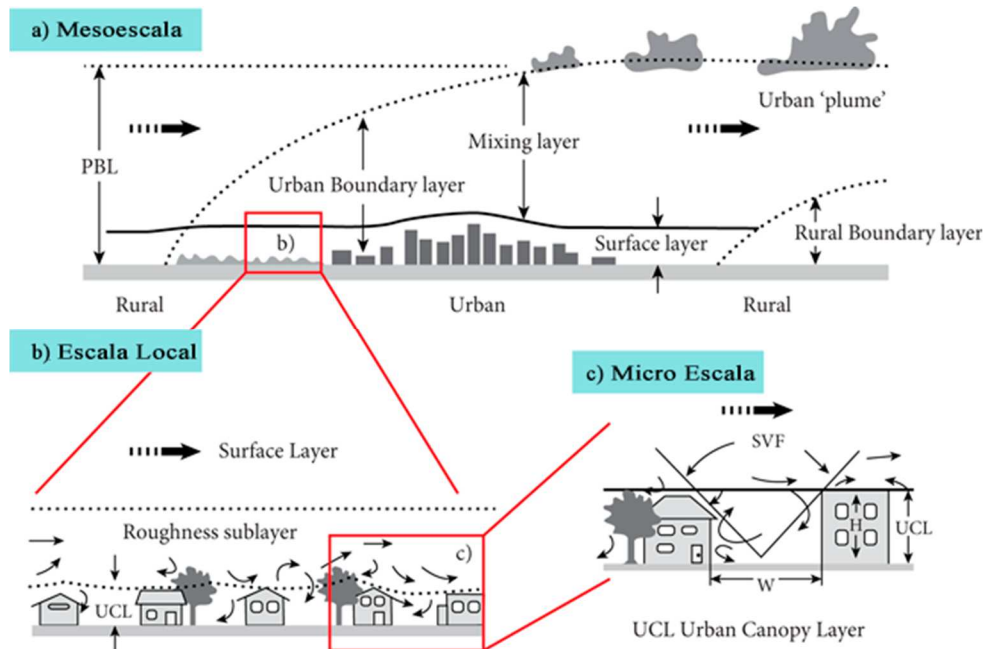
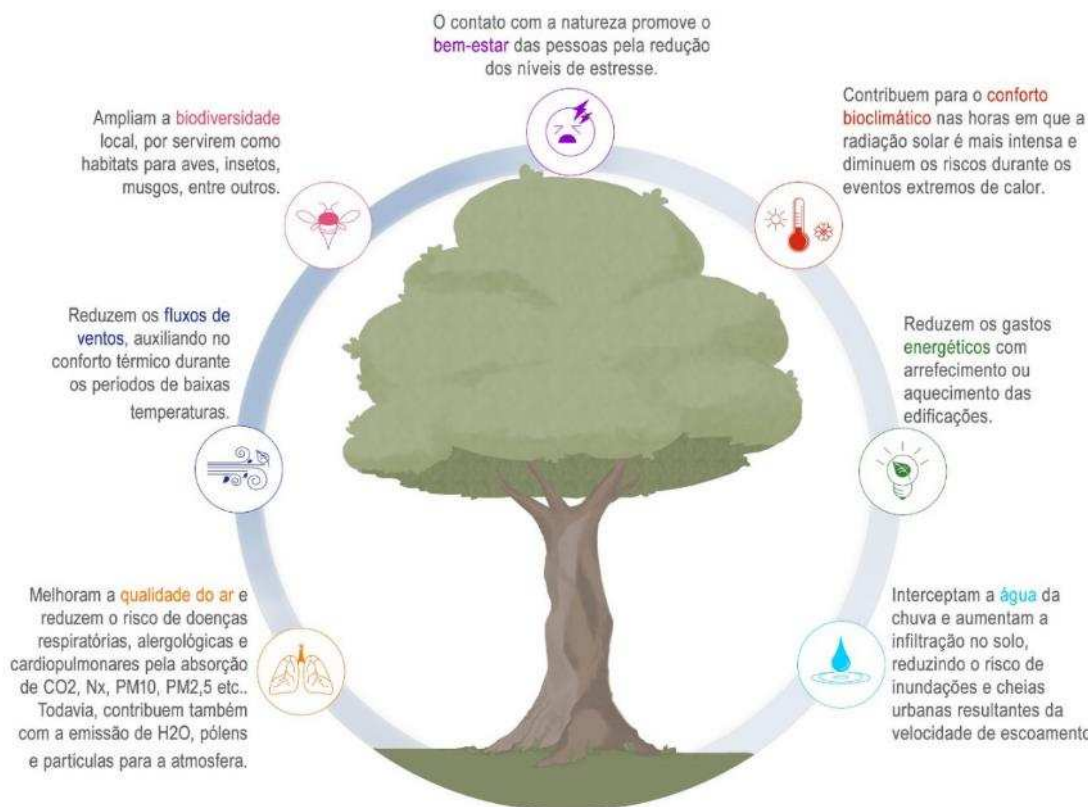


Figura 51 - Condicionantes específicas da matrioska climática. Adaptado de Oke et al.(2017).

Esta complexidade é particularmente expressiva nas latitudes onde a altura do Sol e a duração dia/noite são muito distintas ao longo do ano como acontece no Porto. À microescala, apesar do conjunto de elementos naturais e artificiais ser mais ou menos fixo, o balanço energético varia bastante ao longo do dia e do ano condicionando as manifestações da temperatura, da humidade, da nebulosidade ou da velocidade e direção do vento junto ao solo.

E, só depois de compreender detalhadamente o comportamento termo-higro-anemométrico à escala espacial da copa urbana – *canopy layer* – protagonizada pela rua, é possível identificar com clareza o papel que cada um dos elementos presentes desempenha no mosaico climático e escolher, com base na evidência científica, as melhores opções para oferecer conforto, qualidade de vida e bem-estar indoor e outdoor para os seres humanos sem perturbar a harmonia entre os restantes elementos do ecossistema. Para cumprir este desígnio, a árvore recuperou definitivamente o seu papel enquanto instrumento de planeamento fundamental em espaços urbanizados que ambicionam ser cada vez mais saudáveis, inteligentes, inclusivos e adaptados aos riscos climáticos.

E, por isso, a arborização urbana tem sido incluída em várias cidades nas estratégias de adaptação aos riscos climáticos - causados e/ou amplificados pelos espaços urbanos -, para além de contribuírem para enriquecer o ecossistema urbano (Oke et al., 2017), uma vez que contribuem também para melhorar a qualidade do ar, a saúde e o bem-estar de forma geral para além de atraírem outras formas de vida selvagem (Figura 52).



Maysa Valença, 2021.

Figura 52 - Os benefícios da arborização urbana

Todavia, a introdução da árvore como instrumento de planeamento sustentável de espaços urbanizados implica um diagnóstico a várias escalas e em múltiplas dimensões. Para cumprir os objetivos pretendidos, é necessário realizar um diagnóstico detalhado, dedicado e cirúrgico dos vários elementos naturais e artificiais existentes no local em concreto, para que a árvore possa ser de facto uma terapêutica adequada e não mais um elemento perturbador. Para isso, é indispensável conhecer o contexto climático regional e, depois, fazer uma leitura pormenorizada dos vários mosaicos climáticos abaixo do *canopy layer*, analisando a combinação natural e artificial existente em cada quarteirão. A esta escala espacial de análise, cada rua e avenida tem de ser observada como um fundo de vale na nova morfologia artificial criada. E, como estes eixos viários foram sempre fundamentais para a circulação de pessoas e bens, conectando todos os espaços, públicos e privados, e definindo uma boa parte do metabolismo urbano, são inúmeros e têm contornos geométricos muito diversos em todas as cidades.

Neste trabalho, o nosso foco será centrado precisamente nestes canais de circulação – a rede viária municipal portuense - e que é definida como o espaço existente entre as fachadas do edificado ou entre as “fronteiras” de um não construído, contendo a faixa de circulação, os passeios, as ciclovias, as árvores ou quaisquer outros mobiliários urbanos. A rua fica, portanto, no plano da superfície terrestre abaixo do *canopy layer* e corporiza de facto aquilo que percebemos do espaço público vivido.

O contexto climático urbano portuense

Começamos então pela mesoescala caracterizando o contexto climático portuense atual (Figura 53). A sucessão de estados de tempo no Porto resulta da sua localização geográfica (41°N; 8°W) e da reconfiguração artificial esculpida ao longo dos seus mais de vinte séculos de história a partir do pequeno aglomerado celta existente na foz do rio Douro – Portus Cale (sec.I a.c).

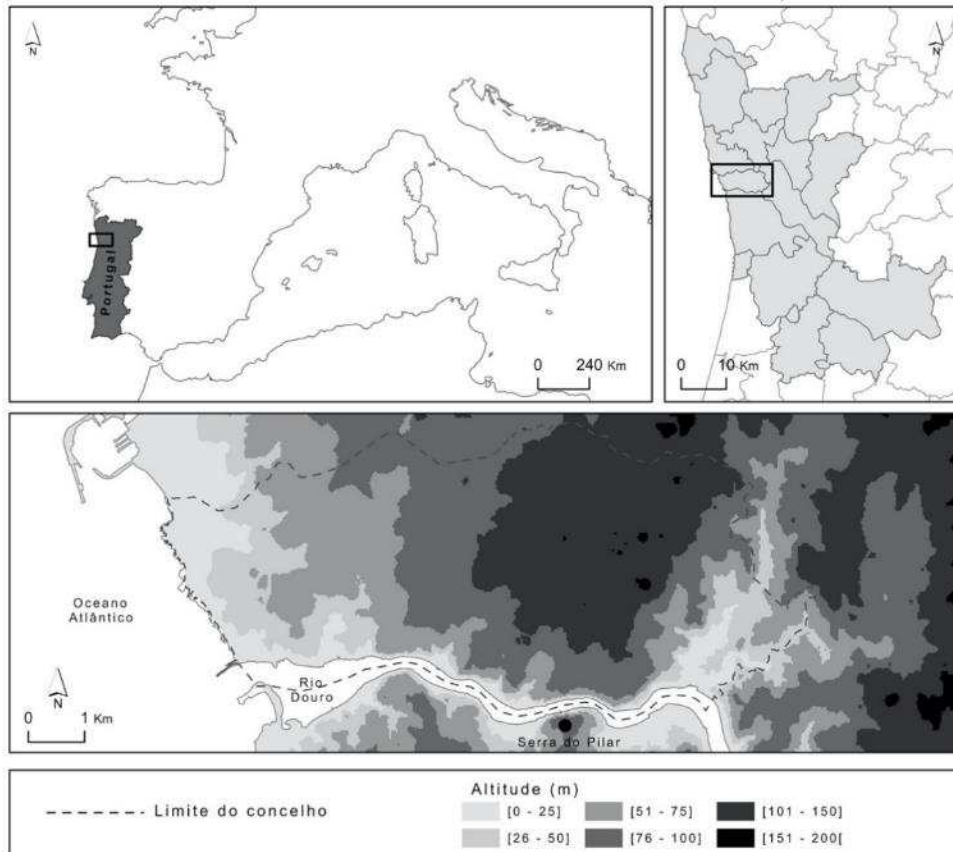


Figura 53 - Enquadramento geográfico do concelho do Porto.

Estando no NW da Península Ibérica, na faixa costeira atlântica, o Porto sofre a influência da corrente zonal de oeste que, depois de atravessar as Montanhas Rochosas tem um longo trajeto marítimo, e tem aqui o seu primeiro contacto com uma área continental. As características deste fluxo de ar, à chegada ao litoral português, dependem do posicionamento e dos atributos momentâneos de um importante aparelho barométrico – o Anticiclone dos Açores – que ora lhe facilita, ora lhe dificulta a aproximação com as características que foi adquirindo no seu longo trajeto oceânico. Para além destes dois atores, a contiguidade a duas massas continentais compactas – a Península Ibérica e o Norte de África – promotoras da formação frequente de aparelhos barométricos de origem térmica diversos na estação quente e na estação fria, fazem com que o Porto, apesar de pertencer ao subtipo climático Atlântico (Daveau, 1988) assista frequentemente, consoante a situação sinóptica presente, a condições de conforto termo-higro-anemométrico bastante distintas (CMP, 2018) (Figura 54).

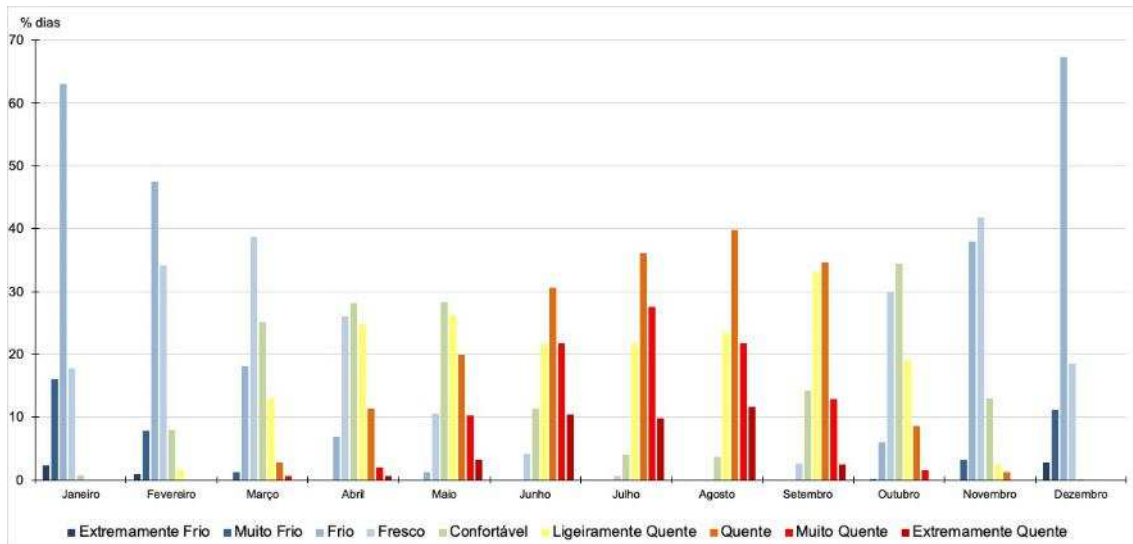


Figura 54 - Conforto bioclimático no Porto estimado a partir da PET (“Physiologically Equivalent Temperature”) mensal no Porto entre 2002-2016. Adaptado de CMP (2018)

Esta condição geográfica explica o ritmo estacional portuense caracterizado por um inverno moderadamente fresco nas áreas mais próximas do mar, e frio ou muito frio nas áreas mais abrigadas do interior e nas altitudes mais elevadas, e um verão moderadamente quente, frequentemente influenciado pelos ventos de NW e pelos nevoeiros de advecção matinais junto ao litoral e, quente ou muito quente nas áreas afastadas da ação moderadora do atlântico ou de maior altitude (CMP, 2018). A precipitação pode ocorrer em qualquer mês do ano embora seja mais frequente e mais intensa na estação mais fria do ano. A humidade relativa é na maioria dos dias muito elevada (> 70%) e são frequentes os nevoeiros de advecção junto ao litoral e os de radiação nas áreas com maior diferenciação altimétrica. Os ventos predominantes no verão são de NW, N e E enquanto no Inverno são de E, SE e NW (CMP, 2018). A velocidade média do vento ronda os 20-25 km/h (5,5m/s - 6,9 m/s) e é muito frequente a presença tanto das brisas terra-mar como a brisa vale-topo da montanha (CMP, 2018).

A intensa artificialização do território esculpiu alterações profundas na micromorfologia e na fisiologia interna da cidade, introduzindo modificações consideráveis na temperatura, na humidade e na velocidade e no rumo dos ventos (Figura 55; Figura 56). No Porto, como em todos os espaços urbanos, são frequentes as anomalias térmicas positivas, o aumento da secura higrométrica e as grandes e rápidas modificações do sentido e velocidade do vento. A magnitude destas modificações é proporcional à intensidade da artificialização existente assim como ao modo como cada uma das funções é distribuída no espaço e à vitalidade do *modus vivendi*.

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto

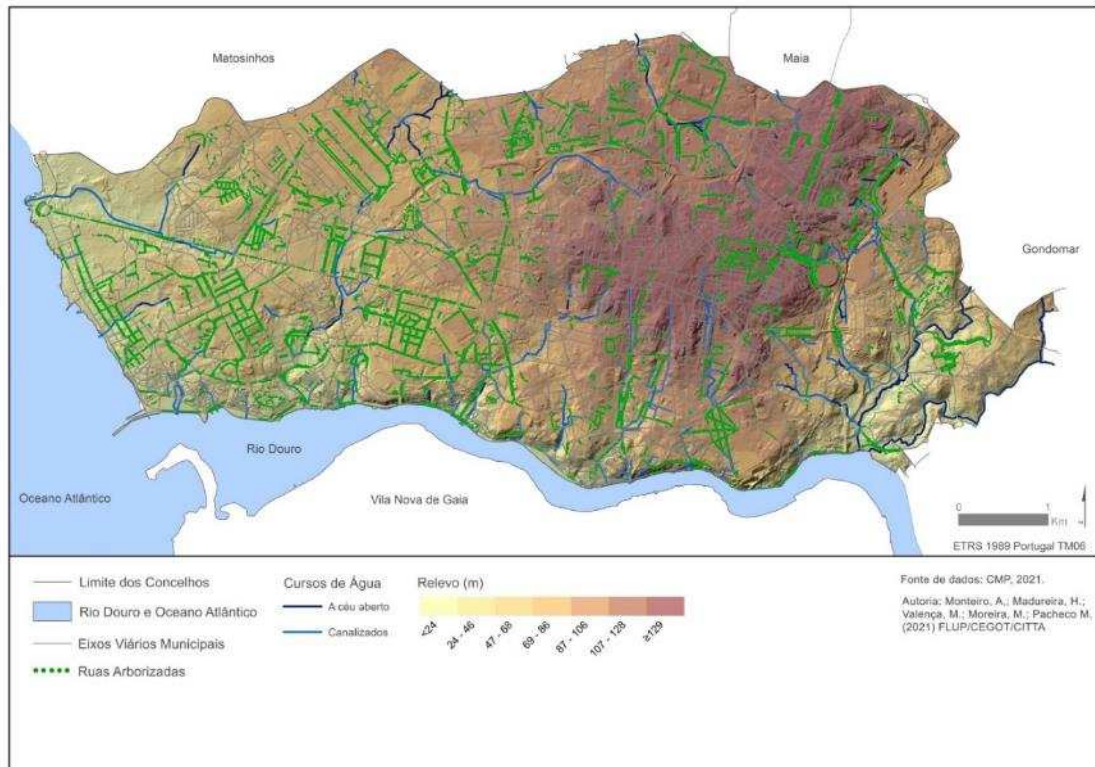


Figura 55 - Morfologia e hidrografia portuense. Adaptado de CMP (2018).



Figura 56 - A arborização na rede viária municipal portuense. Adaptado de CMP (2018).

Nos próximos capítulos resumimos as principais características diferenciadoras dos espaços urbanos em quatro dimensões – temperatura, ventilação, poluição do ar, ciclo hidrológico. Simultaneamente, e para cada um desses domínios, sintetizamos as potenciais funções da

vegetação e especificamente das árvores de arruamento, e concluímos com um resumo de diretrizes dedicadas à cidade do Porto.

Recorde-se, no entanto, que por tudo o que descrevemos sobre a complexidade da matrioska climática, o elemento climático que merecerá maior atenção será a temperatura ao nível do solo da rede viária municipal porque é o que, com a informação disponibilizada pela CMP e com o conhecimento climatológico da área já existente, permite estimar o comportamento com maior fiabilidade.

5.1. As árvores e a temperatura

O comportamento da temperatura nos espaços urbanizados

A impermeabilização do solo, a modificação da morfologia natural, a profusão de materiais com diversas capacidades de absorção e de reflexão da energia natural e antrópica solar alteram o balanço energético dos espaços urbanizados. Isso decorre dos próprios processos de urbanização (Shashua-Bar & Hoffman, 2000). O crescimento urbano provocou a troca da área verde e de solos permeáveis por materiais impermeáveis e que possuem, frequentemente, uma maior capacidade de absorção térmica, como o betão, o cimento ou o asfalto. Esses materiais, além de absorverem mais radiação que as superfícies vegetalizadas durante o dia, libertam a energia acumulada no período noturno, não permitindo que a atmosfera urbana arrefeça (Maimaitiyiming et al., 2014; Oke et al., 2017). Esse efeito é vulgarmente designado de Ilha de Calor Urbano. Além do desconforto térmico, as Ilhas de Calor Urbano comprometem a qualidade de vida dos seres humanos, afetam a qualidade e a quantidade de água dos cursos d'água, alteram o ciclo de vida das plantas e dos insetos, a produção de alimentos etc. (Maimaitiyiming et al., 2014).

O Porto, apresenta frequentemente anomalias térmicas positivas nas áreas onde a artificialização do espaço é mais intensa, recriando uma série de mosaicos microclimáticos geradores de stress térmico outdoor provocado tanto pela amplificação do calor intenso nos meses de verão como dos espaços frios, húmidos e sombrios nos meses de inverno, comumente designados de ilhas de Frescura Urbana, o que associado à pobreza energética e às características dos abrigos, prolonga o desconforto térmico praticamente por todos os meses do ano.

Recorde-se, que de acordo com a investigação científica realizada (CMP, 2018) as temperaturas médias, máximas e mínimas na área portuense têm vindo a evidenciar uma tendência positiva sobretudo a partir de 1980, o que explica o aumento da irregularidade e desorganização estacional do clima testemunhado pela maior frequência de eventos extremos de calor e de frio (Figura 57; Figura 58).

Independentemente do estado de tempo presente, as sensações termo-higro-anemométricas nos espaços de circulação junto ao solo – as ruas, avenidas ou praças - dependem sobretudo da sua largura e comprimento, da orientação, da volumetria lateral, da simetria, dos materiais construtivos, da rugosidade e da quantidade e diversidade de elementos naturais e artificiais existentes. Por isso, a geometria destes canais de circulação abertos, definida pelo plano do solo e pelas características da sua envolvente, é um dos fatores que mais contribui para a variação climática local sentida abaixo do *canopy layer*.

O *Aspect Ratio* (Oke et al., 2017) destes canais abertos, isto é, a relação entre a altura dos edifícios adjacentes (H) e a largura da rua (W), é muito diverso no Porto como em qualquer cidade. Embora haja padrões que se repetem nas vias estruturantes e que são muito semelhantes nas áreas da cidade construídas na mesma época, o mais comum é existirem uma profusão de *Aspect Ratio* em áreas muito próximas dentro de um mesmo espaço urbano, como acontece no Porto (Figura 59).

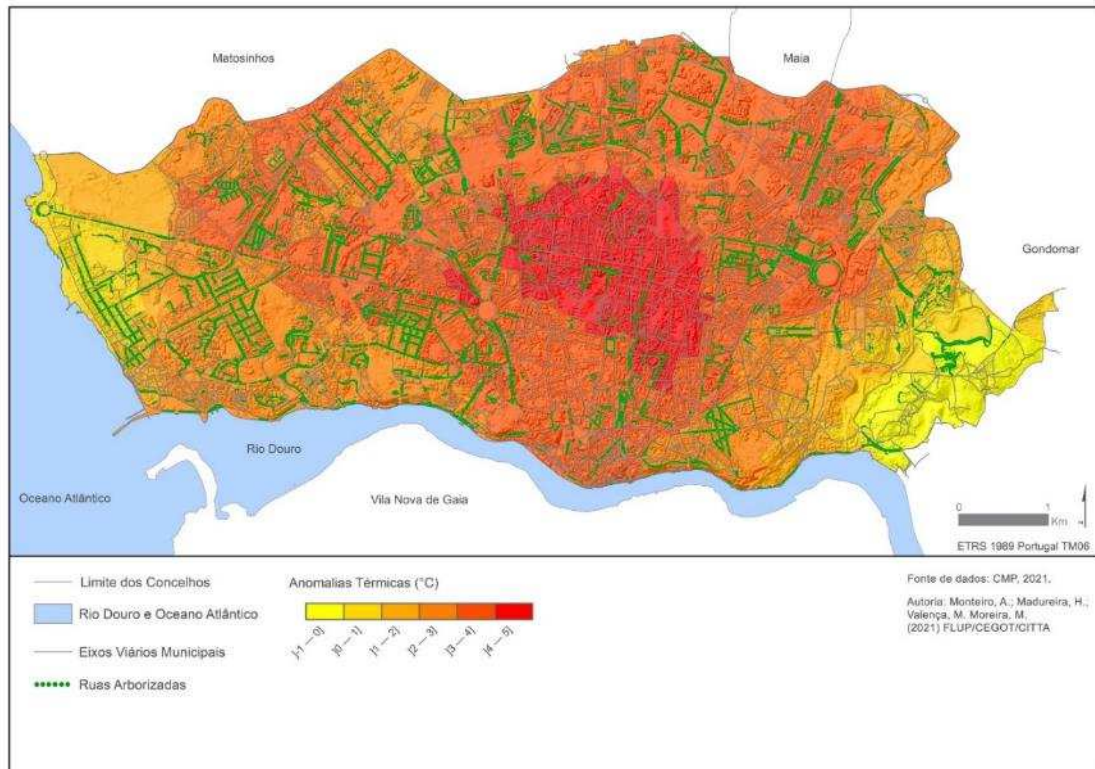


Figura 57 - Anomalias térmicas muito prováveis no Verão. Adaptado de CMP (2018).

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto



Figura 58 - Anomalias térmicas muito prováveis no Inverno. Adaptado de CMP (2018).

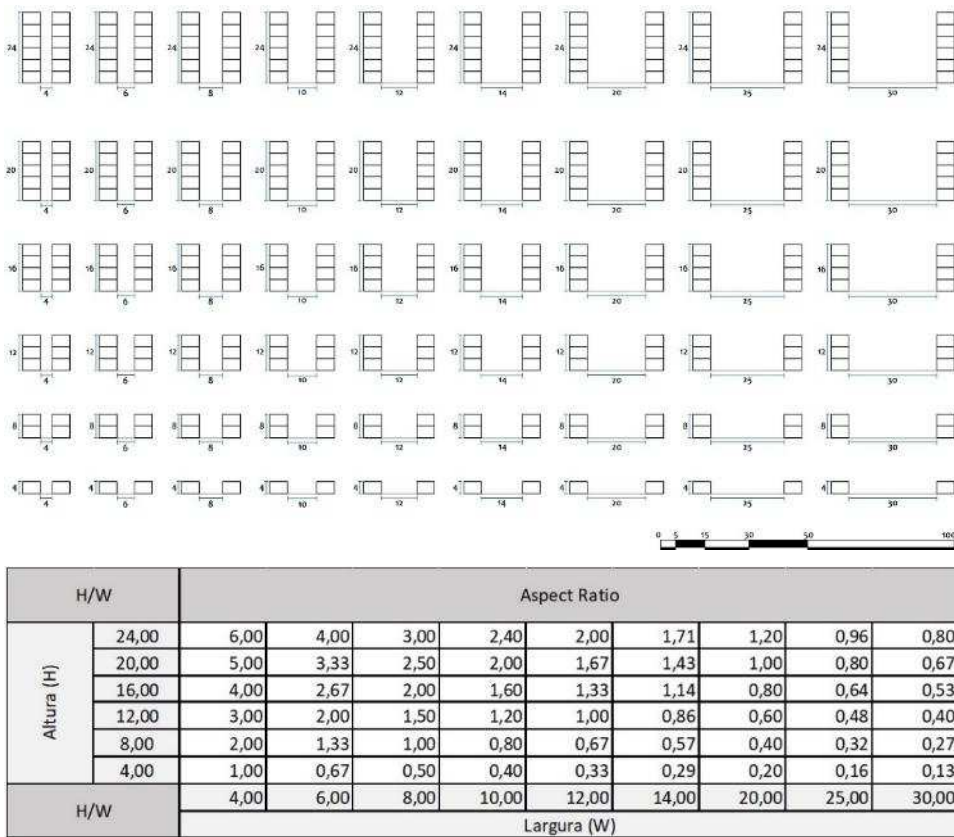


Figura 59 - Aspect Ratios mais frequentes no Porto. Adaptado de Valença (2020)

Esta configuração é, em conjugação com outras características, determinante para facilitar ou impedir a acumulação da energia solar e da energia produzida pelas atividades antrópicas e irradiada pelos materiais construtivos. Podem, por exemplo, proteger o espaço canal do vento dominante, quando este sopra perpendicularmente à rua, e propiciar o aprisionamento da radiação solar e da irradiação noturna criando nichos de anomalias térmicas positivas de magnitude considerável (Mballo et al., 2021). A identificação destes padrões é um dos elementos fundamentais para compreender os contextos climáticos de qualquer espaço urbano, particularmente em espaços urbanos com muitos séculos de história como acontece no Porto.

O *Aspect Ratio* é um indicador muito importante e, por isso mesmo, muito utilizado no desenho de projetos urbanos adaptados ao conforto bioclimático porque permite diagnosticar, com grande acuidade as condições climáticas ao nível da rua, permitindo estimar com facilidade a exposição da rua à radiação solar, as condições de perda ou aprisionamento da energia natural e artificial, o excesso ou falta de sombreamento, a dispersão de poluentes e a ventilação. Portanto, é muito relevante às possibilidades de projeto urbano. E, como vimos, no Porto a diversidade é a norma.

A partir do cálculo do *Aspect Ratio* na rede viária municipal portuense, estimámos, tendo em conta a orientação e a latitude do lugar, um outro indicador indispensável para estimar o (des)conforto bioclimático outdoor ao nível da rua, isto é, a porção de céu visível - *Sky View Factor* (Figura 60).

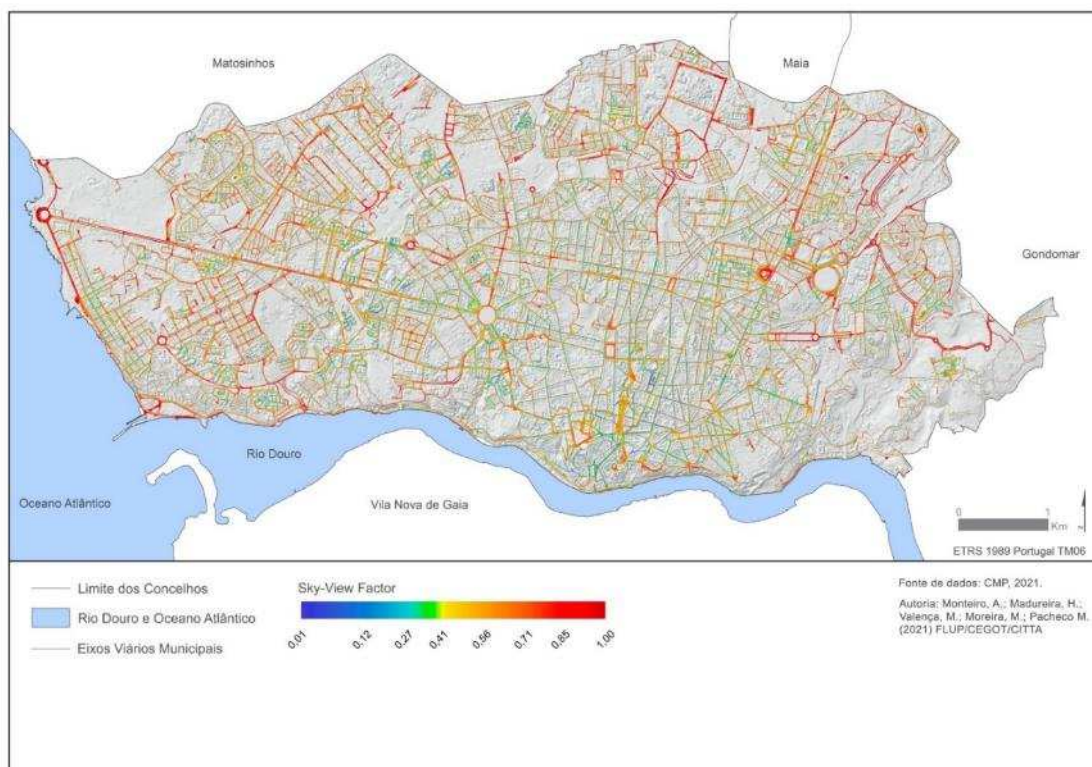


Figura 60 - Sky view factor nos eixos viários municipais portuenses (sem cobertura vegetal).

Esta “janela” de entrada e saída de energia natural e artificial – *Sky View Factor* - condiciona substancialmente os ganhos e as perdas energéticas no *canopy layer* (Figura 60) que, combinadas

com os *Aspect Ratio* típicos e com a orientação das ruas, ajuda a explicar a bacia de receção energética em cada trecho da rede viária (Figura 61; Figura 62).

Aspect Ratio											
H/W			Largura (W) *em metros								
			4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	15,00	20,00	25,00	30,00
Altura (H) *em metros	1 andar	4	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,27	0,20	0,16	0,13
	2 andares	8	2,00	1,33	1,00	0,80	0,67	0,53	0,40	0,32	0,27
	3 andares	12	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,80	0,60	0,48	0,40
	4 andares	16	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,07	0,80	0,64	0,53
	5 andares	20	5,00	3,33	2,50	2,00	1,67	1,33	1,00	0,80	0,67
	6 andares	24	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	1,60	1,20	0,96	0,80
	7 andares	28	7,00	4,67	3,50	2,80	2,33	1,87	1,40	1,12	0,93
	8 andares	32	8,00	5,33	4,00	3,20	2,67	2,13	1,60	1,28	1,07
*H é a média de alturas dos edifícios. W é a rua medida de parede à parede.											
Legenda											
Proporção H/W	Indicação		Explicação (ao nível da rua)								
$H/W \leq 0,5$	Muita exposição ao sol na calçada		Os edifícios não conseguem sombrear as calçadas e parte da rua.								
$0,5 < H/W \leq 1$	Exposição Intermediária na calçada		Calçadas e fachadas podem estar sombreadas.								
$1 < H/W \leq 2$	Baixa exposição na calçada.		Durante boa parte do dia haverá sombra nas calçadas e parte das fachadas. O edifício apresenta bom abrigo da ventilação.								
$2 > H/W$	Nenhuma exposição na calçada.		Apenas parte das fachadas recebem sol direto. Durante o dia é fresco durante o verão e quente durante a noite.								

Figura 61 - Relação entre “Aspect Ratio” e exposição solar das fachadas e ruas. Adaptado de Valença (2021)

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto

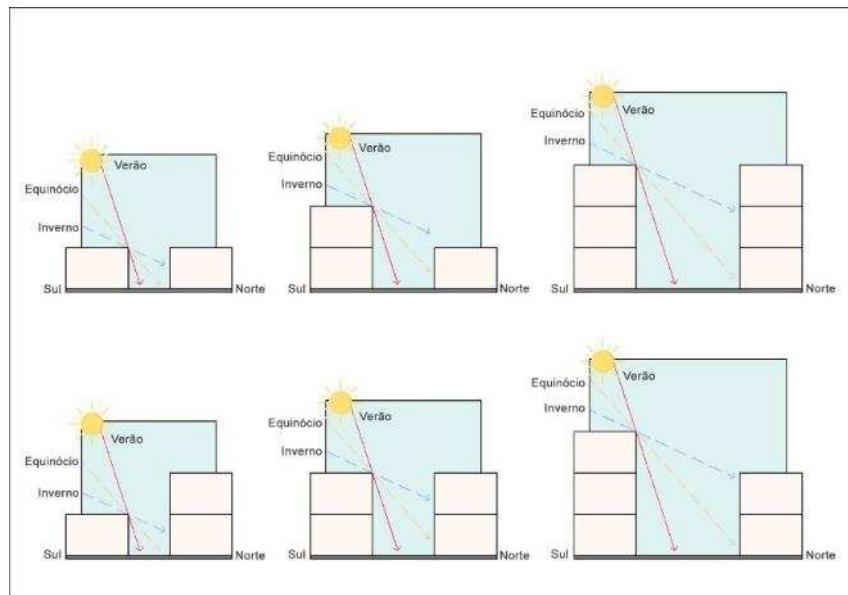
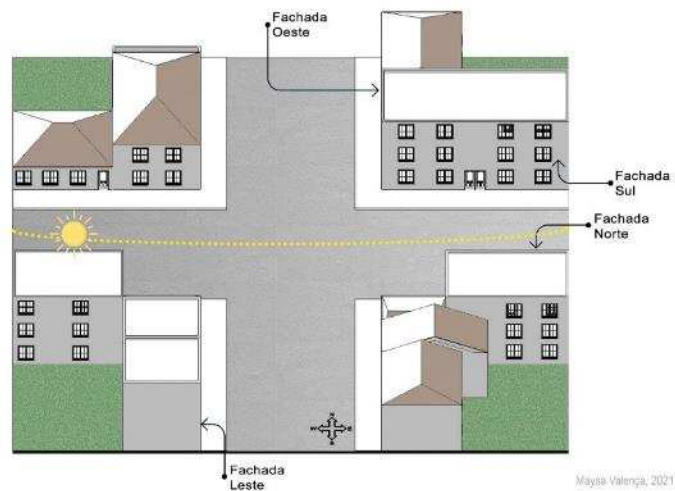


Figura 62 - Relação entre orientação das ruas, “aspect ratio” e exposição solar. Adaptado de Valença (2021)

No Porto, os *Sky View Factor* mais baixos, entre 0 e 0,5, correspondem a um pequeno número de ruas (cerca de 10%) localizadas sobretudo do centro histórico. Os valores mais elevados, acima de 0,8, coincidem com cerca de 40% da rede viária municipal portuense, sobretudo as de construção mais recente e que coincidem grosso modo com o anel exterior à VCI. As ruas com *Sky View Factor* entre 0,5 e 0,8 correspondem às restantes 50% de ruas portuenses (Figura 60; Figura 63).

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto

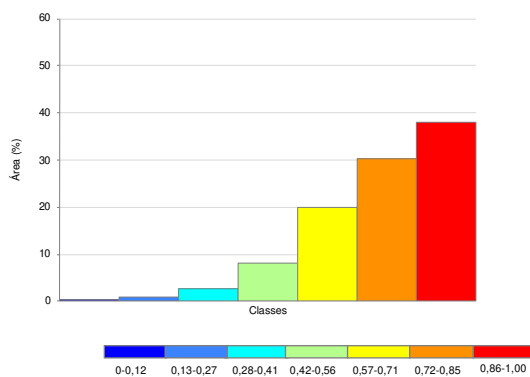


Figura 63 - Distribuição dos eixos viários municipais do Porto de acordo com as diferentes classes de “Sky View Factor” (%).

Porém, no caso do Porto, a inclinação dos raios solares e a duração do dia e da noite variam muito ao longo do ano, acompanhando o movimento anual aparente do Sol os efeitos da inclinação do eixo terrestre face ao plano da eclíptica durante o movimento de translação. No solstício de Verão (21 de junho), o Sol atinge a sua altura máxima (cerca de 75º) e o período iluminado é também o mais extenso (entre as 6h e as 21h) enquanto no solstício de Inverno (21 de dezembro) atinge a sua altura mínima (cerca de 28º) e o período iluminado mais curto do ano (entre as 8h e as 17h). Esta variabilidade da inclinação e da duração da radiação solar direta no Porto é determinante para a criação de uma multiplicidade de mosaicos térmicos ao nível da rua amplificados pelo desenho urbano (Figura 64; Figura 66).

Turno		Horas de Sol No Verão (duração do dia 15h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste	
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste	
Matutino			7:30h		6h				
Vespertino				7:30h				6h	
Misto - início da manhã e fim da tarde	7h					9h	9h		
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia		8h							
Turno		Horas de Sol No Inverno (duração do dia 09h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste	
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste	
Matutino			4:30h		1:30h				
Vespertino				4:30h				1:30h	
Misto - início da manhã e fim da tarde	Não recebe luz direta durante o inverno.	9h							
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia						7:30h	7:30h		
Turno		Horas de Sol Nos Equinócios (duração do dia 12h)							
Orientação Geo. Do eixo principal Da Rua	Leste/Oeste	Leste/Oeste	Norte/Sul	Norte/Sul	Sudeste/ Noroeste	Sudeste/ Noroeste	Nordeste/ Sudoeste	Nordeste/ Sudoeste	
Fachada da Edificação	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordeste	Sudoeste	Sudeste	Noroeste	
Matutino			5:30h		4h		8h		
Vespertino				6:30h				4h	
Misto - início da manhã e fim da tarde / dia todo	Não recebe luz direta durante a primavera e o outono.	12h					8h		
Noon - meio da manhã ao meio da tarde / fim da manhã ao fim do dia									

Figura 64 - Número de horas estimadas de exposição solar no Porto tendo em conta a orientação das fachadas e a época do ano. Adaptado de Valença (2021).

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto

Dia Estacional do Ano		Solstício de Verão	Equinócio de Prim. / Out.	Solstício de Inverno	
Ângulo Zênite θ		Ângulo θ 72º	Ângulo θ 49º	Ângulo θ 25º	
Tg θ		3,08	1,15	0,47	
		Comprimento da Sombra Projetada (S_h)			
Altura (H) *em metros	1 andar	4	1,30	3,48	8,51
	2 andares	8	2,60	6,96	17,02
	3 andares	12	3,90	10,43	25,53
	4 andares	16	5,20	13,91	34,04
	5 andares	20	6,49	17,39	42,55
	6 andares	24	7,79	20,87	51,06
	7 andares	28	9,09	24,35	59,57
8 andares	32	10,39	27,83	68,09	
Legenda:	Maior probabilidade da projeção da sombra ser maior que a largura da via.				

Figura 65 - Probabilidade de projeção da sombra de diferentes volumes construídos tendo em conta a época do ano. Adaptado de Valença (2021).



Figura 66 - Padrão de exposição solar ao longo do ano numa rua de orientação e Este-Oeste (à esquerda) e Norte-Sul (à direita) no Porto. Adaptado de Valença (2021)

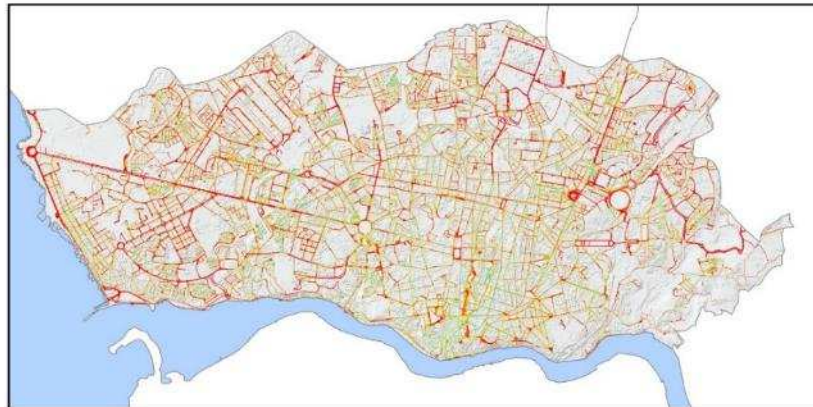
Importa reter que a época do ano em que as ruas do Porto recebem maiores quantitativos energéticos provenientes do sol coincide também com a maior duração do período iluminado do dia e que, por outro lado, a época do ano em que os raios solares têm maior inclinação e, portanto, disponibilizam menos energia por unidade de superfície, coincide com os menores períodos iluminados. Daí ser também importante juntar a este diagnóstico o inventário do número de horas de sol nas quatro estações do ano.

A Figura 67 e a Figura 68 representam, respetivamente, a exposição à radiação solar e o número de horas de exposição nas ruas do Porto em diferentes momentos do ano. Podemos verificar como a combinação única entre a localização geográfica, a morfologia natural e a diversidade de novas formas artificiais construídas sobre a superfície natural, esculpem uma mescla muito

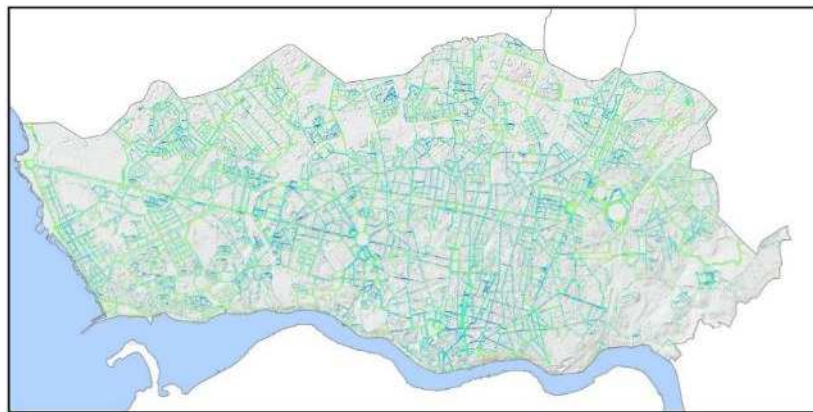
retalhada de espaços excessivamente abrigados e outros bastante bem expostos à radiação solar ao longo do ano. Trata-se de um resultado consideravelmente mais complexo daquele seria obtido se, como é comum, considerássemos apenas os ganhos energéticos junto ao solo numa isoplanície. Esta condição é determinante para o conforto termo-higro-anemométrico abaixo da copa urbana e uma das causas principais para explicar todos os movimentos de compensação energética abaixo do nível dos telhados. E condiciona substantivamente a enorme diferenciação estacional dos quantitativos energéticos que chegam à superfície em áreas muito próximas. Ou seja, o Porto, como todos os espaços urbanizados recriam totalmente o balanço energético junto ao solo pela multiplicidade formas das ruas e dos edifícios existentes.

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto

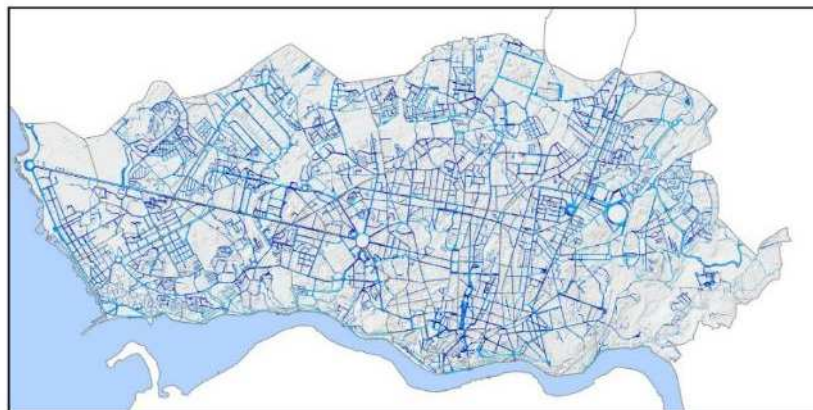
Radiação Solar nas Ruas no Solstício de Verão (Wh/m²)



Radiação Solar nas Ruas nos Equinócios de Outono e Primavera (Wh/m²)



Radiação Solar nas Ruas no Solstício de Inverno (Wh/m²)



— Rio Douro e Oceano
— Limite dos Concelhos

Radiação Solar na Ruas (wh/m²)



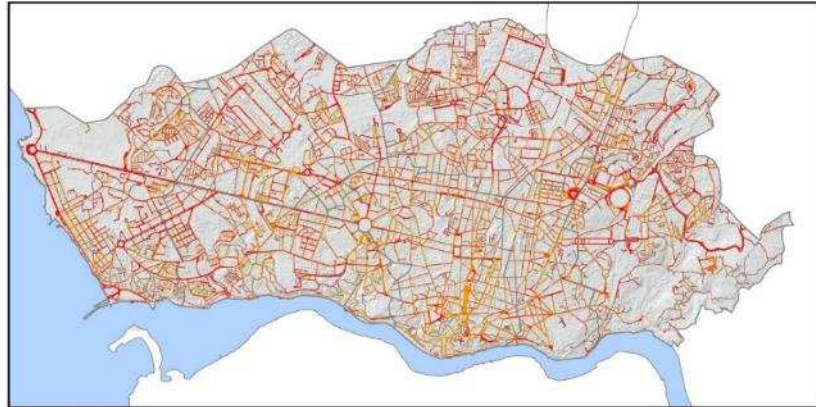
0 2 Km
ETRS 1989 Portugal PM06

Fonte de dados: CMP, 2021.

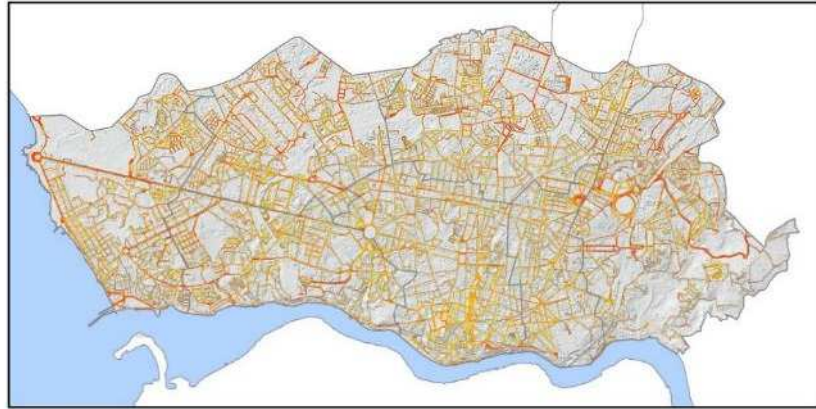
Autoria: Monteiro, A.; Madureira, H.; Valença, M.; Moreira, M.; Pacheco, M.; (2021) FLUP/CEGOT/CITTA

Figura 67 - Radiação solar nos eixos viários do Porto no momento dos solstícios e dos equinócios.

Número de Horas de Radiação Solar direta nas Ruas no Solstício de Verão (h)



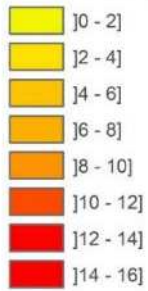
Número de Horas de Radiação Solar nas Rua nos Equinócios de Outono e Primavera (h)



— Limite dos Concelhos

■ Rio Douro e Oceano

Número de Horas de Radiação Solar (h)



0 2 Km
ETRS 1989 Portugal PM06

Fonte de dados: CMP, 2021.

Autoria: Monteiro, A.; Madureira, H.; Valença, M.; Moreira, M.; Pacheco, M.; (2021) FLUP/CEGOT/CITTA

Número de Horas de Radiação Solar nas Ruas no Solstício de Inverno (h)

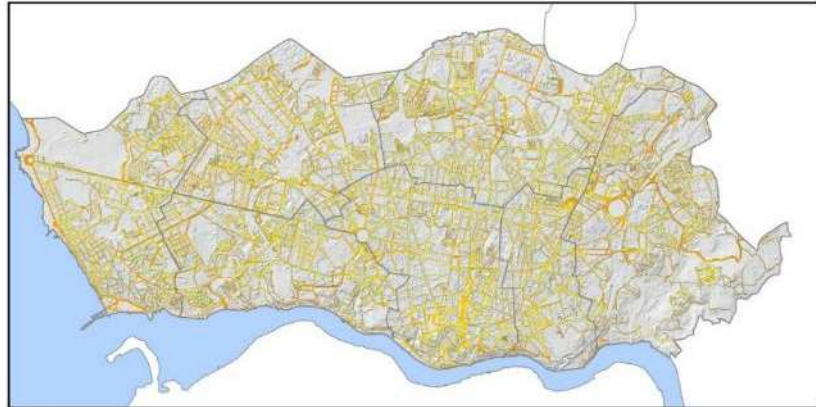


Figura 68 - Número de horas de sol nas ruas nos solstícios e equinócios.

As árvores como reguladores térmicos

As árvores têm um papel importante enquanto reguladores térmicos ao nível da rua, sobretudo nos espaços urbanos sobreaquecidos por todas as ações e atividades antrópicas. Ao interceptarem a radiação solar, refletindo uma parte e utilizando outra para a fotossíntese, as árvores impedem a chegada ao solo de uma considerável porção do espectro eletromagnético solar, tanto na banda do visível como dos infravermelhos (Figura 69). Para além deste impacto direto no balanço da radiação, criam indiretamente modificações na ventilação entre a copa e o solo que, consoante o tipo de árvore podem traduzir-se em diminuições substantivas da quantidade de energia que chega à superfície.

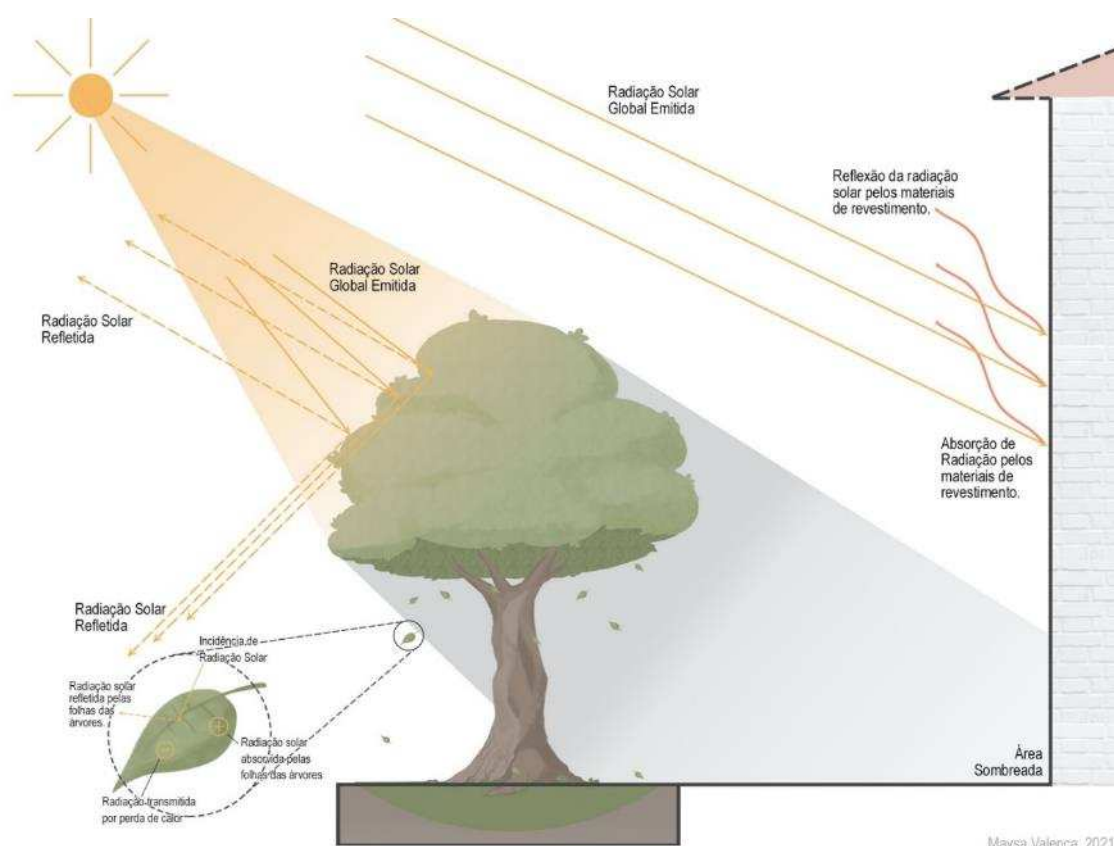


Figura 69 - Efeito da sombra das árvores na radiação solar global que atinge o solo.

A influência das árvores na temperatura junto ao solo ocorre, portanto por uma combinação de fatores: i) um coeficiente de reflexão de radiação solar maior que os materiais construtivos, pois a cor verde absorve menos calor que cores escuras de materiais como asfalto; ii) a evaporação e a transpiração consomem energia; iii) a barreira criada à passagem da radiação solar causada pelas folhas e galhos (Mohammed & Salman, 2018).

Além do sombreamento, a evapotranspiração é muito importante para a regulação da temperatura, pois a humidade fornecida pelas árvores amplifica o stress térmico nos períodos mais quentes do ano. Assim, em dias secos e quentes, como costumam ser no pico do verão no Porto, a transpiração arbórea será mais alta e irá agir de forma a aumentar o desconforto térmico sentido pelos pedestres. Contudo, em dias frios e húmidos como no inverno a absorção de água pelas árvores será reduzida assim como a transpiração, mas ainda assim esse efeito pode agravar o desconforto já existente com a humidade elevada.

É importante também lembrar que o benefício climático das árvores está diretamente relacionado com a disponibilidade de água existente. Se a disponibilidade de água for escassa a transpiração será reduzida e podem a longo prazo perder a densidade da sua copa afetando a sua capacidade de sombreamento (Mballo et al., 2021), perder longevidade, enfraquecer e aumentar o risco de acidentes por quebras ou quedas.

Os efeitos climáticos das árvores são sobretudo mais eficazes no espaço imediatamente abaixo da copa e nas suas imediações. Contudo, quando agrupadas ou alinhadas, no caso de árvores na rede viária, estes benefícios bioclimáticos podem ampliar-se e alargar a área de influência climática. De acordo com Shashua-Bar e Hoffman (2000) uma área de 300m² de árvores pode ampliar o seu impacto num raio de 150 a 200m dependendo das condições de ventilação e insolação locais. E o efeito de pequenos espaços arborizados distribuídos pelo espaço urbano parece ser uma opção mais eficaz do ponto de vista bioclimático do que escolha de grandes parques verdes, já que a influência no contexto climático é maior e melhor distribuída pelo espaço urbano.

A magnitude dos efeitos de regulação térmica das árvores nas ruas depende muito das suas características físicas, como por exemplo a profundidade das raízes, o diâmetro da copa, a densidades das folhas, a reflectância das folhas consoante a coloração e a sua morfologia (Zheng et al., 2018, p. 483). Por outro lado, os impactes da presença de árvores na temperatura junto ao solo, para além de dependerem da área da copa e da altura da árvore, variam muito com o seu posicionamento relativo face a outros objetos presentes, como por exemplo a forma e os materiais das fachadas dos edifícios. E, em alguns casos, podem até surtir o efeito oposto ao desejado, já que para além de aumentarem o aprisionamento de energia junto ao solo acumulam uma maior humidade, o que aumenta bastante o desconforto bioclimático.

Contudo, é cada vez mais consensual entre a comunidade científica que, desde que haja a precaução de triar as soluções adequando-as a cada caso em concreto, o aumento da disponibilidade de vegetação é uma solução eficaz para melhorar o conforto bioclimático. E, do conjunto possível, as árvores parecem ser mais eficientes do que os revestimentos herbáceos, tendo-se estimado por exemplo, que quando, num espaço urbano, a massa arbórea é igual ou maior a 1/3 da área total pode-se, em média, diminuir 1°C a temperatura local (Edward Ng et al., 2012). Por outro lado, outros estudos indicam que num dia soalheiro a evapotranspiração de uma árvore pode ter uma capacidade entre 20 a 30Kwatts o que equivale a mais de 10 unidades de ar condicionado (Krvčík et al., 2007).

Recomendações

A localização geográfica do Porto beneficia ao longo do ano as fachadas expostas a sul, que são sempre as mais soalheiras. Em contrapartida as fachadas orientadas a norte são as mais deficitárias, mesmo no verão. As fachadas expostas este e oeste são mais beneficiadas do que as norte mas muito menos do que as expostas a sul, já que as primeiras recebem radiação direta apenas durante a manhã e as segundas só da parte da tarde (Valença, 2020). Isto, associado às características morfológicas, à proximidade do oceano atlântico e do rio Douro sugere uma atenção especial para a necessidade potencial de intervenção nas fachadas S, SW e SE das ruas portuenses e para um especial cuidado à colocação de elementos arbóreos nas fachadas N, NW

e NE. Assim, no pressuposto de se tratarem de superfícies livres, ou seja, sem obstruções nas imediações que possam obstruir a incidência solar, recomendar-se-ia no caso concreto do Porto:

1. Nas fachadas expostas a S, é absolutamente recomendável o sombreamento
2. Nas fachadas expostas a N não sombrear pois não recebem luz solar direta durante a maior parte do ano e o esverdeamento, a existir, deveria ser com espécies de pequeno porte e de folha caduca;
3. Nas fachadas expostas a E e W o sombreamento, a existir, deve ser mais espaçado e com árvores de copas menos densas. Caso não seja possível arborizar ambos os lados deve priorizar-se a colocação de árvores no eixo central da via;

No entanto, será obrigatório conjugar estas recomendações gerais com as condições concretas de cada eixo viário, designadamente quanto à orientação geográfica e à configuração do ambiente construído, ou seja, à sua largura, à altura média do edificado e ao *sky view factor*. Ainda mais porque o Porto possui, numa grande extensão, ruas não ortogonais e com orientações muito diversas e uma grande diversidade de configurações de volumes edificados. A Figura 70 apresenta uma classificação dos eixos viários do Porto tendo em conta o potencial contributo da arborização para o conforto outdoor, sendo possível individualizar:

4. vias ou troços de vias em que a conjugação da orientação geográfica e da configuração do ambiente construído (largura da via, altura do edificado e *sky view factor*) determinam um contributo potencialmente negativo da arborização; estas condições ocorrem pontualmente por todo o território municipal e, como mais incidência, no centro histórico da cidade.
5. vias ou troços de vias em que o potencial contributo da arborização viária para o conforto outdoor não é passível de determinação numa avaliação à escala municipal; estas condições ocorrem por todo o território municipal.
6. vias ou troços de vias em que a conjugação da orientação geográfica e da configuração do ambiente construído (largura da via, altura do edificado e *sky view factor*) determinam um contributo potencialmente positivo da arborização; estas condições ocorrem pontualmente por todo o território municipal e, como mais incidência, nas vias mais largas em contextos urbanos de consolidação mais recente.

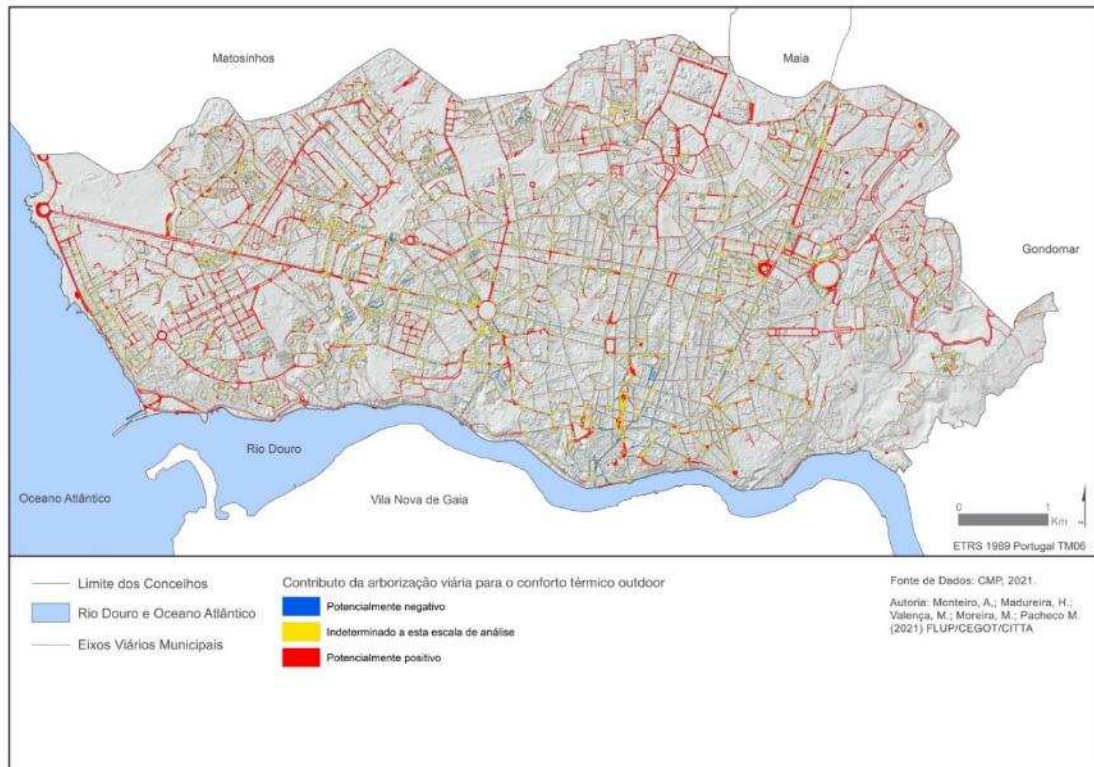


Figura 70 - Mapeamento dos benefícios potenciais da arborização viária para o conforto térmico outdoor.

5.2. As árvores e a ventilação

O comportamento do vento nos *canyons* urbanos

Antes de percebermos como as árvores alteram a ventilação nos *canyons* urbanos, é necessário compreender como ocorre a ventilação no contexto urbano. Essa compreensão é importante para que se possa prever, com base nos fluxos de vento dominantes no Porto, qual a melhor estratégia para uma arborização adequada e segura.

A velocidade do vento na cidade é, em média, inferior à da sua envolvente regional, devido a rugosidade da morfologia urbana, que exerce um efeito de fricção, criando turbulência, com rápidas alterações espaciais e temporais, tanto na direção como na velocidade do vento. Por seu turno, o movimento do ar nos *canyons* urbanos é impulsionado pelo fluxo de vento prevalecente acima do nível dos telhados dos edifícios. Contudo, fatores como a relação entre a largura da rua e a altura média dos edifícios (*aspect ratio*), o comprimento das ruas, a forma dos telhados – inclinados ou planos e a existência de obstáculos como árvores ou o trânsito de veículos vão interferir nas direções e velocidades da ventilação dentro do *canyon* urbano (Oke et al., 2017) (Figura 71). Ou seja, o nível de obstrução ou a disponibilidade de espaço junto à superfície condicionam o comportamento do fluxo de ar, e também a capacidade de dispersão de poluentes e de dissipação do calor armazenado no tecido urbano durante o dia.

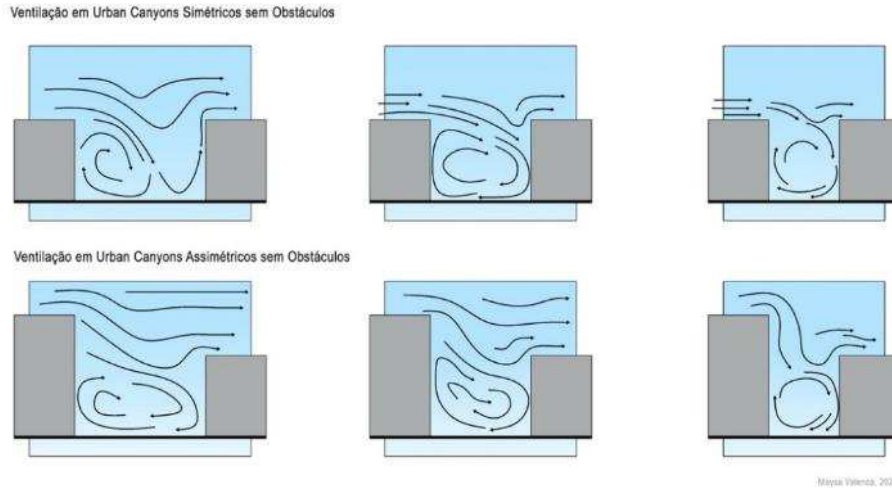


Figura 71 - Ventilação em urban canyons simétricos e assimétricos dependendo do aspect ratio. Adaptado de Oke et al. (2017).

Em termos gerais, considerando um fluxo de vento perpendicular ao *canyon* urbano, verificam-se três principais regimes de circulação do ar em função do *aspect ratio*:

1. quando a relação H/W é baixa, designadamente com grande espaçamento entre edifícios, o fluxo de ar percorre de forma semelhante ao dos edifícios isolados (*Isolated roughness flow*);
2. quando a relação H/W é intermédia, com menor afastamento entre os edifícios, o edifício posterior gera perturbações ao deslocamento do ar, causando a formação de vórtices entre os mesmos (*Wake interference flow*);
3. quando a relação H/W é elevada, a proximidade entre as estruturas construídas cria espaços oclusos em que o fluxo de ar acima dos edifícios tem menor tendência a atingir o *canyon*, limitando o efeito da ventilação natural (*Skimming flow*).

Existem quatro principais estruturas de fluxo de ventilação a serem observadas (Nakamura & Oke, 1988; Oke et al., 2017; Oke, 1988) (Figura 72):

1. *Cross-canyon vortex*: Ocorre quando o fluxo de ar principal é perpendicular ao eixo da rua (ângulo de 90°). É criado um fluxo vertical de vento rotativo, com um vórtice primário centralizado no *canyon*. Quando o vento é forte ou quando os edifícios envolventes favorecem esse movimento, por exemplo com telhados inclinados, o *cross-canyon vortex* é fortalecido.
2. *Stacked vortices*: Ocorre quando fluxo de ar principal é perpendicular ao eixo da rua e quando a relação H/W é muito elevada, ou seja, em condições de ruas estreitas e edifícios altos. O vórtice principal enfraquece e divide-se numa ou mais células, no mesmo padrão rotativo, mas em sentidos contrários entre si, e quanto mais perto da superfície, mais lento o vento se torna. Estas células são propícias à recirculação de ar, e, portanto, geram más condições para a dispersão de poluentes.
3. *Helical vortex*: Ocorre quando o fluxo de ar principal perfaz um ângulo intermédio relativamente ao eixo da rua (ângulo de 45°). O fluxo de ar no interior do *canyon* resulta da soma

vetorial do *cross-canyon vortex* e do *channelling flow*. O resultado é uma ventilação helicoidal, com movimentos em espiral ao longo das fachadas das edificações.

4. *Channelling*: Ocorre quando o ângulo do fluxo de ar principal perfaz um ângulo menor que 30° em relação à orientação do eixo principal da rua. Nesse caso o vórtice desaparece e o fluxo de ar tende a ser canalizado e acelerado através do *canyon*. Este efeito depende do comprimento da rua e da relação H/W (se for muito elevada podem surgir *Stacked Vortices*). Quando a largura da rua não é uniforme, os ventos podem afunilar através de pequenas aberturas, aumentando ainda mais a aceleração dos ventos.

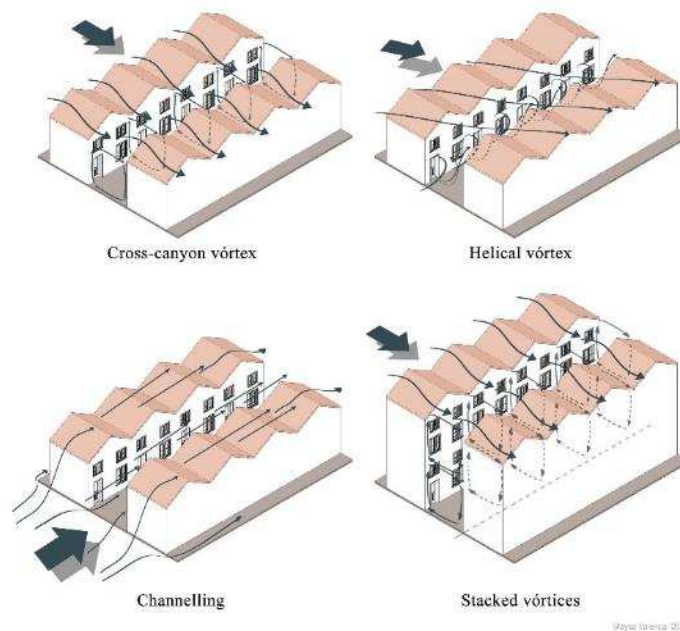


Figura 72 - Principais estruturas de fluxos de ventilação em urban canyons. Adaptado de Oke et al (2017)

No caso do Porto, os rumos predominantes do vento registados em Porto-Pedras Rubras têm sido de NW e N na época mais quente do ano e de NW, NE e SE na época mais fria do ano, e têm soprado com uma velocidade média anual entre 20km/h e 25Km/h (5m/s e 7m/s) (CMP, 2018). Considerando as condições de circulação à escala da cidade, designadamente as condições que a esta escala podem promover a travagem ou a aceleração dos fluxos de ar, observa-se que toda a mancha construída do centro da cidade é, com algumas raras exceções, uma área de baixa circulação do vento. O resto do espaço urbano é pulverizado por inúmeras manchas de forte ventilação (CMP, 2018) (Figura 73; Figura 74).

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto

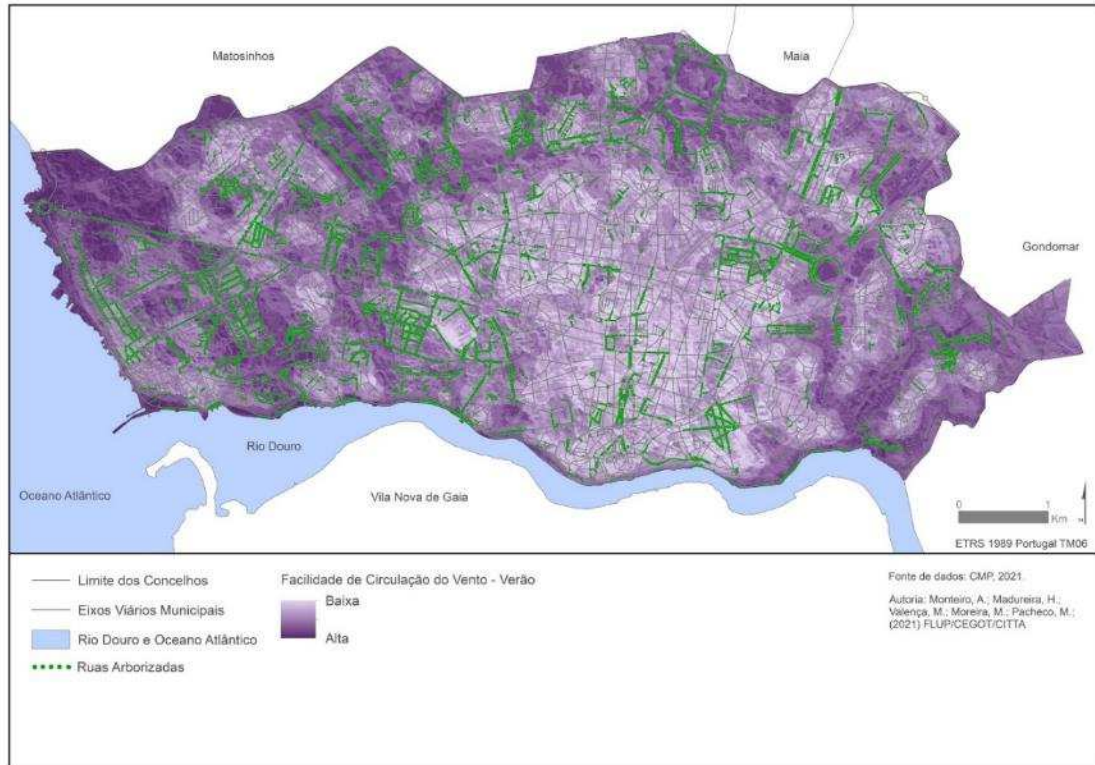


Figura 73 - Probabilidade de ocorrência de aceleração e travagem dos fluxos de ar no Verão. Adaptado de CMP (2018)

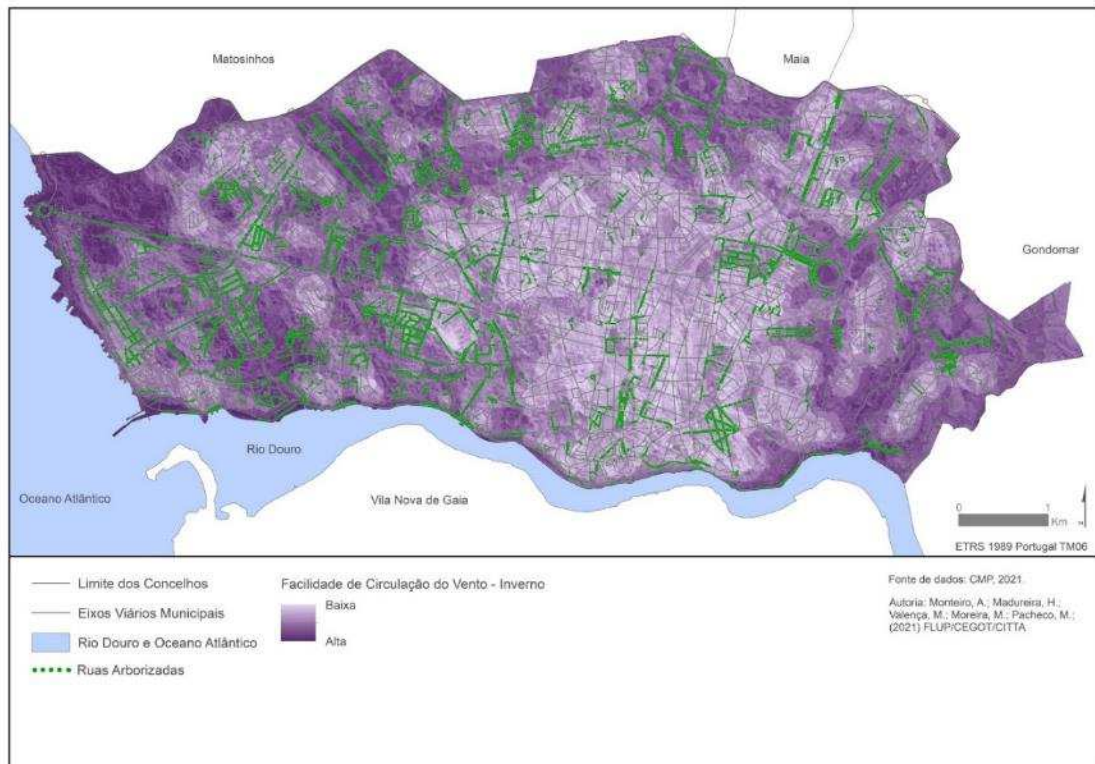


Figura 74 - Probabilidade de ocorrência de aceleração e travagem dos fluxos de ar no Inverno. Adaptado de CMP (2018).

A influência das árvores na ventilação dos *canyons* urbanos

As árvores são obstáculos à ventilação viária e por isso, podem interferir no comportamento dos fluxos de ar e, cumulativamente, na capacidade de dispersão de poluentes e de dissipação do calor armazenado no tecido urbano durante o dia.

A porosidade das copas e a altura das árvores são as principais características físicas que influenciam a ventilação. O fluxo de vento quando passa pelas árvores cria dois momentos de pressão, um positivo à frente da copa e um negativo atrás. Ao longo da altura da árvore o vento comporta-se de formas diferentes, na área superior e inferior da copa são mais velozes que os que a atravessam. Esse fator demonstra que além da densidade da copa, a sua forma e a densidade foliar também influenciam a velocidade do vento (Jian et al., 2018).

Nos *canyons* urbanos, dadas as restrições de espaço, é comum que as árvores sejam plantadas em linha. Um estudo experimental conduzido em Lecce, Itália (Di Sabatino et al., 2015), uma cidade de clima mediterrâneo, mostrou uma redução na velocidade média do vento de 35% abaixo das copas das árvores e 42% acima das copas. Foi ainda percebido que o fluxo principal de vento se manteve na direção que seguiria caso não houvesse árvores na rua, mas que no cenário com árvores há a presença de vórtices de reversão tanto na saída quanto na entrada da rua, confirmando-se, portanto, que a presença das árvores influencia a ventilação dentro dos *canyons* urbanos, sobretudo a velocidade do vento. Outro ponto relevante é que a arborização linear parece influenciar a velocidade dos ventos apenas na proximidade das copas e a habilidade das linhas de árvores constituírem obstáculos diminui quando o espaçamento entre as árvores aumenta (Jian et al., 2018).

Da mesma forma que a diminuição dos ventos pelas árvores pode diminuir a capacidade de dissipação do calor gerado no espaço urbano e, portanto, poder ser um aspeto negativo para o conforto térmico no verão, pode ter efeitos positivos no inverno. As árvores podem, deliberadamente, ser utilizadas como barreiras à velocidade do vento e ao frio externo, protegendo os edifícios e auxiliando o desempenho de aparelhos de aquecimento, e, portanto, diminuindo os gastos de energia (DeWalle & Heisler, 1983; Giovani, 1991). Esse efeito de quebra-vento existe mesmo para árvores caducas, que perdem suas folhas nos meses frios. No entanto, a sua influência na ventilação é menor pois a porosidade (densidade) das copas interfere na velocidade do vento (Di Sabatino et al., 2015; Jian et al., 2018).

Para se promover o efeito de barreira é necessário que as árvores sejam plantadas na posição de contravento relativamente à edificação ou à área que se pretende proteger. Além disto, deve-se respeitar uma certa distância da edificação, uma vez que se criam fluxos de ar nas imediações da copa da árvore causados pelas diferenças de pressão (Jian, Bo e Mingyue 2018). A distância ideal pode ser definida pela relação entre a altura da árvore e o quanto se pretende diminuir a velocidade do vento (DeWalle & Heisler, 1983; Giovani, 1991). Os autores DeWalle e Heiler (1983) relataram no seu trabalho experimental que distâncias de uma e quatro vezes a altura da árvore correspondem respetivamente a reduções da velocidade do vento entre 40% a 50 e de gastos com aquecimento, entre 20% e 10%.

Importa ainda referir que a queda de árvores, parcial ou completa, constitui um risco assinalável em contextos urbanos, em especial nas suas ruas, podendo atingir peões e veículos. As árvores podem cair pelas mais diversas razões, como má nutrição, doenças ou pragas, idade avançada, falta de água, interferência de novas construções nas raízes, e também pela ação de ventos fortes. Grande parte das razões listadas podem ser evitadas pelo cuidado e tratamento correto com as árvores, contudo, é necessário informar aos gestores e à população que em ambiente urbano as árvores são mais frágeis e tem um ciclo de vida mais curto quando comparadas outras em meio natural (Lopes et al., 2009; Mullaney et al., 2015; Prioleau, 2010). A queda de árvores provocada por ventos fortes e tempestades é uma situação complexa, dependendo das características da árvore (por exemplo, idade, tamanho, altura, porte, densidade da folhagem, etc.), bem como suas condições sanitárias (Prioleau, 2010). No Porto, como noutras cidades, registam-se anualmente casos de queda de árvores que, como podemos observar na Figura 75, correm por todo o território municipal. A promoção do efeito barreira acima descrito deve, portanto, ser ponderado com o risco de queda de árvores em vias onde se registem condições para o aceleração dos fluxos de ar.



Figura 75 - Quedas de árvores no Porto entre 2015 e 2021.

Recomendações

No Porto durante os meses de inverno os ventos sopram, com maior frequência de Noroeste, Leste e Sudeste, enquanto no verão são predominantemente de Noroeste, Norte e Leste com velocidade média entre 20 a 25 Km/H (5,5 m/s – 6,9 m/s). Além disso, no estudo dos corredores de ventilação da Cidade (CMP, 2018) é expresso que existem áreas, como o centro histórico do Porto, onde há dificuldades acrescidas para a circulação do ar afetando diretamente a qualidade do ar, com reflexos na saúde de quem o inala e na degradação dos materiais expostos, mas

também, indiretamente, no balanço energético local. Isto decorre sobretudo do padrão do edificado e das larguras das vias. Desta forma, é necessário analisar e ponderar as condições em que a obstrução da ventilação representaria um aumento ou uma diminuição das condições de conforto bioclimático e qualidade.

Portanto, no que corresponde à ventilação e a arborização viária no Porto é importante:

1. Considerar a importância da diferenciação morfológica e da artificialização do espaço na criação de corredores de travagem e aceleração dos fluxos de ar que são predominantemente de NW e N na época mais quente do ano e de NW, NE e SE na época mais fria do ano;
2. A influência das árvores nos fluxos de ar depende da morfologia da árvore e da força/velocidade dos fluxos de vento, sendo que árvores com copas densas têm um maior efeito nos fluxos de ar;
3. Avaliar os ângulos da ventilação principal em relação ao eixo direcional do *canyon* urbano e a relação H/W (*aspect ratio*) para determinar o regime de circulação de ar que se estabelece;
4. De acordo com o comportamento dos fluxos de vento no interior do *canyon* urbano, optar por uma arborização com a finalidade de criar, ou não, barreiras para diminuir a velocidade dos ventos.

5.3. As árvores como reguladoras da qualidade do ar

A poluição atmosférica nos espaços urbanos

A melhoria da qualidade do ar no *canopy layer* pode ser conseguida tanto diretamente reduzindo a emissão de elementos indesejáveis como indiretamente melhorando as condições de limpeza da atmosfera. A primeira estratégia, nos espaços urbanos, implica a diminuição das emissões provenientes do tráfego rodoviário e das atividades industriais cujos processos geram como outputs, compostos de carbono, de azoto, de enxofre, ozono, metais pesados ou partículas. A segunda opção implica a melhoria de condições de ventilação e de precipitação, os dois processos principais de limpeza da atmosfera. Quando combinadas, as duas estratégias são muito eficazes.

Convém, no entanto, recordar que o conceito de qualidade do ar é muito complexo porque depende dos requisitos do alvo relativamente ao qual está a ser classificado. Neste trabalho, o foco principal de análise centra-se na saúde dos seres vivos que usam a baixa atmosfera do espaço urbano português. Considerando estes alvos, há um conjunto de propriedades indispensáveis e outras que são desejáveis. É indispensável que o ar na baixa atmosfera mantenha os compostos gasosos comuns como o azoto (78%), o oxigénio (21%) e uma pequena porção (<1%) de vários outros gases dentre os quais o argón, o dióxido de carbono, o hélio, o metano, o ozono, e hidrogénio. Este cocktail gasoso ao qual se junta a água nos três estados físicos é essencial para a prossecução do metabolismo saudável dos seres humanos e de todos os outros seres vivos, designadamente a flora e a fauna urbana. Para além disso é determinante para filtrar as bandas do espectro eletromagnético promotoras de cisão molecular e facilitar a entrada de

um leque amplo de bandas espectrais solares, mas seja opaco aos infravermelhos da irradiação terrestre.

Por outro lado, é desejável que as concentrações de monóxido de carbono, dióxido de azoto, dióxido de enxofre, ozono e PM10 e PM 2,5 não aumentem porque são pouco toleradas pelos seres humanos. Os seres humanos, por exemplo, precisam de inalar cerca de 17000 litros de ar por dia em aproximadamente 20000 ciclos respiratórios ininterruptos diariamente cuja concentração de oxigénio tem de ser suficiente para ativar a função respiratória fundamental para o bom funcionamento celular e exalando dióxido de carbono. Por isso, para a saúde dos seres humanos, é fundamental garantir que o ar envolvente contenha a maior concentração possível de oxigénio e a menor quantidade possível de metais pesados, partículas (PM10 e PM2,5), dióxidos de carbono ou de azoto.

As árvores adultas, por outro lado, precisam de consumir, para além de outros compostos gasosos, cerca de 21kg de dióxido de carbono por ano armazenando-o nos troncos, ramos, folhas e raízes. Os carvalhos, os castanheiros, os pinheiros e outras coníferas são das espécies com maior capacidade de sequestrar carbono. Ao realizarem a fotossíntese armazenam o carbono e libertam oxigénio para atmosfera (ex: 10000 m² de eucalipto podem emitir cerca de 20 toneladas de oxigénio por ano). Para além do dióxido de carbono, as árvores absorvem também outros elementos presentes na atmosfera como as PM2,5 usando-os como nutrientes (ex: a bétula, o teixo e o sabugueiro). Contudo, podem também, durante o seu ciclo biológico, expelir para a atmosfera grandes quantidades de pólen e outros elementos alergológicos (ex: carvalho, nogueira, palmeira, salgueiro, cedro, pinheiro).

De acordo com Oke et al. (2017) as maiores concentrações de poluentes atmosféricos são comumente encontradas em ruas com baixo *sky view factor* estreitas e ladeadas por edifícios altos (alto valor da proporção H/W) onde sejam emitidos efluentes provenientes de tráfego rodoviário ou de pequenas e médias unidades industriais. As ruas a jusante da circulação predominante do ar junto ao solo coincidentes com condições de travagem dos fluxos de ar podem ser também muito poluídas ainda que não tenham qualquer elemento emissor de efluentes para a atmosfera.

Apesar da fragilidade da rede de monitorização da qualidade do ar para o diagnóstico a esta escala espacial, o Porto evidencia indícios de nichos de grande contaminação atmosférica persistente (Figura 76).

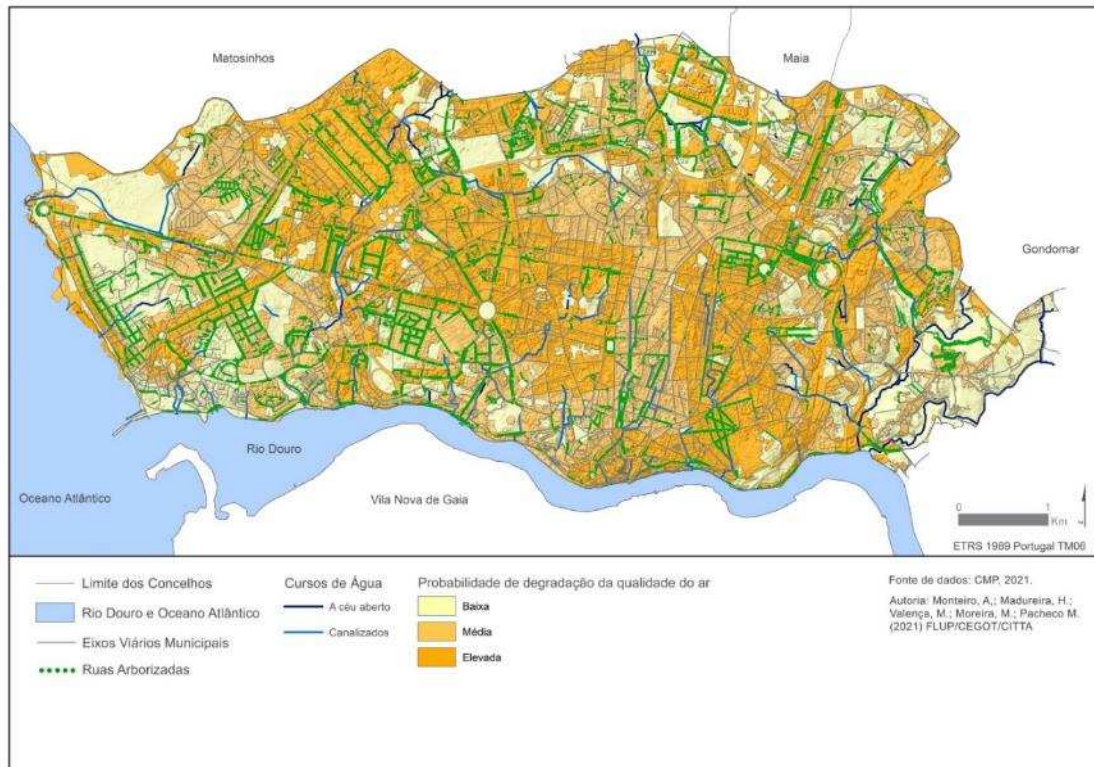


Figura 76 - Probabilidade de ocorrência de degradação da qualidade do ar. Adaptado de CMP (2018)

A ação das árvores na dispersão e deposição dos poluentes

A utilização das árvores nos espaços urbanos é uma solução cada vez mais considerada também com o propósito de varrer da atmosfera as combinações químicas prejudiciais para a saúde humana. Todavia, pelo que se disse, elas só serão eficazes se forem plantadas onde conseguem sequestrar, da baixa atmosfera, os elementos indesejáveis ou onde podem propiciar um aumento da ventilação que exporte os poluentes para camadas mais altas da atmosfera ou para fora do espaço urbano. E, para isso, a decisão exige o conhecimento pormenorizado das características naturais e artificiais concretas de cada rua ou trecho de rua.

As árvores interferem na qualidade do ar diretamente absorvendo alguns compostos gasosos e partículas para se alimentarem e indiretamente porque são objetos que geram efeitos de barreira promotores de aceleração ou travagem dos fluxos de ar ou ainda porque ao sombrearem e arrefecerem os espaços subjacentes podem por si só atrair a chegada de ar quente do espaço envolventes. Santiago et al.(2019) afirma que “existem dois efeitos principais induzidos pela vegetação na poluição atmosférica: os efeitos aerodinâmicos, ou seja, as árvores modificam o fluxo do vento ao seu redor, alterando a distribuição de poluentes; e os efeitos de deposição, ou seja, uma fração do poluente é removida do ar por meio da deposição de poluentes nas folhas das árvores e absorção pelos estômatos.”

Num estudo conduzido em Londres (Buccolieri et al., 2018; Jeanjean et al., 2017), na Rua Marylebone, onde há uma alta concentração de poluentes, NO_x e PM_{2,5}, devido ao tráfego automóvel, foi demonstrada uma redução nos níveis de poluentes após a introdução de árvores

na rua. Essa redução foi estimada em 7,0% por deposição no outono e na primavera e de 7,5% no verão. Apesar de ser um efeito local e interno ao *canyon* urbano, esta redução teria reflexos positivos na qualidade ambiental e na saúde dos residentes. Todavia, a magnitude do impacto das árvores na qualidade do ar da baixa atmosfera depende do tipo e das características físicas e fisiológicas de cada espécie.

As árvores interferem nos ventos que sopram paralelamente ao sentido da via, sendo este à partida o melhor cenário de combinação de ventilação e arborização para diminuição de poluentes nas ruas. Consequentemente, de forma geral, a presença de árvores é positiva em ruas de ventilação paralela, desde que as árvores não sejam mais altas que os edifícios (Buccolieri et al., 2018; Jeanjean et al., 2017; Santiago et al., 2019). Já num cenário de ventos oblíquos e perpendiculares, o efeito de deposição de poluentes é mais alto que o de exaustão aerodinâmica (Jeanjean et al., 2017). Contudo, se as árvores possuírem a copa densa, em ruas de ventilação oblíqua ou perpendicular, os seus efeitos podem ser positivos para a qualidade do ar, dado o efeito de deposição de poluentes nas folhas.

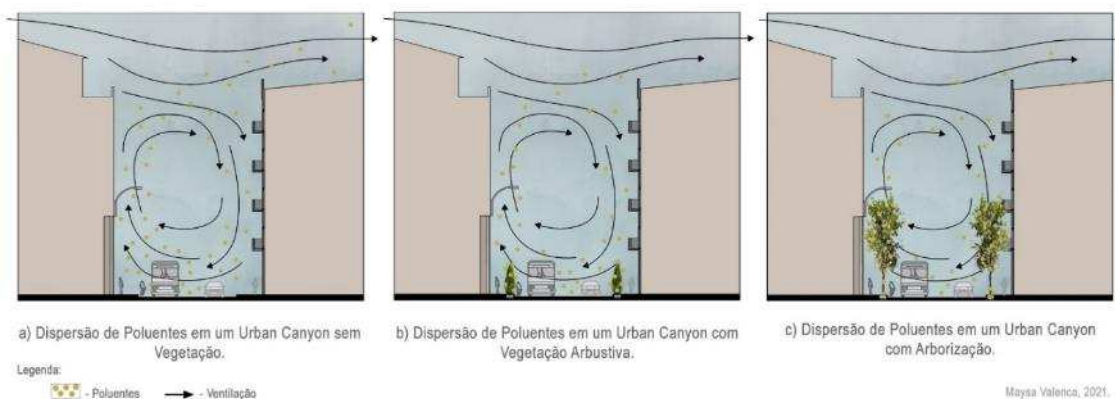


Figura 77 - Dispersão de poluentes em Urban Canyon sem vegetação (a), com arbustos (b) e com árvores (c). Adaptado de Abhijith et al. (2017)

Recomendações

A arborização para efeitos de melhoria da qualidade do ar na baixa atmosfera deve considerar:

1. O efeito das árvores na dispersão dos poluentes depende da velocidade do vento ao nível da rua e da mistura vertical do ar mais poluído com ar menos poluído em níveis mais elevados.
2. Que árvores de copa densa ao longo da rua podem reduzir significativamente a velocidade do vento na baixa atmosfera e impedir a limpeza da atmosfera.
3. Que as árvores maduras e de copas densas são as maiores sequestradoras de alguns poluentes e as maiores emissoras de oxigénio e vapor de água.
4. Que árvores de copa densa promovem sombreamento e o arrefecimento da baixa atmosfera podendo atrair fluxos de ar mais quente de área envolventes mais poluídas.

5. Que as árvores aumentam as concentrações de poluentes quando a direção dos ventos é perpendicular à orientação da rua e promovem a dispersão de poluentes quando os ventos têm direções paralelas à orientação da rua.
6. Que as árvores podem criar condições de abrigo promotoras de concentração dos poluentes emitidos in situ.
7. Que as árvores são emissoras de pólen e partículas que podem contribuir para a degradação da qualidade do ar

5.4. As árvores e a regularização das condições hidrológicas

O ciclo hidrológico urbano

Um dos impactes mais relevantes da artificialização intensa da superfície natural nos espaços urbanizados é aquele produzido no ciclo hidrológico. A impermeabilização do solo e a canalização dos cursos de água, conduzem a uma redução do tempo e da quantidade de permanência da água à superfície (Berland et al., 2017; Mullaney, Lucke e Trueman, 2015). A dificuldade de infiltração da água proveniente da chuva propicia um aumento da quantidade e da velocidade de escoamento da água durante períodos de precipitação prolongada e/ou intensa o que tem vindo a ser particularmente grave em tempos de manifestações de mudança climática e de maior frequência de episódios paroxismáticos.

As evidências científicas da desorganização estacional da distribuição da precipitação no Porto com um aumento da frequência e da gravidade dos eventos extremos de precipitações intensas e de seca têm vindo a originar inundações em várias áreas da cidade, devido aos efeitos cumulativos da impermeabilização do solo urbano, da canalização de cursos de água, e da incapacidade de as condutas suportarem os caudais de cheia com impactes de grande severidade no quotidiano da vida urbana causando danos nas propriedades, vias de comunicação e noutras infraestruturas e equipamentos, a interrupção do fornecimento de bens ou serviços básicos, ou desabamentos em áreas de maior declive (Figura 78). De facto, o Porto tem um elevado índice de impermeabilização em grande parte do seu território (Figura 79) e, portanto, apesar da densidade de cursos de água existentes, a maioria está canalizada artificialmente na totalidade ou em grande parte do seu trajeto (Figura 80).

5. Contexto bioclimático das ruas da cidade do Porto



Figura 78 - Coeficiente de escoamento. Adaptado de CMP (2018).



Figura 79 - Ocorrência de inundações entre 1974 e 2014. Adaptado de CMP (2018).

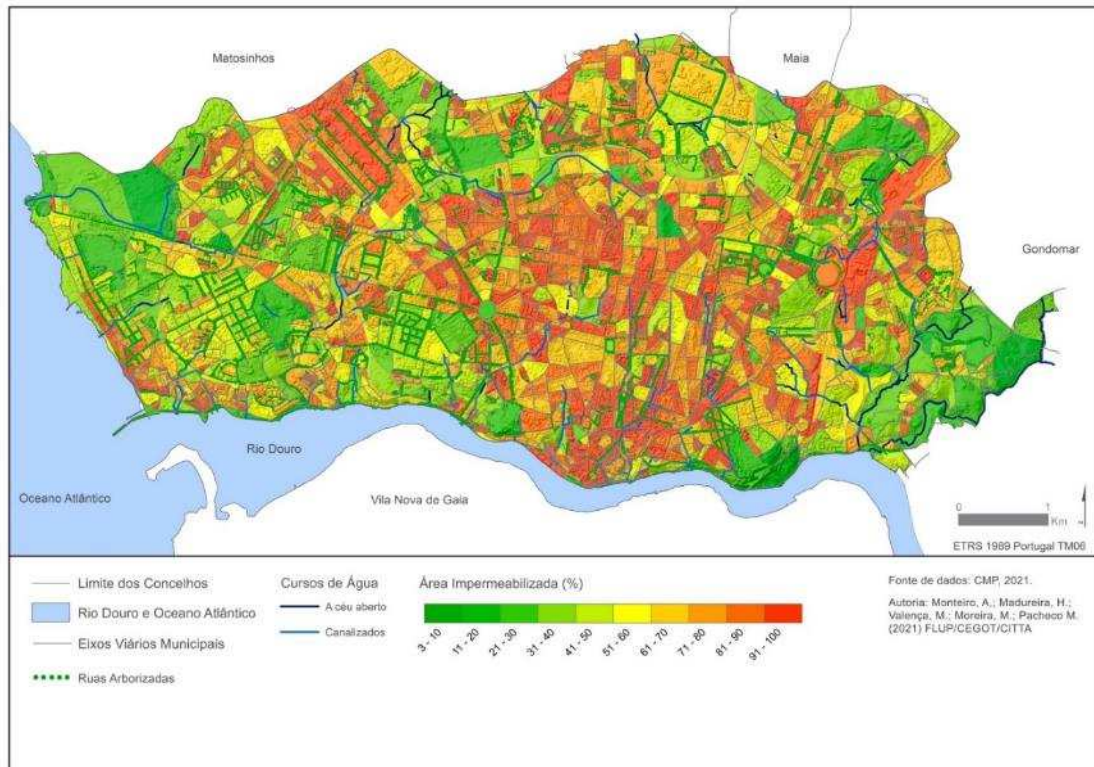


Figura 80 - Área impermeabilizada (%) por subsecção. Adaptado de CMP (2018).

A ação das árvores nas condições hidrológicas locais

A colocação de árvores ao longo das ruas pode ser um instrumento eficaz de adaptação aos riscos provocados pelos eventos extremos de precipitação e de regularização do ciclo hidrológico por: i) diminuir os impactos negativos decorrentes da velocidade e da quantidade da água que chega ao solo; ii) promoverem uma maior distribuição espacial da água precipitada; iii) consumirem uma parte da água que chega ao solo; iv) aumentarem a área permeável em espaço urbano.

Todavia, convém lembrar também que a sua implantação no solo urbano é mais um elemento infraestrutural que modifica as características do subsolo e, em tempo de seca, com a compactação do solo urbano, pode aumentar do risco de abatimento dos pavimentos. Acresce ainda que se a sua localização não estiver próxima dos fluxos subsuperficiais e subterrâneos de água pode obrigar as raízes a procurar suprir as suas necessidades de água danificando de forma lenta e impercetível o suporte biogeofísico.

Assim, a escolha das árvores de rua para promover o bom funcionamento do ciclo hidrológico em espaços urbanizados em tempos de manifestações de mudança climática exige uma intencionalidade que tenha em conta as suas competências específicas para a regularização das condições hidrológicas numa determinada área da cidade em concreto. Dentre os benefícios mais relevantes para este fim (Figura 81) salientam-se (Bartens et al., 2008; Berland et al., 2017):

1. A interceção da precipitação que diminui a quantidade e a velocidade do impacto da água da chuva no solo executado pelas copas das árvores e pelos sistemas radiculares no solo permeável. Uma parte significativa da água intercetada pelas copas das árvores volta à atmosfera

pela ação da evaporação. A restante é armazenada temporariamente nas copas, e uma vez atingida a capacidade de retenção, a água desliza até ao solo, onde parte evapora e a restante escoou ou, havendo condições de permeabilidade, infiltra-se. Este efeito de interceção beneficia, portanto, a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração através da redistribuição da água da chuva, do amortecimento, e da retenção das águas que chegam. O processo da interceção da precipitação tem uma importância assinalável, não apenas do ponto de vista hidrológico, mas também pelo papel ecológico que desempenha, designadamente por diminuir o escoamento e o risco de erosão. A quantidade de precipitação intercetada depende das características da precipitação, da natureza da superfície e o tipo de árvore. Por exemplo, árvores de copa fechada podem interceptar cerca de 18 a 29% da precipitação que sobre elas incide e as coníferas tem a capacidade de interceptar de 18 a 45%.

2. A evapotranspiração que devolve à atmosfera o vapor de água acumulado nas folhas das árvores e que para além de impedir a chegada ao solo é consumidor de energia refrescando o ar ambiente o que, nalguns mosaicos urbanos sobreaquecidos pode ser um benefício adicional muito relevante.

3. A infiltração de água no solo pelas raízes das árvores aumenta a capacidade de infiltração de água, tão dificultada em espaços urbanos. As árvores podem aumentar a infiltração de água no solo em cerca de 60%.

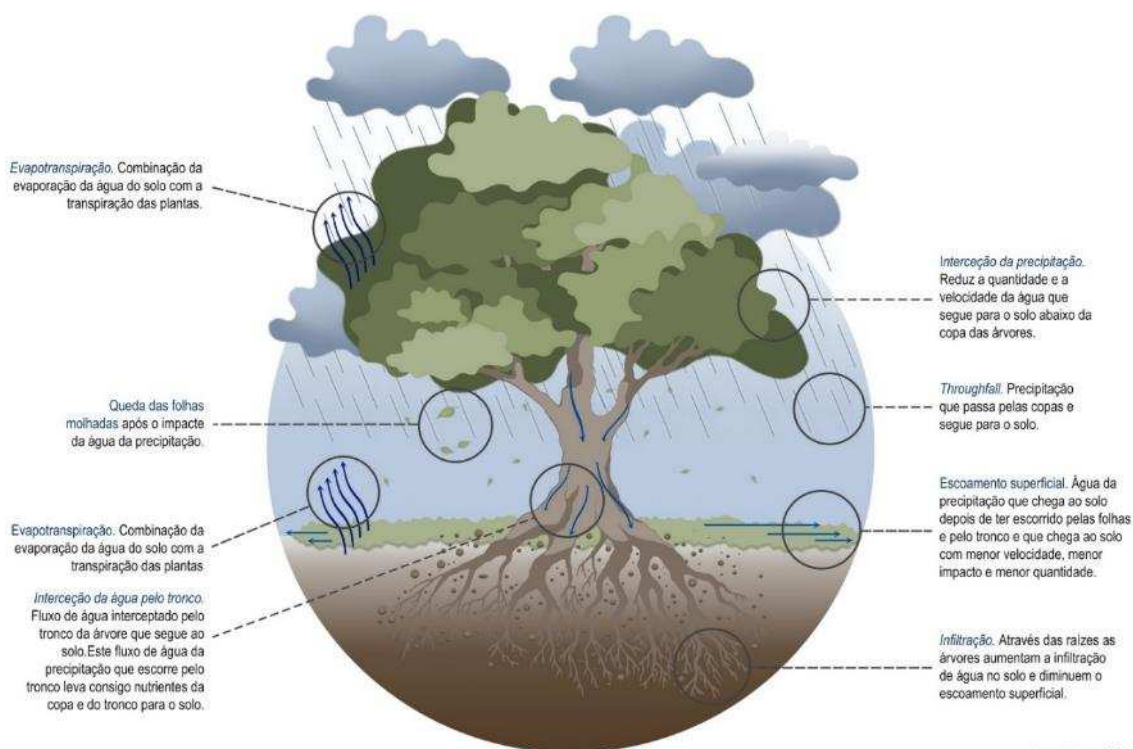


Figura 81 - Impacte das árvores no escoamento superficial.

Recomendações

Quanto à arborização de ruas para efeitos de regularização dos processos hidrológicos, deve considerar-se:

1. O contributo para a diminuição da quantidade e velocidade do escoamento superficial e das possíveis consequências negativas como por exemplo as inundações urbanas. As árvores com a copa mais densa são as que têm maior capacidade de interceção da água proveniente da precipitação.
2. As árvores de folha perene e de copa larga são as mais apropriadas para exercer em pleno esta função de interceção da precipitação em contextos climáticos como o portuense onde a precipitação intensa coincide com a época mais fria do ano.
3. As árvores de folha caduca são as menos apropriadas para os locais com maior risco de inundações e cheias urbanas pelo agravamento dos danos e perdas causados pelo entupimento causado pelas folhas caídas.

5.5. Contribuição da arborização dos arruamentos para qualidade de vida, a saúde e o bem-estar dos portuenses

Os benefícios da presença de espaços verdes, e especificamente de árvores de arruamento, para a saúde e bem-estar humano têm vindo a ser sucessivamente explorados e documentados (Markevych et al., 2017; Salmond et al., 2016).

A contribuição para a saúde física e mental e para o bem-estar geral é dada, por um lado, pela promoção do contacto com a natureza, pela facilitação da prática de atividades recreativas passivas ou ativas ao ar livre, ou ainda pela facilitação da interação social e o sentimento de pertença à comunidade. Por outro lado, são múltiplos os efeitos da saúde e bem-estar dos serviços ambientais fornecidos pelas árvores em contextos urbanos, como a atenuação do ruído, a purificação da atmosfera ou a amenização local da temperatura (Madureira, 2016).

No âmbito deste capítulo, sintetizamos os potenciais principais efeitos da presença de árvores na saúde e bem-estar da população, tendo em consideração os quatro domínios aqui analisados: temperatura, ventilação, poluição do ar e ciclo hidrológico urbano (Figura 82).

Potenciais efeitos negativos:	Potenciais efeitos positivos:
<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição do conforto térmico nas ruas com baixo sky view factor sobretudo no inverno; • Aumento do desconforto térmico nas áreas mais frias e húmidas; • Aumento da humidade relativa o que combinado com a temperatura pode aumentar o desconforto térmico durante os dias e as noites quentes de verão; • Diminuição do conforto outdoor no verão, pelo efeito de obstrução à dissipação do calor gerado no espaço urbano; • Diminuição da ventilação com fluxos de ar perpendiculares à orientação da via; • Agravamento do desconforto térmico em dias frios de inverno pelo efeito de windchill; • Aumento do risco de queda das árvores; • Aumento da concentração de CVO, pólenes e partículas; • Aumento da probabilidade de ocorrência de reações químicas entre compostos gasosos pela presença de maior quantidade de vapor de água; • Aumento dos consumos de água subsuperficial e subterrânea; • Maior probabilidade de compactação do solo em períodos de seca prolongada; • Alteração da qualidade e velocidade da água com a queda de folhas e ramos; • Aumento do risco de queda de árvores; • Maior dificuldade para as pessoas com mobilidade reduzida; • Aumento das crises asmáticas e alergológicas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento do conforto térmico nos espaços públicos com elevados sky view factor sobretudo no verão; • Aumento do conforto térmico no interior dos edifícios, sobretudo no verão; • Aumento de conforto outdoor no verão provocado pela ventilação com fluxos de ar paralelos à orientação da via; • Melhorias na limpeza da atmosfera; • Aumento da probabilidade de maior dispersão de poluentes com tempos e distância de transporte curtos; • Diminuição das condições para a reação química entre compostos gasosos na baixa atmosfera; • Melhoria na limpeza da atmosfera pela absorção de alguns poluentes e/ou pela captura temporária nas copas; • Aumento da probabilidade de menor aspiração de poluentes gerados em áreas próximas do solo com temperaturas menos elevadas devido ao arrefecimento da baixa atmosfera com o sombreamento; • Aumento da área permeável; • Diminuição da velocidade de escoamento aquando da precipitação; • Melhor distribuição da água superficial, subsuperficial e subterrânea; • Diminuição da morbilidade e mortalidade associada a eventos de calor extremo; • Diminuição da morbilidade e mortalidade associada à poluição atmosférica; • Melhoria da saúde física e mental;

Figura 82 - Síntese dos impactes da arborização das ruas para o conforto outdoor e para a saúde dos seres humanos.

6. Diagnóstico: oportunidades e constrangimentos das ruas da cidade do Porto para arborização

Na fase de diagnóstico, refletiu-se sobre o potencial de arborização das ruas e sobre a adequação da arborização existente a estas. Nesse sentido, numa primeira fase, a análise desenvolvida sobre a largura das ruas foi cruzada com a análise desenvolvida ao nível da largura expectável da copa arbórea; numa segunda fase, o resultado dessa sobreposição foi ainda cruzado com as condições bioclimáticas, nomeadamente o conforto térmico *outdoor*.

6.1. Síntese 1: largura da rua e largura da árvore

Para realizar o cruzamento da largura da rua com a largura da copa da árvore procedeu-se à homogeneização das classes de largura das ruas, sendo agora agrupadas em quatro classes: 1) **ruas muito estreitas**, com largura inferior a 10m; 2) **ruas estreitas**, com largura igual ou superior a 10m mas inferior a 14m; 3) **ruas médias**, com largura igual ou superior a 14m mas inferior a 18m; e 4) **ruas largas**, com largura igual ou superior a 18m (Figura 83). Neste processo, as anteriores classes de ruas largas e muito largas foram homogeneizadas numa só classe de ruas largas, para melhor relacionar com as classes de largura das copas e ainda pelo facto de as ruas muito largas serem pouco representativas no contexto da cidade. A classificação da largura expectável da copa da árvore manteve as classes apresentadas anteriormente (ver subcapítulos 3.2 e 4.1): 1) **árvores de copa estreita**, com largura inferior a 4m; 2) **árvores de copa média**, com largura igual ou superior a 4m e inferior a 8m); 3) **árvores de copa larga**, com largura igual ou superior a 8m.



Figura 83 - Mapa das ruas classificadas de acordo com a sua largura, considerando a agregação das duas classes de ruas mais largas.

A avaliação da arborização existente apoia-se na possibilidade de cumprimento dos pressupostos apresentados no capítulo 2. Desta maneira, assume-se a necessidade da existência de corredores essenciais de circulação de pessoas e veículos, sobretudo pessoas com mobilidade reduzida e veículos de emergência de grande dimensão, de acordo com as dimensões mínimas atualmente regulamentadas. Com base nestes princípios, o espaço que a rua oferece é confrontado com as dimensões das árvores que alberga. Considera-se que uma rua tem **potencial de arborização** quando apresenta espaço suficiente para acolher árvores, sem comprometer os fluxos vitais acima indicados, com o mínimo de intervenção até um período de 20 a 30 anos.

LARGURA DA RUA \ ARBORIZAÇÃO	RUA MUITO ESTREITA (largura <10m)	RUA ESTREITA (10m ≤ largura <14m)	RUA MÉDIA (14m ≤ largura <18m)	RUA LARGA (largura ≥18m)
SEM ÁRVORES	Ruas não arborizadas, sem potencial de arborização	Ruas não arborizadas, com potencial de arborização		
ÁRVORES DE COPA ESTREITA (copa ≤4m)	Ruas arborizadas, com espécie de copa adequada			
ÁRVORES DE COPA MÉDIA (4m < copa ≤8m)	Ruas arborizadas, sem potencial de arborização	Ruas arborizadas, com espécie de copa inadequada	Ruas arborizadas, com espécie de copa adequada	
ÁRVORES DE COPA LARGA (copa >8m)	Ruas arborizadas, sem potencial de arborização		Ruas arborizadas, com espécie de copa adequada	

Figura 84 - Matriz relacional da largura da rua e da largura da copa da árvore.

De acordo com os pressupostos anteriormente enunciados, estabelece-se que: 1) a generalidade das ruas muito estreitas não têm potencial de arborização; 2) a generalidade das ruas estreitas têm potencial de arborização, desde que sejam utilizadas árvores de copa estreita; 3) a generalidade das ruas médias têm potencial de arborização, desde que sejam utilizadas árvores de copa média ou estreita; 4) a generalidade das ruas largas têm potencial de arborização, com árvores de copa larga, média ou estreita. O cruzamento das classes de largura de rua com as classes de largura de copa das espécies arbóreas permitiu realizar uma avaliação expedita da arborização existente, como é apresentada na Figura 84 e na Figura 85.



Figura 85 - Mapa síntese do potencial de arborização.

Analisando a Figura 86, é possível averiguar que quase metade das ruas em estudo corresponde a ruas sem potencial de arborização, isto é, são ruas muito estreitas, com uma largura inferior a 10m. Como seria expectável, a grande maioria destas (48,0% do total) não ostenta atualmente arborização de rua baseada em alinhamentos; apenas uma quantidade residual de ruas muito estreitas apresenta arborização (0,6%), o que não tem expressão à escala da cidade. Por outro lado, 51,5% das ruas diagnosticadas têm potencial de arborização, pois têm largura para acolher elementos arbóreos. Do conjunto das ruas com potencial, destacam-se pela sua abundância as ruas que ainda não são arborizadas (31,6% do total); este resultado aponta para a existência de múltiplas oportunidades para arborização ainda por aproveitar. Das ruas atualmente arborizadas, considera-se que cerca de um terço está arborizada com uma espécie cuja largura da copa não é compatível com a largura da rua, tendo por isso uma maior probabilidade de originar conflitos entre a árvore, os fluxos da rua e a malha urbana. As ruas arborizadas com espécie de copa adequada, incluem as ruas cuja dimensão permite acolher elementos arbóreos da espécie que de momento integram.

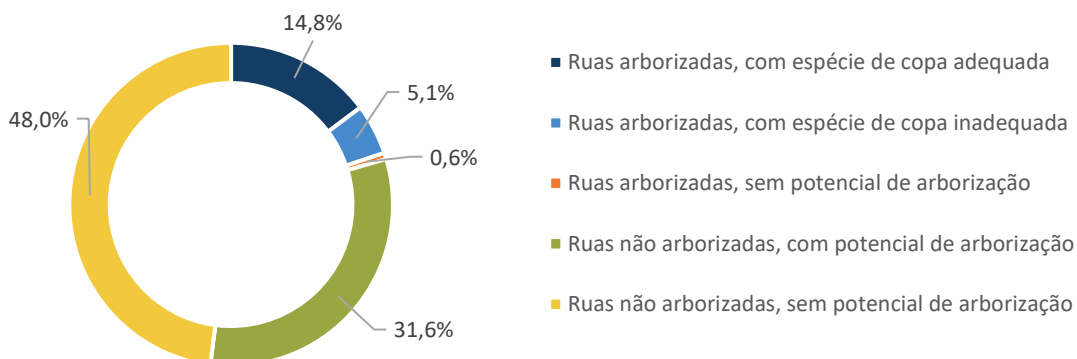


Figura 86 - Proporção das ruas classificadas de acordo com a síntese do potencial de arborização.

6.1.1. Ruas arborizadas, com espécie de copa adequada



Figura 87 - Mapa das ruas arborizadas, com espécie de copa adequada, tendo em conta a largura da rua e a largura da copa da árvore.

Estas ruas incluem todas as ruas atualmente arborizadas, cuja largura permite albergar a copa expectável das espécies existentes; correspondem a 14,8% das ruas em análise (59,8km). Nestas ruas são pouco prováveis os conflitos entre o espaço ocupado pela árvore e os principais fluxos da rua (Figura 87).

Neste conjunto de ruas podemos destacar as ruas em que a classe de largura da espécie arbórea melhor se adequa à classe de largura da rua (56,9% deste conjunto), ou seja: 1) ruas estreitas com árvores de copa estreita; 2) ruas médias com árvores de copa média; 3) ruas largas com árvores de copa larga. Contudo, é de referir que, embora a rua tenha capacidade para suportar a espécie atualmente utilizada para a arborização de arruamento, na maior parte dos casos, os elementos arbóreos estão implantados demasiado perto do limite da rua, não tendo o devido afastamento da fachada dos edifícios ou limite das propriedades privadas, gerando elevada probabilidade de ocorrência de conflitos a não ser que se mantenham frequentes operações de manutenção (exemplo, corte de ramos, podas de condução da parte aérea da árvore). Esta é uma situação relativamente frequente, uma vez que a maioria destas ruas possui alinhamentos arbóreos laterais, de um ou dos dois lados, como sucede, por exemplo, nalgumas ruas da Foz Nova (troços da Rua de Gondarém, troços da Rua do Marechal Saldanha e Rua do Dr. Sousa Rosa), Rua de D. Pedro V, Rua do Engenheiro Ferreira Dias, Avenida da França (Figura 88), Rua de Guerra Junqueiro, Avenida de Rodrigues de Freitas, troços da Avenida de Fernão de Magalhães e Alameda da Cruz Vermelha Portuguesa. Como exceções, podemos salientar a Avenida dos Combatentes da Grande Guerra, arborizada com *Platanus x acerifolia*, e a Alameda de Cartes, com *Tilia x europaea*, em que a arborização de arruamento está localizada numa faixa central, e onde não se prevêem conflitos com o edificado adjacente (Figura 88).



Figura 88 - Exemplos de ruas arborizadas, com espécie de copa adequada: a) Rua do Engenheiro Ferreira Dias, rua larga com espécie de copa larga (*Zelkova serrata*); b) Avenida da França, rua muito larga com espécie de copa larga (*Tilia cordata*); c) Avenida dos Combatentes da Grande Guerra, rua larga com espécie de copa larga (*Platanus x acerifolia*); d) Alameda de Cartes, rua larga com espécie de copa larga (*Tilia x europaea*). Origem das imagens: Google Earth.

Por outro lado, integram-se também neste grupo as ruas que acolhem elementos arbóreos subdimensionados em relação à largura destas (43,1% deste grupo): 1) ruas médias com árvores de copa estreita, 2) ruas largas com árvores de copa estreita, e 3) ruas largas com árvores de copa média. Neste conjunto de ruas, pode salientar-se, por exemplo, a Avenida das Congostas e a Rua dos Campeões Europeus, ambas classificadas como ruas largas, arborizadas respetivamente, com *Acer platanoides* (copa média) e *Magnolia virginiana* (copa estreita), que demonstram espaço para o desenvolvimento de vegetação arbórea com um diâmetro de copa mais generoso (Figura 89). Seria de esperar que nestes casos, a probabilidade de conflito entre a árvore e os outros elementos do espaço urbano seria reduzida. Contudo deve referir-se que, em muitas ruas deste grupo, embora a dimensão dos elementos arbóreos seja reduzida em relação à largura da rua, o posicionamento dos mesmos não é o mais correto, uma vez que se encontram junto ao limite externo da rua, potenciando conflitos com os edifícios e propriedades privadas. Esta é a situação da Avenida do Dr. Antunes Guimarães, da Rua Cinco de Outubro, e da Rua de Mouzinho da Silveira.

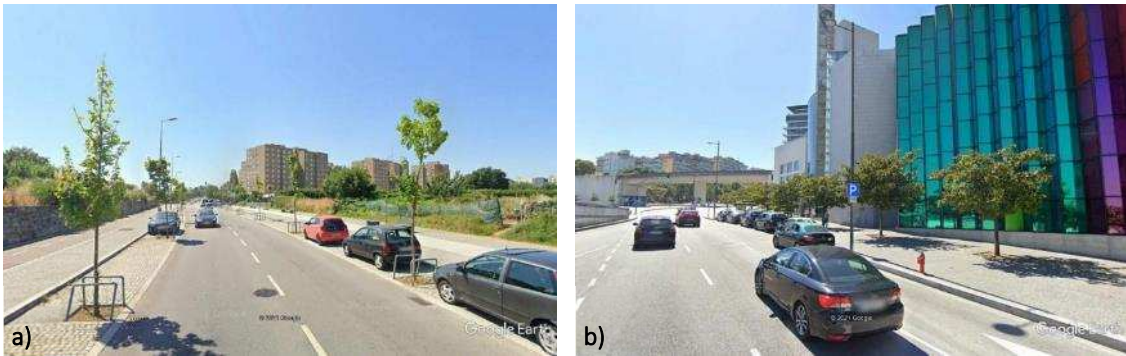


Figura 89 - Exemplos de ruas arborizadas, com espécie de copa adequada, mas subdimensionada: a) Avenida das Congostas, rua larga com espécie de copa média (*Acer platanoides*); b) Rua dos Campeões Europeus, rua larga com espécie de copa estreita (*Magnolia virginiana*). Origem das imagens: Google Earth.

6.1.2. Ruas arborizadas, com espécie de copa inadequada



Figura 90 - Mapa das ruas arborizadas, com espécie de copa inadequada.

Nesta categoria incluem-se as ruas cuja largura não é compatível com a espécie arbórea que de momento acolhem (5,1%, ou 20,5km, das ruas diagnosticadas). Este grupo inclui: ruas estreitas com árvores de copa média e de copa larga, e ruas médias com árvores de copa larga (Figura 90). Nestas ruas, a probabilidade de ocorrência de conflitos entre a árvore e os outros elementos da malha urbana é bastante elevada, uma vez que se prevê que o crescimento do elemento arbóreo ultrapasse facilmente o limite da rua, colidindo com fachadas e propriedades privadas. Podem aqui destacar-se importantes eixos da Foz Nova, como troços da Rua do Marechal Saldanha (Figura 91), da Rua do Molhe e da Rua do Crasto, em que a elevada dimensão dos elementos arbóreos obriga a uma manutenção exigente em operações de poda e condução em túnel, de modo a manter as características históricas do local. Outros exemplos são a Rua do Duque da Terceira (Figura 91) e a Rua do Duque de Saldanha (ruas médias arborizadas com *Aesculus hippocastanum*, de copa larga) e a Rua Dr. Corino de Andrade (rua média arborizada com *Tilia x*

europaea e *T. tomentosa*, ambas de copa larga). Como exceção, pode salientar-se a Rua da Restauração (rua média), arborizada com *Platanus x acerifolia* (espécie de copa larga), mas cujo contexto em zona muito declivosa permite uma maior amplitude ao nível do espaço disponível para crescimento das copas.

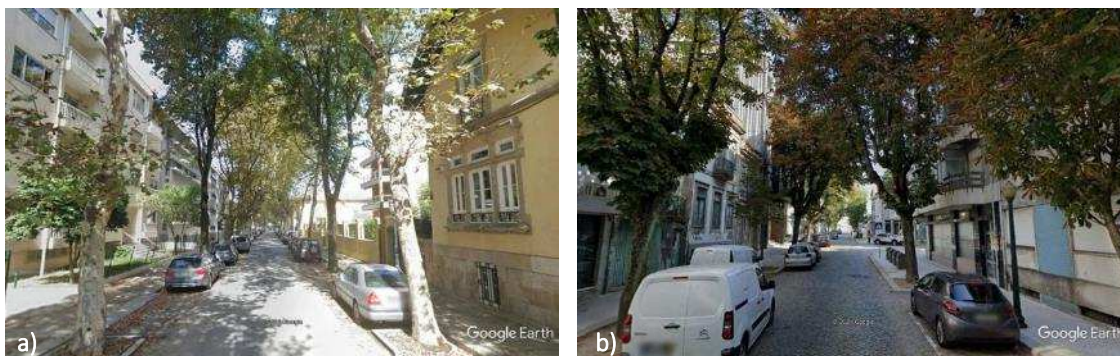


Figura 91 - Exemplos de ruas arborizadas, com espécie de copa inadequada: a) Rua do Marechal Saldanha, rua estreita com árvore de copa larga (*Platanus x acerifolia*); b) Rua do Duque da Terceira, rua média com árvore de copa larga (*Aesculus hippocastanum*). Origem das imagens: Google Earth.

6.1.3. Ruas arborizadas, sem potencial de arborização



Figura 92 - Mapa das ruas arborizadas, sem potencial de arborização.

As ruas identificadas na Figura 92 são ruas muito estreitas, com largura inferior a 10m, em que, de acordo com os pressupostos formulados (capítulo 2), é muito difícil compatibilizar a presença da vegetação arbórea, com o desenvolvimento natural da árvore, e a baixa manutenção, num horizonte temporal de 20 a 30 anos, sem gerar conflitos com os fluxos da rua e com a malha urbana envolvente.

Embora de forma residual (apenas 0,6%, ou 2,5km, das ruas em análise), existem alguns casos de ruas muito estreitas no Porto que apresentam arborização de arruamento. São disso exemplos, a Rua da Escola, a Rua da Galeria de Paris (Figura 93) ou troço da Rua do Alfageme de Santarém. Importa, salientar que a generalidade das ruas desta categoria são casos excepcionais no contexto geral da cidade, em que a dinâmica do local origina reduzidas exigências, especialmente a nível da compatibilização das diferentes funções. Por exemplo, a maior parte das ruas assinaladas na Figura 92 corresponde à malha urbana dos característicos bairros de casas económicas (Ramalde, Amial, Azenha, Paranhos e S. Roque da Lameira), as quais servem de acesso ao interior destas zonas residenciais. São ruas muito simplificadas, em que existe partilha do corredor de circulação pelos diversos utilizadores da rua, quer seja para trânsito de peões, velocípedes ou automóvel, e onde a arborização se encontra implantada numa faixa central, beneficiando de espaço adicional para o seu desenvolvimento (Figura 93). Existem também casos de ruas muito estreitas que se desenvolvem paralelamente a outras vias de circulação importantes, nas quais a vegetação arbórea desempenha uma importante função de barreira visual e acústica, podendo desenvolver-se parcialmente para além do limite da rua, como acontece junto ao viaduto da Rua de Pedro Hispano e na Rua do Relógio, junto à VCI (Figura 93). Outro caso excepcional é o Passeio das Fontainhas (Figura 93), uma rua muito estreita arborizada com uma espécie de copa larga (*Platanus x acerifolia*); neste caso, a sua implantação permite a existência dos elementos arbóreos sem conflito, pelo menos num dos lados, pois trata-se de uma zona muito declivosa, onde o edificado nem sempre se manifesta ao nível da rua. Foram também detetadas algumas situações pontuais de urbanização incompleta, como na Travessa da Igreja de Nevogilde, em que é expectável que a largura da rua venha a ser aumentada e que a arborização passe a ter mais espaço para o seu correto desenvolvimento, com menor probabilidade de originar conflitos.



Figura 93 - Exemplos de casos especiais de ruas arborizadas, sem potencial de arborização: a) Rua da Galeria de Paris, rua muito estreita com árvore de copa média (*Ginkgo biloba*); b) Rua dos Junquinhos (Bairro do Amial), rua muito estreita com árvore de copa larga (*Celtis australis*); c) Rua do Relógio, rua muito estreita com árvore de copa larga (*Celtis australis*); d) Passeio das Fontainhas, rua muito estreita com árvore de copa larga (*Platanus x acerifolia*).

6.1.4. Ruas não arborizadas, com potencial de arborização

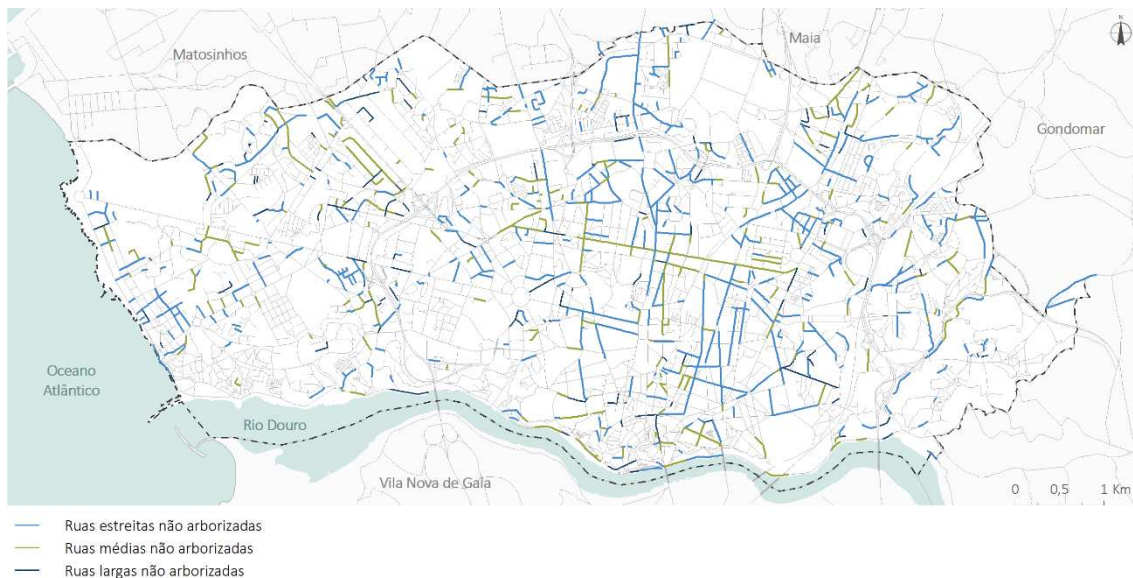


Figura 94 - Mapa das ruas não arborizadas, com potencial de arborização.

O Porto tem neste momento 128,1km de ruas não arborizadas que pela sua dimensão, têm potencial para albergar vegetação arbórea, em simultâneo com os corredores essenciais de circulação. Estas ruas correspondem a 31,6% do total das ruas diagnosticadas, ou 39,7% do conjunto de ruas não arborizadas.

Neste conjunto consideram-se: 1) ruas estreitas não arborizadas, 2) ruas médias não arborizadas, e 3) ruas largas não arborizadas, que estão apresentadas na Figura 94.

A maior concentração de ruas não arborizadas que têm potencial para o ser ocorre nas zonas ocidental e centro-norte. Na zona ocidental, podem destacar-se algumas ruas da Foz Nova, especialmente as com orientação perpendicular à linha de costa, como a Rua de Pero da Covilhã, Rua de Pero de Alenquer, Rua do Padrão e Rua da Agra; evidenciam-se também alguns eixos importantes em Aldoar (Rua de Martim Moniz, Rua do Lidador; Figura 95) e na área do Pinheiro Manso (Rua de Mota Pinto, Rua de S. João Bosco).

Na zona centro, sobressai uma das mais importantes artérias desta zona, que distribui os fluxos com orientação este-oeste, a Rua da Constituição (Figura 95), que tem dimensão para suportar a presença de vegetação arbórea em praticamente toda a sua extensão. De igual modo, podem também salientar-se nesta zona diversos troços com orientação norte-sul, como na Rua de Serpa Pinto (Figura 95), Rua de Antero de Quental, Rua de S. Brás, Rua de Camões, Rua de Santa Catarina, Rua da Alegria, Rua de D. João IV e Rua de Santos Pousada.

Na zona oriental não surgem tantas oportunidades, mas estão ainda por arborizar alguns troços da Avenida de Fernão de Magalhães, a Rua de Pinto Bessa (Figura 95), a Rua do Bonfim, troços da Rua de S. Roque da Lameira, a Rua do Falcão, a Rua das Areias, a Rua Nova das Areias e a secção da Estrada da Circunvalação que atravessa Campanhã.

6. Diagnóstico: Oportunidades e constrangimentos das ruas da cidade do Porto para arborização



Figura 95 - Exemplos de ruas não arborizadas, com potencial de arborização: a) Rua do Lidador; b) Rua da Constituição; c) Rua de Serpa Pinto; d) Rua de Pinto Bessa. Origem das imagens: Google Earth.

6.1.5. Ruas arborizáveis e não arborizáveis



Figura 96 - Mapa das ruas arborizáveis e não arborizáveis, de acordo com as variáveis espaciais.

Os dados espaciais, apresentados anteriormente, permitiram distinguir as ruas do Porto em ruas arborizáveis e ruas não arborizáveis (Figura 96).

As **ruas arborizáveis** são aquelas de largura igual ou superior a 10m, que possibilitam a existência saudável e segura de árvores, se observada correta articulação entre largura da rua e largura da copa, sem comprometer os fluxos essenciais de pessoas e veículos de emergência de maiores dimensões, considerando um intervalo de tempo de 30 anos e um esforço mínimo de manutenção das árvores.

As **ruas não arborizáveis** correspondem às ruas com largura inferior a 10m (ruas muito estreitas). Nestas ruas é difícil cumprir os pressupostos formulados, nomeadamente as condições de fluxos essenciais em simultâneo com a presença da árvore.

Verifica-se que as ruas arborizáveis correspondem a 51,1% (205,5km) do total das ruas elegíveis para esta reflexão (todas as ruas da cidade menos os troços daquelas associadas a espaços parcelares). Igualmente se constata que as ruas não arborizáveis perfazem 48,9% (197,0km) da população em estudo. Daqui se pode inferir que a oportunidade da cidade do Porto para resolver problemas de reforço da estrutura verde à custa da arborização das ruas sugere não ser muito significativa; contudo, os números não revelam a enorme importância das ruas arborizadas como elementos fundamentais de estimulação da conectividade verde e de manutenção da biodiversidade mínima em situações de elevada densidade de urbanização. São assim, para já, elementos qualitativos de enorme valor para cumprir o *continuum naturale* e consumir o metabolismo pleno de uma vida mais saudável na cidade.



Figura 97 - Mapa das ruas arborizáveis, integrando ruas atualmente arborizadas e ruas atualmente não arborizadas.

Como se pode verificar na Figura 96, as maiores oportunidades para a arborização de arruamento parecem estar concentradas nas zonas ocidental, norte e centro-norte, sendo que a faixa da cidade mais a sul, junto ao rio, parece apresentar mais desafios para uma correta arborização. De entre as ruas arborizáveis deve dar-se prioridade de intervenção às ruas não arborizadas (Figura 97) nas zonas mais centrais, como por exemplo troços das ruas: Constituição, Serpa Pinto, Camões, João Pedro Ribeiro, Santa Catarina, Alegria, Santos Pousada, Vale Formoso, Antero de Quental. Estas situam-se em zonas de malha urbana densamente edificada e construída, com poucos espaços verdes de acesso público e, por isso, muito carentes de arborização nas ruas. De igual modo, deve-se também priorizar a arborização de ruas que conectam com os concelhos

limitrofes, nomeadamente a Rua do Monte dos Burgos e Rua do Amial. É relevante referir que a maior parte das ruas arborizáveis que não estão ainda arborizadas correspondem a ruas estreitas (60,4%) e ruas médias (27,5%), exigindo uma forte perícia na sua organização e desenho de modo a viabilizar a existência de árvores.

Das ruas já arborizadas, deve dar-se prioridade de reflexão às que apresentam arborização com espécie de largura inadequada e que, por isso, requerem revisão da arborização. Salientam-se algumas ruas da Foz (exemplos: troços da Rua de Marechal Saldanha, Rua do Molhe e Rua do Crasto) e as ruas que irradiam da zona do Cemitério do Prado do Repouso / Largo de Soares dos Reis (exemplos: Rua do Duque da Terceira, Rua do Duque de Saldanha, Rua de Joaquim António de Aguiar).

6.2. Síntese 2: largura da rua, largura da árvore e conforto térmico *outdoor*

Sequencialmente, cruzou-se a informação sintetizada pela articulação da largura das ruas e da arborização das ruas, com a informação obtida pelos estudos de bioclimatologia, especificamente no que diz respeito ao conforto térmico *outdoor*. Os estudos de bioclimatologia, apresentados no capítulo 5, sugerem quais as ruas onde a arborização teria um impacto positivo ou negativo para o conforto térmico *outdoor*. As ruas muito estreitas e as ruas associadas a espaços parcelares não foram incluídas neste procedimento, pelas suas especificidades anteriormente referidas.

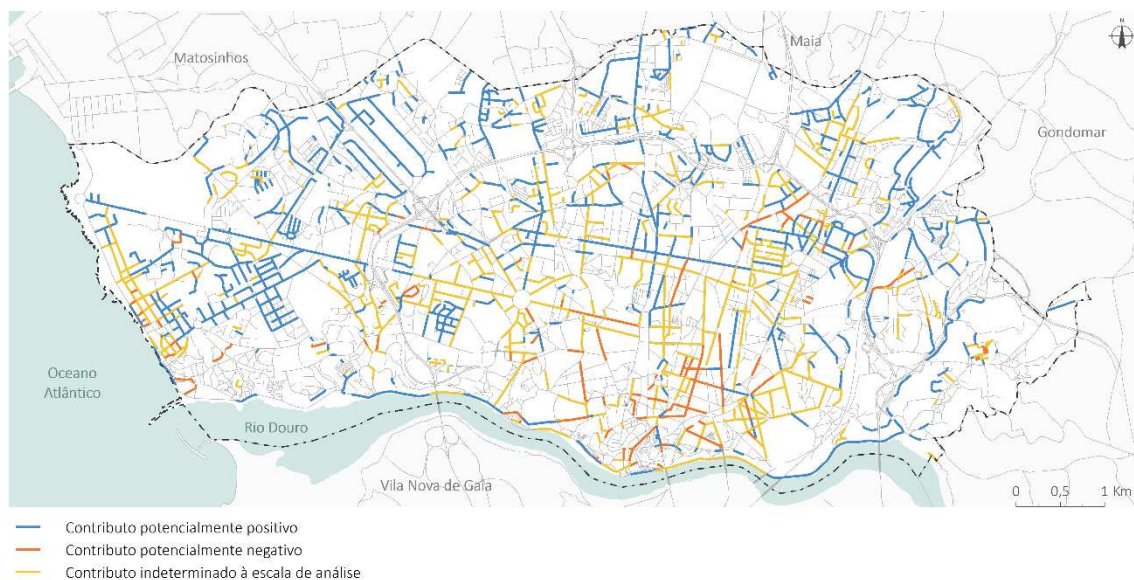


Figura 98 – Adaptação e simplificação do efeito da arborização de arruamento para o conforto térmico *outdoor*, aplicado às ruas arborizáveis.

Considerando que as abordagens, respetivamente, espacial e bioclimática seguem pressupostos diferentes, o seu rigoroso cruzamento é impraticável. É, contudo, possível exercitar uma sobreposição aproximativa destas variáveis, a qual permite uma “especulação sustentada” que pode ser útil para a formulação de tendências de metabolismo espacial e bioclimático das ruas.

Deste modo, procedeu-se a uma simplificação da informação cartográfica registada no mapa da Figura 82, apresentada aqui na Figura 98. Este mapa resulta da classificação de cada troço de rua de acordo com os principais impactos da arborização para o conforto térmico *outdoor*, feita através de interpretação visual sobre o predomínio das manchas ou gradientes da Figura 82. Neste processo, manteve-se a nomenclatura das classes apresentadas na Figura 82, distinguindo-se do mesmo modo as ruas onde a arborização teria efeito negativo, positivo ou indeterminado no conforto térmico *outdoor*.

Das ruas com potencial de arborização (ruas arborizáveis), 8,7% (17,8km) são negativamente influenciadas pela presença de árvores, no que respeita ao conforto térmico *outdoor*. Das ruas com potencial de arborização, 50,8% (104,4km) são positivamente influenciadas pela presença de árvores, no que respeita ao conforto térmico *outdoor*. A escala de análise utilizada para os estudos de bioclimatologia não permite aferir o contributo da arborização em cerca de 40% (81,1km) das ruas em estudo.

A Figura 98 sugere assim que, em diversas ruas das áreas mais centrais do Porto, não é expectável que a arborização traga benefícios bioclimáticos ao nível do conforto térmico *outdoor*. Exemplos disso encontram-se na Rua da Boavista, num troço da Rua de Cedofeita, num troço da Rua da Torrinha, na Rua do Rosário, num troço da Rua de Santa Catarina, na Rua de D. João IV (Figura 99), na Rua de Passos Manuel e num troço da Rua de Fernandes Tomás (Figura 99). Um pouco mais a norte, salientam-se troços da Rua de Costa Cabral perto das Antas (Figura 99), onde a arborização de arruamento poderia originar algum desconforto térmico para os utilizadores. Na zona oriental, a vegetação arbórea também poderia originar este tipo de problemas nos troços da Rua de S. Roque da Lameira entre a VCI e a Alameda de Cartes (Figura 99).



Figura 99 - Exemplos de ruas onde a arborização originária, potencialmente, desconforto térmico: a) Rua de D. João IV; b) troço da Rua de Fernandes Tomás; c) troço da Rua de Costa Cabral; d) troço da Rua de S. Roque da Lameira.

6.3. Espécies e cultivares mais e menos adequadas

A presença da árvore na rua oferece diversos benefícios para a vivência da cidade, desde a filtração do ar e regulação do conforto térmico à valorização do espaço público e do edificado. No entanto, a seleção inadequada de espécies e cultivares arbóreos pode gerar conflitos com os principais fluxos (pessoas e veículos), edificado e infraestruturas que disputam no espaço-canal; esta situação pode ser também pouco favorável à árvore não permitindo o seu bom desenvolvimento ou mesmo conduzindo à sua morte. As espécies e cultivares arbóreos devem ser selecionados tendo em conta as condicionantes ao desenvolvimento da árvore determinadas por cada rua, sendo que o espaço disponível para a existência da árvore será o ponto fulcral. A árvore só deve surgir na rua quando exista o espaço mínimo para a albergar; o seu desenvolvimento deve ser garantido com o mínimo de manutenção (até pelo menos à jovem idade adulta) assegurando um conflito mínimo ou eficientemente controlável com os restantes elementos e funções do espaço-canal.

A seleção da espécie de árvore de arruamento deve atender a alguns princípios, sendo a largura expectável da copa ao fim de 30 anos um dos mais importantes. Assim, a classe de largura da copa (subcapítulo 3.2. Tipologia de arborização de arruamento) deve corresponder à classe de largura da rua (subcapítulo 3.3) de modo a otimizar esta relação: ruas estreitas – árvores estreitas; ruas médias – árvores médias; ruas largas – árvores largas.

Desta forma procurou-se averiguar quais as espécies de árvores existentes que cumprem a condição formulada. As espécies cuja largura expectável da copa é 4m (árvores de copa estreita), para o cenário temporal considerado, são pouco abundantes no conjunto das árvores de arruamento na cidade do Porto. Neste grupo salientam-se *Camellia japonica*, *Cercis siliquastrum*, *Hibiscus syriacus*, *Lagerstroemia indica*, *Ligustrum japonicum*, *Ligustrum lucidum*, *Magnolia x soulangeana*, *Prunus avium* e *Prunus cerasifera* var. *atropurpureum*. Contudo a maioria das espécies referidas não atinge a altura mínima desejável para uma árvore de arruamento como formulado na hipótese inicial (altura mínima 10/12m). Esta formulação pressupõe que uma árvore de arruamento, no intervalo de tempo de 20 a 30 anos, deve manifestar presença física visível e liderante na rua e essa dimensão (massa foliar) assegurar igualmente um desempenho satisfatório dos principais serviços de ecossistema. Nesta circunstância, esta condição apenas se verifica com a *Prunus avium*, que apenas surge residualmente nas ruas (14 indivíduos) e não constitui a espécie dominante em nenhuma rua.

Alguns exemplos de ruas arborizadas com espécies estreitas mas de altura não adequada para o espaço-canal são: Rua de Alberto Sampaio (arborizada com *Hibiscus syriacus*), Rua Rui Faleiro (*Cercis siliquastrum*), Rua de D.João Coutinho (a); *Ligustrum japonicum*), Rua de Justino Teixeira (*Magnolia x soulangeana*), Via Futebol Clube do Porto (*Lagerstroemia indica*) e Rua Professor Joaquim Bastos (*Prunus cerasifera* var. *atropurpureum*).



Figura 100 - Espécies de altura potencial não adequada para arruamento: a) *Ligustrum* sp. na Rua 5 de Outubro e b) *Cercis siliquastrum* na Rua Rui Faleiro.

Como apresentado anteriormente (subcapítulo 4.2.2.), existe na cidade uma dominância de espécies de copa média. Estas espécies podem ser adequadas a ruas médias ou largas, dependendo da disposição da arborização/ tipo de alinhamento, não sendo adequadas quando colocadas em ruas estreitas, como é o caso de *Acer pseudoplatanus* (presente na Rua de Beata Mafalda e na Rua de Passos Manuel; Figura 101), *Ginkgo biloba* (Rua António Salgado Júnior e Rua de Cândido dos Reis) e *Liquidambar styraciflua* (Rua Lopo Soares de Albergaria e Rua do Paraíso).



Figura 101 - Exemplo de uma rua estreita arborizada com uma espécie de copa média (*Acer pseudoplatanus*).

Do mesmo modo, também se verifica a existência de espécies de árvores de copa larga em ruas estreitas e ruas médias, o que também pode ser considerado inadequado. Exemplo disso são *Aesculus hippocastanum*, *Platanus x acerifolia*, *Quercus rubra* e *Tilia x europaea* que podem constituir problemas em ruas não adequadas à dimensão da sua copa, como ocorre na Rua de Alves Redol (*Aesculus hippocastanum*), Rua de D. Domingos Pinho Brandão (*Aesculus hippocastanum*), Rua do Duque de Saldanha (*Aesculus hippocastanum*), Rua do Crasto (*Platanus x acerifolia*), Rua de António Carneiro (*Platanus x acerifolia*; Figura 102), Rua de Arménio Losa (*Quercus rubra*), Rua de Gama Barros (*Quercus rubra*), Rua da Telheira (*Quercus rubra*), Rua de Bartolomeu Velho (*Tilia x europaea*), Rua Dr. Corino de Andrade (*Tilia x europaea*) e Rua de Afonso Lopes Vieira (*Tilia x europaea*).



Figura 102 - Exemplo de uma espécie de copa larga (*Platanus x acerifolia*) numa rua estreita (Rua António Carneiro).

Apesar de se verificarem várias situações em que a espécie não é adequada para a rua onde foi instalada, também se verificam casos onde a espécie é adequada para rua, como por exemplo, a Avenida da França (rua média; Figura 103) entre a rua da Graciosa e a Rua da Prelada, arborizada com um alinhamento bilateral de *Acer pseudoplatanus* (árvore de copa média). Este exemplo, além de representar uma rua arborizada com a espécie adequada, também ilustra o correto posicionamento da arborização na rua, de forma que a árvore não entre em conflito com a propriedade privada ou com o fluxo de peões e veículos de emergência.



Figura 103 - Exemplo de uma rua adequadamente arborizada: rua média com árvore de copa média (*Acer pseudoplatanus* na Avenida da França).

Como exemplos de adequação de espécies de copa média às ruas que as acolhem pode indicar-se *Ginkgo biloba* na Rua do Professor Manuel Baganha e *Liquidambar styraciflua* na Rua Faria Guimarães (apesar de neste caso, em alguns troços, terem sido localizado excessivamente próximo das fachadas).

No que respeita a árvores de copa larga bem adequadas a ruas largas pode-se dar o exemplo de *Platanus x acerifolia* na Avenida dos Combatentes da Grande Guerra, *Tilia spp.* na Rua O Primeiro de Janeiro e *Quercus rubra* num troço da Avenida Fernão de Magalhães.

Excepcionalmente, e porque não causa ensombramento de fachadas, pode-se ainda referir o exemplo de *Pinus pinea* na Rua Henrique Lopes de Mendonça, espécie perenifólia de copa larga bem articulada neste contexto de rua larga (Figura 104).



Figura 104 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie perenifólia (*Pinus pinea* na Rua Henrique Lopes de Mendonça) que não cria ensombramento indesejado, durante as estações menos favoráveis, sobre as fachadas.

A sazonalidade é um fator importante na existência de árvores de arruamento na medida em que as espécies de folha persistente causam uma situação de constante ensombramento de eventuais fachadas de proximidade, e por isso, nestas condições são desaconselhadas. Situações desta natureza são de notar com as espécies de *Ligustrum japonicum* na Rua 5 de Outubro (Figura 105) e Rua de Júlio Dinis, *Ligustrum vulgare* na Rua Professor Agostinho da Silva e *Metrosideros excelsa* na Rua Senhora da Luz.

No entanto, poderá utilizar-se uma espécie perenifólia em situações especiais onde a presença permanente de uma copa densa no espaço-canal não apresente nenhum constrangimento, como

é o caso de ruas que não contactam diretamente com o edificado com janelas, em zonas da rua distantes do edificado (como por exemplo, faixas centrais) ou quando o edificado que contacta com a rua não apresentar janelas (fachada cega). A utilização de espécies arbóreas perenifólias também apresenta benefícios ambientais, como o sequestro do carbono, a interceção da precipitação, a promoção de biodiversidade, a fixação de partículas em suspensão e uma permanente manifestação de verde que pode ser benéfica em alguns locais com elevada densidade de edificação. Como exemplo de casos em a espécie perenifólia não ensombra as fachadas e se torna positiva no espaço urbano pode indicar-se *Olea europaea* na Rua Henrique Sousa Reis, *Grevillea robusta* na Rua do Barão de Nova Sintra, *Cupressus sempervirens* na Rua de Pedro Hispano e na Travessa da Prelada (Figura 106) e *Pinus pinea* na Rua Henrique Lopes de Mendonça. No entanto, em casos como a Rua D. João Coutinho ou a Rua do Barão de Nova Sintra, apesar da arborização se localizar junto de fachadas cegas ou na ausência de edificado, esta pode ser um problema devido à localização inapropriada das árvores no passeio que dificultam a passagem dos peões, especialmente os de mobilidade reduzida.



Figura 105 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie perenifólia (*Ligustrum* sp. na Rua 5 de Outubro) que causa ensombramento constante.



Figura 106 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie perenifólia (*Cupressus sempervirens*, na Travessa da Prelada) que não causa ensombramento das fachadas. Origem da imagem: Google Earth.

Importa ainda referir uma espécie de folha caduca cuja sazonalidade é relativamente desfasada do fotoperíodo do hemisfério norte que é o caso do *Jacaranda ovalifolia*; esta espécie só começa a perder a folha no fim do inverno podendo, neste período, causar negativo ensombramento de fachadas ou de espaços de estadia no exterior. A sua utilização começa a vulgarizar-se na cidade, sendo neste momento presente em ruas como a Avenida da Boavista.

No estudo realizado no subcapítulo 4.2.2., foram analisados dois parâmetros importantes para a biodiversidade do ecossistema urbano: a origem das espécies e o caráter invasor.

Apenas 20% das ruas arborizadas manifestam dominância de espécies autóctones, sendo as restantes 80% dominadas por espécies alóctones. Perante este quadro seria importante aumentar a percentagem de ruas arborizadas com espécies autóctones de modo a estimular a biodiversidade nativa, sobretudo espécies mais especialistas. Da mesma maneira, o uso mais parcimonioso de espécies alóctones poderá diminuir a probabilidade de algumas se tornarem invasoras com todos os problemas ecológicos e económicos daí decorrentes.



Figura 107 - Exemplo de uma espécie autóctone, *Fraxinus angustifolia* na Rua Dr. Roberto Frias.

De entre as espécies autóctones mais relevantes na paisagem das ruas indicam-se, por exemplo, *Acer pseudoplatanus*, *Celtis australis* e *Fraxinus angustifolia* (Figura 107). Notam-se ainda alguns pequenos troços com outras espécies como *Quercus robur* na Avenida de Fernão de Magalhães e *Quercus suber* na Rua do Professor Manuel Baganha.

De entre as espécies registadas, as mais abundantes que apresentam carácter invasor são *Ligustrum japonicum*/*Ligustrum lucidum* e *Acer negundo*, dominantes respetivamente na Rua Júlio Dinis e na Rua do Campo Alegre (Figura 108). É ainda importante referir outras ruas arborizadas com *Acer negundo*, como por exemplo Rua do Padre Fernão Cadim e Rua do Dr. António Bernardino de Almeida. Apesar de não ter destaque ao nível da cidade, existem ruas arborizadas com outras espécies invasoras como *Acacia* sp. na Rua de Entre Campos e *Robinia pseudoacacia* na Via Panorâmica.



Figura 108 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie com estatuto de invasora (*Acer negundo* na Rua do Campo Alegre).

Uma árvore de arruamento tem uma expectativa de vida mais reduzida que uma árvore noutra tipo de espaço urbano e também se espera que esta atinja a maturidade o mais cedo possível. A velocidade de crescimento é um fator determinante para o sucesso de uma dada arborização, visto que uma maior rapidez de crescimento significa que a árvore atingirá a dimensão esperada num horizonte de 20 anos. *Acer pseudoplatanus*, *Celtis australis*, *Liquidambar styraciflua*, *Platanus x acerifolia*, *Populus nigra* e *Quercus rubra* são alguns exemplos de espécies de crescimento médio a rápido, logo que podem facilmente atingir as dimensões esperadas nesse horizonte temporal.

Outra característica importante a ter em conta é o tipo de sistema radicular. É importante assegurar que as raízes têm espaço para se desenvolver, assegurando que tenham um espaço mínimo ao nível do subsolo, sem entrar em conflito com infraestruturas essenciais, como redes de drenagem pluvial, abastecimento de água, telecomunicações, etc. O sistema radicular das árvores vai sempre desenvolver-se de acordo com as condições do local de implantação, procurando situações mais favoráveis para onde se propagam. É importante lembrar que quanto maior é a parte aérea da árvore, mais espaço necessita subterraneamente para as suas raízes, sendo que a grande maioria se desenvolve nas camadas superiores do solo e não em profundidade. Por esta razão, ao espaço aéreo disponível deve corresponder igual espaço subterrâneo, corroborando a ideia de que árvores de grande porte não se adequam a ruas de menores dimensões.

Um problema amplamente identificado nos arruamentos arborizados é o conflito entre as raízes e as estruturas construídas, que é geralmente causado pela ausência de previsão do espaço que estas necessitam para o seu desenvolvimento, a médio e longo prazo. Também é fundamental a qualidade do solo/substrato; é tanto mais favorável a presença de solo pouco compactado, com porosidade adequada e com matéria orgânica para o crescimento radicular; a falta desta oportunidade traduz-se normalmente em situações de conflito com os pavimentos e outras estruturas construídas. Durante as visitas de campo verificaram-se alguns casos em que esta situação é muito evidente como os exemplos da Figura 109.

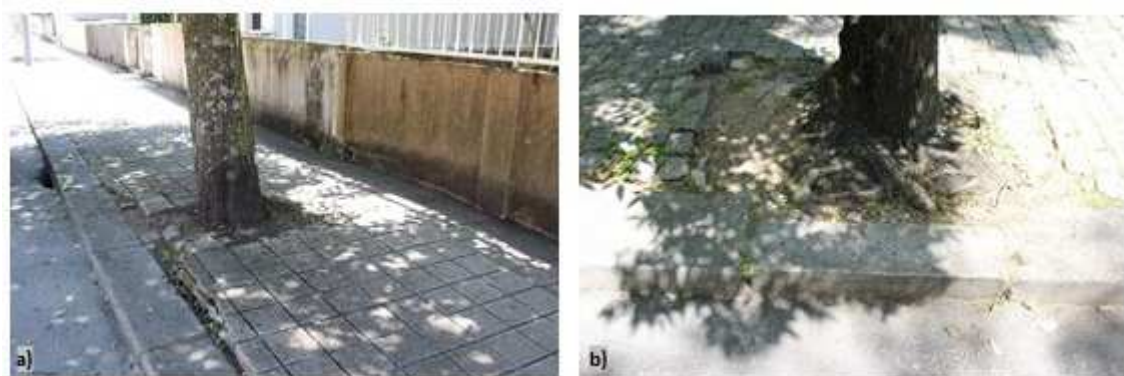


Figura 109 - Exemplos em que as raízes da árvore e o pavimento entraram em conflito e se verifica levantamento do pavimento: a) *Cercis siliquastrum* na Rua Engenheiro Carlos Amarante e b) *Sophora japonica* na Rua de Barbosa du Bocage.

Além destas recomendações em relação às condições presentes na rua, também se pode procurar selecionar uma espécie com sistema radicular com maior tendência a desenvolver uma raiz principal vertical (sistema radicular pivotante) na sua juventude. No entanto, salienta-se que com o desenvolvimento natural da árvore, esta irá desenvolver mais as suas raízes lateralmente. Algumas das espécies existentes que desenvolvem este tipo de sistema radicular são: *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum* e *Platanus x acerifolia*. No entanto, é necessário ter em conta que estas espécies são de médio e grande porte, pelo que não se adequam a espaços mais exíguos.

Na cidade do Porto, fatores ambientais como a poluição urbana, a salinidade e o vento, são também importantes ao avaliar a adequação de uma dada espécie às ruas. Em algumas ruas da Foz, verificou-se a predominância de espécies com muita ou alguma tolerância à salinidade, como por exemplo *Metrosideros excelsa* no troço mais ocidental da Avenida da Boavista, *Platanus x acerifolia* na Rua do Marechal Saldanha e *Populus* spp. na Rua do Molhe, o que ilustra o impacto desta condicionante ambiental. Importa, também, salientar o caso da *Ceiba*



Figura 110 - Exemplo de uma rua arborizada com uma espécie (com maior sensibilidade à poluição urbana e/ou salinidade (*Ceiba speciosa* na Avenida da Boavista)

speciosa presente em alguns troços mais ocidentais da Avenida da Boavista (Figura 110), pois é uma espécie que sugere baixa resistência à poluição atmosférica e/ou à salinidade; esta condição verificou-se nas visitas de campo, onde se encontraram vários exemplares de aspeto menos vigoroso.

Tendo em conta a reflexão apresentada, podemos concluir que as espécies dominantes existentes que revelam melhor adaptação ao ecossistema das ruas da cidade (desde que a largura da rua lhes seja compatível) são *Platanus x acerifolia*, *Celtis australis*, *Liquidambar styraciflua*, *Tilia* sp., *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum* e *Fraxinus angustifolia*. Todas estas espécies são adequadas para arborização de arruamento desde que se encontrem devidamente posicionadas na rua.

As *Tilia* spp. são no Porto árvores com um elevado desempenho no ecossistema urbano de ruas, parques e jardins, a nível ecológico, estético e referencial. São particularmente interessantes na maturidade (idades superiores a 20-30 anos) sobretudo as da espécie *Tilia tomentosa*, que adquirem dimensões imponentes, marcadas por uma copa natural regular, em forma de chama larga (“planta tílias que daqui a cinquenta anos tens árvores centenárias...” alguém proferiu...). Contudo, é também nesta idade mais madura e plenitude de desenvolvimento que causam maiores problemas de queda súbita sobretudo se plantadas perto de circuitos ou zonas de estadia frequentados por pessoas. Assim, e apesar do bom desempenho referido, a sua presença atual e futuras plantações destas espécies devem ser evitadas nas ruas, sobretudo se não houver uma perspetiva da sua substituição após atingirem a idade adulta. Se assim não for, terá que haver um acréscido, frequente e atento esforço de monitorização fitossanitária e uma sinalização das zonas de risco sobretudo em face de condições meteorológicas que se estimem adversas.

A espécie *Acer platanoides*, apesar de dominante em alguns troços de rua e em muitas situações com boa adequação entre a largura da rua e a largura da copa, revela também problemas de sazonalidade; com efeito, nas condições bioclimáticas do Porto, ganha folhas muito tarde, já em alta primavera (fim de maio) e perde-as muito cedo, não acompanhando eficientemente as necessidades de ensombramento que logo que se começam a fazer sentir na primavera. Vivem um longo período sem folhas, aspeto pouco interessante, sobretudo em zonas urbanas densamente construídas e edificadas nas quais urge a manifestação de elementos vegetais.

As espécies mais comuns que não se consideram interessantes ou que devem ser evitadas são: *Acer negundo* (caráter invasor), *Ligustrum japonicum/lucidum* (caráter invasor, altura e sazonalidade não apropriadas), *Prunus cerasifera* var. *atropurpureum* (altura e frutificação não apropriadas)

7. Conclusão e considerações finais

A oportunidade da cidade do Porto para resolver problemas da sua estrutura verde à custa da arborização das ruas parece não ser muito significativa de acordo com os resultados obtidos, uma vez que apenas 38,5% do total das ruas da cidade são consideradas **arborizáveis**. Conclui-se assim que as ruas arborizáveis que foram identificadas constituem oportunidades preciosas para realizar a conectividade verde na cidade, requerendo assim um atento cuidado no ordenamento e desenho do seu espaço disponível de modo a maximizar a presença sustentável e duradoura da árvore e dos serviços de ecossistema que dela resultam.



Figura 111 - Mapa das ruas arborizáveis, de acordo com os critérios de dimensão do espaço.

Nas fases seguintes do trabalho, as ruas arborizáveis serão abordadas com detalhe do ponto de vista do modelo geral de arborização da cidade (**plano**) e de exemplos pormenorizados da sua execução (**protótipos de intervenção**). Verificou-se que os dados espaciais e bioclimáticos ainda não permitem um rigoroso cruzamento à escala de análise a que o trabalho se desenvolve. Neste sentido, as variáveis espaciais orientarão de forma estruturante as etapas seguintes, integrando sempre que possível outras variáveis que nesta fase não puderam ser espacialmente restituídas. Assim, os dados bioclimáticos serão sempre considerados do ponto de vista de recomendações que possam aferir a pertinência e o tipo de arborização a praticar nas ruas.

As espécies arbóreas selecionadas para figurarem em contexto de arruamento devem atender a vários critérios de forma a maximizar os benefícios que o arvoredo urbano pode oferecer, otimizados pelo grau de conectividade que se consiga atingir.

Para otimizar o desempenho das árvores de arruamento considera-se que estas devam apresentar uma altura que vincule a sua presença liderante na rua, garantindo todos os fluxos urbanos e segurança, num horizonte temporal que permita atingir a maturidade da espécie utilizada (por exemplo, 10 a 12m para um horizonte temporal de 20 a 30 anos). Por outro lado, também importa salientar, de um modo geral, que a largura expectável da copa, para o mesmo intervalo de tempo, deve ser adequada à largura da rua: 1) árvores estreitas em ruas estreitas; 2) árvores médias em ruas médias; e 3) árvores largas em ruas largas.

Em relação à localização dos elementos arbóreos, constatou-se no decurso deste trabalho que o principal problema das árvores de arruamento é a proximidade às fachadas e o conflito com as infraestruturas subterrâneas. No primeiro caso, e para aumentar a oportunidade de uso de espécies de copas mais largas, é necessário que as árvores possam ser plantadas mais afastadas das fachadas e assim progredir para espaços mais próximos do eixo da via, associadas ou não a sistemas urbanos de drenagem sustentável. Deverá assim prever-se um afastamento não inferior a 1m entre o limite expectável da copa e a fachada. No caso das infraestruturas subterrâneas, é necessário um cadastro atualizado e em situações futuras, no âmbito de modernização da sua localização, situá-las e concentrá-las em canais técnicos preferencialmente associados ao edificado ou a zonas construídas.

Em contexto de mitigação ou adaptação às alterações climáticas, a arborização em contexto urbano é uma medida que contribui significativamente para a redução do efeito de “ilha de calor”. Neste sentido, recomenda-se especial atenção para o esforço de arborização nas zonas da cidade onde este fenómeno esteja identificado.

Em cada uma das zonas da cidade, as espécies a utilizar devem-se adequar, com a precisão possível, às oportunidades e constrangimentos principais; podem considerar-se por exemplo as situações particularmente afetadas pela poluição atmosférica, pela salsugem, exposição a ventos dominantes ou zonas muito declivosas.

Recomenda-se especial cuidado em garantir uma elevada diversidade de espécies de modo a poder cumprir, com bom desempenho funcional, ecológico e estético, as múltiplas situações propiciadas pelas ruas nas diversas zonas da cidade. Deve dar-se prioridade a espécies autóctones e alóctones sem risco ecológico, isto é, não podem ser usadas espécies invasoras e devem ser evitadas as espécies classificadas na escala de invasibilidade como espécies casuais e naturalizadas.

A árvore de arruamento também deverá ser preferencialmente caducifólia de forma a evitar situações de ensombramento constante das fachadas em épocas do ano menos favoráveis, como no inverno. Esta questão é particularmente pertinente nas fachadas orientadas a norte, em que a arborização agravará as condições de luminosidade e conforto térmico. Em localizações onde não ocorra ensombramento indesejado, como por exemplo em fachadas cegas, a utilização de espécies perenifólias pode ser oportuna devido ao efeito positivo sobre a interceção da precipitação e conseqüente escoamento superficial.

Recomenda-se também que a seleção da espécie de árvore de arruamento tenha em conta determinadas características do elemento arbóreo, de modo a diminuir a probabilidade de

conflitos com as infraestruturas, com o edificado ou com os utilizadores, como por exemplo o tipo de sistema radicular ou a tendência para florações abundantes e frutos carnudos que se acumulem no pavimento.

As árvores de longa duração (árvores “centenárias”) e de grande porte (sobretudo as árvores altas e de copa larga) têm poucas oportunidades no contexto das ruas do Porto. Estas exigem ruas muito largas e uma localização que não sofra interferências durante um longo intervalo de tempo. A vida de uma rua é muito dinâmica, onde o espaço público é frequentemente sujeito a alterações de organização e desenho, pela necessidade de adequar novos fluxos, acessos, usos, estadias e infraestruturas. A arborização deve integrar-se nessa dinâmica e, por isso, fazer uso de espécies e cultivares que cumpram à partida, com interesse e presença afirmativa, o seu ciclo de vida. Ao fim de duas ou três décadas, a arborização deve ser reavaliada e, caso seja necessário, ponderada a sua substituição. Esta situação é pouco compatível com árvores que requerem ciclos longos para manifestarem a sua pujança, como normalmente se espera de árvores “centenárias”.

8. Referências

- Alegria, C.M.M. (2018). *Floresta urbana: a árvore certa para o sítio certo, um caso de estudo para a cidade de Castelo Branco*. Centro de Estudos de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade (CERNAS), Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior Agrária, Quinta da Senhora de Mércules, Castelo Branco, Portugal.
- Andresen, T. e Marques, T. P. (2001). *Jardins Históricos do Porto*. Edições INAPA. Lisboa.
- Aviso n.º 12773/2021 de 8 de julho. Diário da República n.º 131/2021, Série II. Município do Porto.
- Bartens, J., Day, S. D., Harris, J. R., Dove, J. E., & Wynn, T. M. (2008). *Can Urban Tree Roots Improve Infiltration through Compacted Subsoils for Stormwater Management?* *Journal of Environmental Quality*, 37(6), 2048–2057. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0117>
- Baummapper. (2020). [Fotografia sem título de *Carpinus betulus* 'Frans Fontaine']. Obtida a 8 de Setembro de 2021 de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:7000_Eichen_-_Friedrich-Ebert-Stra%C3%9Fe_2020-04-13_q.JPG
- Benevolo, L. (1978). *Historia de la arquitectura moderna*. Editorial Gustavo Gili, Espanha. 3ª edição.
- Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2017). *The role of trees in urban stormwater management*. *Landscape and Urban Planning*, 162, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017>
- Borelli, S. (2016). *Benefits of Urban Trees*. FAO. Roma. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/C0024E/>
- Borges Pereira, V. e Queirós J. (2012). *Na modesta cidadezinha - génese e estruturação de um bairro de casas económicas do Porto [Amial, 1938-2010]*. Edições Afrontamento, Porto.
- Buccolieri, R., Jeanjean, A. P. R., Gatto, E., & Leigh, R. J. (2018). *The impact of trees on street ventilation, NOx and PM2.5 concentrations across heights in Marylebone Rd street canyon, central London*. In *Sustainable Cities and Society* (Vol. 41, pp. 227–241). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.030>
- Câmara Municipal do Porto (CMP) (2017). *Revisão do Plano Diretor Municipal do Porto - Suporte Biofísico e Ambiente / Estrutura Ecológica e Biodiversidade: Relatório de Caracterização e Diagnóstico*. Porto: Câmara Municipal do Porto
- Câmara Municipal do Porto (CMP) (2018). *Revisão do Plano Diretor Municipal do Porto - Suporte Biofísico e Ambiente / Clima e Ambiente Urbano: Relatório de Caracterização e Diagnóstico*. Porto: Câmara Municipal do Porto
- Carvalho, J.P.F. (2009). *A árvore no espaço urbano*. IV Jornadas do Ambiente. 19 junho, CM Vila Pouca de Aguiar.
- Cowan, R. (2005). *The dictionary of urbanism*. Streetwise Press.
- Daveau, S. (1988). Comentários e atualização. In Ribeiro, O.; Lautensach, H.; Daveau, S., *Geografia de Portugal II - O Ritmo Climático e a Paisagem*. Lisboa: Edições João Sá da Costa.

8. Referências

- Decreto Regulamentar nº 15/2015 de 19 de agosto. Diário da República n.º 161/2015, Série I. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Decreto Regulamentar nº 5/2019 de 14 de janeiro. Diário da República n.º 9/2019, Série I. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Department for Transport. (2007). *Manual for streets*. Thomas Telford Publishing, London.
- DeWalle, D. R., & Heisler, G. M. (1983). Windbreak effects on air infiltration and space heating in a mobile home. *Energy and Buildings*, 5(4), 279–288. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(83\)90015-4](https://doi.org/10.1016/0378-7788(83)90015-4)
- Di Sabatino, S., Buccolieri, R., Pappacogli, G., & Leo, L. S. (2015). The effects of trees on micrometeorology in a real street canyon: Consequences for local air quality. *International Journal of Environment and Pollution*, 58(1–2), 100–111. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2015.076587>
- Direção dos Serviços de Habitação – Câmara Municipal do Porto. (1977). Projeto para a Associação de Moradores da Zona do Campo Alegre: Bairro de Guerra Junqueiro. Arquivo Municipal do Porto. <http://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/643583/?q=bairro+guerra+junqueiro>
- Direção dos Serviços de Obras – Câmara Municipal do Porto. (1978). Creche e Jardim Infantil, Sede e Minimercado da Associação dos Moradores dos Combatentes: planta de localização. Arquivo Municipal do Porto. <http://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/643681/?>
- Direção Municipal de Ambiente e Serviços Urbanos – Câmara Municipal do Porto. (2009). *Programa Municipal de Arborização: Relatório Final_31 Agosto 2009*. Câmara Municipal do Porto.
- Fernandes, C., Araújo A., Soares, M. (2018). *Planos estratégicos para a floresta urbana (PEFU) - Proposta de estrutura e aplicação ao caso de Espinho*.
- Fernandes, J. (1989). *A Foz – Entre o Rio, o Mar e a Cidade*. Edição conjunta de “O Progresso da Foz”, da Associação de Cultura e Turismo da Foz (Nevogilde e Foz do Douro) e das Juntas de Freguesia de Foz do Douro e de Nevogilde. Lello & Irmão - Porto.
- Giovani, B. (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment. Part B, Urban Atmosphere*, 25(3), 289–299. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U)
- IPCC (2015). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Jeanjean, A., Buccolieri, R., Eddy, J., Monks, P., & Leigh, R. (2017). *Air quality affected by trees in real street canyons: The case of Marylebone neighbourhood in central London*. *Urban Forestry and Urban Greening*, 22, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.009>
- Jian, Z., Bo, L., & Mingyue, W. (2018). *Study on windbreak performance of tree canopy by numerical simulation method*. *Journal of Computational Multiphase Flows*, 10(4), 259–265. <https://doi.org/10.1177/1757482X18791901>

8. Referências

- Kravec M, Pokorny, Kohutiar J, Kovác M, Tóth E. (2007). *Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm*. People and Water NGO, Association of Towns and Municipalities of Slovakia, ENKI and the Foundation for the Support of Civic Activities.
- Lamas, J. M. (2000). *Morfologia urbana e desenho da cidade*. 2ª edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Lisboa.
- Lopes, A., Oliveira, S., Fragoso, M., Andrade, J. A., & Pedro, P. (2009). *Wind Risk Assessment in Urban Environments: The Case of Falling Trees During Windstorm Events in Lisbon*. In K. Střelcová, C. Mátyás, A. Kleidon, M. Lapin, F. Matejka, M. Blaženec, J. Škvarenina, & J. Holécý (Eds.), *Bioclimatology and Natural Hazards* (pp. 55–74). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8876-6_5
- Lynch, K. (2011). *A imagem da cidade*. Edições 70, Lisboa.
- Madureira, H. (2016). *Promover os serviços ecossistémicos urbanos com infraestruturas verdes*. In L. Lourenço (Ed.), *Geografia, paisagem e riscos: livro de homenagem ao Prof. Doutor António Pedrosa* (pp. 141-161). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyp, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Halik, Ü., Sawut, M., & Caetano, M. (2014). *Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.12.010>
- Markevych, I., Schoierer, J., Hartig, T., Chudnovsky, A., Hystad, P., Dzhambov, A. M., de Vries, S., Triguero-Mas, M., Brauer, M., Nieuwenhuijsen, M. J., Lupp, G., Richardson, E. A., Astell-Burt, T., Dimitrova, D., Feng, X., Sadeh, M., Standl, M., Heinrich, J., & Fuertes, E. (2017). *Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance*. *Environmental Research*, 158, 301–317. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.028>
- Mballo, S., Herpin, S., Manteau, M., Demotes-Mainard, S., & Bournet, P. E. (2021). *Impact of well-watered trees on the microclimate inside a canyon street scale model in outdoor environment*. In *Urban Climate* (Vol. 37). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100844>
- Mohammed, Y., & Salman, A. (2018). *Effect of urban geometry and green area on the formation of the urban heat island in Baghdad city*. *MATEC Web of Conferences*, 162, 1–9. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816205025>
- Moreira, J. (2008). *Árvores e Arbustos em Portugal*. Argumentum. Lisboa. ISBN: 978-972-8479-59-0
- Mullaney, J., Lucke, T., & Trueman, S. J. (2015). *A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments*. In *Landscape and Urban Planning* (Vol. 134, pp. 157–166). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>
- Nakamura, Y., & Oke, T. R. (1988). *Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon*. *Atmospheric Environment* (1967), 22(12), 2691–2700. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(88\)90437-4](https://doi.org/10.1016/0004-6981(88)90437-4)

8. Referências

- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C. (2012). *A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong*. *Building and Environment*, 47(1), 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- Oke, T. R. (1988). *Street design and urban canopy layer climate*. *Energy and Buildings*, 11(1–3), 103–113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017). *Urban Climates*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781139016476
- Pereira de Oliveira, J. M. (1973). *O espaço urbano do Porto - condições naturais e desenvolvimento*. Instituto da Alta Cultura, Coimbra.
- Portaria n.º 135/2020 de 2 de junho. Diário da República n.º 107/2020, Série I. Administração Interna. Lisboa.
- Prioleau, D. (2010). *Do Mature Street Trees Pose a Greater Hazard Risk Across Socioeconomic Lines ?* *Middle States Geographer*, 43, 16-25.
- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K. N., Heaviside, C., Lim, S., MacIntyre, H., McInnes, R. N., & Wheeler, B. W. (2016). *Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment*. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(Suppl 1). <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
- Sanders, J. & Grabosky, J. (2014) *20 years later: Does reduced soil area change overall tree growth?*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13, 295-303
- Santiago, J. L., Buccolieri, R., Rivas, E., Sanchez, B., Martilli, A., Alonso, R., & Martín, F. (2019). *On the influence of trees on ventilation of a real street in Pamplona (Spain)*. 19th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Harmo 2019, 1–20.
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). *Vegetation as a climatic component in the design of an urban street*. *Energy and Buildings*, 31(3), 221–235. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(99)00018-3)
- Silva, J. R. (1985). *Caminhos de Ferro Portugueses: a estação de Campanhã*. Arquivo Histórico Municipal. Porto.
- Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos, Lda.; (1940). *Fotografia aérea da cidade do Porto: 1939 – 1940*. Arquivo Histórico do Município do Porto. Consultado em: http://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/?creator=&order_by=TITLE&q=fotografia+aérea
- Telles Ferreira, A.; (1830-1895). *Carta topográfica da cidade do Porto de 1892*. Arquivo Histórico do Município do Porto. Consultado em: https://mipweb.cm-porto.pt/MuniSIG/MuniSIGViewer/index.html?configBase=https://mipweb.cm-porto.pt/MuniSIG/REST/sites/CARTOGRAFIA1892/viewers/Cartografia_1892/virtualdirectory/Resources/Config/Default
- TDAG - Trees and Design Action Group. (2012). *Trees in the Townscape – A Guide for Decision Makers*. Reino Unido. <https://www.tdag.org.uk/trees-in-the-townscape.html>

8. Referências

Trowbridge, P.J., and N.L. Bassuk. 2004. *Trees in the Urban Landscape*. Wiley, Hoboken, New Jersey, U.S.

Valença, M. (2020). *Um Guia de Arborização Bioclimática para a Cidade do Porto*. [Universidade do Porto]. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/130336>

Van den Berk Nurseries. (s.d.). [Fotografia sem título de Narrow streets: making the most of space]. Obtida a 14 de Setembro de 2021 de <https://www.vdberk.com/solutions/trees-for-narrow-streets/>

World Flora Online (2021). World Flora Online. Consultado em 11 de junho de 2021 em <http://www.worldfloraonline.org/>

9. Anexos