



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Vitor José Cardoso Parada

**O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES
NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO.**

O EXEMPLO DA CIDADE DE COIMBRA

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Geografia Física - Ambiente e Ordenamento
do Território orientada pelo Professor Doutor António Manuel Rochette Cordeiro e
apresentada ao Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras da
Universidade de Coimbra para a obtenção do grau Mestre**

Setembro de 2022

FACULDADE DE LETRAS

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO.

O EXEMPLO DA CIDADE DE COIMBRA

Ficha Técnica

Tipo de trabalho	Dissertação
Título	O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO.
Subtítulo	O EXEMPLO DA CIDADE DE COIMBRA
Autor/a	Vitor José Cardoso Parada
Orientador/a(s)	Doutor António Manuel Rochette Cordeiro
Júri	Presidente: Doutora Adélia de Jesus Nobre Nunes Vogais: 1. Doutor Nuno Ganho Gomes da Silva 2. Doutor António Manuel Rochette Cordeiro
Identificação do Curso	2º Ciclo em Geografia Física - Ambiente e Ordenamento do Território
Área científica	Geografia Física
Especialidade/Ramo	Ambiente e Ordenamento do Território
Data da defesa	21-10-2022
Classificação	17 valores



Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais e aos meus avós. Sem eles este trabalho não seria possível. O esforço e a dedicação que empreenderam para eu estudar em Coimbra culmina e reflete-se com a entrega desta Dissertação de Mestrado.

Agradeço também há restante família, tios e primos pelo apoio incondicional nos momentos em que foi sempre preciso uma palavra de força para seguir em frente com os meus objetivos de vida.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Rochette Cordeiro, agradeço a dedicação e ensinamento prestado ao longo destes anos, principalmente neste último ano, em que me demonstrou novas formas de ver a Geografia.

Gostaria de agradecer aos colegas Djime Dourado e Alexandre Ornelas por todo o apoio e auxílio nas horas de maiores dúvidas.

Deixo também um agradecimento ao IPMA por disponibilizar dados para a interpretação meteorológica do período de investigação. Agradeço também ao Professor Doutor Nuno Ganho pela disponibilização da sua tese em papel bem como o auxílio nas dúvidas sobre situações climatológicas mais peculiares.

Aos meus amigos de Vagos, Aveiro e Coimbra, um obrigado não chega por terem estado ao meu lado todos estes anos. O que passámos juntos nos bons e maus momentos foi o que nos fez fortalecer e crescer como pessoas e hoje tenho a certeza que são parte da minha família.

Por último, gostaria de agradecer à Faculdade de Letras da Universidade Coimbra e a todos os docentes que me acompanharam neste percurso de cinco anos de crescimento e aprendizagem pessoal. O meu percurso académico em Coimbra termina aqui, mas ficará para sempre a Saudade.

Resumo

O papel da morfologia e dos espaços verdes nas dinâmicas da Ilha de Calor Urbano. O exemplo da cidade de Coimbra

O estudo da “Ilha de Calor Urbano” (ICU) não é uma temática recente a nível global, já que inúmeros autores já a desenvolveram anteriormente, sendo de realçar que o mesmo se verificou nas grandes cidades portuguesas. O foco desta dissertação é a realização de uma análise atual do fenómeno em simultâneo com a interação desta com diferentes temáticas que se conjugam entre si e que podem desencadear, intensificar ou mesmo atenuar o fenómeno, tendo como base os trabalhos realizados anteriormente sobre a ICU na própria cidade de Coimbra.

Foi com base neste fenómeno climático nesta cidade que foi orientada esta dissertação, pelo que se iniciou a investigação com uma ampla revisão bibliográfica, conjugando temas, interligando-os com a temática principal, uma vez que, nas últimas décadas, se tornou inevitável destacar os temas de cidades e de sustentabilidade como um só. No presente, são temáticas que se desenvolvem associadas com o principal propósito de desenvolver e melhorar a qualidade de vida nos espaços urbanos. Foi feita uma caracterização dos temas referindo as suas funções, a interação entre si, potenciando as metas e objetivos existentes da Agenda 2030 do Desenvolvimento Sustentável e da “Lei de Bases do Clima”, comprovando que este será o caminho do futuro para as áreas urbanas, através do desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, direcionou-se esta investigação, conjugando a morfologia da cidade, os espaços verdes, a sustentabilidade com a “Ilha de Calor Urbano”. Foi feita toda a caracterização da “Ilha de Calor Urbano”, relacionando a presença noturna deste fenómeno com a localização dos espaços verdes e da sombra natural ou artificial durante o dia, mostrando vários exemplos de como pode assumir a adaptação da cidade ao mitigar da “Ilha de Calor Urbano”, sempre com base em exemplos do espaço urbano de Coimbra, retratando de certa forma a possibilidade de assunção de urbanismo sustentável em crescendo.

Neste sentido, pretende-se localizar e espacializar, bem como compreender a dimensão da “Ilha de Calor Urbano” na cidade de Coimbra, destacando os locais mais críticos a nível térmico. Toda esta análise foi realizada através das campanhas efetuadas em três diferentes estações do ano (inverno, primavera e verão). Com os resultados das campanhas foi possível aplicar a ferramenta *kriging* com base nos dados que foram recolhidos em três momentos de três diferentes dias. Percebeu-se assim o seu comportamento e forma da “Ilha de Calor Urbano”, permitindo compreender quais os

loais onde é necessário agir em conformidade com a morfologia urbana e condições espaciais desses setores, adaptando cada local às suas características.

Palavras-Chave: “Ilha de Calor Urbano”; Cidades Sustentáveis; Climatologia Urbana; Espaços Verdes; Coimbra.

Abstract

The role of morphology and green spaces in Urban Heat Island dynamics. The example of the city of Coimbra

The study of the "Urban Heat Island" (UHI) is not a recent thematic on a global scale, since numerous authors have already developed it previously, and it is noteworthy that the same has occurred in large Portuguese cities. Based on the work previously done on UHI in the city of Coimbra itself, the focus of this dissertation is to conduct a current analysis of the phenomenon as well as its interaction with different themes that by coming together can trigger, intensify or even mitigate the phenomenon.

This dissertation was developed, based on this climate phenomenon present in the city of Coimbra, by starting the research with a broad bibliographic review, combining themes that are interconnected with the main theme, since that in recent decades it has become inevitable not to highlight the themes of cities and sustainability as one. Currently, these themes are developed jointly, with the main purpose of developing and improving the quality of life in urban spaces. The themes were characterized referencing their functions, their interaction with one another, enhancing the existing goals and objectives of the Agenda 2030 – Sustainable Development Goals – and the "Climate Change Framework Legislation", proving that the future of urban areas will be driven by a sustainable development path.

In this context, this research was conducted combining the morphology of the city, green spaces and sustainability with the "Urban Heat Island". A complete characterization of the "Urban Heat Island" was carried out, relating the nocturnal presence of this phenomenon with the location of green spaces and natural or artificial shade during the day, showing several examples of how it can undertake the adaptation of the city to mitigate the "Urban Heat Island", always based on examples of the urban space of Coimbra, while also portraying in some way the possibility of assuming sustainable urbanism in crescendo.

With these factors in mind, it is intended to locate and spatialize, as well as understand the dimension of the "Urban Heat Island" in the city of Coimbra, highlighting the most critical places at a thermal level. All this analysis was carried out through campaigns in three different seasons of the year (winter, spring and summer). With the results of the campaigns, it was possible to apply the *kriging* tool based on the data

collected at three moments of three different days. Thus, the behavior and shape of the "Urban Heat Island" was noted, allowing us to understand where it is necessary to act according to the urban morphology and spatial conditions of these sectors, adapting each location to its characteristics.

Keywords: "Urban Heat Island"; Sustainable Cities; Urban Climatology; Green Spaces; Coimbra.

Índice

Capítulo I - INTRODUÇÃO	18
1. Apresentação do Tema	18
1.1. Enquadramento Teórico	18
1.2. Objetivos	24
1.3. Metodologia	25
Capítulo II – CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA.....	27
2. Estado da Arte	27
2.1. Caraterização de Cidade	27
2.1.1. Conceito de Sustentabilidade.....	28
2.1.2. As Cidades Sustentáveis e/ou cidades Saudáveis	29
2.1.3. Desenvolvimento das Cidades Sustentáveis	31
2.1.4. Urbanismo Sustentável.....	34
2.2. Agenda 2030 no Desenvolvimento Sustentável.....	36
2.2.1. Estratégias para o desenvolvimento Sustentável do Território	37
2.3. A Ilha de Calor Urbano e a sua Caraterização.....	38
2.3.1. Tipos da ilha de calor	40
2.3.2. Efeitos da Ilha de Calor Urbano no Espaço Urbano	41
2.3.3. Adaptação da cidade ao efeito de ilha de calor urbano (mitigação)	42
2.4. Relação da Saúde Humana com a Ilha de Calor Urbano	48
2.4.1. Balanço Energético das Cidades	48
2.5. Espaços Verdes.....	49
2.5.1. Função dos Espaços Verdes nas Cidades	50
2.6. Influência da sombra por parte do Edificado.....	53
Capítulo III – APRESENTAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	54
3. Caraterização Territorial.....	54
3.1. Enquadramento Geográfico.....	54
3.2. Clima Urbano de Coimbra	58
3.3. Contexto climatológico de Coimbra	60
3.3.1. Temperatura.....	60
3.3.2. Precipitação.....	60
3.3.3. Humidade do ar	61

3.3.4. Vento.....	61
3.3.5. Insolação	62
3.4. Caraterísticas dos espaços verdes na Cidade de Coimbra.....	62
Capítulo IV – CASO DE ESTUDO DA ALTA DA CIDADE, PRAÇA DA REPÚBLICA, AVENIDA SÁ DA BANDEIRA, CONCHADA E MONTES CLAROS.....	64
4. Análise detalhada da Dinâmica Térmica	64
4.1. Análise dos Cartogramas Gerais.....	64
4.2. Análise dos Cartogramas da Área em Estudo	86
4.3. Discussão de resultados	101
Capítulo V - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
5. Conclusão	104
BIBLIOGRAFIA.....	107
ANEXOS.....	119
Anexo 1	120
Anexo 2	121
Anexo 3	122
Anexos 4	123
Anexo 5	124
Anexo 6	125
Anexo 7	126
Anexo 8	127

Índice de Figuras

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.	19
Figura 2 - Pontos chave do Objetivo 11 para Portugal.	19
Figura 3 - Pontos chave do Objetivo 13 para Portugal.	20
Figura 4 - Esquema para o Desenvolvimento Sustentável.	31
Figura 5 - Representação esquemática de uma ICU típica da noite em condições meteorológicas calmas e limpas em uma cidade. (a) Mapa isotérmico ilustra as características típicas da ICU e a sua correspondência com o grau de desenvolvimento urbano. (b) secção transversal 2D de ar na superfície e no nível do esquema térmico numa travessia ao longo a linha A–B demonstrada imagem (a).	39
Figura 6 - Representação esquemática da atmosfera urbana que ilustra a classificação de duas camadas de modificação térmica.	41
Figura 7 - Jardim Botânico (Espaço Verde da cidade de Coimbra).	51
Figura 8 – 1) Localização no país (A) e na Região (B).	56
Figura 9 - Litologia da Área de Estudo: A) Relação com morfologia; B) Relação com o tecido urbano.	57
Figura 10 - Exposição das Vertentes da Área de Estudo.	57
Figura 11 - Identificação dos espaços verdes da Área de Estudo.	63
Figura 12 - Cartograma geral do campo térmico da cidade de Coimbra na noite de 6 de fevereiro de 2020 Fonte: Cordeiro, Ornelas e Silva (inédito).	65
Figura 13 - Situação Sinóptica de dia 28 fevereiro de 2022.	67
Figura 14 - Cartograma térmico geral da manhã de 28 de fevereiro de 2022.	69
Figura 15 - Cartograma térmico geral da tarde de 28 de fevereiro de 2022.	71
Figura 16 - Cartograma térmico geral da noite de 28 de fevereiro de 2022.	72
Figura 17 - Situação Sinóptica de 11 de maio de 2022.	73
Figura 18 - Cartograma térmico geral da manhã de 11 de maio de 2022.	75
Figura 19 - Cartograma térmico geral da tarde de 11 de maio de 2022.	77
Figura 20 - Cartograma térmico geral da noite de 11 de maio de 2022.	79
Figura 21 - Situação Sinóptica de dia 8 de julho de 2022.	80
Figura 22 - Cartograma térmico geral da manhã de 8 de julho de 2022.	82
Figura 23 - Cartograma térmico geral da tarde de 8 de julho de 2022.	84
Figura 24 - Cartograma térmico geral da noite de 8 de julho de 2022.	85
Figura 25 - Cartograma térmico da área de estudo da manhã de 28 de fevereiro de 2022.	88
Figura 26 - Cartograma térmico da área de estudo da tarde de 28 de fevereiro de 2022.	89
Figura 27 - Cartograma térmico da área de estudo da noite de 28 de fevereiro de 2022.	90
Figura 28 - Cartograma térmico da área de estudo da manhã de 11 de maio de 2022.	92
Figura 29 - Cartograma térmico da área de estudo da tarde de 11 de maio de 2022.	93

Figura 30 - Cartograma térmico da área de estudo da noite de 11 de maio de 2022.	95
Figura 31 - Cartograma térmico da área de estudo da manhã de 8 de julho de 2022.	97
Figura 32 - Cartograma térmico da área de estudo da tarde de 8 de julho de 2022.	99
Figura 33 - Cartograma térmico da área de estudo da noite de 8 de julho de 2022.	101
Figura 34 -Mapa dos setores descritos.....	120
Figura 35 – Setor da Alta da cidade e Avenida Sá da Bandeira.....	121
Figura 36 – Setor da Conchada e Montes Claros.....	122
Figura 37 – Setor do Jardim Botânico.	123
Figura 38 – Setor Parque Manuel Braga.	124
Figura 39 – Setor do Parque Verde.	125
Figura 40 – Setor do Parque da Canção.	126
Figura 41 – Setor do Açude.	127

Índice de Fotografias

Fotografia 1 – Jardim Público (Av. Sá da Bandeira). (Espaço Verde da cidade de Coimbra).....	43
Fotografia 2 - Vegetação arbórea no tecido edificado (calçada Martim de Freitas).....	44
Fotografia 3 - (a) Parede Verde da Casa do Sal em Coimbra (traseiras do Stand da Audi); (b) Parede Verde da Casa da esquina em frente ao ACM em Coimbra; (c) Telhado Verde da Estação de Metro da Trindade no Porto.	45
Fotografia 4 - Telhado frio com telhas brancas.	46
Fotografia 5 - O Grupo da Ilha de Calor do Laboratório Nacional Lawrence Berkley converteu uma parte de um estacionamento numa exibição de pavimentação fresca.....	47
Fotografia 6 - Rio Mondego (maior corpo de água da cidade de Coimbra).....	47

Índice de Quadros

Quadro 1- Parâmetros de Visão e Ambição para alcançar a Cidade Sustentável.	32
Quadro 2 - Parâmetros dos Princípios para alcançar a Cidade Sustentável.	33

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima

GEE – Gases de Efeito de Estufa

ENAAC – Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas

DGT – Direção-Geral do Território

ICU – Ilha de Calor Urbano

CCDR – Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CIM – Comunidade Intermunicipal

PIAAC – Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas

IGUC – Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra

OGAUC - Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra

UNRIC - Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental

CIM – Comunidade Intermunicipal

Capítulo I - INTRODUÇÃO

1. Apresentação do Tema

1.1. Enquadramento Teórico

Com o avançar do tempo, tem-se tornado perceptível que o tema da sustentabilidade urbana no quadro das alterações climáticas tem vindo a refletir-se cada vez mais nos discursos e intervenções políticas, grande parte devido ao que têm sido os desenvolvimentos da investigação científica e académica das duas últimas décadas, mas também da constatação cotidiana do agravamento das situações de alarme climáticas. Esta atenção crescente em torno da sustentabilidade deve-se à tentativa de preparação de um futuro melhor, em que estes dois pontos se conjugam entre si. Os diferentes programas sobre sustentabilidade urbana têm vindo a desenvolver-se, por exemplo, com o objetivo de mitigação às alterações climáticas. Na “*Agenda 2030 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*” foram definidos 17 “ODS” (Figura 1), destacando-se dois destes que se enquadram no tema abordado nesta dissertação: o objetivo 11 ‘Cidades e Comunidades Sustentáveis’ e cuja meta passa por “tornar as cidades e as comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.”, e o objetivo 13 ‘Ação Climática’ o qual pretende “adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.” (UNRIC, 2022).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra



Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. (Fonte: UNRIC)

Dos 17 objetivos da “Agenda 2030 no Desenvolvimento Sustentável”, foi feita a seleção dos dois objetivos que são os pilares orientadores desta dissertação (Figuras 2 e 3).

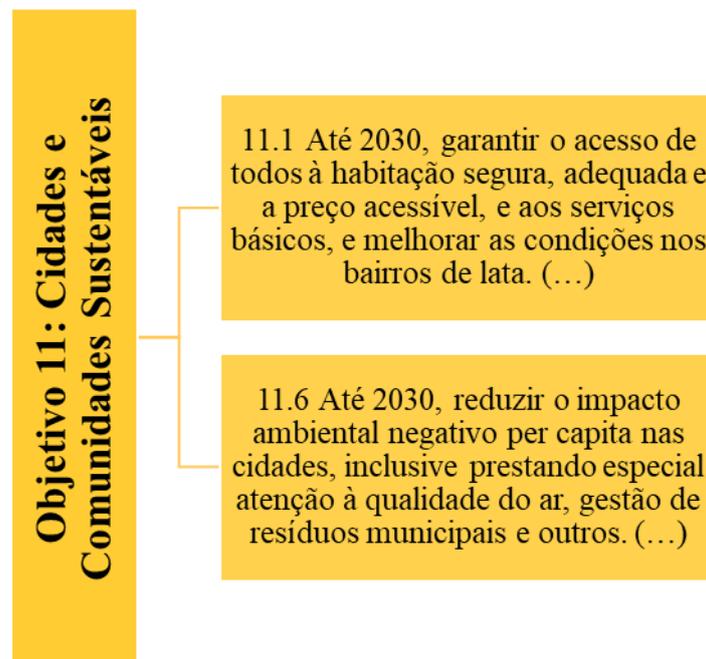


Figura 2 - Pontos chave do Objetivo 11 para Portugal. (Fonte: UNRIC)

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

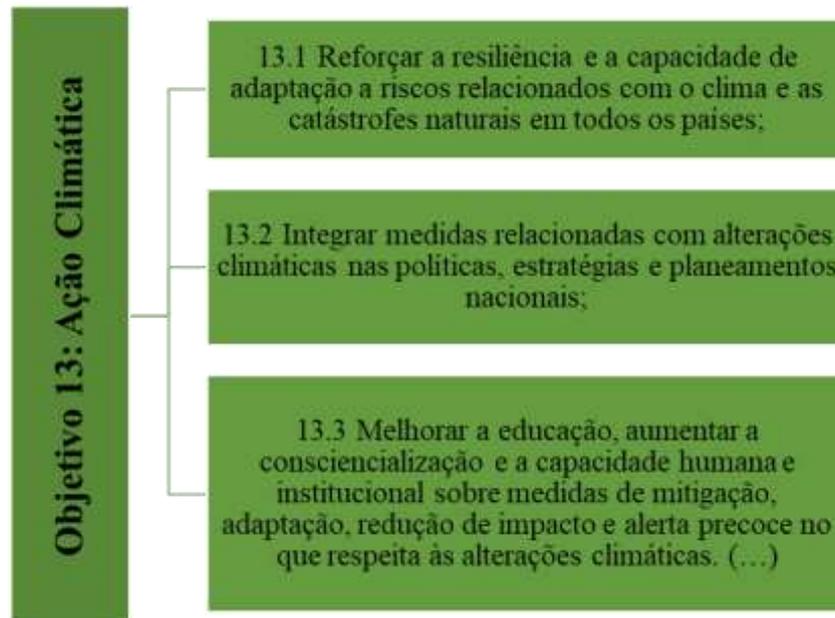


Figura 3 - Pontos chave do Objetivo 13 para Portugal. (Fonte: UNRIC)

Nesse contexto, Portugal tem vindo a fazer um esforço de resiliência às alterações climáticas, prosseguindo na procura de definição de metas para a neutralidade carbónica até 2050, tendo aprovado recentemente a “**Lei de Bases do Clima**”, enquadrando-se em vários pontos de resiliência climática, em que um dos objetivos é estabelecer metas nacionais de redução dos gases de efeito de estufa emitidos para a atmosfera. Relativamente à Lei n.º 98/2021 – Lei de Bases do Clima - esta “*define as bases da política do clima nas suas diversas dimensões, como o reconhecimento da situação de emergência climática, a definição dos objetivos e princípios da política do clima e a clarificação dos direitos e deveres climáticos, entre outros*” (LNEG, 2022). Esta lei serviu para criar metas através de planos, originando o “Portal da Ação Climática”, permitindo assim a interação da população na monitorização das ações climáticas. Já para as CCDRs e municípios, foram impostas metas até 24 meses depois da entrada em vigor desta mesma lei, ou seja, têm até 2023, para a criação e aprovação de planos de mitigação às alterações climáticas (Assembleia da República, 2021).

Sendo assim, o que se pretende com a “Lei de Bases do Clima”, e segundo os seus objetivos, é alcançar o equilíbrio ecológico. Isto será possível com a promoção de “a) (...) *uma transição rápida e socialmente equilibrada para uma economia sustentável e uma sociedade neutras em gases de efeito de estufa; b) Garantir justiça climática,*

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

assegurando a proteção das comunidades mais vulneráveis à crise climática, o respeito pelos direitos humanos, a igualdade e os direitos coletivos sobre os bens comuns; c) Assegurar uma trajetória sustentável e irreversível de redução das emissões de gases de efeito de estufa; d) Promover o aproveitamento das energias de fonte renovável e a sua integração no sistema energético nacional; e) Promover a economia circular, melhorando a eficiência energética e dos recursos; f) Desenvolver e reforçar os atuais sumidouros e demais serviços de sequestro de carbono. g) Reforçar a resiliência e a capacidade nacional de adaptação às alterações climáticas; h) Promover a segurança climática; i) Estimular a educação, a inovação, a investigação, o conhecimento e o desenvolvimento e adotar e difundir tecnologias que contribuam para estes fins; j) Combater a pobreza energética, nomeadamente através da melhoria das condições de habitabilidade e do acesso justo dos cidadãos ao uso da energia; k) Fomentar a prosperidade, o crescimento verde e a justiça social, combatendo as desigualdades e gerando mais riqueza e emprego; l) Proteger e dinamizar a regeneração da biodiversidade, dos ecossistemas e dos serviços; m) Dinamizar o financiamento sustentável e promover a informação relativa aos riscos climáticos por parte dos agentes económicos e financeiros; n) Assegurar uma participação empenhada, ambiciosa e liderante nas negociações internacionais e na cooperação internacional; o) Estabelecer uma base rigorosa e ambiciosa de definição e cumprimento de objetivos, metas e políticas climáticas; p) Reforçar a transparência, acessibilidade e a eficácia da informação, do quadro jurídico e dos sistemas de informação, reporte e monitorização; q) Garantir que todas as medidas legislativas e investimentos públicos de maior envergadura sejam avaliados estrategicamente em relação ao seu contributo para cumprir os pressupostos enunciados, integrando os riscos associados às alterações climáticas nas decisões de planeamento e de investimento económico nacional e setorial” (Assembleia da República, 2021, pp. 5-6).

Foram criados dois planos de estratégia de mitigação às alterações climáticas de longo prazo, em que Portugal se comprometeu a alcançar a neutralidade climática até 2050 e o Governo deverá estudar (até 2025) a antecipação desta meta o mais tardar até 2045.”, estes dois planos são o PNEC e o ENAAC (LNEG, 2022).

O PNEC 2030 consiste no mais importante mecanismo de ação política sobre a energia e clima para a presente década e rege-se pelo Regulamento da Governação da União de Energia e da Ação Climática, sendo este regimento quem coordena todos os

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

estados membros, tendo como objetivo que todos tenham planos estratégicos adaptados a cada país sobre a energia e o clima (Associação Portuguesa do Ambiente, 2019).

Dentro de todas as metas impostas a Portugal, as que podemos destacar enquadram-se na temática a ser tratada, são elas “*limitar as suas emissões de GEE até 2030 em pelo menos 17% relativamente às suas emissões de GEE no ano de 2005*”, (Associação Portuguesa do Ambiente, 2019, p. 30) e “*(...) alcançar a neutralidade carbónica em 2050, implica uma redução de emissões significativa, assente numa trajetória de redução de -45% a -55% em 2030, -65% a -75% em 2040 e -85% a -90% em 2050, face aos níveis de 2005, (...)*” (Associação Portuguesa do Ambiente, 2019, p. 31).

A ENAAC 2020 tem bem definidos os seus objetivos e os alvos onde é preciso atuar, tendo como finalidade mitigar os efeitos das alterações climáticas. Pretendem atuar nas áreas da agricultura, biodiversidade, economia, energia e segurança energética, florestas, saúde humana, segurança de pessoas e bens, transportes, comunicações e no litoral português (Associação Portuguesa do Ambiente, 2011).

Os três principais objetivos da ENAAC são “*atualizar, desenvolver e promover o conhecimento sobre as alterações, impactes e consequências, incluindo os relacionados com eventos meteorológicos extremos*” (Associação Portuguesa do Ambiente, 2011, p. 13). “*Implementar medidas de adaptação: No âmbito deste objetivo pretende-se avaliar a atual capacidade de adaptação e priorizar a implementação de opções e medidas de adaptação que moderem futuros impactes negativos e/ou ajudem a aproveitar oportunidades decorrentes das alterações climáticas e avaliar os seus potenciais riscos, impactes e consequências, incluindo os relacionados com eventos meteorológicos extremos*” (Associação Portuguesa do Ambiente, 2011, p. 15).

Por fim, visa “*promover a integração da adaptação em políticas sectoriais. Pretende-se com este objetivo promover a integração e monitorização da componente da adaptação às alterações climáticas (‘mainstreaming’) nas políticas públicas e sectoriais de maior relevância, incluindo as políticas de ordenamento do território e desenvolvimento urbano sustentável e os seus instrumentos de planeamento e gestão territorial*” (Associação Portuguesa do Ambiente, 2011, p. 16).

Nesta sequência de ideias, esta dissertação tem como foco principal analisar e redefinir a “Ilha de Calor Urbano” na cidade de Coimbra, principalmente nos horários em que podemos observar a ICU no seu pico de libertação de calor - no início da noite -

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

prolongando-se enquanto existir essa libertação. Perceber-se-á, assim, o seu comportamento nas áreas densamente “betonizadas”, analisando e relacionando com a orientação das vertentes e verificando se a morfologia da cidade influencia a concentração das temperaturas mais elevadas em certos locais da área de estudo e na comparação quer com as áreas rurais, quer no caso urbano, com os espaços verdes e espaços azuis (corpos de água) que a integram.

Procura entender-se as principais causas que tornam a população mais frágil, principalmente a mais debilitada e mais exposta a esta situação, como é o da população idosa que caracteriza os residentes dos setores em causa. Sabendo de antemão que os problemas de saúde surgiram (e vão surgir) com o passar dos anos, torna-se necessário, e na sequência do definido nas ODS, procurar os diferentes caminhos que tornem estes setores da cidade mais resilientes às alterações climáticas que se têm vindo a agudizar.

Neste sentido, um dos principais objetivos pretendidos com esta dissertação é o de entender se os espaços verdes apresentam (ou não) uma área de influência capaz de contribuir para o arrefecimento dos espaços mais quentes, isto no contexto urbano de Coimbra, e qual a própria dimensão dessa mesma área de influência. Para, com esses dados, conseguir resultados positivos, que poderiam levar à mitigação da Ilha de Calor Urbano, tendo a oportunidade de dar um maior conforto térmico e qualidade de vida aos cidadãos da cidade de Coimbra.

A necessidade de implementação de medidas de mitigação da ICU através do aumento da área de vegetação arbórea urbana quer através de parques urbanos, quer do próprio arbóreo viário, há muito que é defendida (Hulley, 2012). É assumido pela bibliografia temática, em que parece ser inequívoco que os espaços verdes provocam a redução das temperaturas não só no local onde se encontram, mas também na área envolvente, gerando “ilhas de frescura” (Aram *et al.*, 2019).

Na influência das temperaturas, os espaços verdes terão um poder amenizador das altas temperaturas consoante a sua dimensão, tendo essa dimensão resultado na área de influência das áreas verdes com o espaço urbano (Spronken-Smith & Oke, 1998). Na Suécia, concluiu-se que os espaços verdes de maior dimensão conseguem amenizar as altas temperaturas dos espaços urbanos envolventes durante o dia e noite (Upmanis & Chen, 1999).

Contudo, a questão habitualmente colocada sobre a necessidade de redução da ICU nem sempre é pacífica conforme o estudo se desenvolva a diferentes latitudes. Aliás,

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

nesse sentido, Ian Douglas refere que o calor identificado em meios urbanos de grande densidade populacional não é necessariamente algo negativo para um meio urbano, visto que, em alturas de temperaturas baixas, numa vertente de conforto térmico, pode ser uma mais-valia (Douglas, 1983). Por isso, temos de ter em conta, no contexto do ordenamento do território, que devem ser equacionadas estratégias em cidades de médias e baixas latitudes, onde se possam construir espaços públicos através da implementação de espaços verdes de pequena e média dimensão, com coberto arbóreo que contribua para o conforto térmico, principalmente em locais densamente urbanizados, onde muitas vezes não existem espaços livres de grandes dimensões, mas existem pequenos espaços onde podem ser implementados esses espaços verdes de pequenas dimensões com o objetivo de criar conforto climático no local.

É nesse sentido que devemos ter noção do impacto da ilha de calor urbano e de que forma os espaços verdes podem ter um papel atenuador das temperaturas nas áreas mais urbanizadas da cidade de Coimbra.

1.2. Objetivos

Os objetivos principais desta dissertação passarão por desenvolver e pôr em prática tudo o que foi retirado da consulta e análise da bibliografia, no contexto do que foi feito dentro da temática da sustentabilidade, em particular, a interferência da ICU nesta, em como podem funcionar os espaços verdes urbanos nas políticas de resiliência às alterações climáticas (e mesmo à descarbonização) em espaços urbanos. Pretende-se constatar quais são as diferenças térmicas entre espaços distintos da área de estudo – espaços cinzentos (áreas edificadas) e espaços verdes. Analisar e entender qual a interferência dos espaços urbanos nas temperaturas da ilha de calor. Com isto, perceber se espaços verdes têm influência de refrigeração nas temperaturas das áreas urbanas.

Na vertente mais prática desta dissertação, ir-se-á analisar os campos térmicos da manhã, tarde e noite da área de estudo para observar a dinâmica do campo térmico urbano e, no caso noturno, da própria ICU nos ‘espaços construídos vs espaços verdes’. Procurar-se-á observar a eficácia dos espaços verdes na mitigação das ilhas de calor nos espaços

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

urbanos, adaptando para o contexto da cidade de Coimbra todos os exemplos possíveis de mitigação até agora identificados.

1.3. Metodologia

Com o intuito de ser o mais claro possível, para a descrição da metodologia far-se-á uma divisão entre a matéria teórica e a matéria prática, com o principal objetivo de demonstrar como toda a dissertação se desenvolve entre as diferentes matérias que se complementam, procurando dar respostas sobre a temática.

Nos primeiros capítulos, foi feita a pesquisa para contextualização teórica, sendo feito um apanhado de várias matérias com o objetivo de caracterizar as cidades e as suas funções, aplicando o conceito de sustentabilidade como potenciador de cidades mais autónomas, resilientes, sustentáveis e saudáveis na sequência da Agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, e mais concretamente, no caso em estudo, as propostas de combate às Alterações Climáticas e a “Lei de Bases do Clima”.

Interligando as cidades, a sustentabilidade e a climatologia, chega-se assim ao cerne da questão, caracterizando a “Ilha de Calor Urbano” e as suas várias formas de registo. Complementa-se esta caracterização com a sustentabilidade e urbanismo sustentável através das estratégias de mitigação, nomeadamente, as fórmulas já existentes, (embora mal aproveitadas), como é o exemplo dos espaços verdes e o seu poder de atenuador térmico, as sombras do edificado, levando a equacionar, no desenho urbano sustentável, diferentes formas de combater e modificar o futuro ambiental das cidades.

Na componente prática da dissertação, foi feita uma avaliação prévia da área, para perceber os locais onde deviam estar posicionados os pontos de medição. Realizou-se um teste em janeiro para perceber quais eram os resultados e aferir a presente campanha com os dados que foram obtidos pelas campanhas de 2019, 2020 e 2021, no âmbito de unidades curriculares não só do Mestrado, Espaços Urbanos Sustentáveis, mas também da unidade curricular de Suportes Físicos em Planeamento Regional e Local, esta de 1º ciclo do curso de Geografia. Deve salientar-se que muitos dos levantamentos tiveram a nossa participação efetiva. A partir daí, definiu-se quais os locais de medição, antes de iniciar os três percursos realizados de forma pedonal com sondas acopladas a *Data Loggers*. As três campanhas foram feitas em diferentes estações do ano, inverno

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

(fevereiro), primavera (maio) e verão (julho). Na área de estudo desta dissertação, a primeira colheita de resultados em fevereiro foi feita como um todo. Ao constatar-se que seria uma área muito grande para registrar de forma pedonal, nas medições de maio e julho, dividiu-se a área em dois setores: o setor da Alta da Cidade e Avenida Sá da Bandeira e o Setor da Conchada e Montes Claros. Cada percurso foi feito em três momentos do dia (manhã, tarde e noite). No final de cada dia, foram retirados os dados dos *data loggers* com o auxílio da plataforma Tinytag Explorer, passando pela organização de dados compatíveis com os pontos definidos e horários, tendo sido trabalhado em Excel. Para assim, posteriormente, passar todos os dados para o *Arcmap*, utilizando a ferramenta *kriging* para se obter os mapas térmicos das três campanhas.

Foi possível localizar as diferentes realidades térmicas ao longo da área de estudo, comprovando-se várias hipóteses identificadas ao longo deste ano, desde a influência que os espaços verdes podem ter como atenuador das temperaturas elevadas, à influência da sombra da vegetação e do tecido edificado, ou mesmo até resultados inesperados por variadas situações que não eram expectáveis, nomeadamente, as condições meteorológicas que alteraram algumas situações térmicas esperadas, a sazonalidade, a morfologia urbana e a topografia, que vieram mostrar a importância do geógrafo permanecer no terreno, para lidar com a realidade de cada local.

Capítulo II – CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2. Estado da Arte

2.1. Caracterização de Cidade

A caracterização de cidade é algo difícil de concretizar (existindo diversas definições), devido às suas versáteis características, muitas vezes definidas pela sua posição geográfica no contexto territorial. Muitos autores têm vindo a definir as suas perspetivas da caracterização de cidade, apresentando em alguns momentos, diferentes opiniões, consoante a sua visão de urbe, reflexo muitas vezes da sua própria formação académica. Definindo de uma forma genérica, as cidades são espaços construídos onde existe uma concentração de várias atividades - serviços, indústria, comércio, áreas residenciais, áreas de lazer - constituindo assim, a organização do espaço urbano como sendo considerado um território fragmentado pela condicionante social. As cidades são constituídas por vários intervenientes, desde os proprietários das indústrias, fundiários, imobiliários, o próprio Estado de cada país, como também pelos grupos sociais. (Corrêa, 1989).

Aliás, neste sentido, e no equacionar do que é cidade, a título de exemplo, Orlando Ribeiro, referia que deve ser: “(...) feita uma distinção entre área, que representa um espaço que abrange a distribuição de um fenómeno e dos seus elementos, de região, que descreve como uma porção de território que apresenta uma unidade territorial e de posição física relativamente a um determinado centro. Como é evidente, não raras vezes, elementos característicos de diferentes regiões têm uma influência clara na unidade de uma área, como no caso específico das áreas metropolitanas” (Ribeiro, 1987; cfr Gonçalves, 2016, p.15).

Neste sentido e para o que se compreende em termos das cidades europeias, Cavaco *et al.* em 2015, referiam que: “As cidades portuguesas e europeias concentram hoje a maioria da população, das atividades económicas e da riqueza, constituindo os lugares de maior potencial para a dinamização do crescimento económico e do emprego, da competitividade e da inovação” (Cavaco, et al., 2015, p. 5).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Com isto, é possível assumir-se que as cidades são descritas dependendo das características que apresentem, sendo que se torna muito difícil de definir e caracterizar uma cidade. Existem muitas variáveis que diferenciam as cidades e a sua forma de desenvolvimento, não sendo assim possível de delimitar as cidades, porque hoje o que é um espaço de subúrbio rural, amanhã poderá ser considerado parte integrante de uma cidade.

2.1.1. Conceito de Sustentabilidade

Todos os dias ouvimos falar de sustentabilidade, principalmente por parte dos políticos e de grandes instituições nacionais e internacionais. O que é certo é que, por norma, não é consenso generalizado que o cidadão perceba o significado deste termo e o que pode fazer para o implementar no seu dia a dia. Este tema não é consensual entre vários investigadores, razão pela qual se apresentam inicialmente vários conceitos de sustentabilidade:

A sustentabilidade, para Daniel Hogan, apresenta-se como algo que precisa do contributo de várias partes para funcionar como um sistema de ligação, implicando que a justiça social, a qualidade de vida, o equilíbrio ambiental e a necessidade de desenvolvimento funcionem de modo integrado e articulado para que assim se consiga o equilíbrio pretendido na sustentabilidade (Hogan, 1995).

Já Marcel Jollivet (1998) refere *“Mais que um conceito bem definido, o desenvolvimento sustentável pode ser mais bem caracterizado como um campo discursivo controverso que permite a articulação de diferenças políticas entre o Norte e o Sul e oferece a possibilidade de estabelecer relações entre os debates sobre equidade social e equilíbrio ecológico.”* (Jollivet, 1998; cfr Ferreira e Bomfim, 2010, p.39).

“De acordo com Vlachos e Braga (2001), a Europa constrói estratégias para a construção da sustentabilidade baseada em: eficácia – relação custo-benefício adequada; equidade: justa distribuição de recursos a todos os segmentos da população e a integridade do ecossistema: a preservação de processos ecológicos.” (Vlachos & Braga, 2001; cfr Ferreira e Bomfim, 2010, p.39).

A evolução da sustentabilidade ocorre devido à visão que é necessária ter para o futuro. A sociedade, na atualidade, tem uma perspetiva diferente em relação à sustentabilidade, algo que não acontecia no passado. Começa a existir uma sensibilização

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

por parte dos políticos e da própria população para as consequências nocivas que as ações antrópicas provocam (Barbosa *et al.*, 2012). Esta questão da sustentabilidade é um compromisso que será feito a longo prazo, com o objetivo de prevenir acontecimentos nefastos para o mundo (Carvalho *et al.*, 2015).

Neste mesmo sentido, a questão do espaço urbano sustentável e as questões associadas ao clima local devem ser assumidas na lógica do futuro desejável.

2.1.2. As Cidades Sustentáveis e/ou cidades Saudáveis

No enquadramento geral desta temática, pode referir-se que as cidades sustentáveis são o processo anterior de quando se atinge uma cidade saudável. Os objetivos criados para as cidades sustentáveis, através da promoção de criação de mais espaço verdes urbanos, eficiência energética, mobilidades - transportes públicos, criação de ciclovias e vias pedonais – e que globalmente haja a procura de uma crescente descarbonização. Ao proporcionar uma melhor qualidade de vida da população, leva a uma diminuição de problemas de saúde como doenças respiratórias e/ou cardiovasculares. Todo este percurso leva a que possamos encontrar uma população mais saudável e com uma boa qualidade de vida, originando assim uma cidade saudável.

Nesse contexto, Marta Romero em 2004, refere que as Cidades Sustentáveis se definem por quatro pontos:

- *“Ligação - integração das esferas económica, social e cultural – relativo ao desenvolvimento económico, a habitação acessível, a segurança, a proteção do ambiente e a mobilidade, no qual todos se inter-relacionam, devendo ser abordados de maneira integrada;*
- *Inclusão - dos segmentos e interesses coletivos – através deste deve-se considerar uma variedade de interessados para identificar e alcançar valores e objetivos comuns;*
- *Previsão - otimização de investimentos – como fundamento para a elaboração de objetivos em longo prazo;*
- *Qualidade - promoção da diversidade urbana - devem ser procurados e privilegiados elementos que contribuam para manter a diversidade e, através desta, é assegurada a*

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

qualidade e não apenas a quantidade dos espaços, proporcionando a qualidade global da vida urbana”
(Romero M. A., 2007, p. 51).

Para podermos chegar às cidades sustentáveis e saudáveis é necessário adaptar cada cidade consoante a sua capacidade de adaptação. Para tal acontecer, têm de ser criadas as condições defendidas, tais como a compacidade através do aumento da densidade urbana, completar as cidades através de várias estratégias e métodos da arquitetura de forma coesa, pretendendo com isto criar áreas com as mesmas funções dentro das cidades. Algo também bastante importante é a criação de conexão entre vários pontos das cidades através dos transportes públicos, ciclovias e vias pedestres, dando sempre prioridade ao peão. Tudo isto resulta na biofilia, algo que se destaca por propor uma melhor relação entre o Homem e a Natureza (Farr, 2013).

Para o alcance de uma cidade saudável, é necessário ter a contribuição do desenvolvimento sustentável que, na procura de espaços físicos de qualidade, auxilia também a saúde da população. Apresenta como principal foco a consciencialização da real dimensão das condições sociais e ambientais, para perceber como pode desenvolver e alcançar uma cidade saudável consoante as características urbanas que se apresentem (Hancock, 2013).

Na Agenda 2030 das Nações Unidas e no quadro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável a nível global, o objetivo 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis - destaca vários pontos relacionados com este tema, entre os quais:

- “Até 2030, proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, (...)”,
- “Até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e as capacidades para o planeamento e gestão de assentamentos humanos participativos, integrados e sustentáveis, em todos os países”
- “Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita nas cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros” (ONU, 2015).

Com as questões da qualidade do ar, a gestão dos resíduos, a concentração das temperaturas mais elevadas nos centros urbanos tem originado várias adversidades para

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

as populações, afetando negativamente a saúde e o conforto das pessoas tornando-se mais frágeis devido às altas temperaturas (Guerreiro, 2020).

De acordo com referido pela Greater London Authority (2006), “Algumas das consequências mais preocupantes são a maior probabilidade de ocorrência de perturbações fisiológicas, insolação, danos nos órgãos e mesmo mortalidade. A idade mais avançada, o género feminino, pacientes internados em hospitais, residentes em lares de idosos, pessoas com problemas de saúde ao nível cardíaco e respiratório e classes mais pobres também vêm aumentando o risco de ocorrência de algum problema relacionado com o calor” (Greater London Authority, 2006; Guerreiro, 2020).

2.1.3. Desenvolvimento das Cidades Sustentáveis

Para o desenvolvimento do presente e futuro das cidades sustentáveis, é fundamental que nos debrucemos em três grandes eixos. Ambiente, economia e sociedade, serão os impulsionadores do desenvolvimento sustentável (Figura 4).

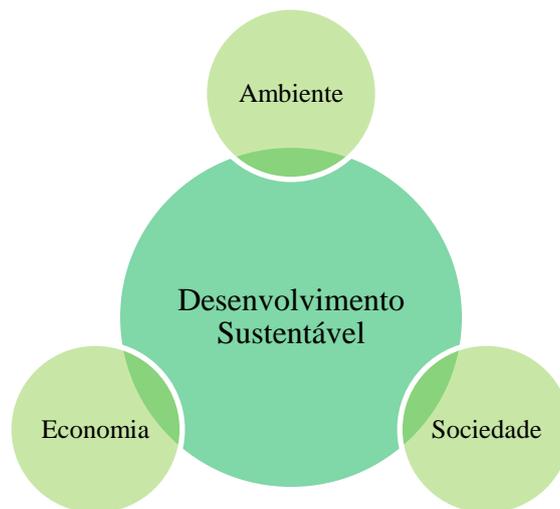


Figura 4 - Esquema para o Desenvolvimento Sustentável. (Fonte: O`Riordan (Adaptado), 1998)

Com o crescimento das cidades, através da expansão territorial das habitações, do comércio e da indústria, originou-se um aumento do uso dos transportes, tendo logo surgido, à partida, uma decadência do espaço ambiental. É necessário criar mecanismos que tragam o equilíbrio para uma cidade para que se possa desenvolver, com o objetivo de oferecer qualidade de vida para os seus habitantes.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Para alcançar o desenvolvimento nas cidades sustentáveis, estas têm de trabalhar em variados parâmetros.

A partir dos quadros que se seguem (Quadros 1 e 2), podem retirar-se várias ilações que fazem parte das prioridades das cidades sustentáveis, tais como os parâmetros que são ambicionados - cidades prósperas, saudáveis, resilientes, justas, inclusivas e conectadas, integrando sempre a sociedade para contribuir, inovar e melhorar a vida destas. Para além dos benefícios do urbanismo sustentável, este promove e fomenta várias melhorias para os espaços urbanos, criando estratégias com a cooperação das políticas públicas e de parceiros, bem como inovando e dando o exemplo de boas práticas.

Quadro 1- Parâmetros de Visão e Ambição para alcançar a Cidade Sustentável. (Fonte: Cavaco, *et al.* (Adaptado), 2015, pp.24-30)

Conceitos	Definições
Cidades + prósperas	"São cidades que oferecem elevados padrões de qualidade de vida e de qualificação funcional, que atraem e fixam investimento, pessoas e conhecimento, e que promovem oportunidades qualificadas de trabalho e de produção de valor."
Cidades + Saudáveis	"São cidades mais favoráveis ao fomento de padrões de vida saudável, que oferecem um ambiente urbano e espaços públicos de qualidade, e se ajustam às necessidades dos diferentes grupos populacionais, tirando partido dos recursos locais e promovendo lógicas de proximidade."
Cidades + Resilientes	"São cidades capazes de observar as tendências e desenvolver mecanismos flexíveis de resposta a cenários de maior incerteza e de adaptar o seu tecido social e económico a contextos de maior variabilidade e imprevisibilidade."
Cidades + Justas	"São cidades abertas ao envolvimento ativo dos seus cidadãos e instituições na inovação, desenho e implementação de instrumentos e iniciativas de sustentabilidade urbana, fomentando uma governação transparente, participada e centrada na qualidade de vida dos cidadãos."

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Cidades + Inclusivas	"São cidades que reconhecem a expressão espacial das múltiplas dimensões de exclusão, vulnerabilidade e isolamento social, fomentando ativamente a coesão territorial e promovendo dinâmicas de solidariedade intergeracional e uma cultura de abertura e diálogo intercultural."
Cidades + Conectadas	"São cidades ligadas com o seu território envolvente e palco privilegiado de cooperação entre os seus agentes, e que funcionam como as âncoras das abordagens de base territorial, assegurando as complementaridades mais sustentáveis entre os espaços que compõe a cidade-região."

Quadro 2 - Parâmetros dos Princípios para alcançar a Cidade Sustentável. (Fonte: Cavaco, *et al.* (Adaptado), 2015, p. 34)

Conceitos	Definições
Estruturação urbana do território	"promove o reforço do sistema urbano nacional e assumindo-o como referência transversal e critério ordenador na implementação das políticas públicas, para a estruturação equilibrada e eficiente do território nacional e para a coordenação estratégica das regiões e cidades;"
Territorialização das políticas	"fomenta abordagens integradas de base territorial, que assegurem a aplicação das políticas públicas através de uma adequação às especificidades dos lugares;"
Coordenação horizontal	"promove a convergência estratégica e operacional das políticas sectoriais e das políticas de desenvolvimento urbano e territorial, mediante a coordenação e articulação entre os diversos agentes institucionais, assumindo uma perspectiva de longo prazo para as trajetórias de sustentabilidade dos sistemas urbanos, e assegurando a coerência entre os instrumentos de gestão estratégica disponíveis;"

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Coordenação vertical	“promove a coordenação das intervenções de política pública com expressão territorial entre os níveis de governação nacional, regional e local, assegurando um quadro estratégico e operacional multinível e a coerência e programação otimizada das ações;”
Envolvimento ativo	“assegura que as estratégias de desenvolvimento urbano são construídas com o envolvimento e participação ativa de um quadro representativo de agentes urbanos e dos cidadãos, que garanta a apropriação, responsabilização e compromissos de todos os parceiros, focando essas mesmas estratégias na obtenção de resultados;”
Conhecimento do território	“promove a produção sistemática, integrada e atualizada de informação sobre as cidades, designadamente do seu potencial de recursos, das capacidades, das suas relações funcionais e das dinâmicas urbanas sob um quadro de referência comum do desenvolvimento urbano sustentável;”
Capacitação coletiva	“promove a inovação e aprendizagem coletiva, mediante a divulgação e disseminação de experiências e boas práticas, através de plataformas locais, nacionais e internacionais de cooperação entre os agentes públicos, privados e a sociedade civil, e entre os governos e os cidadãos.”

2.1.4. Urbanismo Sustentável

O desenvolvimento do Urbanismo Sustentável surge na década de 80 associado ao conceito de “Desenvolvimento Sustentável”, concretizando-se de forma oficial através do documento publicado pela Comissão para o Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, o conhecido Relatório Brundtland. Consagrando-se através deste documento os três pilares basilares do desenvolvimento sustentável, tais como, a sustentabilidade ambiental, a sustentabilidade económica e a sustentabilidade social (Martins, 2018).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Em Portugal, este conceito denomina-se por Urbanismo Sustentável, sendo que a comunidade científica usa o nome técnico de “Green Urbanism”, em português significa *urbanismo verde* (Martins, 2018, p. 19).

Timothy Beatley, em 2000, referia que o urbanismo verde centrava-se em tornar as cidades: a) confinadas aos seus limites ecológicos, reduzindo a sua pegada ecológica e reconhecendo as suas conexões e impactos à escala local, regional e global; b) mais verdes e projetadas de forma análoga à natureza; c) capazes de assegurar as necessidades da população, nutrindo e desenvolvendo relações simbióticas com o interior, tendo igualmente uma posição relevante à escala regional, nacional ou internacional; d) autossuficientes às escalas local e regional, seja na produção de alimentos, na economia ou ainda na geração energética; e) facilitadoras e incentivadoras de estilos de vida mais saudáveis e sustentáveis; f) com mais condições de habitabilidade, um maior sentimento comunitário e melhores condições de vida (Martins, 2018).

Neste sentido, Steffen Lehmann e Gaëll Mainguy defendem catorze princípios, dos quais quatro são os que se identificam mais com a temática do urbanismo sustentável, ou “Green Urbanism”, para países desenvolvidos (Lehmann & Mainguy, 2010):

- 1) Cada local tem as suas próprias condições climáticas e contexto climático, dependendo de fatores como a orientação, radiação solar, precipitação, humidade, direções dos ventos, topografia, sombreamento, incidência solar, ruído, poluição atmosférica, etc.;
- 2) Integração paisagística dos espaços verdes nos espaços urbanos, através de jardins, hortas urbanas e coberturas verdes, assegurando a qualidade do ar, conforto climático e a promoção da biodiversidade.
- 3) Planeamento de bairros e habitações com um design sustentável, privilegiando a geração de energia renovável, zero emissões, e um desenho que permita reduzir os consumos energéticos;
- 4) A cidade como laboratório de experiências e trocas de conhecimento, através da investigação de novos modelos para os meios urbanos, promovendo a sustentabilidade social, económica e ambiental.

Douglas Farr e Marta Romero vão para além do que o que “urbanismo verde” retrata. Douglas Farr refere que um bom urbanismo sustentável é o que se rege pelos seus

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

princípios mais básicos, através de um bom sistema de transportes públicos, vias de circulação pedestre, contando também com os edifícios e infraestruturas de alto desenvolvimento. Para além de cidades mais compactas e com maior ligação do ser humano à natureza, Farr apresenta um novo urbanismo, referindo três elementos essenciais: bairros e distritos deveriam ser compactos, onde a prioridade são os peões, o que diferencia estes dois locais são o tipo da sua utilização. Os bairros são de utilização mista e os distritos de utilização única. Contudo, também descreve a criação de corredores que servem para ligação através dos transportes públicos entre bairros e distritos (Farr, 2013). Marta Romero defende uma nova reestruturação do espaço urbano, com a criação de acessibilidades, mobilidade, segregação socio-espacial, gestão de recursos hídricos, utilização de fatores naturais para criar conforto nos espaços públicos (Romero M. A., 2007).

Não restam dúvidas que o Urbanismo Sustentável ou Urbanismo Verde, são o caminho que as cidades devem seguir, os parâmetros têm de ser sempre adaptados a cada país, cidade e local, permitindo que estes processos funcionem como uma simbiose e proporcionando uma melhor qualidade de vida para as populações locais.

Contudo, apareceu uma nova visão de urbanismo, também na ótica da sustentabilidade, denominada de cidade dos 15 minutos. Este tipo de cidades pretende dar à população tempo de vida. Com essa ideia pretende-se trazer tempo de vida útil dos cidadãos para os centros das cidades, proporcionando a preservação da qualidade de vida. Estas mudanças cronológicas trarão novas formas de mobilidade, devido às novas formas de constituição urbana. Estas mudanças na mobilidade, originaram à criação de uma nova atmosfera nas cidades (Moreno, et al., 2021).

2.2. Agenda 2030 no Desenvolvimento Sustentável

Na “*Agenda 2030*” é importante destacar toda a sua abrangência e ambição, tendo como objetivo principal fomentar um desenvolvimento sustentável que consiga alcançar os três eixos a que se predispõe, tais como a economia, a sociedade e o ambiente (Varela, 2020).

Segundo o Relatório Nacional sobre a Implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável em Portugal (2017), “Portugal identifica os 6 ODS que considera mais prioritários: *“Portugal materializa nos ODS 4, 5, 9, 10, 13 e 14 as suas*

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

prioridades estratégicas na implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”” (Varela, 2020, p. 5).

2.2.1. Estratégias para o desenvolvimento Sustentável do Território

Segundo a Direção Geral do Território estas estratégias têm com base os objetivos da “*Estratégia da Europa 2020*”, num pré-diagnóstico do território, com o propósito de dar resposta aos desafios existentes (Cavaco, et al., 2015).

Estas estratégias passam por quatro grandes eixos estratégicos, “*Inteligência e Competitividade*”, “*Sustentabilidade e Eficiência*”, “*Inclusão e Capital Humano*” e “*Territorialização e Governança*” (Cavaco, et al., 2015).

- A “*Inteligência e Competitividade*” integra a conectividade internacionalização, emprego, valorização empresarial e institucional, inovação urbana, identidade e atratividade, tecnologias de informação e comunicação.
- A “*Sustentabilidade e Eficiência*”, passa por pontos como, regeneração e reabilitação urbana, habitação, ambiente urbano, nível baixo de carbono, alterações climáticas, riscos e integração urbano-rural.
- Na “*Inclusão e Capital Humano*”, destaca-se pela inclusão social, capacitação e iniciativa, cultura, cidadania, responsabilidade e comunidades urbanas.
- Contudo, a “*Territorialização e Governança*” refere pontos importantes para completar este desenvolvimento, tais como informação e conhecimento, networking e capacitação institucional (Cavaco, et al., 2015, pp. 41-55).

Para além destas estratégias, Portugal pode aplicar novos desafios em todo o território. É necessário criar um ordenamento do território coeso, tendo sempre em conta os riscos consequentes das alterações climáticas, neste caso aplica-se as medidas de mitigação que se têm de impor no combate às altas temperaturas e à ICU. Investindo assim em novas técnicas de construção de edifícios e de ordenamento do território, investir na tecnologia para encontrar soluções que sejam menos poluidoras que os veículos, tendo principal atenção nas cidades, de com a aposta numa alteração da

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

mobilidade urbana, apostando em modos de transporte como a bicicleta e em circuitos para estas poderem circular (Mota *et al.*, 2005).

É fulcral trabalhar estes aspetos para assim conseguir um desenvolvimento sustentável coeso, adaptando sempre as características, físicas, sociais, económicas e climáticas de cada local.

2.3. A Ilha de Calor Urbano e a sua Caraterização

Na sequência do rápido e exponencial crescimento da população a habitar os espaços urbanos no planeta, estima-se que no ano de 2050 deverá observar-se que cerca de 70% da população global habitará em meio urbanos, tornando-se urgente o tratamento deste assunto, sendo de interesse público e de saúde, com o objetivo de mitigar problemas urbanos, entre os quais o da “Ilha de Calor Urbano” (Oke *et al.*, 2017).

Os inúmeros trabalhos publicados ao longo dos anos sobre ICU (o fenómeno de climatologia urbana mais referenciado) levou ao aparecimento de várias teorias e visões sobre o conceito da “Ilha de calor urbano”, o que leva a tentar concluir a sua definição, procurando vários conceitos em vários espaços temporais. As diferentes investigações mostram que as cidades apresentam temperaturas mais elevadas que os setores envolventes - mundo rural e espaços verdes urbanos -, os sendo a ICU um dos exemplos mais específicos onde se verifica a modificação climática causada pelo ser humano. É possível afirmar que, durante o dia, existe um aquecimento solar da superfície que é mais forte durante a manhã, iniciando o armazenamento de calor sobre convecção, verificando-se o inverso durante a tarde. À noite, se se estiver sobre a presença de céu limpo, observar-se o aumento da perda líquida de ondas longas de radiação, reduzindo a temperatura da superfície e consequentemente criando um fluxo ascendente de calor do solo. O resfriamento da superfície não é eficaz, pois existe a convecção do ar mais quente acima da superfície (Oke *et al.*, 2017).

A diferença entre as temperaturas da ICU e da sua magnitude dependem muito da dimensão do aglomerado urbano, tendo assim influência direta. Para além destas características, é possível dizer que este fenómeno é mais intenso em dias anticiclónicos (Ganho, 1999), podendo ter a presença de ventos fracos, destacando-se que a ICU atinge a sua intensidade máxima depois do pôr-do-sol (Ganho, 1998).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

A presença da ICU pode verificar-se em vários espaços urbanos específicos, uma vez que esta diferença entre locais resulta das diferentes amplitudes térmicas que se podem encontrar nos vários espaços das cidades, consoante a sua própria “fisionomia” (Romero C. W., 2016). Descrevendo a ICU, é possível adiantar que esta se manifesta através de uma cúpula de ar quente que se estende pela cidade, sendo que este acumular de temperaturas mais elevadas se pode dever a causas físicas dos locais (Amorim *et al.*, 2009), devendo-se em grande parte aos materiais dos edifícios que absorvem e retêm a radiação solar, expelindo esse calor no pós pôr do sol (Gartland, 2008). Por outro lado, para além desta acumulação de calor, a acumulação das altas temperaturas também se deve à atividade humana na superfície tendo repercussão na baixa troposfera (Fialho, 2012, p. 62).

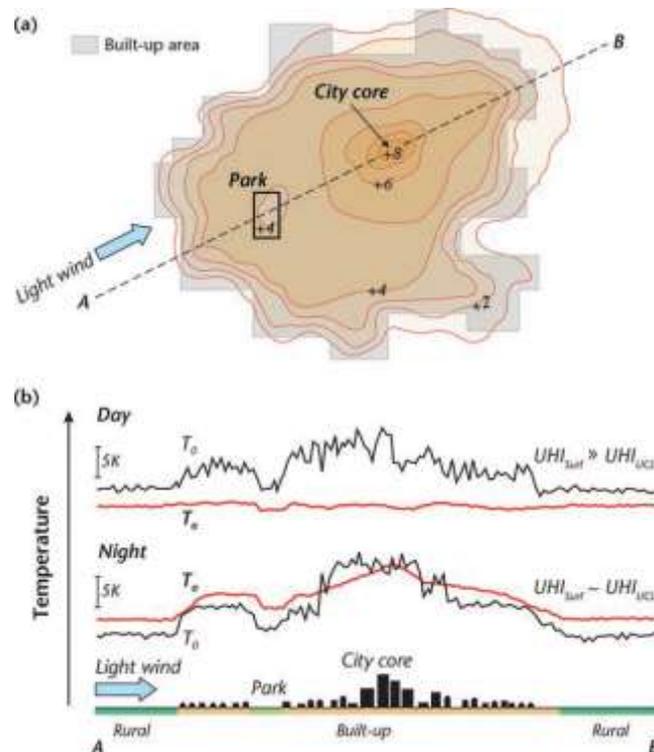


Figura 5 - Representação esquemática de uma ICU típica da noite em condições meteorológicas calmas e limpas em uma cidade. (a) Mapa isotérmico ilustra as características típicas da ICU e a sua correspondência com o grau de desenvolvimento urbano. (b) secção transversal 2D de ar na superfície e no nível do esquema térmico numa travessia ao longo a linha A–B demonstrada imagem (a). (Fonte: T. R. Oke, *et al.*, 2017, p. 200)

No caso de Coimbra, por exemplo, e na sequência do trabalho de grande fôlego da tese de Doutoramento de Nuno Ganho, a ICU foi identificada pela primeira vez. Já o estudo de D. Marques, Nuno Ganho e A. M. Rochette Cordeiro de 2008 ofereceu uma

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

melhor percepção de como a ICU se comporta nos diferentes espaços urbanos. Ao demonstrar as transformações da ICU, da sua intensificação e expansão devido ao aumento dos espaços de aglomerado urbano na zona da cidade, confirmou assim o impacto do espaço urbano na ICU (Marques *et al.*, 2008).

Muitos são os fatores que contribuem para a formação de ilhas de calor urbanas. Os autores Mohajerani, Bakaric, & Jeffrey-Bailey (2017) descrevem que, em parte, as ilhas de calor são causadas por uma redução da vegetação e evapotranspiração, existindo uma maior presença de superfícies escuras com baixo albedo e aumento da produção antropogénica de calor. A University Corporation for Atmospheric Research (2011), complementa a anterior afirmação com a questão da substituição de vegetação por asfalto, mais em concreto nas estradas, o efeito do arrefecimento natural através da sombra, da evaporação da água do solo e das folhas (evapotranspiração) são minimizados. Esta diminuição do resfriamento deve-se às superfícies escuras, como estradas e telhados, que absorvem o calor do sol, fazendo com que as temperaturas da superfície e do ambiente geral aumentem. Pode exemplificar-se com a área da alta da cidade que apresenta características semelhantes ao que é apresentado neste exemplo, em que os prédios altos e ruas estreitas podem ‘bloquear’ o ar entre os espaços e reduzir o fluxo de ar, causando um efeito de aquecimento adicional. As atividades do ser humano também contribuem para a formação de ilhas de calor por meio do calor residual de veículos, indústria e condicionadores de ar (Rupard, 2019).

2.3.1. Tipos da ilha de calor

É importante destacar que a ilha de calor superficial se define pela diferença entre a temperatura das superfícies do centro da cidade e a da periferia (Viveiros, 2017). A ilha de calor urbano apresenta diferentes características consoante a variação da escala em que são feitas as medições das temperaturas.

Destacando-se a “Ilha de Calor Urbano” de superfícies, esta baseia-se no contacto com a atmosfera urbana inferior, sendo geralmente observada a partir de instrumentos de deteção remota (Lopes, 2008). Aliás, Oke *et al.* em 2017, refere que a ilha de calor superficial pode ser diagnosticada por meio do sensoriamento remoto, que permite o cálculo da temperatura dos alvos (Oke *et al.*, 2017; cfr Amorim M. C., 2019).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

A “Ilha de Calor Urbano” de atmosfera urbana inferior (urban canopy layer), denominada por Oke em 1978, está presente entre o nível do solo e o nível médio do topo dos edifícios (Figura 6). As temperaturas são medidas abaixo do nível dos telhados, sendo registadas por percursos de automóvel. Mais recentemente este tipo de ilha de calor urbano tem sido registado a partir de sensores fixos colocados em locais estratégicos nas áreas urbanas (Amorim M. C., 2019). Pela descrição dos autores anteriormente referidos, estas características de registo da ilha de calor são o que se enquadra mais no que está a ser tratado nesta dissertação, sendo que a maior parte das medições são feitas de forma pedonal, conseguindo-se assim registar os valores entre o nível do solo e o nível médio do topo dos telhados.

Contudo, a Ilha de Calor Urbano da atmosfera urbana superior (urban boundary layer) é um método de registo da ICU que se sobrepõe à anterior e se estende por vezes até à atmosfera livre (Figura 6): segundo Oke (1995), trata-se da parte superior da camada-limite urbana, em que as características de temperatura, humidade, turbulência e composição da atmosfera são influenciadas pela presença da cidade (Lopes, 2008).

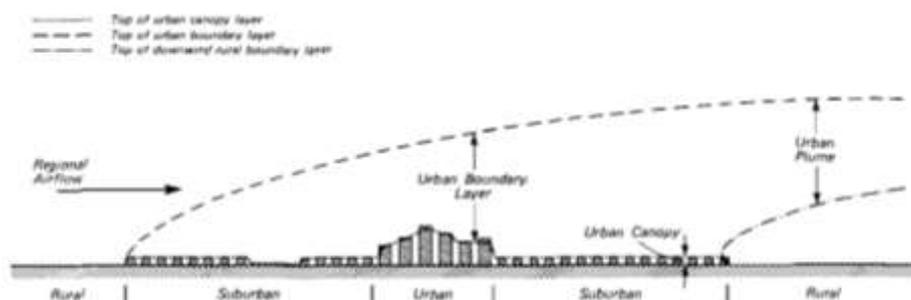


Figura 6 - Representação esquemática da atmosfera urbana que ilustra a classificação de duas camadas de modificação térmica. (Fonte: T.R. Oke, 1976, p. 275)

2.3.2. Efeitos da Ilha de Calor Urbano no Espaço Urbano

A Ilha de Calor Urbano tende a ser um fenómeno com consequências negativas, principalmente na qualidade de vida das populações. O fenómeno da ilha de calor urbano é habitualmente mais intenso em dias calmos e de céu limpo, visto que a energia solar tem maior intensidade em dias soalheiros (Gartland, 2008).

As temperaturas mais elevadas levam ao aumento do desconforto e dos problemas de saúde das populações. A acumulação do calor por parte das infraestruturas e edificado,

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

principalmente durante o período da manhã e tarde onde se regista os maiores níveis de radiação solar e de absorção do calor que advém da radiação solar. Devido à falta de planeamento das estruturas dos edifícios, estes absorvem parte desse calor e outra parte é libertada para o exterior do edificado durante o início da noite, gerando o aumento do desconforto e o despoletar de problemas de saúde das populações, tais como perturbações fisiológicas, danos nos órgãos e mesmo mortalidade (Guerreiro, 2020).

A deterioração da qualidade do ar e o aumento dos gases de efeito estufa, é mais um dos exemplos do impacto das ilhas de calor urbano, devido ao aumento do consumo de energia, contribuindo para o lançamento de matérias poluentes como, dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO_x), material particulado (PM), monóxido de carbono (CO) e mercúrio (Hg), emitindo gases de efeito de estufa, principalmente CO₂, originando a deterioração do ar, que piora com o aumento das temperaturas (Rupard, 2019).

Na procura do conforto e bem-estar, as populações têm criado métodos para combater a acumulação do calor nas habitações através de sistemas de arrefecimento de temperatura do interior das habitações. Apesar do efeito de refrigeração no interior das habitações, estes sistemas, no exterior das mesmas, têm o efeito reverso, devido ao calor que é expelido do interior para exterior, originando o aumento das temperaturas no exterior das habitações, vincando o efeito da Ilha de Calor Urbano, principalmente em fachadas altas e ruas estreitas (Guerreiro, 2020) – *os urban canyon*.

2.3.3. Adaptação da cidade ao efeito de ilha de calor urbano (mitigação)

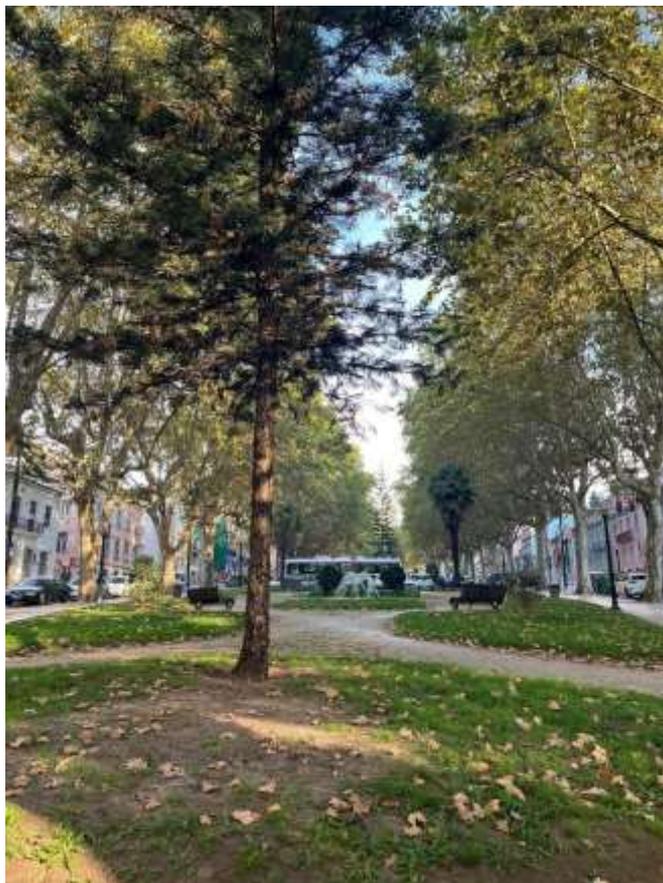
Ao longo dos séculos, as cidades sempre se souberam adaptar às circunstâncias, criando métodos para combater os diferentes obstáculos. As populações são um fator determinante para que as cidades consigam ultrapassar esses obstáculos. O mesmo se impõe no combate e/ou mitigação da Ilha de Calor Urbano, por isso, nos últimos anos, temos assistido à implementação de medidas e projetos físicos que têm sido feitos para a mitigação deste fenómeno.

Vários autores apontam para casos que amenizaram as altas temperaturas das ilhas de calor nos meios urbanos, entre quais, destacam-se:

- A criação de espaços verdes, onde predomine a vegetação arbórea e arbustiva, isto deve-se aos benefícios que os espaços verdes com estas características

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

trazem aos meios urbanos. As árvores e a vegetação ajudam a diminuir as temperaturas do ar na superfície por meio de sombreamento e evapotranspiração, tornando a vegetação uma maneira simples e eficaz de reduzir as ilhas de calor urbanas (Rupard, 2019).



Fotografia 1 – Jardim Público (Av. Sá da Bandeira). (Espaço Verde da cidade de Coimbra).

Dando o mote para o que se desenvolverá nesta dissertação, neste este ponto é visível a importância dos espaços verdes, tendo em conta que as cidades com ausência destes espaços se tornaram mais quentes, diminuindo cada vez mais a qualidade de vida dos cidadãos (Fotografia 1).

- Arborização das vias urbanas, como estratégia de combate à ICU e a presença da vegetação arbórea nas ruas tem capacidade de auxiliar na evapotranspiração e permite o aumento da humidade relativa do ar (Lopes, 2008). A copa das árvores fornece sombra natural sem ser necessário utilizar outro sistema de sombra (Fotografia 2). Para além disso, tem como principais funções controlar as temperaturas através do controlo do vento e da radiação solar (Mascaró &

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Mascaró, 2009), reduz os gases de efeito de estufa, retém os ruídos, tem capacidade de filtrar os gases poluentes, reduzem as emissões de carbono e previnem a erosão (Mascaró J. J., 1996). É importante destacar que a vegetação arbórea no espaço urbano protege o edificado contra a radiação solar, contribuindo assim para uma maior eficiência energética do edificado (Serro, 2013).



Fotografia 2 - Vegetação arbórea no tecido edificado (calçada Martim de Freitas).

- Um segundo fator que tem vindo recentemente a ser incrementado em vários pontos do globo como o objetivo amenizar a Ilha de Calor Urbano passa por todo um conjunto de soluções mais ou menos recentes, nomeadamente, pelos telhados verdes, constituídos por norma por coberturas de vegetação ou mesmo por paredes cobertas de vegetação (mais frequentemente as voltadas a sul nas nossas regiões). Este ponto tem uma função semelhante ao que os espaços verdes têm na diminuição das temperaturas no exterior, acrescentando que os telhados verdes têm uma função incisiva de arrefecimento dos edifícios onde estes telhados estão instalados (Fotografia 3). Além disto, as temperaturas mais baixas em telhados verdes resultam em menos transferência de calor para o ar acima do telhado, o que pode ajudar a manter as temperaturas do ar urbano mais baixas (U.S. Environmental Protection Agency, 2008).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra



Fotografia 3 - (a) Parede Verde da Casa do Sal em Coimbra (traseiras do Stand da Audi); (b) Parede Verde da Casa da esquina em frente ao ACM em Coimbra; (c) Telhado Verde da Estação de Metro da Trindade no Porto.

As áreas verdes (espaços verdes e telhados verdes) demonstram que são um importante fator para a redução das temperaturas dos espaços urbanos. Quanto mais seco e quente o clima for, maior é o efeito por parte da vegetação na redução térmica. Contudo, é necessário perceber que, quanto maior for a radiação solar incidente, menor será o efeito de redução das temperaturas por parte da vegetação (Lucena, 2013).

- Os telhados frios é algo utilizado para minimizar o impacto das Ilhas de Calor Urbano, apesar de não ser uma realidade na construção dos edifícios em Portugal. Por norma estes tipos de telhados são utilizados nas construções das habitações nos EUA, Canadá e norte e centro da Europa (Fotografia 4). Com as devidas adaptações para o nosso contexto geográfico e climático, podem ser benéficos para o combate à Ilha de Calor Urbano. Estes telhados consistem num tipo de materiais em que a sua cobertura pode ser de folha ou telhas que tenham um tipo de tinta altamente refletor. A forma de amenização destes telhados não é de todo semelhante à dos telhados verdes. Consiste no aumento da reflexão da radiação solar incidente em áreas urbanas, aumentando o albedo das superfícies do telhado (Li *et al.*, 2014).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra



Fotografia 4 - Telhado frio com telhas brancas. (Fonte: Silver Leaf Contracting)

- É de conhecimento geral que o asfalto em dias quentes é um acumulador de calor, dando para observar nos finais de dia calor a libertar-se do asfalto, contribuindo assim para a intensificação da Ilha de Calor Urbano (Fotografia 5).

Assim sendo, tal como os telhados frios, os pavimentos frios são projetados para refletir a radiação solar para ajudar a reduzir as temperaturas da superfície e reduzir a quantidade de calor absorvido no pavimento. No caso dos telhados frios, é importante referir que, se apresentarem alguma inclinação, melhores serão os níveis de reflexão (Werneck, 2018).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra



Fotografia 5 - O Grupo da Ilha de Calor do Laboratório Nacional Lawrence Berkley converteu uma parte de um estacionamento numa exibição de pavimentação fresca. (Fonte: Berkley National Laboratory)

- A disponibilidade de corpos de água nas cidades aumentam a evaporação, incluindo a absorção relacionada com o próprio calor latente que dá um efeito extra de arrefecimento durante o dia nas áreas periféricas (Fotografia 6). A temperatura do ar no perímetro dos cursos de água é das áreas envolventes, principalmente nas cidades (Mostofa & Manteghi, 2019).



Fotografia 6 - Rio Mondego (maior corpo de água da cidade de Coimbra).

2.4. Relação da Saúde Humana com a Ilha de Calor Urbano

Com o aumento das aglomerações urbanas nas cidades, caracterizadas em grande parte por áreas “betonizadas” e com menor número de áreas de vegetação, verificando-se um deficiente planeamento do território. Isto origina uma saúde pública cada vez mais frágil devido às altas temperaturas da ICU, as quais provocam doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias (asma e infeções) (Santos & Rodrigues, 2015).

A Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas 2020 refere que a *“A exposição excessiva a temperaturas elevadas constitui um fator de stress para o organismo humano, particularmente para o sistema cardiovascular. Enquanto a temperatura da pele for maior que a do ambiente haverá perda de calor por irradiação, por condução e por evaporação (transpiração). Quando as condições ambientais dominam os mecanismos de dissipação de calor do corpo, a temperatura corporal interior aumenta. Neste caso, quando o ganho de calor é superior à perda de calor, a temperatura interior do corpo aumenta para além daquela considerada normal, e em situações extremas pode atingir níveis altamente perigosos (superiores a 40°C)”* (Reis, 2019, p. 9).

2.4.1. Balanço Energético das Cidades

As atividades do antropogénicas nas cidades têm afetado em grande escala o clima dos meios urbanos, por isso, têm-se procurado combater os efeitos que advêm dessas atividades (Callejas *et al.*, 2016).

Um dos principais focos do clima urbano é observar a ótica do balanço energético, Oke (1988) refere que o balanço térmico é um processo físico e termodinâmico, que liga a superfície e a camada limite. Através deste processo, verificamos os variados fluxos de temperaturas e humidade do ar. Também é possível verificar os fluxos de superfície urbana, que acabam por contribuir significativamente para o perfil médio das temperaturas (Oke T. R., 1988).

Em relação aos fluxos de superfície urbana, estes demonstram-se mais turbulentos em espaços rurais do que em espaços urbanos, principalmente devido às características dos materiais e obstáculos existentes nestas áreas, verificando que os fluxos de calor e

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

humidade têm maior dependência da turbulência que encontram dentro da camada limite. O armazenamento da radiação solar incidente é algo que também se altera nas áreas urbanas, devido à alta capacidade térmica dos materiais que se encontram nos meios urbanos.

Outra característica apresentada pelos meios urbanos como acumulador de energia são os “Urban Canyon”, estes impedem a libertação da energia para camadas atmosféricas superiores.

As cidades têm outras fontes de energia que aumentam ainda mais os níveis de energia acumulados dentro do espaço urbano. Geralmente estas fontes de energia advêm das atividades do ser humano, ou seja, atividades antropogénicas, que contribuem para um aumento das temperaturas nas cidades (Callejas *et al.*, 2016).

As atividades antrópicas mais frequentes nas cidades são as indústrias, a circulação automóvel, o fumo das chaminés das habitações e os resíduos domésticos.

Oke (1988), através do uso da primeira Lei da Termodinâmica (Lei de conservação de energia), pôde controlar o volume da energia acumulada através do registo das perdas e dos ganhos, com o objetivo de encontrar o volume de armazenamento de energia dentro da malha urbana (Oke T. R., 1988).

2.5. Espaços Verdes

Parece hoje ser evidente que os espaços verdes são fator essencial na mitigação às ICU através da amenização das altas temperaturas que se fazem sentir nos espaços urbanos. O que se pretende com esta dissertação é que se chegue a uma das várias possíveis conclusões que se podem retirar sobre a área de influência que cada espaço verde, com determinadas características, pode ter no meio urbano, com o objetivo de amenizar as temperaturas e de devolver conforto e qualidade de vida a todos os cidadãos. Os espaços verdes são definidos como “*espaços livres desempenham papel ecológico, como integrador de espaços diferentes, baseando-se na abordagem estética, ecológica ou de oferta de áreas para o desempenho de lazer ao ar livre*” (Cavalheiro & Del Picchia, 1992, p. 31).

O princípio para uma melhor qualidade de vida nos espaços urbanos é a existência de espaços verdes, promovendo estilos de vida mais saudáveis e sustentáveis, estimulando bem-estar e saúde na população urbana. Todos os tipos de espaços verdes

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

(parques, parques infantis ou mesmo até a vegetação em espaços públicos e privados) são o pilar para a fomentação das estratégias que se pretende para os espaços verdes (World Health Organization - Regional Office for Europe, 2017).

Os espaços verdes urbanos não se definem só por serem jardins e parques verdes nas cidades, a sua constituição vai muito para além destas características, apresentam-se como todo o espaço da superfície urbana coberta com qualquer espécie de vegetação. Os espaços verdes urbanos observam-se em terrenos privados ou públicos, sejam quais forem as características e dimensão desse espaço, incorporando algumas vezes alguns espaços azuis, desde lagoas, lagos, ribeiros e fontes (World Health Organization - Regional Office for Europe, 2017).

2.5.1. Função dos Espaços Verdes nas Cidades

Existem vários estudos que comprovam que os espaços verdes têm um efeito de arrefecimento em relação às temperaturas elevadas que se fazem sentir nos espaços urbanos. Isto deve-se a várias características que possam existir nas áreas verdes, desde a vegetação, seja ela herbácea, arbustiva ou arbórea, aos materiais de construção que de se encontram nesses espaços e à sombra que possa ou não existir, sendo este um dos principais fatores para a diminuição das temperaturas. *“Os efeitos de transpiração e sombreamento (árvore), a vegetação urbana influênciam o ambiente físico das cidades pela absorção seletiva e reflexão da radiação incidente e pela regulação da troca de calor latente e sensível. Esses mecanismos constituem a principal base do efeito de resfriamento do espaço verde”* (Bowler *et al.*, 2010).

Contudo, este poder dos espaços verdes necessita de determinadas características para não limitar a influência do arrefecimento das temperaturas das áreas verdes e das áreas envolventes, tendo essas diferentes características impacto no que pode ser a sua influência. Estas características são, *“(...) o tamanho e o tipo de espaço verde (coberto por árvores e grama), as características estruturais das plantas e os padrões espaciais do espaço verde”* (Giridharan *et al.*, 2008). Aliás, e de acordo com o referido por Shashua-Bar e Hoffman, *“as formas e mosaicos diferenciais dos espaços verdes afeta o efeito do arrefecimento numa cidade”* (Shashua-Bar & Hoffman, 2000).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra



Figura 7 - Jardim Botânico (Espaço Verde da cidade de Coimbra). (Fonte: Universidade de Coimbra)

O Jardim Botânico da Universidade de Coimbra é um dos jardins de grande dimensão da cidade onde se podem encontrar vários mosaicos ao longo da sua área. Destacam-se, neste jardim, setores como a grande estufa de vidro do jardim que, ao seu redor, apresenta uma superfície em gravilha branca e pouca presença de vegetação, estando assim completamente exposta à radiação solar. Os patamares identificam-se também como um dos tipos de mosaico do jardim, constituídos por alguma vegetação arbórea de grande porte, sendo na maioria constituído por vegetação arbustiva e herbácea. Outro mosaico bastante demarcado no Jardim Botânico é a Alameda das Tílias, árvores de grande dimensão, caducifólias que apresentam as diferenças térmicas com e sem folhagem, como também, no quadrado Central com árvores caducifólias, apresentando uma particularidade que consiste num pequeno espaço azul – designado por fontanário. Por fim, a mata com uma constituição de vegetação arbórea bastante densa e grande parte vegetação perene, produzindo sombra durante todo o dia, principalmente no bambuzal¹.

Outro fator importante na área de influência que um espaço verde possa ter é na questão da densidade, tamanho e idade da vegetação arbórea presente, estes fatores são extremamente importantes para que se determine se um espaço verde tem maior ou menor

¹ Todas as diferenças térmicas deste espaço verde podem ser analisadas nos cartogramas gerais desta dissertação.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

influência na amenização das altas temperaturas. Chega-se a estas conclusões com a justificação da idade das árvores, quanto mais idade tiver, maior será a circunferência da copa das árvores, quanto maior for menor será a radiação direta a chegar ao solo e com isto terá uma maior produção de sombra que irá manter o solo fresco (Stanley *et al.*, 2019).

A influência da sombra da vegetação nos espaços verdes no combate às altas temperaturas, tem como principal impacto na regularização das temperaturas sendo feita especialmente através da vegetação que se encontra espalhada pelas cidades. O efeito da vegetação resulta na interferência da radiação solar durante o dia e que se perde durante a noite, esta interferência promove a modificação do albedo das superfícies (Magalhães, 1992). A vegetação serve também para a criação de sombra natural (Magalhães, 2001), como corta-vento, controlando as movimentações do vento (Almeida, 2006), possibilitando um melhor conforto térmico para a população.

A sombra fornecida pela vegetação tornou-se numa das formas para mitigar as ICU's, reduzindo as temperaturas das áreas urbanas. As sombras criadas pelas árvores introduzidas nas áreas urbanas fornecem sombra às vias de circulação (Al-Obaidi *et al.*, 2014), permitindo que em locais de circulação de peões se evite a exposição solar direta, promovendo benefícios para a saúde (Mead, 2008).

A importância que a vegetação adquiriu no dia a dia das cidades, principalmente a vegetação arbórea, potencializou a regulação das condições climáticas dos locais, através dos parques, jardins e ruas das cidades (Oliveira *et al.*, 2013). Contudo, ainda muito há por fazer e ainda se verificam muitos espaços nas cidades com ausência da vegetação, isto irá originar o que se observa em muitas áreas citadinas com falta de vegetação, a criação e o desenvolvimento da Ilha de Calor Urbano, devido à exposição de radiação solar direta (Huang *et al.*, 2008).

2.6. Influência da sombra por parte do Edificado

Em centros urbanos, por norma, os edifícios que tenham uma altura significativa acabam por propiciar sombra nos passeios, ruas e praças, podendo assim ter uma importante influência na redução térmica dos espaços urbanos. Durante o dia, a maior presença de sombras por parte dos edifícios dá-se no início das manhãs (nascer do sol) e finais de tarde (pôr-do-sol). Questões como a sazonalidade são importantes fatores para perceber qual é o alcance em área das sombras, destacando que o raio de ação do sol no inverno tem baixo ângulo, proporcionando sombras mais curtas em área e mesmo em horas, visto que, no inverno, os dias são mais curtos. Já no verão, apresentam maior alcance em área de influência e com maior número de horas de sombra, uma vez que os dias são mais longos (Campos, 2014).

Relacionando esta temática com o exemplo da área de estudo desta dissertação, pode-se referir o exemplo da Alta da cidade com ruas radiocêntricas e estreitas, ruas estas que acabam por usufruir em grande parte do dia de sombra. Estes locais acabam por ter como resultados da sombra, a atenuação das temperaturas dos locais, juntamente com a morfologia urbana e topografia, estes locais assumem um papel de abrigo às temperaturas elevadas, obtendo um maior conforto climático (Ganho, 1995).

Capítulo III – APRESENTAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3. Caracterização Territorial

3.1. Enquadramento Geográfico

A área de estudo localiza-se na União de Freguesias de Coimbra, com uma área de 8 km², esta freguesia encontra-se no município e distrito de Coimbra, sendo um dos municípios que integram a CIM de Coimbra, região Centro estando aproximadamente a 40°N de latitude. A nível populacional, a União de Freguesias de Coimbra é constituída por 13 867 habitantes, segundo os resultados preliminares dos Censos 2021. A contextualização seguinte pretende, de forma geral, demonstrar a ligação do município com o espaço urbano de Coimbra e a sua relação com a área em análise.

No contexto morfológico, deve ser referido que a cidade se encontra instalada entre duas das principais unidades morfoestruturais portuguesas: o Maciço Hespérico que se localiza predominantemente em todo o setor leste do território municipal abrangendo, no essencial, uma área periférica da cidade, que se confronta, nos setores central e oeste, com a Orla Mesocenozóica Ocidental e onde se desenvolve a área urbanizada da cidade (Cunha *et al.*, 1999).²

A área de estudo desenvolve-se predominantemente num setor composto: 1) pelas cumeadas da Conchada e Montes Claros, território caracterizado pela forte densidade urbana; 2) a sul do local anterior encontra-se a colina de topo aplanado, onde se localizam os mais antigos edifícios da Universidade e a Alta da cidade (Rebelo, 1999), a qual também observa setores densamente urbanizados (Cordeiro A. M., 2021); 3) por uma vertente de cerca de 106 metros e que apresenta exposição aos quadrantes sul (preferencialmente a SW; 4) a vertente oposta, exposta aos quadrantes de norte; 5) estas cumeadas e vertentes constituem um vale em “cutilada” que, em conjunto, uma bacia de receção a designada Ribela (antiga linha de água hoje totalmente artificializada e

² Deve referir-se à descrição da área de estudo, é importante acrescentar que todas as localizações descritas (ruas, praças, largos, edifícios...) estão retratadas nos anexos, para apoio de leitura e análise de todas as descrições e cartogramas que se seguem (Anexo 2 - Setor da Alta e Av. Sá da Bandeira; Setor 3 – Setor Conchada e Montes Claros; Setor 4 – Jardim Botânico; Setor 5 – Parque Manuel Braga; Setor 6 – Parque Verde; Setor 7 – Parque da Canção; Setor 8 – Setor do Açude).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

desenvolvida em profundidade), na qual se encontra instalada uma das principais vias rodoviárias da cidade - Avenida Sá da Bandeira (Rebelo, 1999); 6) na base sul da colina da Alta apresenta-se um valeiro onde se desenvolve hoje o Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, e que mesmo não integrando verdadeiramente a nossa área de estudo, vai ter uma ligação muito significativa com o nosso trabalho.

A tipologia urbana da Alta da cidade caracteriza-se como radiocêntrica, muito adaptada à morfologia (Cordeiro A. M., 2021). Grande parte da urbanização da Alta encontra-se nas vertentes oeste, sul e norte da colina à qual se associa o polo 1 da universidade que se encontra no topo aplanado da colina. Neste contexto, verifica-se uma forte impermeabilização associado à construção – tanto de baixa altura como de edifícios mais elevados da “cidade universitária”, - e à rede viária. Porém, torna-se importante referir a presença de pequenos quintais e jardins interiores que devem ser assumidos como pequenos espaços verdes, em toda esta área, denominada habitualmente por “Alta” da Cidade de Coimbra e que, no primeiro caso, realça em muito as fortes influências moçárabes que a colina apresenta (Cordeiro A. M., 2021).

A colina encontra-se envolvida por espaços verdes – o habitualmente designado “anel verde”, dos quais se deve realçar o Jardim Botânico da Universidade de Coimbra, que ocupa o já referido valeiro, que é delimitada a sudeste e que se caracteriza como um espaço verde de grande dimensão à escala de uma cidade média portuguesa - 13 hectares - na sua maioria caracteriza-se por uma morfologia desigual e declivosa³, a sul e sudeste da colina da Universidade, estendendo-se quase até ao Parque Manuel Braga e Parque Verde, espaços que se distribuem e têm a forte presença de um lençol de água – a componente azul - do Açude de Coimbra.

Separada por um vale algo pronunciado – associado à ribeira designada por Ribela – e onde hoje se desenvolve uma importante via de tráfego urbano, Av. Sá da Bandeira – observa-se, a norte, uma importante cumeada, onde se localiza a Conchada e Montes Claros, em que a vertente que a delimita a sul tem uma forte exposição ao sol durante a maior parte do dia. Estas encontram-se densamente urbanizadas e com algum défice de

³ Neste jardim, observa-se a existência de dois pequenos lagos e um repuxo, bem como de uma grande estufa de vidro, sendo que estes se distribuem por vários patamares, escadarias e vias pedonais. Mais importante são os seus espaços arbóreo e arbustivo, que apresentam densas e diversificadas espécies de vegetação arbórea autóctone e exótica, sendo a vegetação arbórea tanto caducifólia como perene e tendo esta característica da vegetação arbórea algumas alterações nos resultados que se observam, dependendo da estação em que nos encontremos no registo de dados (Leal, 2008).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

jardins e parques verdes, mas com bastantes espaços verdes, tratando-se de jardins e quintais privados.

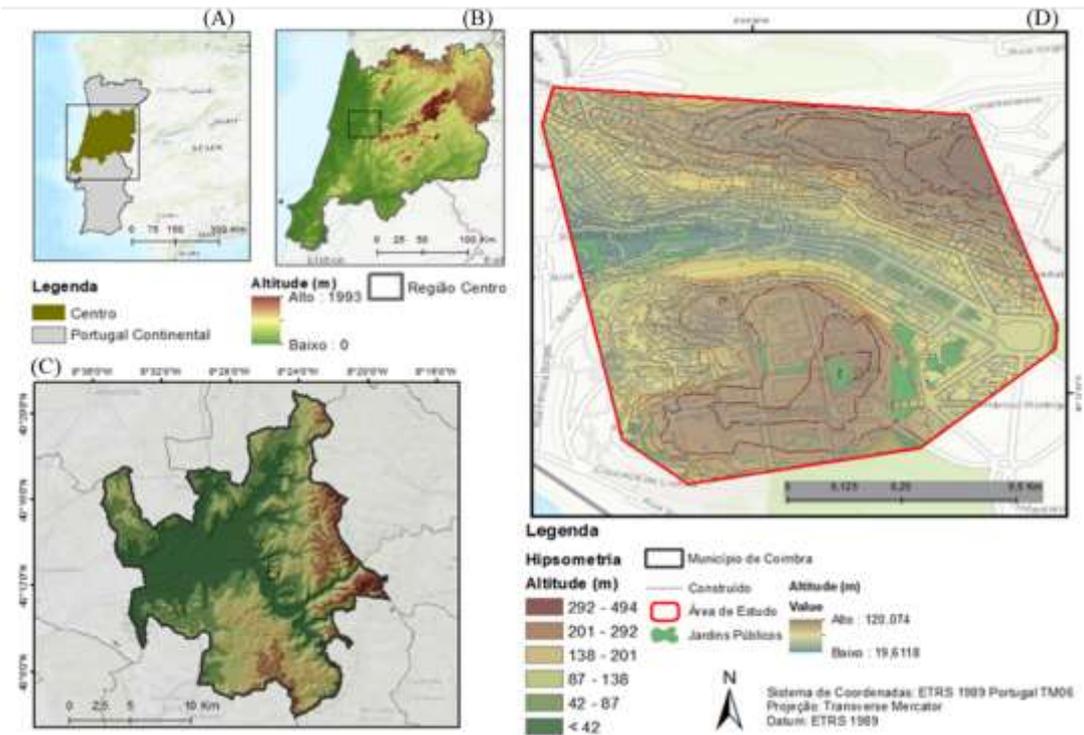


Figura 8 – 1) Localização no país (A) e na Região (B).

2) Hipsometria do concelho de Coimbra (C) e hipsometria da área de estudo (D).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

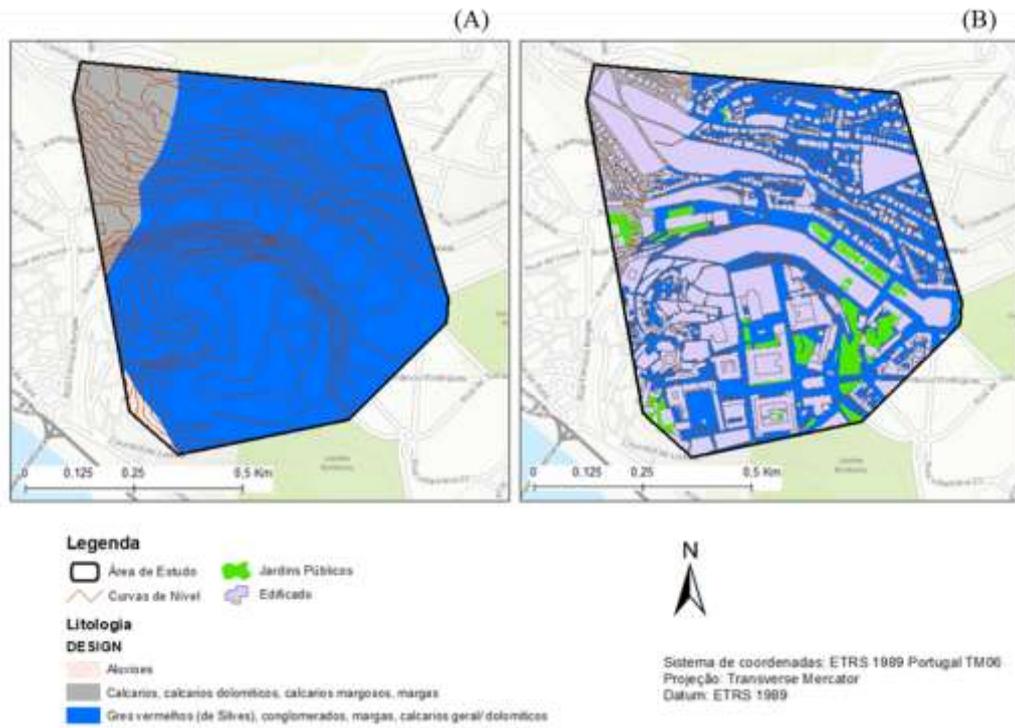


Figura 9 - Litologia da Área de Estudo: A) Relação com morfologia; B) Relação com o tecido urbano.

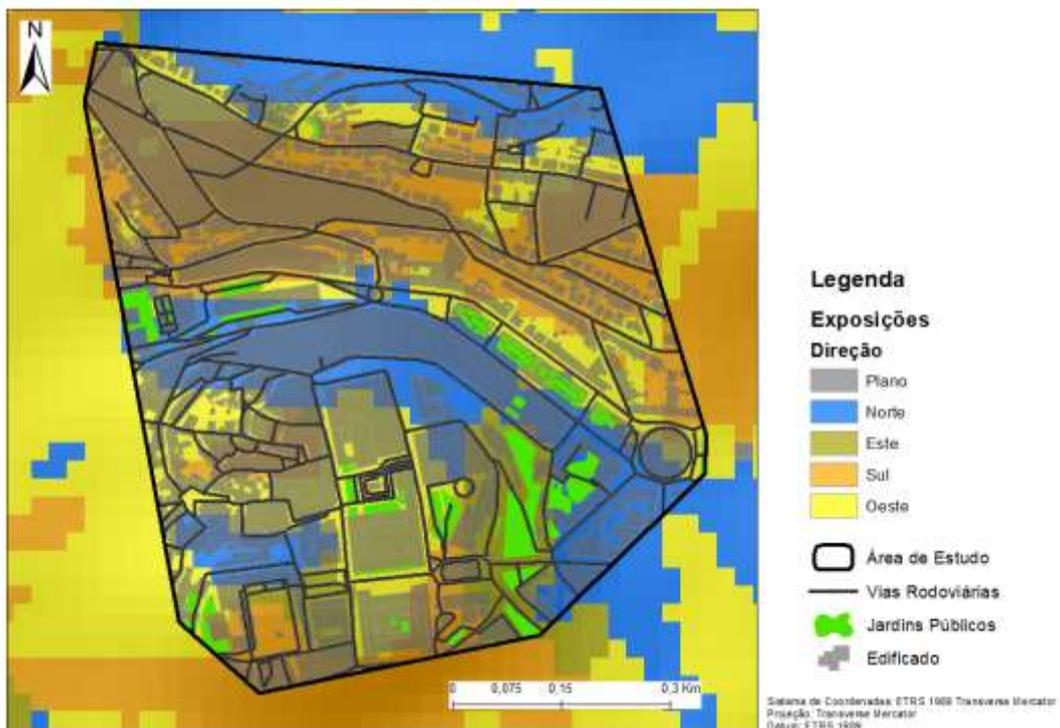


Figura 10 - Exposição das Vertentes da Área de Estudo.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Já relativamente ao setor da cidade que viu a sua expansão na 2ª metade do século XIX e início do século XX, e que se localiza a sul da colina do velho castelo (entretanto desaparecido), observa-se que existe um espaço verde com 7 hectares, denominado “Parque de Santa Cruz”. Localiza-se na antiga linha de água, a montante da Praça da República, desenvolvendo-se parcialmente no vale da Ribela (ocupa grande parte da bacia de receção do vale da Avenida Sá da Bandeira) e que, tal como foi referido, se encontra entre as cumeadas (Leal, 2008).

3.2. Clima Urbano de Coimbra

Quando J.-P.Troche (1986) refere que o clima urbano começou a ser discutido e associado ao planeamento dos centros urbanos e com isto surgiram os interesses económicos, políticos, sociais, ambientais, culturais e estéticos, a perspectiva sobre a temática ganhou um impacto muito significativo. Iniciou-se assim um trabalho e uma preocupação com o clima local, procurando construir-se as cidades com outra visão e com novas preocupações urbanísticas. Estas preocupações passaram pela ambiência climática, melhorando a gestão energética dos edifícios e tendo como ponto fulcral a melhoria da qualidade de vida (Ganho, 1998). O clima urbano passou, deste modo, a ser uma ciência em crescimento nos últimos anos e como muita margem para progredir nas próximas décadas com vista à necessidade de proporcionar uma crescente resiliência às alterações climáticas. A necessidade e a procura desta ciência, nos últimos anos, foi o que proporcionou o crescimento desta disciplina, através da urgência em gerir as mudanças climáticas, sempre com o objetivo de melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas, principalmente as que vivem em meios urbanos (Oke *et al.*, 2017).

No plano nacional, o tema do clima urbano levou alguns anos a ser um assunto discutido em Portugal, durante anos foi uma prática muito pouco corrente. Hoje em dia, é um tema que tem grande margem de desenvolvimento, começando a ser tratado nas áreas da geografia, arquitetura, engenharia do ambiente e engenharia civil, perspetivando-se um maior desenvolvimento no futuro.

O clima urbano é formado de acordo com as características de cada local gerando-se um tipo de clima em função da existência de intervenientes que alterem a ambiência anteriormente previsível, cada local apresenta campos térmicos característicos e com particularidades distintas na mesma área. Estas particularidades distintas resultam das

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

várias alterações que são feitas nos meios urbanos, fazendo parte destas alterações a diminuição de espaços verdes e o aumento das áreas “betonizadas” (Matias, 2018).

Estas alterações das áreas urbanas interferem diretamente no clima urbano, a substituição da vegetação por materiais, como o asfalto, betão e pedra, têm impacto direto no clima urbano (Ganho, 1999). Outro fator que tem um impacto direto no clima urbano é a geometria dos espaços urbanos através da disposição dos edifícios, dos materiais utilizados nos edifícios e do seu impacto na absorção e libertação do calor e as áreas densamente artificializadas que tornam os solos cada vez mais impermeáveis (Monteiro, 1993).

Todas as modificações das áreas naturais em meio urbano, trazem consequências para os ecossistemas das cidades. É importante ter a noção de que, quanto mais as cidades crescem em número de edifícios, maior é a probabilidade de existirem mudanças na radiação, nas temperaturas, na variação do grau de humidade e na aerodinâmica dos espaços envolventes (Oke T. R., 2002). O aumento das temperaturas, com a redução da circulação do vento, provoca muitas vezes rajadas desagradáveis e de certa forma perigosas (Alcoforado *et al.*, 2009).

As relações que podemos retirar é que a geometria urbana é um fator importantíssimo para o controlo do clima urbano, seja de forma positiva seja de forma negativa, podendo destacar-se que a formação da ilha de calor urbano está correlacionada com o fator da geometria urbana (Nakata-Osaki *et al.*, 2016).

Torna-se possível observar, na área em estudo, como a geometria da própria cidade, principalmente na Alta, e as ruas radiocêntricas podem alterar todo clima local. Na Alta da cidade, Avenida Sá da Bandeira e Conchada, a radiação direta é um dos principais fatores para justificar alguns dos resultados encontrados. Neste caso, a redução da radiação direta resulta do “efeito sombra” provocado pelos edifícios, relevo e a própria exposição das vertentes. Outro fator que pode modificar o clima urbano da cidade são os espaços verdes, através da produção da sombra e da função atenuadora das altas temperaturas e das rajadas de vento.

Na área em estudo existe ainda um outro fator que também influencia o campo térmico das áreas impermeabilizadas, o albedo. Este resulta da reflexão da radiação em superfícies de brancas, absorvendo menos calor por parte dos edifícios, sendo o albedo mais intenso nestas situações e menos intenso em situações em que as superfícies são menos claras, absorvendo assim, todo o calor para o interior dos edificadas. Um grande

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

exemplo são os edifícios do Polo I da Universidade Coimbra, em que maior parte destes são de superfície branca – calcário – paredes dos edifícios desde o solo ao topo, sendo locais da área de estudo com maior percentagem reflexão da radiação, potenciando a concentração temperaturas mais elevadas neste setor do território urbano (Ganho, 1998).

3.3. Contexto climatológico de Coimbra

A cidade de Coimbra apresenta características climáticas mediterrânicas, presenciando verões quentes e invernos suaves e chuvosos (Loureiro *et al.*, 2017). O clima de Coimbra, a nível macro, é um clima mediterrâneo como foi referido anteriormente. Mas fazendo uma análise a uma escala mesoclimática, verifica-se a influência do oceano atlântico e por isso, o município de Coimbra está integrado na região climática sob influência atlântica (Marques *et al.*, 2008).

3.3.1. Temperatura

A variação anual das temperaturas máxima e mínima no inverno é idêntica. Já na primavera e outono, a variação da temperatura máxima é muito superior à da temperatura mínima. No verão, acontece precisamente o contrário que as anteriores estações, a variação da temperatura mínima é muito superior à da temperatura máxima, o que ajuda a entender as mudanças térmicas que a sazonalidade proporciona durante o ano (Ganho, 1998).

De 1971 a 2015, a média anual das temperaturas em Coimbra foi de 15,1°C, registando temperaturas máximas entre os 20°C e os 25°C, e as temperaturas mínimas de cerca de 10°C até 1987, aumentando 3°C, não ultrapassando os 13°C de mínimas (Loureiro *et al.*, 2017).

3.3.2. Precipitação

De forma geral, todos temos uma noção dos níveis de precipitação anuais, devido à influência da sazonalidade, existindo diferenças entre os meses do ano. Em julho e agosto, os níveis médios de precipitação são inferiores ou iguais a 8 mm. Em novembro, dezembro e janeiro, os valores médios ultrapassam ligeiramente os 30 mm, sendo por norma o período com maiores níveis de precipitação. De março a maio os níveis médios

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

de precipitação registam-se com valores pouco mais elevados que os 20 mm. Por fim, junho e setembro apresentam níveis inferiores aos 20 mm e outubro aproxima-se do 25 mm (Ganho, 1998).

Entre 1971 e 2000, segundo o PIAAC, foi possível registar uma precipitação média anual de 956,6 mm no IGUC e de 906,4 na estação meteorológica de Bencanta. Concluindo, os meses registaram menores níveis de precipitação foram julho e agosto, já o mês de dezembro foi o mês que registou maiores níveis de precipitação (Loureiro *et al.*, 2017).

3.3.3. Humidade do ar

É curioso que os valores mensais da humidade relativa tendem a ser superiores no período estival. De maio a agosto, apresentam-se percentagens de 80 a 84% de humidade relativa, sendo uma particularidade que se comprova com os valores inferiores de humidade do ar no início de primavera que rondam os 76% a 79%. Já setembro e fevereiro apresentam valores inferiores a 76%. Em novembro e dezembro apresentam-se valores muito próximos com os de verão, mas mesmo assim, inferiores (80 e 82%), (Ganho, 1998).

Os valores da humidade relativa entre 1941 e 2010 variaram bastante ao longo dos anos, apresentando valores médios anuais de 77% de humidade relativa, tendo oscilado entre os 72% e os 84% (Loureiro *et al.*, 2017).

3.3.4. Vento

Existem mais frequências de vento, que estão presentes pontualmente ao longo do ano, podendo-se destacar as direções de sul, SW e oeste, como também os ventos que são ainda menos frequentes das direções de este, norte, SW e de NE (Ganho, 1998).

Os meses de inverno registam os maiores valores de velocidade de vento, dezembro, janeiro, fevereiro e março registam os valores médios na ordem dos 10 Km/h. A direção dos ventos é predominantemente de NW (Loureiro *et al.*, 2017), de março até outubro, sendo bastante importante no verão (Ganho, 1998).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

3.3.5. Insolação

Em Coimbra, o número de horas de insolação, varia com os menores valores que rodam as 4 horas ou pouco mais, no inverno (dezembro e janeiro). Já no verão (julho e agosto), os valores são maiores, muito próximos das 10 horas diárias, tendo como média anual de 7 horas de insolação por dia (Ganho, 1998).

A média de horas de insolação de 1971 a 2000, podendo afirmar que de junho a agosto são os meses com maior número de horas de insolação, registando valores acima das 8 horas por dia com o sol por cima da linha de horizonte. Os meses de julho e agosto destacam-se com uma média de 9,6 e 9,4 horas respetivamente e o mês de junho com uma média de 8,6 horas por dia. Contudo, dezembro é o mês que regista o menor número de horas com o sol por cima da linha de horizonte, tendo uma média de horas de 4,1 (Loureiro *et al.*, 2017).

3.4. Caraterísticas dos espaços verdes na Cidade de Coimbra

É importante perceber, logo de início, que os espaços verdes não são só meros espaços que contemplam os jardins e parques urbanos. Contemplam também os jardins privados, quintais, rotundas gemidas, eixos verdes entre as vias rodoviárias, ou nas suas laterais. “*O espaço verde urbano inclui florestas, pastagens e arbustos, que são importantes tipos de cobertura do solo para manter a saúde e o equilíbrio dos ecossistemas urbanos*” (Akbari *et al.*, 2001, pp. 295-310).

Os espaços verdes, para além do jardim e do parque que circundam o setor urbano em análise (identificado anteriormente), está também integrada na área de estudo uma vasta rede de espaços verdes de pequenas e micro dimensões espalhados pelo referido território urbano.

Segundo uma análise prévia de identificação e caraterização dos espaços verdes de pequena dimensão na área de estudo, recorrendo ao *Google Earth Pro*, é possível destacar que se encontram presentes vários jardins de pequena dimensão, com características bastante semelhantes, tendo grande parte como constituição a relva, alguma vegetação arbustiva e arbórea. Grande parte destes espaços verdes localizam-se em locais planos e arejados, encontrando-se espalhados por toda a área de estudo.

Outro tipo de espaço verde encontrado são os jardins e quintais privados, estes também apresentam pequenas dimensões devido ao contexto urbano e de relevo, grande

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

parte destes espaços encontram-se em vários pontos na área de estudo, principalmente nas vertentes direcionadas a oeste e norte da Alta da cidade, como na vertente da cumeeada direcionada a sul, mais precisamente, na zona entre Conchada e Jardim Montes Claros até à Avenida Sá da Bandeira. Estes locais densamente urbanizados encontram-se em áreas declivosas, por isso estes espaços verdes encontram-se em locais muitas vezes de difícil acesso (muitos encontram-se em socacos, nas traseiras dos prédios), originando em algumas ocasiões a seu abandono por parte dos proprietários. Estes quintais e jardins na sua constituição têm a presença de alguma relva e produção hortícola, verificando-se uma presença de vegetação arbórea e arbustiva.

Contudo, dentro da área de estudo, apresenta-se um espaço verde com características diferentes de todos os outros e até um pouco invulgar para um centro de cidade, que é a presença de uma área de mato num local declivoso, localizando-se numa das laterais da Rua Padre António Vieira. Apresentando características de terrenos baldios maioritariamente vegetação arbustiva.



Figura 11 - Identificação dos espaços verdes da Área de Estudo.

Capítulo IV – CASO DE ESTUDO DA ALTA DA CIDADE, PRAÇA DA REPÚBLICA, AVENIDA SÁ DA BANDEIRA, CONCHADA E MONTES CLAROS.

4. Análise detalhada da Dinâmica Térmica

4.1. Análise dos Cartogramas Gerais

Na sequência das aprendizagens retiradas das campanhas realizadas em 2019, 2020 e 2021, no ano de 2022 foram efetuados percursos itinerantes que foram feitos com sensores acoplados a *data loggers* registando a temperatura real em pontos pré-definidos. A obtenção destes resultados refletiu-se em particularidades que, por um lado, refletiam muito do que tinha sido o constatado nas campanhas anteriores, mas, por outro lado, observam-se (por força da experiência entretanto adquirida), especificidades muito particulares que se devem, no essencial, não só à escala a que se trabalhou, mas também devido ao facto do ano de 2022 ter sido até setembro um dos mais quentes que havia registos, com vários ondas de calor muito intensas.

Desde logo, deve ser referido que o objetivo da campanha de 2022 passou pelo conhecimento mais aprofundado do setor do centro urbano, da margem direita do rio Mondego, da “Ilha de Calor Urbana” e a sua relação com os espaços verdes aí existentes, bem como do papel dos espaços azuis e verdes na regulação térmica do espaço urbano consolidado.

O ponto de partida para este conjunto de levantamento de dados, como não podia deixar de ser, teve nos trabalhos de Nuno Ganho (1998;1999) e Marques *et al.* (2009) a linha orientadora, embora já com o conhecimento da informação a ser desenvolvida nas presentes campanhas (Cordeiro *et al.*, in press). Aliás, é com base no contexto geral do mapa térmico da cidade de Coimbra elaborado a partir dos dados recolhidos em viatura automóvel no início da noite de um dia de anticiclone de Inverno – 06/02/2020 (Figura

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

28) ⁴ – que as presentes áreas foram definidas, não se observando, nesta campanha, o registo de dados relativos ao lago de ar frio do vale de Coselhas (a norte da área em estudo) e onde se desenvolve um lago de ar frio muito significativo⁵.

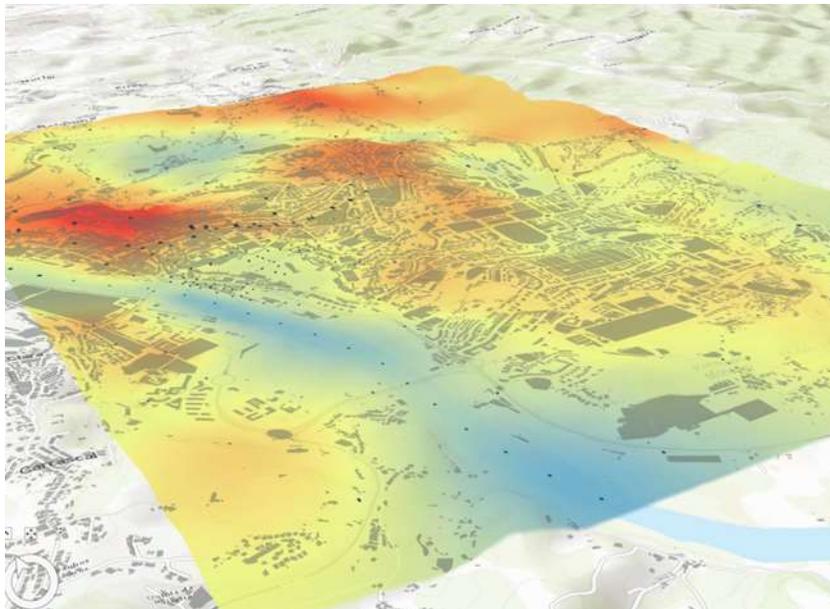


Figura 12 - Cartograma geral do campo térmico da cidade de Coimbra na noite de 6 de fevereiro de 2020 Fonte: Cordeiro, Ornelas e Silva (inédito)

É importante referir que os dados da campanha do ano de 2022 foram registados em três estações do ano diferentes, inverno (fevereiro), primavera (maio) e verão (julho), destacando-se o facto de este ano (e até os finais de setembro) se apresentar como um dos mais quentes de que há registo, verificando-se também em 2022 uma seca extrema tanto no nosso país como em toda a Europa. O aumento das ondas de calor começa a ser cíclico a cada ano que passa, não sendo este ano exceção. Verificou-se mesmo que as medições

⁴ Estas campanhas tiveram lugar no âmbito de unidades curriculares não só do Mestrado, Espaços Urbanos Sustentáveis, mas também da unidade curricular de Suportes Físicos em Planeamento Regional e Local, esta de 1º ciclo do curso de Geografia. Deve salientar-se que muitos dos levantamentos tiveram a nossa participação efetiva.

⁵ A campanha de 06 de fevereiro de 2020 foi realizada através de dois percursos, recorrendo ao automóvel, onde foi efetuado o registo das temperaturas pelos sensores. Esse registo foi feito em pontos pré-definidos, com um minuto de registo em cada ponto, foi anotado a hora de início e fim da medição das temperaturas em cada ponto. Na pós recolha das temperaturas, é feita a extração dos dados através do *MyGeodata Converter*. Com os dados tratados foi feito no Excel, a ordenação das coordenadas e as médias de temperaturas de todos os pontos, passando todos os dados para o *ArcGis*, construindo mapas que demonstravam todas as diferenças térmicas na área em estudo.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

de dia 11 de maio e de 8 de julho de 2022 foram realizadas em plenas ondas de calor registadas em Portugal. A mais intensa onda de calor foi a de julho, comprovando-se até pelas temperaturas registadas – quer nas estações meteorológicas, quer nos *data loggers* fixos e dos dados dos percursos pedonais itinerantes.

A metodologia entretanto descrita foi desenvolvida em três momentos do dia – manhã, tarde e início da noite -, efetuados através de três percursos que correspondem a três dissertações diferentes, (um deles – o dos setor “cinzento” - devido à sua extensão foi desenvolvido em subpercursos), desenvolvidos em simultâneo e com pontos pré-definidos em que os diferentes discentes obtinham dados nos mesmos pontos e à mesma hora, daí resultando todo um conjunto de informações que possibilitou uma abordagem de maior pormenor relativamente ao que foram os dados e cartogramas anteriormente obtidos.

A abordagem escolhida para esta parte do trabalho foi a da apresentação dos dados conjuntos por dia (estação do ano) e por diferentes momentos desses mesmos dias, pelo que se inicia com o dia 28 de fevereiro de 2022, dia esse que é caracterizado por condições meteorológicas de Anticiclone⁶.

Campanha de dia 28 de fevereiro de 2022

Com base na análise das cartas e do boletim climatológico do IPMA, no dia 28 de fevereiro de 2022, Portugal Continental encontrava-se sob influência do anticiclone dos Açores, localizado a SW do Região Autónoma dos Açores. Este anticiclone produziu uma crista de ar quente que passa por Portugal Continental e que se estende até aos países nórdicos. O Anticiclone está associado a céu limpo, temperaturas relativamente altas e com muito pouca ou nenhuma instabilidade atmosférica.

Contudo, nos dias seguintes às medições, o estado do tempo agravou-se devido ao facto de a frente quente se ter transformado numa frente oclusa, tendo originado uma zona de transição complexa.

A NW de Portugal Continental, encontra-se uma frente quente que acaba por funcionar como uma barreira à instabilidade de uma perturbação frontal extratropical

⁶ Importa referir que todas as localizações descritas (ruas, praças, largos, edifícios, entre outros) estão retratadas nos anexos, para apoio de leitura e análise de todos os cartogramas que se seguem.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

posicionada a NW das Ilhas Britânicas. Esta frente quente, nas horas anteriores à sua chegada a território nacional, faz com que haja um aumento das temperaturas, desencadeando a formação de nebulosidade, algo que se confirmou neste dia. Na parte da tarde das medições, verificou-se a formação de nebulosidade.

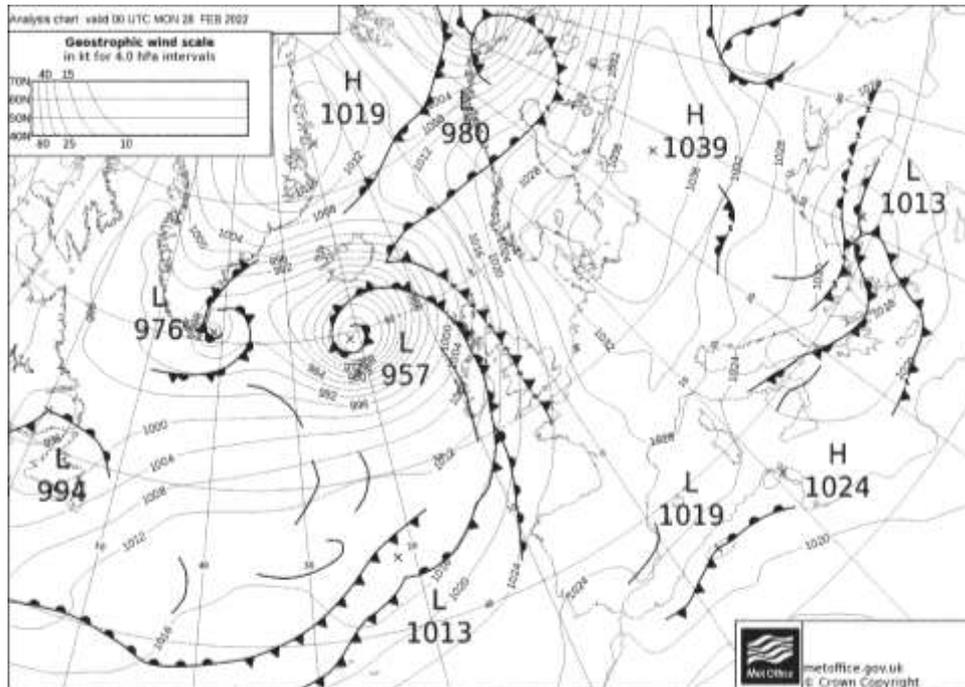


Figura 13 - Situação Sinóptica de dia 28 fevereiro de 2022. (Fonte: Wetterzentrale)

Percurso da Manhã (início às 09:15 horas):

No enquadramento geral da manhã do dia 28 de fevereiro de 2022, torna-se possível observar, na Alta da cidade, no Parque Manuel Braga e em grande parte do Jardim Botânico a presença de ar mais frio, potencialmente pela influência de frescura que o rio Mondego e os próprios espaços verdes exercem sobre estas áreas descritas, as quais, por força da morfologia de base da cidade, se encontram ainda sem qualquer recebimento de radiação solar direta. Pelo contrário, verifica-se que, em áreas como as da Conchada ou de Montes Claros, já se observa a presença de temperaturas comparativamente mais elevadas em toda a área (15,6°C nos primeiros setores e 20,6°C), nestes últimos, mostrando que a esta hora do dia o papel da radiação direta se apresenta fundamental na diferença térmica momentânea e onde a densidade urbana que se encontra na área é fundamental.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Mas da observação do cartograma e dos valores registados, parece constatar-se que a exposição das vertentes se assume, a esta hora como o principal fator nas diferenças térmicas observadas, destacando-se, e apenas a título de exemplo, os pontos junto ao edifício Avenida na Rua Antero Quental (na vertente exposta a SW).

No Parque Verde também se encontram temperaturas um pouco mais elevadas em toda a sua extensão, mas destacam-se pontos onde as temperaturas se apresentam já algo acentuadas, com a temperatura máxima registada a alcançar os 17,3°C, quando comparadas com os valores registados na margem direita (Parque Manuel Braga em que a temperatura máxima registada foi de 13,97°C⁷), assumindo-se que também aqui a exposição solar que se observa já há algum tempo seja o principal motivo para esta diferença⁸. Contudo, e atendendo ao referido pela bibliografia temática, também setores do Jardim Botânico se apresentam com temperaturas um pouco elevadas, nomeadamente nos terraços mais elevados e de exposição a leste, assim como junto à estufa de vidro e no próprio quadrado central, isto justificando-se pela estação do ano em que esta medição foi feita, inverno, estando grande parte da vegetação arbórea destes setores sem folhas, pelo que a radiação solar penetra sem grandes obstáculos até ao solo. O setor dos terraços e da estufa não apresentam tanta vegetação arbórea ao seu redor e, por isso, é mais um motivo para se registarem estas temperaturas nestes locais.

A manhã de 28 de fevereiro tal como foi sendo referido, apresentou uma significativa diferença térmica para uma manhã de inverno 9,9°C, uma vez que a temperatura máxima foi de 20,6°C (registada na rua Antero Quental junto ao Edifício Avenida) e temperatura mínima de 10,7°C (observada na varanda dos Departamentos de Física e Química, entre as ruas Larga e do Arco da Traição).

⁷ Este setor encontrar-se, durante grande parte da manhã, sem radiação solar devido à sombra proporcionada pela colina da Universidade.

⁸ No caso particular dos pontos mais a norte deste setor, e por se encontrarem junto a uma estrutura de ferro da Praça da Canção (palco) e no início da ponte de Santa Clara, poderá justificar-se um reforço artificial destas estruturas - materiais metálicos de mais fácil e rápida condução do calor.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

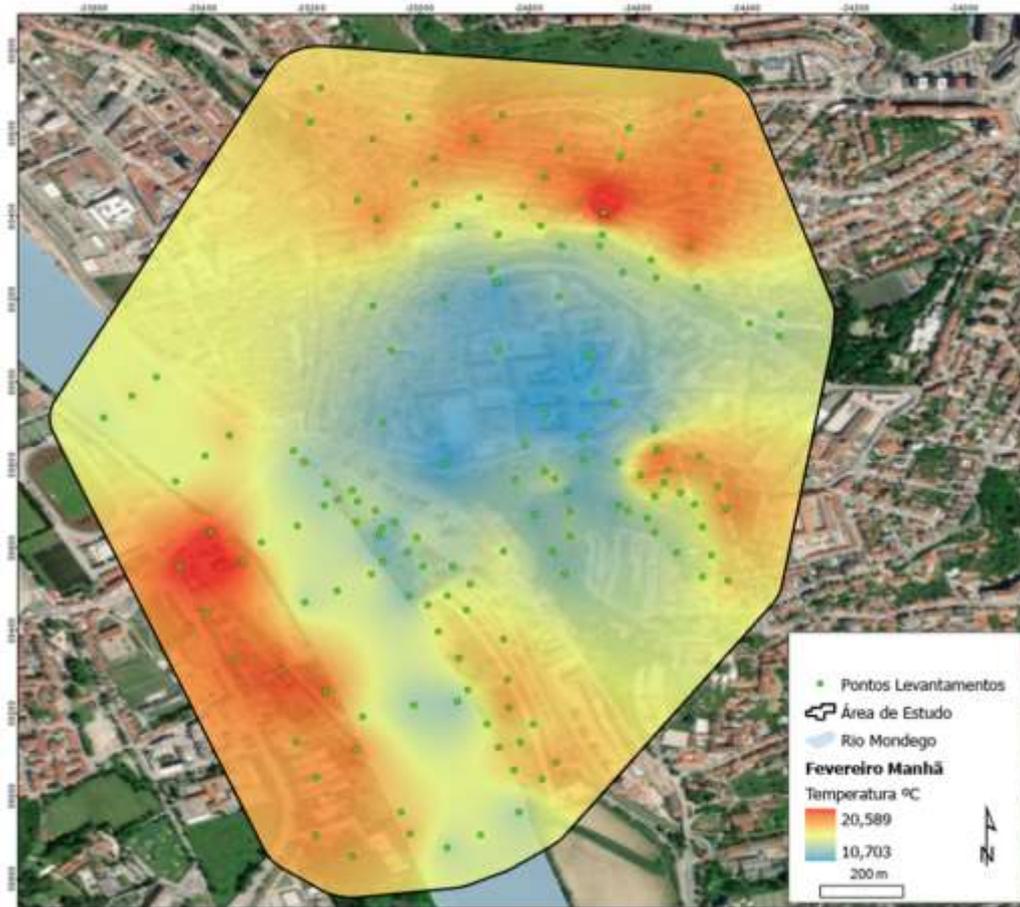


Figura 14 - Cartograma térmico geral da manhã de 28 de fevereiro de 2022.

Percurso da Tarde (início às 14:28 horas):

Na tarde do dia 28 de fevereiro, com interação entre setores de vegetação caducifólia e vegetação perene, bem como capacidade de retenção do calor por parte do edificado em momento em que o posicionamento do Sol se observa nos quadrantes de sul, leva a que nas cumeadas e níveis onde se desenvolve a Alta na zona da rua de Montarroio e rua da Manutenção Militar (forte exposição), bem como a Praça da República (aqui a extensa superfície desenhada em calçada portuguesa) e a Avenida Sá da Bandeira apresentam temperaturas mais elevadas que as áreas envolventes, em grande parte derivado do edificado destes setores e do próprio tráfego viário. Também no Parque Manuel Braga, no setor menos arborizado do Parque Verde da margem esquerda e mesmo na Alameda das Tílias do Jardim Botânico (a desnudação da folhagem destas árvores

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

caducifólias), motiva a existência de temperaturas mais elevadas⁹. Interessante é observar, no lençol aquático formado pelo açude no rio Mondego, que as temperaturas se apresentam sempre mais elevadas na parte norte nos eixos definidos a montante, junto à estação de Coimbra A/EB Silva Gaio e Largo da Portagem/Estádio Universitário muito provavelmente associados à estrutura de betão definido ao longo do rio entre o setor de restauração (e a zona das “Docas”) e a ponte açude¹⁰. Na restante área, como no topo aplanado das cumeadas da Conchada e Montes Claros, quase a totalidade da área do Jardim Botânico e o Parque da Canção observa-se a presença de ar um pouco mais fresco em comparação com as restantes áreas anteriormente referidas. Este ar fresco é algo incomum para as áreas destacadas, mas poderá justificar-se não só pela sombra entretanto observada (o sol encontra-se muito baixo), mas provavelmente também pela formação de nebulosidade que se passou a observar durante a tarde.

A diferença térmica entre os vários setores da cidade onde se desenvolveram os levantamentos da tarde do dia 28 de fevereiro foi na ordem dos 5,9°C, sendo a temperatura máxima registada de 23,6°C (entrada do estacionamento do Parque Verde) e a temperatura mínima de 17,7°C (topo do Botânico, junto da porta principal do Jardim Botânico).

⁹ Um outro motivo poderá passar pelas obras de reabilitação do Parque Manuel Braga, encontrando-se vedado, o que levou a dificuldades na ventilação do espaço, assim como o próprio uso de maquinaria pesada que em funcionamento poderá originar estes resultados.

¹⁰ É de referir que esta situação é comum nas diferentes campanhas, com os eixos a montante a apresentarem uma temperatura mais baixa de um a grau e meio de diferença relativamente aos levantados a jusante.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

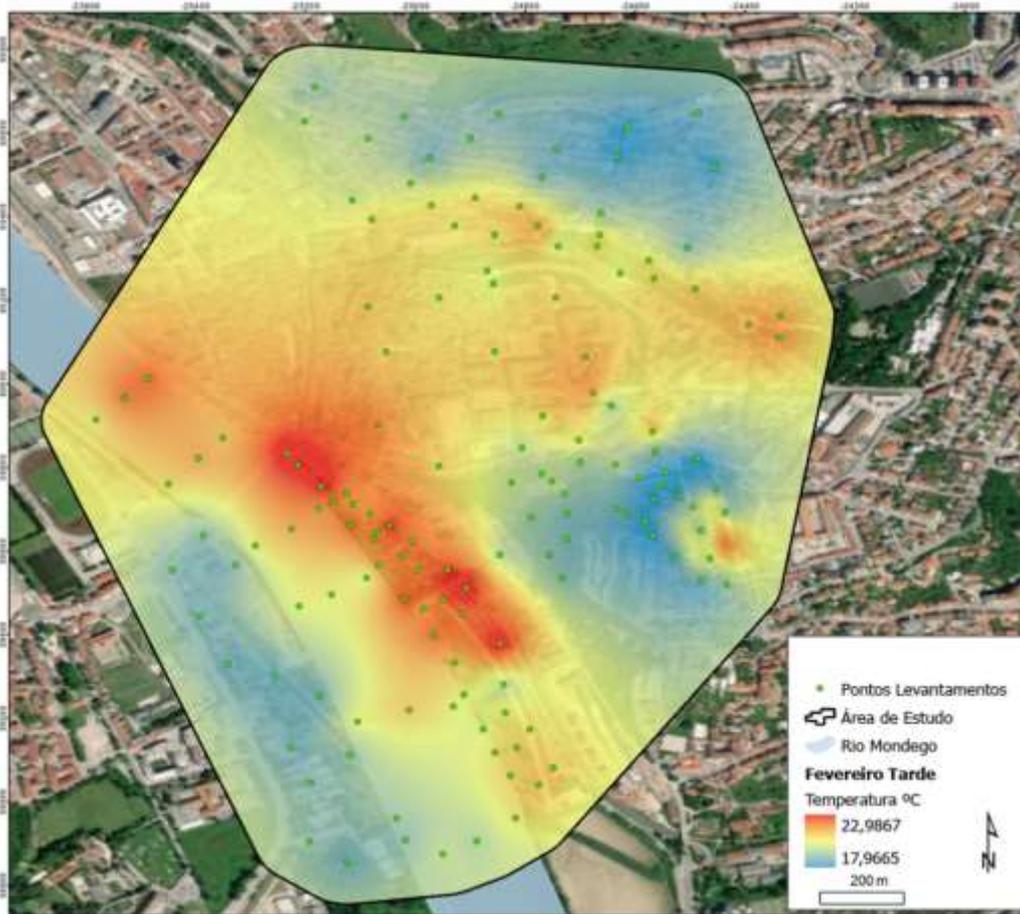


Figura 15 - Cartograma térmico geral da tarde de 28 de fevereiro de 2022.

Percurso da Noite (início às 21:01 horas):

Nos percursos noturnos deste dia de inverno, um dos principais aspetos registados foi a presença da “Ilha Calor Urbano” anteriormente referida e descrita por Ganho (1998) e Marques *et al.* (2009), apresentando uma forma quase circular na Alta da cidade e registando as temperaturas mais elevadas na área do Polo I da Universidade. Esta concentração de temperaturas mais elevadas da noite, e interpretando muito do que foi definido por Ganho (1998), são fruto da aglomeração urbana presente neste espaço, que originou a libertação do calor por irradiação o qual foi acumulado nos materiais dos edifícios durante a exposição diurna.

A única exceção neste campo térmico onde se verifica a influência de ar mais frio é o Parque verde e alguns setores do lençol de água do Mondego. Este ar frio que poderá

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

já estar sob o efeito daquele plano de água que funciona como atenuador das temperaturas e, por isso, temos o registo das temperaturas mais baixas nas margens do rio Mondego¹¹.

A diferença térmica da noite, e mesmo tendo em consideração algumas dificuldades de registo no setor do Jardim Botânico, apresentou um valor de 4,5°C, já que foi registada uma temperatura máxima de 14,4°C (largo da entrada do Museu Machado Castro) e uma mínima de 9,9°C (Parque da Canção junto aos armazéns dos desportos náuticos).

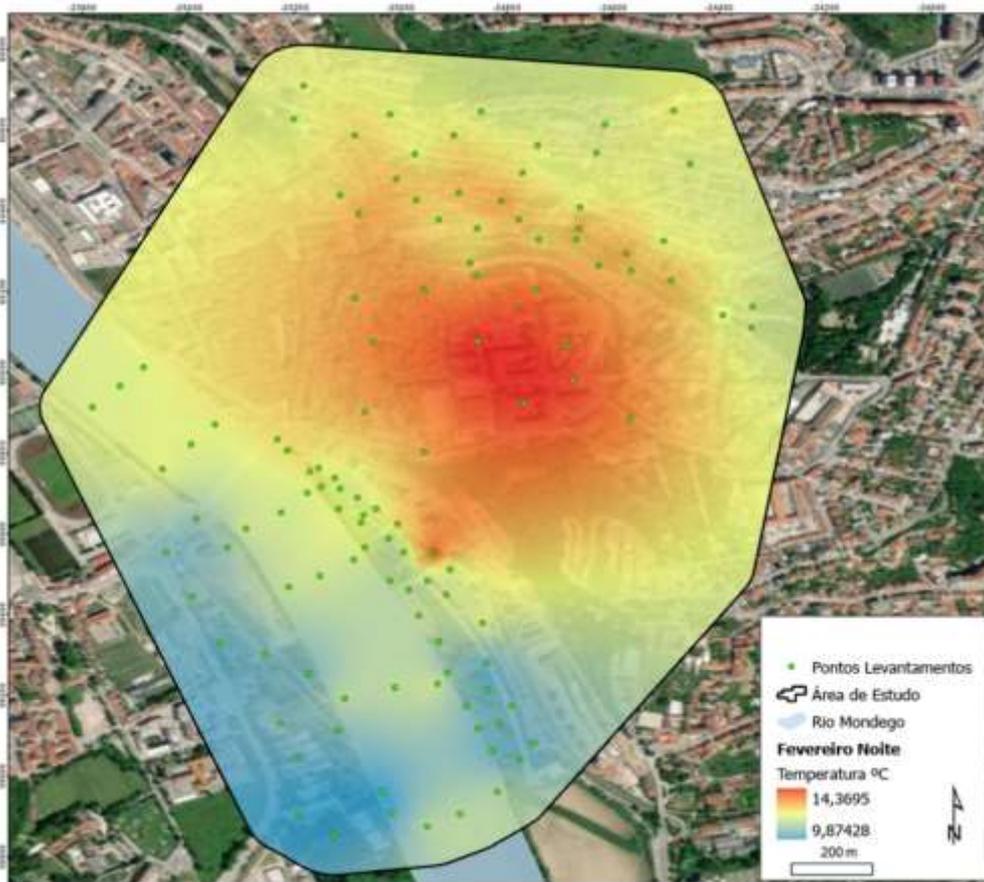


Figura 16 - Cartograma térmico geral da noite de 28 de fevereiro de 2022.

¹¹ As temperaturas do Jardim Botânico no cartograma apresentam-se como amenas muito por força de estes dados noturnos não terem origem do levantamento dos dados reais (dificuldades burocráticas) mas sim de uma elaboração a partir do *kriging*, razão pela qual não devem merecer tanta fiabilidade como nos casos restantes.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Campanha de 11 de maio de 2022

A análise das cartas e do boletim climatológico do IPMA permitiu concluir que, no dia 11 de maio de 2022, Portugal Continental se encontrava sob influência do anticiclone dos Açores, localizado a NW do Região Autónoma dos Açores. Este anticiclone, que se estende, produz uma crista de ar quente para o continente e estende-se até à Europa Central. O Anticiclone está associado a céu limpo, temperaturas relativamente altas e com muito pouca ou nenhuma instabilidade atmosférica.

Devido ao afastamento daquele anticiclone relativamente a Portugal Continental, permitiu que, nos dias seguintes, a frente fria posicionada a oeste de Portugal Continental, se tenha movimentado para território nacional e que tenha trazido consigo a instabilidade associada, com descida rápida das temperaturas à superfície nos dias seguintes aos da campanha, a formação de nebulosidade e precipitação.

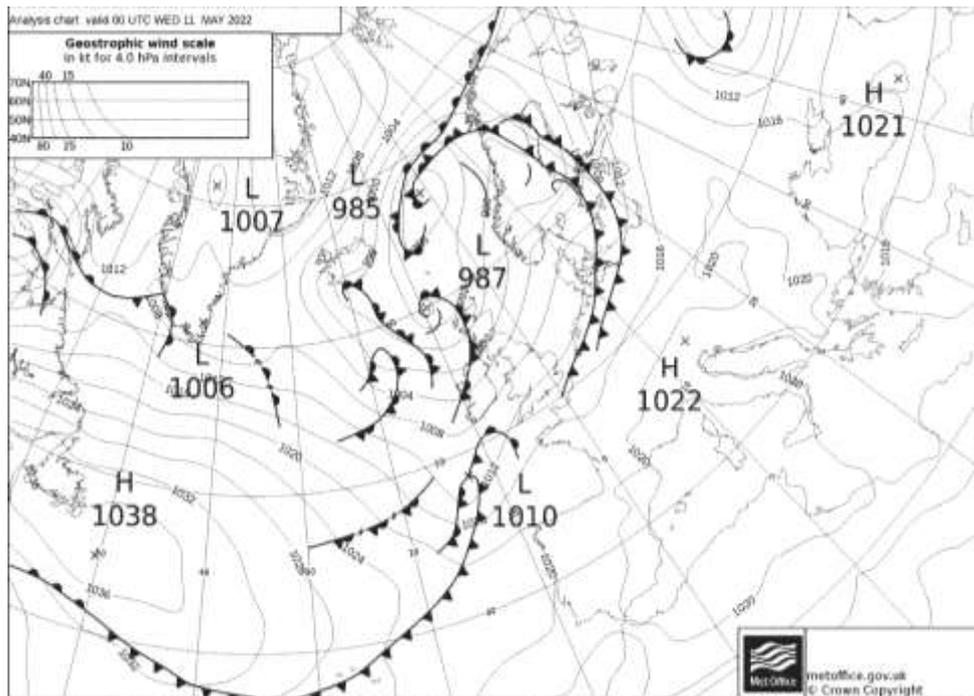


Figura 17 - Situação Sinótica de 11 de maio de 2022. (Fonte: Wetterzentrale)

Percurso da Manhã (início às 9:15 horas):

No percurso matinal do dia 11 de maio de 2022, é importante destacar que os primeiros resultados, e em particular próximo do rio Mondego, refletiram a presença de nevoeiro (até cerca das 10:30h), de que resultou não só as temperaturas observadas nos

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

setores mais baixos da área em estudo (margens do Mondego), mas também a presença do ar mais fresco nos setores da Alta, na mata do Jardim Botânico, assim como nas cumeadas de Montes Claros e Conchada, algo que não foi muito comum nas outras campanhas. A exceção verifica-se na rua de Montarroio, local onde foram registadas temperaturas ligeiramente mais elevadas que as ruas envolventes (16,9°C e 17,3°C). Aqui deve ser referido que já se tinham verificado registos em horário em que o nevoeiro já se tinha dissipado. Deve ainda destacar-se que, neste momento de medições – maio - já se observava grande parte da folhagem da vegetação arbórea caducifólia. Assim, e um pouco por força da exposição aos raios solares, bem como da própria evapotranspiração desta vegetação já instalada, no Jardim Botânico (terraços, Alameda das Tílias e no quadrado central do Fontanário), no Parque Manuel Braga e em todo o Parque Verde, registaram-se temperaturas mais elevadas durante a manhã. Importa destacar, neste setor das margens do rio Mondego, que as temperaturas mais elevadas se registaram na margem esquerda, setor do Parque da Canção, muito devido à sua exposição a leste que, nas primeiras horas da manhã, recebe a radiação solar direta. Estes resultados apresentam estes valores porque, na hora a que foram registados, já a presença do nevoeiro era pouca ou mesmo nenhuma.

Atendendo às diferentes condições encontradas nestes percursos, constatou-se uma diferença térmica da manhã de 11,2°C, tendo como temperatura máxima 21,9°C (início da ponte de Santa Clara junto ao Parque da Canção) e temperatura mínima de 10,7°C (uma vez mais na varanda do departamento de Física e Química).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

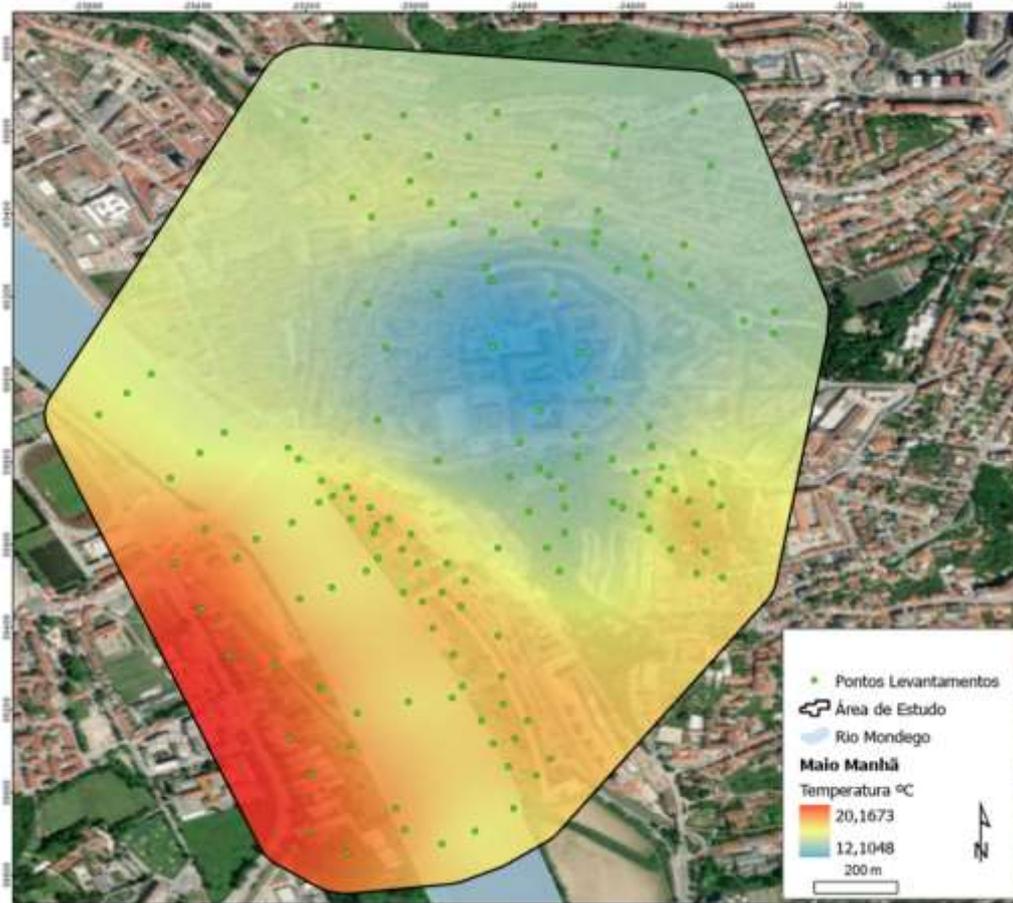


Figura 18 - Cartograma térmico geral da manhã de 11 de maio de 2022.

Percurso da Tarde (início às 15:15 horas):

Na observação do cartograma relativo ao percurso da tarde deste dia de primavera, as circunstâncias parecem ter mudado relativamente à manhã de inverno de 28 de fevereiro de 2022. Tal como foi referido, o desenvolvimento da folhagem da vegetação arbórea caducifólia propicia já uma significativa proteção à radiação direta, oferecendo maior sombreamento, levando a que setores como o Parque Manuel Braga, a Av. Sá da Bandeira e alguns dos setores do Jardim Botânico (nomeadamente a Alamedas das Tílias) apresentem a 1,5 metros de altura temperaturas mais baixas do que em outros setores da cidade,¹². Em contraponto, e até pela proximidade a alguns dos locais anteriormente

¹² É possível verificar uma célula de ar fresco na zona da Alameda das Tílias e no quadrado central do Jardim Botânico (fonte), algo que se poderá justificar devido à existência de folhas nas árvores que proporcionam sombra com as copas a não permitirem que a radiação penetre até ao solo. O quadrado central do Fontanário tem influência através do espaço azul que se encontra no centro do mesmo, proporcionando um arrefecimento deste local.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

referidos, no setor do Parque Verde (junto ao posto de abastecimento de combustível, ao setor de restauração, as “Docas”, ao Parque Infantil e ao parque de estacionamento registaram-se temperaturas mais elevadas que as envolventes, resultado não só dos materiais existentes com maior capacidade de absorção, mas também da existência e exposição aos raios solares. Temperaturas mais elevadas observam-se na colina da “Alta”, na cumeada onde se desenvolve a Conchada e Montes Claros. Aqui devem ser realçadas as áreas da rua de Montarroio, Travessa de Montarroio e a rua de Saragoça, locais onde foram registadas as temperaturas mais elevadas da tarde¹³. Constatam-se que, da parte da manhã, esta área já tenha apresentado temperaturas ligeiramente mais elevadas em que a área da Conchada e Montes Claros estava toda sob influência de ar fresco (devido ao nevoeiro). Isto pode justificar-se através da densidade do edificado, por estar localizada numa vertente orientada a SW. Ruas como a rua de Montarroio, que está direcionada para oeste, têm insolação direta a meio e fim da tarde, a rua da Saragoça de NW para SE tem radiação direta ao início e meio da tarde e da travessa de Montarroio com direção de norte para sul, originando também a radiação solar direta durante a tarde, são áreas que não usufruem de sombra por parte dos edifícios neste horário, sendo, por isso, os locais que registam os valores mais elevados de temperaturas neste percurso.

Porém, deve ser desde logo referido que, mesmo com estas condições atmosféricas e da diferenciação que foi apresentada dos diferentes setores do espaço urbano, a diferenciação térmica da tarde de dia 11 de maio foi de 6,2°C, uma vez que se registou a temperatura máxima de 30,1°C (rua de Montarroio, nas traseiras da Escola Secundária Jaime Cortesão) e a mínima foi de 23,9°C (mata do Exploratório).

¹³ Aqui deverá ser relembada a diminuição das temperaturas na Avenida Sá da Bandeira, devido ao efeito de sombra, proporcionado pelas copas das árvores da Avenida e pela própria morfologia da colina, facto que funciona como um corredor mais fresco entre as cumeadas.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

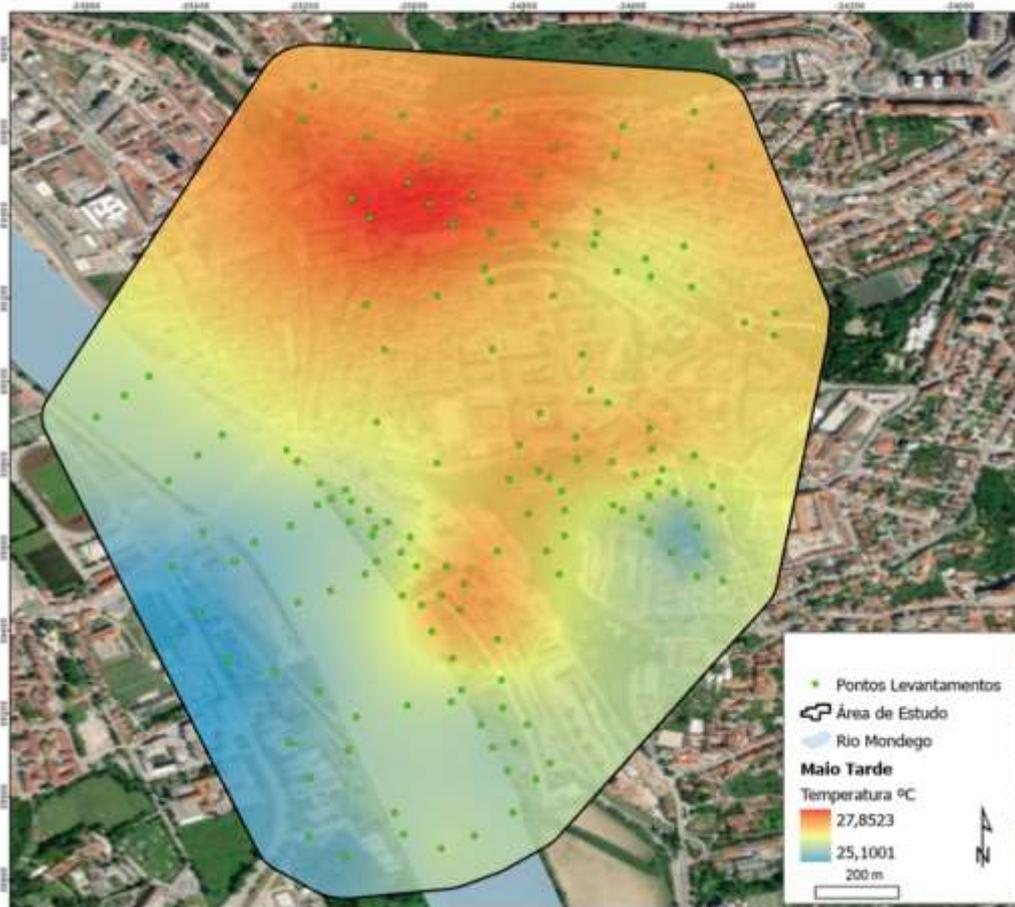


Figura 19 - Cartograma térmico geral da tarde de 11 de maio de 2022.

Percurso da Noite (início às 20:53 horas):

A diferença térmica dos percursos da noite deste dia 11 de maio foi relativamente baixa 3,4°C, uma vez que a temperatura máxima registada foi de 18,9°C (Couraça de Lisboa) e a temperatura mínima foi de 15,5°C (margem do rio Mondego junto ao Parque da Canção), valores estes que refletem que uma análise efetuada às diferenças entre setores será sempre relativa, embora proporcione um enquadramento térmico semelhante ao que até agora foi apresentado.

Verifica-se a presença de células de ar fresco em praticamente todo o Parque Verde, no Jardim Botânico (aqui observa-se uma área mais extensa), na Praça da República e, em particular, na Avenida Sá da Bandeira devendo-se estas não só à vegetação, mas também às sombras que a morfologia da própria cidade ofereceu nas

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

últimas horas do dia¹⁴. Porém, sai realçada nesta noite a formação de ilha de calor urbano localizada no polo 1 da cidade universitária e na Couraça de Lisboa, posicionadas nos setores densamente urbanizados e que receberam radiação solar até mais tarde, o que leva à libertação da radiação acumulada pelos edifícios e sistema viário, assim como na cumeada onde se desenvolve a Conchada e Montes Claros, embora seja de referir que é na rua da Saragoça onde se volta a localizar o registo da temperatura mais elevada. Na sequência dos registos efetuados no rio Mondego (6 eixos em todo o setor de contacto entre a cidade e o curso de água), observou-se, neste início de noite, que as temperaturas registadas a 1,5 metros da superfície do lençol de água se apresentam mais amenas relativamente às margens (mais frescas, entre 15,9°C e os 16,2°C), sendo ainda de referir que se verificam diferentes temperaturas a montante, mais frescas devido à ventilação existente nas margens em vegetação e mais baixas, enquanto que a jusante do setor de restauração da (margem direita) as temperaturas são mais elevadas (17,6°C), aqui devendo-se muito provavelmente às paredes de vários metros em rocha e estrutura de betão mais recente, que se observam neste setor.

¹⁴ Nestes setores, a existência destas células de ar fresco deve verificar-se pela influência da sombra que a vegetação arbórea exerceu durante o dia, permitindo que os edifícios e superfície não tivessem radiação solar direta, possibilitando que não haja tanta irradiação de calor.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

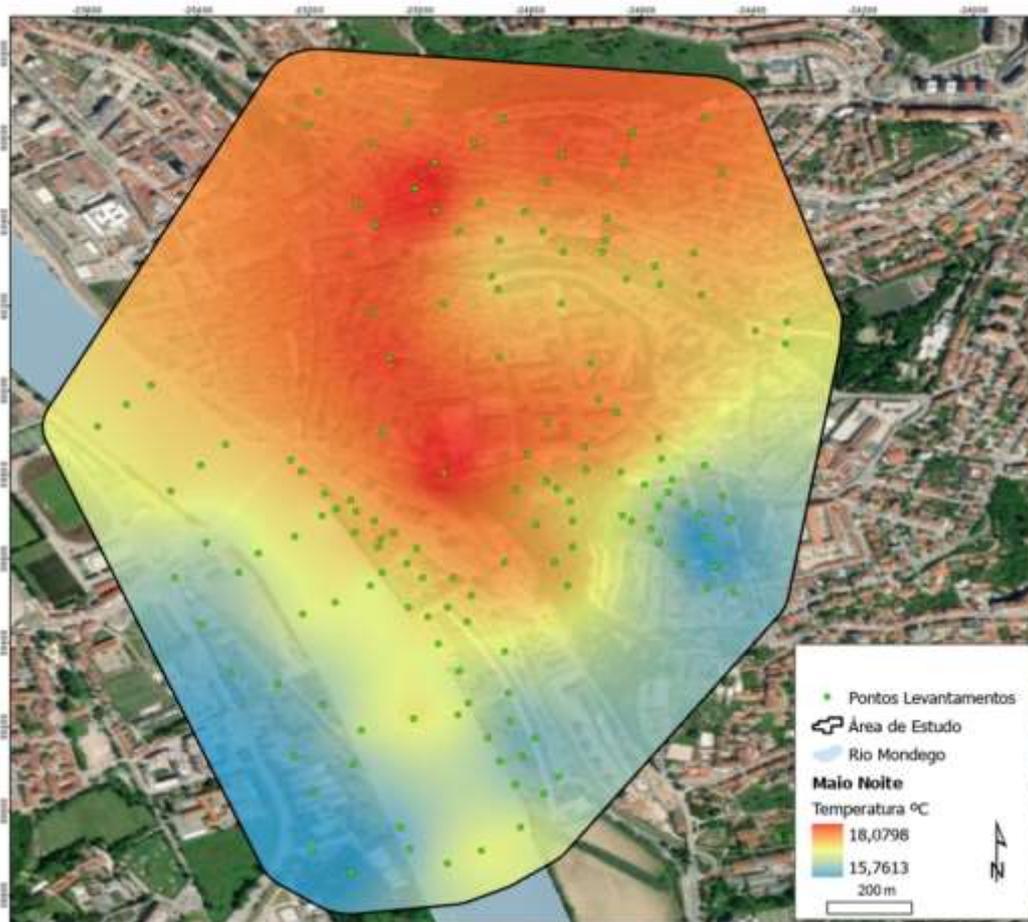


Figura 20 - Cartograma térmico geral da noite de 11 de maio de 2022.

Campanha de 8 de julho de 2022

No período de verão, e num mês e ano que se assume como dos mais quentes desde que há registos, a escolha de campanha de recolha de dados de temperatura recaiu sobre um dos dias de uma onda de calor observada neste início do mês de julho (dia 8) e que, como se pode observar no mapa sinótico (Figura 30), as condições climáticas refletiam condições muito particulares.

A análise feita através das cartas sinóticas e do Boletim climatológico do IPMA para o mês de julho, foi possível constatar as condições climatológicas para o dia 8 de julho de 2022. Portugal Continental encontra-se sob a influência de um Anticiclone localizado a NW do continente, proporcionando um dia de estabilidade atmosférica, soalheiro e praticamente de céu limpo, fazendo-se apenas sentir uma ligeira brisa.

A massa de ar quente existente justifica a onda de calor e as temperaturas elevadas que se fizeram sentir neste dia.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

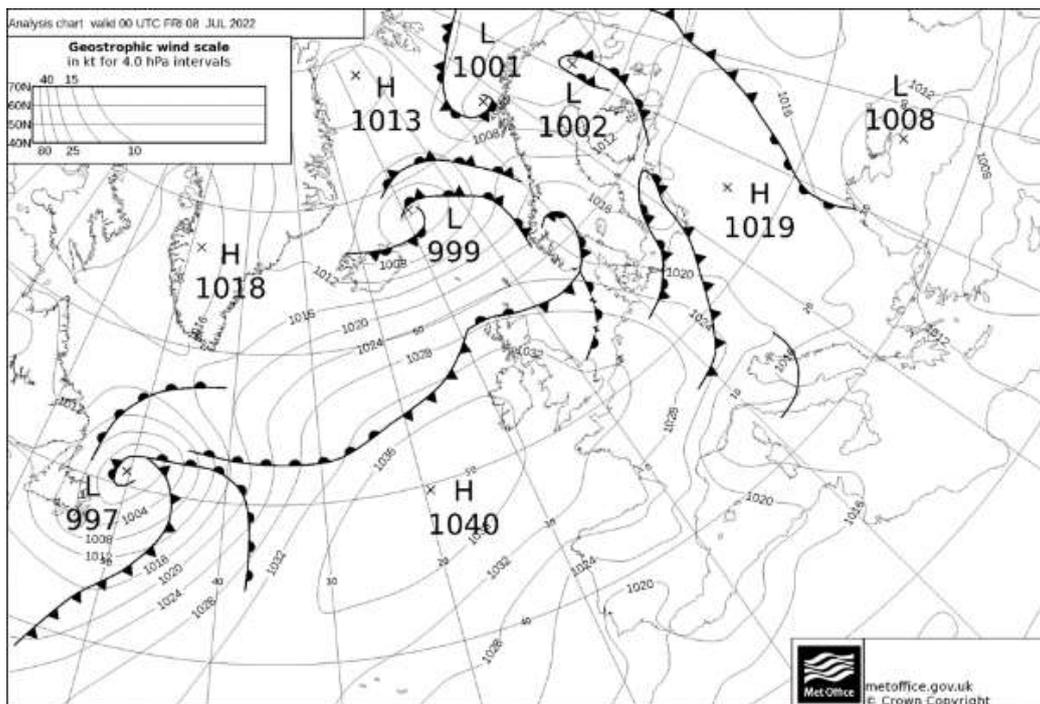


Figura 21 - Situação Sinóptica de dia 8 de julho de 2022. (Fonte: Wetterzentrale)

Percurso da manhã - (início às 9:29 horas e término às 11:02 horas):

A manhã de 8 de julho, dia que, por força das condições atmosféricas particulares, os registos fugiram muito ao que foi observado nos outros dias analisados, e onde a diferença térmica ao longo dos percursos realizados pela manhã é de 7,7°C, já que a temperatura máxima registada foi de 32,9°C (na rua da Saragoça junto ao restaurante Quim dos Ossos) e a mínima foi de 25,2°C (mata do Jardim Botânico).

Esta campanha, no caso da manhã, observa vários contrastes ao longo de toda a área. Apresentam-se três setores com temperaturas elevadas, podendo-se verificar isso no cartograma, na cumeada da Conchada e Montes Claros, (em particular, nas ruas Nicolau Chanterene e António José de Almeida, como também no Largo da Conchada), temos a presença de ar fresco, situação climática que se apresenta em sentido oposto ao expectável, já que ao se encontrar na vertente direcionada a SW, seria de esperar valores mais elevados de temperaturas devido à sua exposição solar e aglomeração urbana presente. No jardim Botânico, verifica-se um núcleo de temperaturas elevadas na Alameda Tílias, aqui muito provavelmente devido à evapotranspiração do arbóreo que origina estes valores. Já o Parque Manuel Braga e o Parque Verde apresentam locais com temperaturas

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

elevadas, principalmente em pontos como o parque de estacionamento e o museu da água, sendo áreas artificializadas e com menos vegetação arbórea nestes locais. Importa referir que a diferença das temperaturas pode estar relacionada com o horário em que foi recolhida a mesma, uma vez que neste percurso se iniciou a recolha no Parque da Canção (margem esquerda), isto por volta das 9 horas da manhã, enquanto no Parque Manuel Braga e Parque Verde o levantamento foi efetuado perto do meio dia. Na Avenida Sá da Bandeira e Praça da República registam-se temperaturas ligeiramente elevadas, embora não muito significativas.

Existem também setores com células de ar fresco, localizadas em vários setores. Aa Alta da cidade estão presentes várias situações, na parte norte e NE da Alta, a célula de ar fresco verifica-se pela existência de sombra fornecida pelos edifícios e pela direção da vertente da colina que tem menos exposição solar diária. O Jardim Botânico apresenta contrastes térmicos significativos verificando-se uma grande célula de ar frio na zona da mata do Jardim Botânico. Também no Parque da Canção é perceptível bastante influência do ar fresco que está presente no rio Mondego.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

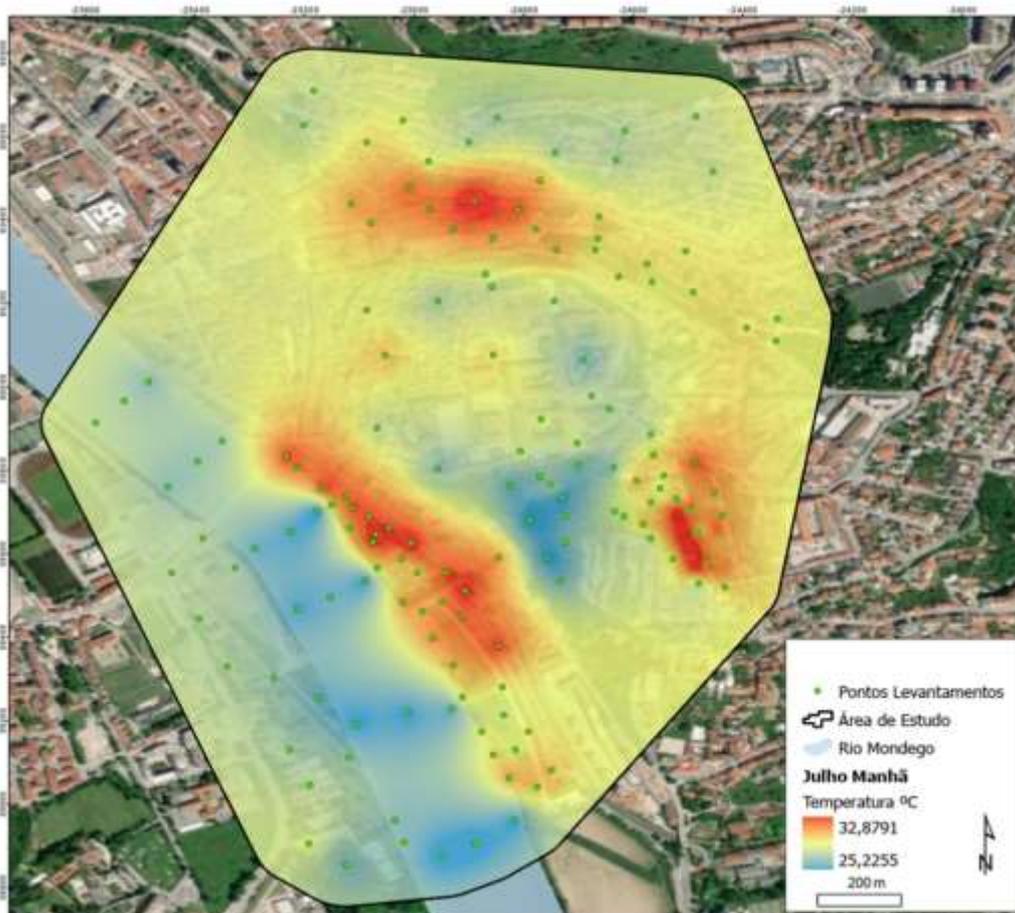


Figura 22 - Cartograma térmico geral da manhã de 8 de julho de 2022.

Percorso da tarde (início às 15:10 horas e términos às 16:38 horas):

Na tarde de 8 de julho de 2022, existem várias alterações em comparação com os valores registados de manhã, aliás tal como era esperado. É perceptível a existência de temperaturas muito elevadas em toda a cidade (em especial na vertente voltada a sul do setor de Montarroio¹⁵), assim como, no caso do setor mais a norte do Parque Verde da margem direita (traseira do espaço de restauração e posto de abastecimento de combustível), onde a ausência de arbóreo e os materiais de cobertura do solo levam a esta

¹⁵ As temperaturas mais elevadas da tarde registam-se numa zona onde se tem vindo a observar situação idêntica nos outros dias do ano - registos na rua da Saragoça, rua Montarroio e Travessa de Montarroio -, justificando-se pelas altas temperaturas que se fizeram sentir neste dia, pela exposição da vertente a SW, com um maior número de horas de radiação solar direta assim como a densa aglomeração urbana deste local e a orientação das ruas que não permite o efeito de sombra dos edifícios nesta parte da tarde.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

situação de temperaturas muito elevadas (registando a temperatura de 40,2°C). As exceções a estes valores mais significativos passam pela pequena célula de ar frio na Avenida Sá da Bandeira, (devido à sombra relativa ao coberto da folhagem dos plátanos, bem como à sombra proporcionada pela própria colina da Universidade), pela célula de ar frio ligeiramente mais intensa do Jardim Botânico (a zona dos terraços, Alameda das Tílias e no quadrado Central do fontanário), justificado pela sombra originada pelas copas das árvores e pelo próprio Fontanário que demonstra a influência que os espaços verdes e azuis podem ter como atenuador das temperaturas elevadas. Neste caso particular dos espaços azuis, também no setor associado ao lençol de água do Mondego, se verifica a brisa ligeiramente mais fresca que acaba por atenuar as temperaturas.

Se as temperaturas deste momento se apresentaram como muito significativas, com a máxima a apresentar um valor de 40,2°C e a mínima a 35,4°C, já a diferença térmica da tarde foi de apenas de 4,8°C, valores o que leva à necessidade de uma reflexão sobre a descrição realizada no parágrafo anterior. Parece evidente que seria expectável a existência de diferenças maiores entre os setores cinzentos e as áreas verdes e azuis, algo que não aconteceu, observando-se um arbóreo e um lençol de água com poucas diferenças térmicas em relação ao espaço cinzento.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

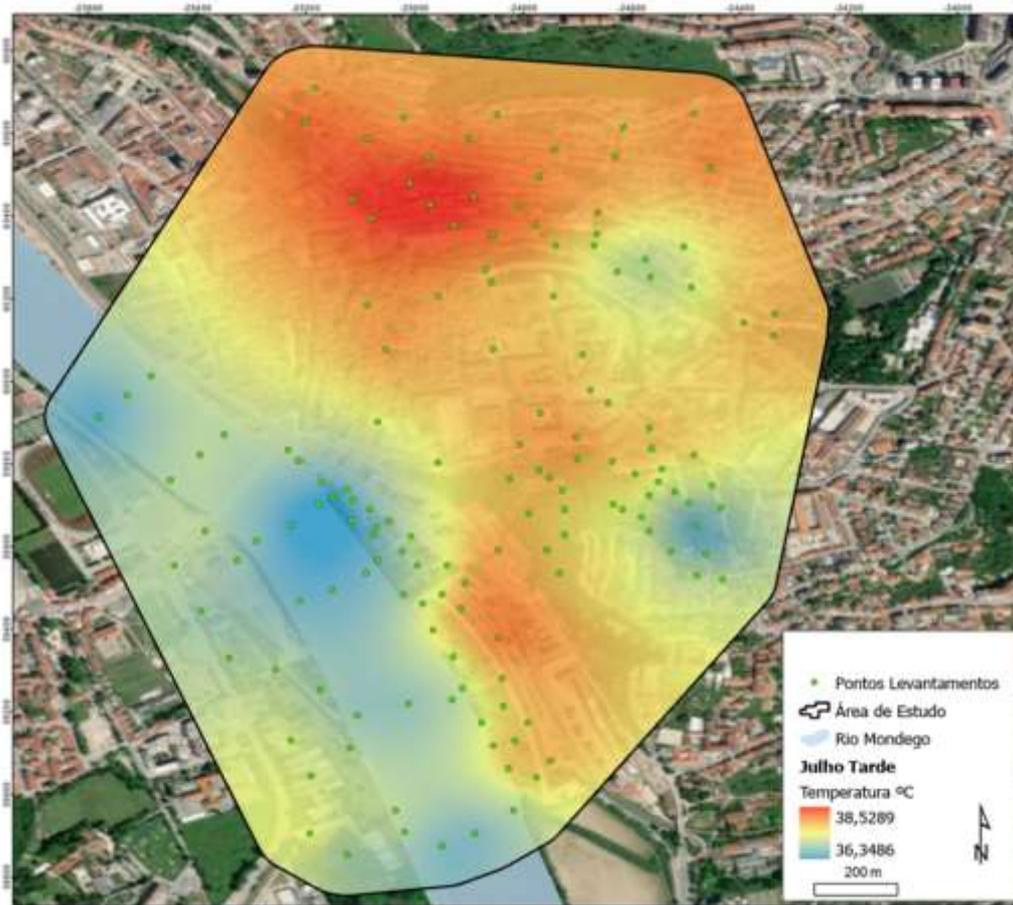


Figura 23 - Cartograma térmico geral da tarde de 8 de julho de 2022.

Percurso da noite (início às 21:30 horas):

O cartograma relativo ao período da noite do dia 8 de julho apresenta-se claramente como dos mais didáticos sobre tudo o que se tem discutido em torno da “Ilha de Calor Urbano” em cidades de média latitude. Na Alta Universitária, entre a Couraça de Lisboa e as Escadas Monumentais, assim como em todo o setor onde se desenvolve a cumeada da Conchada e de Montes Claros, devido à irradiação por parte do edificado, com do calor acumulado pelos edifícios e pela superfície durante o dia, sendo libertado no início da noite fazendo com que se registre esta acumulação de temperaturas elevadas nestes setores. A restante área apresenta também temperaturas elevadas, com exceção da célula de ar fresco que já estava presente da parte da tarde, mas agora mais desvanecida nos socalcos, Alameda das Tílias e quadrado Central do Jardim Botânico (onde se encontra a fonte e o lago). É de realçar ainda a ligeira redução de temperaturas na Av. Sá da Bandeira (e Praça da República), onde o arbóreo se assume como fundamental ao longo do dia para atenuar de temperatura (a temperatura máxima registada foi de 27,7°C).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Também o Parque Verde e o rio Mondego tem presente uma grande massa de ar fresco, o que permite que as temperaturas nesta área sejam mais amenas, isto deve-se à influência que os espaços azuis e verdes proporcionam nestes locais.

Durante este início da noite, observa-se que a diferença térmica é bastante significativa $7,2^{\circ}\text{C}$ (a maior dos percursos noturnos), temperatura máxima registada de $30,4^{\circ}\text{C}$ (junto ao Departamento de Matemática) e mínima de $22,8^{\circ}\text{C}$ (margem do rio Mondego na zona do Parque da Canção), mostrando a importância da ilha de calor urbana em todo o setor da alta e da cumeada da Conchada e de Montes Claros e dos espaços verdes e azuis, aqui no sentido do arrefecimento do espaço urbano.

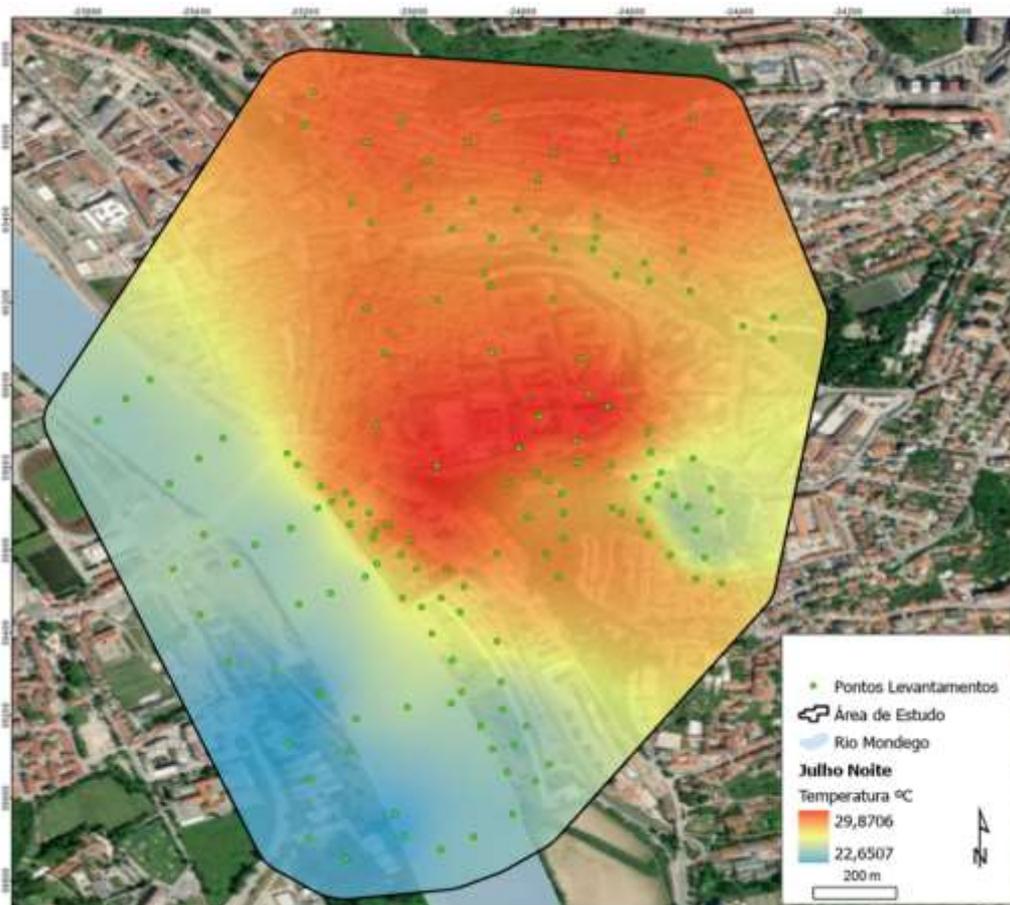


Figura 24 - Cartograma térmico geral da noite de 8 de julho de 2022.

4.2. Análise dos Cartogramas da Área em Estudo

Na sequência da abordagem global sobre uma grande parte do espaço urbano da cidade de Coimbra realizado no ponto anterior¹⁶, desenvolveu-se agora o trabalho referente a esses mesmos dias na área que foi definida e que, tal como referido, se localiza no espaço urbano consolidado - colina da Alta da Cidade, setor das cumeadas da Conchada e Montes Claros, bem como do vale da Ribela, onde se desenvolvem a Av. Sá da Bandeira e a rua Lourenço de Almeida Azevedo. Deve ainda ser referido que, para a realização dos cartogramas (kriging) que integram este trabalho, também se utilizam pontos de dois outros trabalhos que se desenvolveram em simultâneo, de modo a que a triangulação ofereça melhor qualidade, em especial nos setores periféricos da área fulcral.

Num ponto desenvolvido sobre a metodologia utilizada e, em particular sobre o modo de recolha das temperaturas, referiu-se que, nestas campanhas, os tempos de duração dos percursos e os horários de término dos percursos divergem, uma vez que, na primeira campanha (dia 28 de fevereiro), o percurso foi efetuado na sua totalidade (apenas uma sonda e *data logger*), razão pela qual se observa uma maior extensão horária. Esta situação levou à ponderação do percurso e método de recolha, pelo que a campanha de inverno foi assumida neste trabalho com algumas reservas¹⁷. Assim, as campanhas de maio e junho foram divididas em dois setores com a utilização de dois *data loggers* (devidamente calibrados) e respetivas sondas externas, de forma a retirar “ruído”, da extensão horária das campanhas, permitindo resultados mais fidedignos.

Estes percursos correspondem à área de estudo em investigação a desenvolver, tendo os pontos sido previamente definidos, iniciando o percurso no mesmo ponto e sempre em simultâneo nos dois setores.

Neste sentido, para a área de estudo da dissertação desenvolveu-se o mesmo método que nos mapas gerais, caracterizando os cartogramas por cada dia, destacando novamente que as campanhas foram efetuadas em três estações do ano diferentes (inverno, primavera e verão).

¹⁶ Esta campanha, como foi já referido, tem como base todo o trabalho e campanhas desenvolvidas nos anos de 2019, 2020 e 2022, e que começaram a ter reflexo no artigo de Cordeiro *et al.* (in press),

¹⁷ Neste sentido, julga-se que a campanha de 2022/2023 deverá realizar-se de acordo com a que se observou nos levantamentos seguintes.

Campanha de dia 28 de fevereiro de 2022**Percurso da Manhã** (início às 9:15 horas e terminos às 11:58 horas¹⁸)

No mapa térmico da manhã do dia 28 de fevereiro, foi possível observar dois setores bem distintos em termos da temperatura. No setor mais a sul, aquele que se desenvolve grosso modo no todo da colina da Universidade, onde se observam as temperaturas mais baixas (valores que rondavam os 10,5°C), enquanto que o sector norte apresenta temperaturas mais elevadas (máxima de 13,5°C, na rua do Colégio Novo), mesmo com vários núcleos onde se observam temperaturas um pouco mais elevadas (20,6°C). Estes núcleos localizam-se na cumeada da Conchada/Montes Claros, refletindo fundamentalmente na influência da orientação das vertentes deste setor, direcionada no essencial a SW e que, devido à hora de recolha de dados, já tinha tido um longo período de exposição aos raios solares, caracterizando-se ainda este setor por apresentar-se como uma área densamente urbanizada¹⁹.

Neste quadro de desenvolvimento do trabalho, não espanta que a diferença térmica da manhã de dia 28 de fevereiro tenha sido de 9,9°C, registando a temperatura mínima de 10,7°C (na varanda dos Departamentos de Física e Química) e a temperatura máxima registada foi de 20,6°C (rua Antero Quental, próximo do edifício Avenida).

¹⁸ Como se pode observar, o tempo dispensado para a realização deste extenso percurso foi de 2h43, tempo que se considerou demasiado longo para um trabalho com este objetivo, e em especial nos percursos da manhã e da tarde.

¹⁹ Deve voltar a referir-se que, nesta campanha, a duração do percurso pode ter influenciado decisivamente estas diferenças, uma vez que no setor exposto aos quadrantes de Sul foram registados com o Sol já “alto”, pelo que não pode deixar de se relativizar estas diferenças de quase 10° C.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

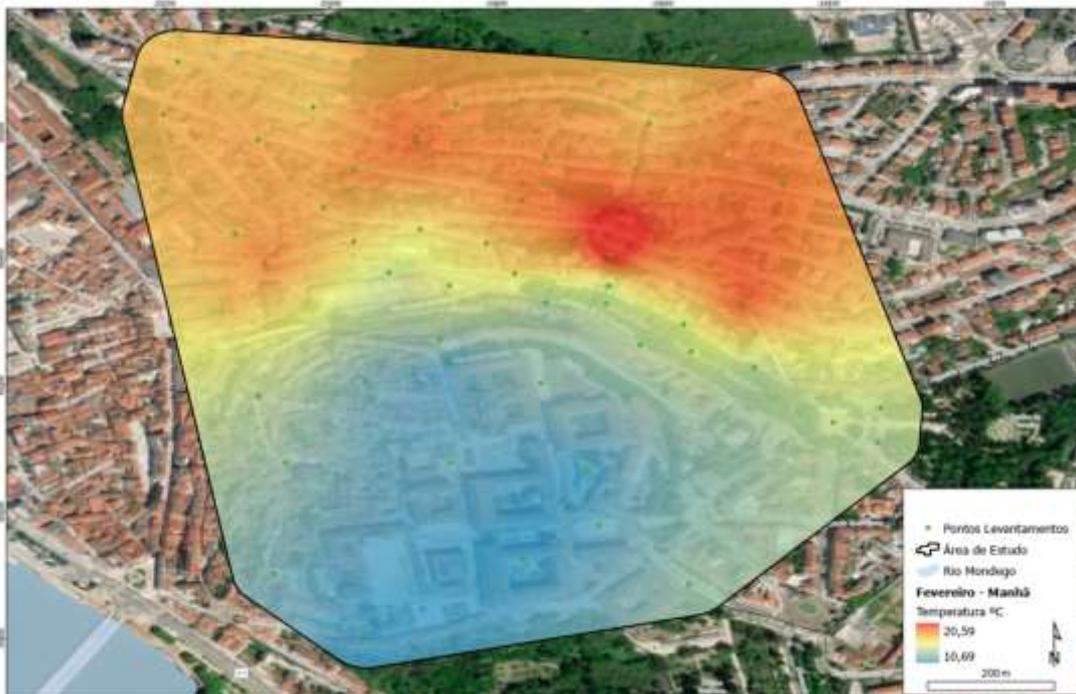


Figura 25 - Cartograma térmico da área de estudo da manhã de 28 de fevereiro de 2022.

Percurso da Tarde (início às 14:28 horas e terminos às 17:28 horas):

O cenário inverte-se se compararmos com o que foi observado pela manhã (e isto numa situação de duração do percurso idêntica – 3h00 – e efetuada com a mesma sequência), embora se tenha verificado uma diferença muito menos significativa que a observada durante a manhã. Encontra-se a zona da Conchada sob influência de ar fresco, isto poderá justificar-se já pela presença da nebulosidade durante a tarde, deixando assim de ter radiação solar direta, refletindo-se nas temperaturas registadas. É importante referir que este setor para além das causas meteorológicas, foi um setor em que as medições foram feitas ao final do dia, a poucas horas do pôr-do-sol, com alguma influência da sombra da colina da Alta, razão pela qual se terá dado o registo desta diminuição térmica na cumeada Conchada/Montes Claros, durante a tarde.

Na Alta da cidade e na Avenida Sá da Bandeira, pode verificar-se a presença de temperaturas um pouco mais elevadas, destacando-se os pontos junto ao Colégio São Jerónimo (que durante a manhã tinha estado sob o efeito de sombra do edificado, no largo D. Dinis, no Departamento Ciências da Vida (DCV), sendo pontos com grande insolação diária. Na Praça da República e entrada do Parque de Santa Cruz, sob exposição solar direta, devido à inexistência de folhagem árvores caducifólias), já que esta campanha foi

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

realizada no inverno, momento em que os plátanos ainda estão sem folha, permitindo o recebimento dos raios solares pela superfície.

A amplitude térmica do percurso da tarde foi de apenas 3,8°C, registando-se uma temperatura máxima de 21,7°C (na calçada Martins de Freitas junto ao Aqueduto de São Sebastião e DCV) e a temperatura mínima foi de 17,9°C (rua Nicolau Chanterene) pelas 16:45h.

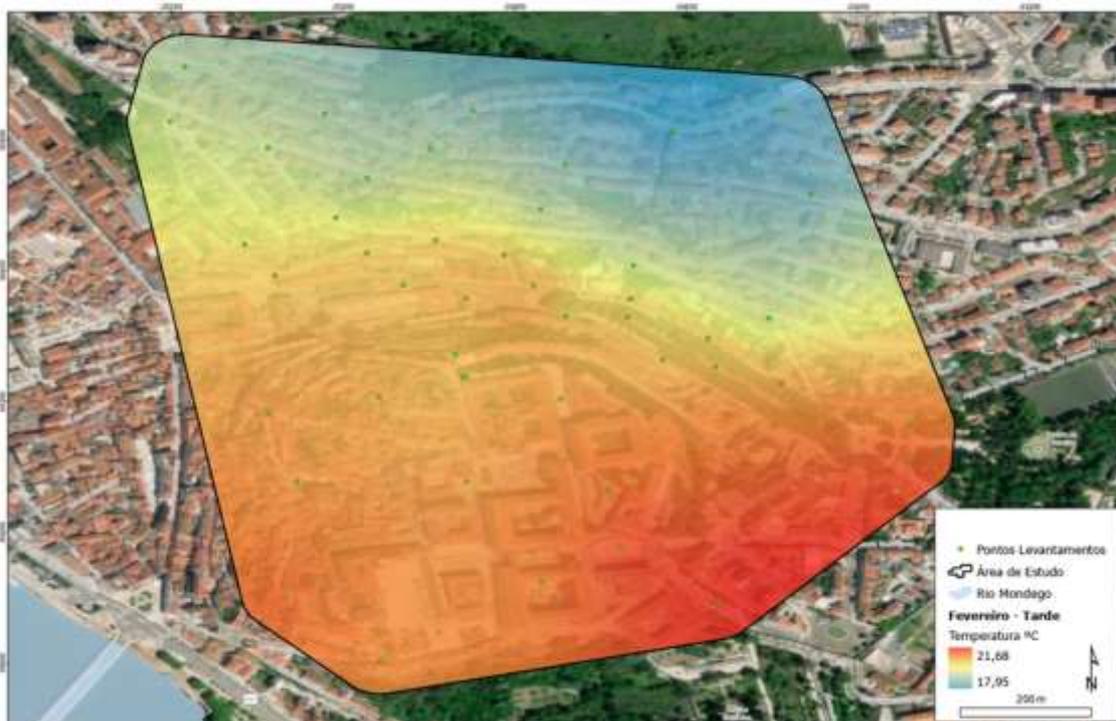


Figura 26 - Cartograma térmico da área de estudo da tarde de 28 de fevereiro de 2022.

Percurso da Noite (início às 21:01 horas e término às 23:41 horas):

Mesmo com as quase três horas que demorou a realização do percurso, os resultados da noite oferecem a possibilidade de observar, pela primeira vez nas nossas campanhas, o fenómeno de clima urbano mais referido na bibliografia: a “Ilha de Calor Urbano”, identificada e descrita por Nuno Ganho há cerca de um quarto de século de forma nítida e vincada na Alta da cidade após o pôr-do-sol, sendo o resultado da libertação do calor por parte dos edifícios e do solo da Alta da cidade, caracterizando-se esta por ser densamente urbanizada e com ruas e becos radiocêntricos (Ganho, 1998).

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Observam-se, ao longo da Avenida Sá da Bandeira, vários pontos onde se registaram temperaturas um pouco mais elevadas (irradiação de calor da superfície e dos edifícios), facto que poderá justificar-se por estas medições terem sido feitas em pleno inverno, onde não existe folhagem nos plátanos da avenida, possibilitando a chegada de radiação solar à superfície, que permite a absorção diurna e posteriormente a libertação do calor por parte da superfície terrestre e dos edifícios durante a noite.

No caso da área da Conchada, não se registam grandes alterações do mapa térmico da tarde para o da noite, continua sob influência de ar fresco e sem nenhum ponto que se destaque a nível térmico, embora deva ser lembrado que o horário do levantamento de dados neste setor tenha sido mais tardio.

O percurso realizado na noite de dia 28 de fevereiro apresentou uma diferença térmica de apenas 2,6°C, sendo o valor de temperatura máxima de 14,3°C (largo do Museu Machado Castro) e a temperatura mínima foi de 11,7°C (entrada do Parque de Santa Cruz).

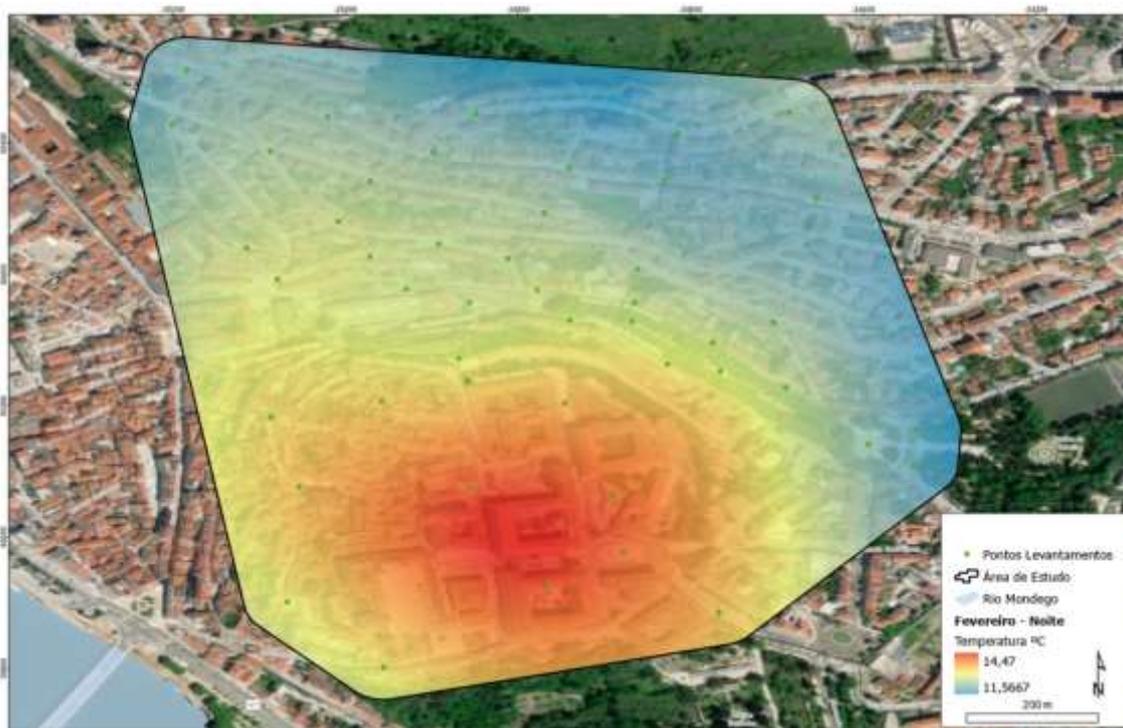


Figura 27 - Cartograma térmico da área de estudo da noite de 28 de fevereiro de 2022.

Campanha de 11 de maio de 2022**Percurso da Manhã** (início às 9:15 horas e términos às 11:08 horas²⁰):

Na manhã do dia 11 de maio, e agora mesmo já com o desenvolvimento do trabalho com base na realização de dois subpercurso, observa-se um campo térmico com características muito semelhantes ao campo térmico da manhã de 28 de fevereiro. Destaca-se uma Alta da cidade que regista um ar fresco matinal, não apresentando nenhum ponto com valores térmicos significativos. A temperatura mais elevada registada na alta foi de 13,5°C (na rua Colégio Novo, próximo da Faculdade de Psicologia).

Já a zona da Conchada apresenta vários pontos com as temperaturas mais elevadas deste cartograma (17,3°C), sendo importante lembrar que é uma vertente da cumeada, encontrando estas temperaturas mais acentuadas em dois pontos da rua de Montarroio - vertente exposta a SW. Os pontos que se destacam mais são os dois pontos na rua Montarroio (traseiras da Escola Secundária Jaime Cortesão), na rua da Manutenção Militar e na rua Antero Quental (cruzamento com a rua Tenente Valadim), onde a presença destas temperaturas elevadas, se parece justificar devido ao número de horas de exposição solar que esta vertente já apresentava naquele momento (10h15m), visto que se encontra direcionada aos quadrantes de Sul (em especial SW). É preciso ter também em atenção que esta campanha foi realizada na primavera, num momento da estação primaveril que já se fazem sentir temperaturas mais elevadas e especialmente neste dia, porque Portugal estava sob influência de uma onda de calor.

É também perceptível o efeito que se começava a fazer sentir-se da folhagem do arbóreo da Avenida Sá da Bandeira, pelo que se observam temperaturas um pouco mais atenuadas. Entre a área da Conchada e Montes Claros apresentam-se as temperaturas mais elevadas a este momento do dia, tendo a Alta da cidade com as temperaturas mais baixas, devido ao ar fresco da manhã.

À semelhança do constatado na 1ª campanha (fevereiro), regista-se uma diferença térmica significativa (6,6°C), com temperatura máxima registada a ser de 17,3°C e mínima de 10,7°C.

²⁰ Como se pode constatar, a realização do levantamento em dois subsetores permitiu que o tempo de duração fosse apenas de 01h53, situação que levou a que os dados passassem a ser mais fidedignos.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

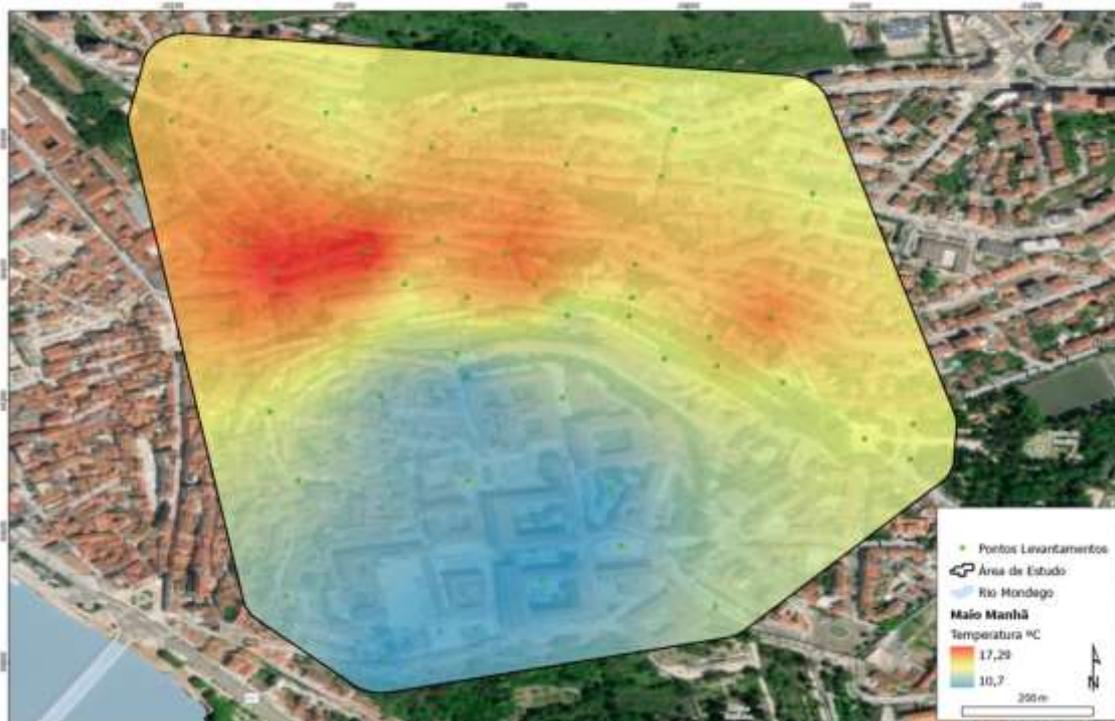


Figura 28 - Cartograma térmico da área de estudo da manhã de 11 de maio de 2022.

Percurso da Tarde (início às 15:15 horas e terminos às 16:48 horas):

Na campanha realizada durante a tarde, observou-se que na Conchada e Montes Claros existem duas realidades algo diferenciadas no topo da cumeada, mais precisamente na rua Nicolau Chanterene, em parte da rua António José de Almeida e no largo da Conchada onde se observam núcleos de ar ligeiramente mais fresco, podendo estar relacionado com a brisa que se fazia sentir da parte da tarde com direção de SW nesta área. Na vertente da cumeada mais a norte, a exposição SW mostra uma realidade diferente do referido anteriormente, sendo possível referir que, em alguns pontos, se verifica um aumento das temperaturas em setores que na campanha da manhã já registavam temperaturas mais elevadas, isto em comparação com a restante área. Com as temperaturas mais elevadas, principalmente na rua António José de Almeida, rua Dr. Dias Ferreira e o ponto com a temperatura mais elevada foi na rua de Montarroio (30,1°C), para além de se localizar numa vertente exposta a SW, estamos na presença de uma área urbana densamente urbanizada.

Na Avenida Sá da Bandeira, por seu turno, observam-se vários pontos com ar um pouco mais fresco, melhorando assim o efeito atenuador que a vegetação e a folhagem

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

dos plátanos apresenta nas temperaturas. Algo pouco compreensível, na nossa perspetiva, foi a situação de grande parte da Alta da cidade onde, comparativamente, as temperaturas se apresentam sob influência de ar mais fresco, situação que se considera ser devida aos ventos do quadrante de sul, facto que terá melhorado significativamente o conforto térmico da tarde neste setor da cidade. Excetuam-se dois locais, o estacionamento do Colégio de São Jerónimo, no passeio junto ao Laboratório Chimico. Ambos os pontos estavam sob o efeito de sombra dos edifícios na parte da manhã, o que não se verifica durante a tarde e, por isso, foram registados nestes dois pontos temperaturas ligeiramente mais elevadas em relação às temperaturas da restantes alta.

A diferença térmica da tarde de 11 de maio é de $4,7^{\circ}\text{C}$, contou com a temperatura máxima de $30,1^{\circ}\text{C}$ (rua de Montarroio) e a temperatura mínima de $25,4^{\circ}\text{C}$ (rua António José de Almeida). Esta diferença, atendendo à radiação solar direta que se observava em alguns pontos e ao desenvolvimento da folhagem do significativo arbóreo de caducifólias observado neste setor urbano, pode parecer pouco expressivo, mas como se observará, é recorrente.



Figura 29 - Cartograma térmico da área de estudo da tarde de 11 de maio de 2022.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Percurso da Noite (início às 20:53 horas e términos às 22:34 horas):

Na noite de 11 de maio, verificam-se as pequenas diferenças de temperaturas observadas no percurso, apresentando uma “Ilha de Calor Urbano” fragmentada. Neste caso, desenvolve-se por dois setores (já identificados nas campanhas mais recentes): Alta da Cidade (Couraça de Lisboa) e Conchada (Rua de Montarroio). A justificação para esta ICU ser pouco intensa e pouco definida com a sua extensão a ser identificada desde a Alta até à rua de Montarroio, é pelo facto de a sua localização mostrar que um setor se encontra localizado numa vertente direcionada para sul (rua de Couraça de Lisboa) e o outro desenvolve-se numa vertente direcionada a SW (rua de Montarroio). Assim, ambos os locais estiveram sujeitos a um grande número de horas de exposição solar, levando a uma maior retenção do calor por parte dos edifícios e da superfície durante o dia, irradiando também mais calor nas primeiras horas após o pôr-do-sol. Sabe-se que a Couraça de Lisboa tem edifícios centenários e com ruas pavimentadas por seixos quartzíticos de grande capacidade de retenção de calor, enquanto na rua de Montarroio encontramos edifícios do século XX e pavimentada por asfalto. A restante área apresenta temperaturas elevadas, mas sem grande destaque, com exceção do elevador na rua Padre António Vieira, a Praça da República, estes dois locais apresentam núcleos que estão sob a influência de ar fresco.

O caso da Avenida Sá da Bandeira (integrando também a vertente norte da colina da Universidade) parece muito clarificador de como os fatores do coberto arbóreo e a exposição solar são relevantes na questão da topoclimatologia urbana. Assim, verifica-se a influência da sombra durante o dia, já proporcionada pelas copas das árvores, sendo também essas copas que não permitem que a radiação chegue à superfície e que o calor seja acumulado no solo e nos edifícios, permitindo que, durante a noite, tenham um efeito de refrigeração nesta área, funcionando como barreira para o calor libertado pelos edifícios, pelo que neste caso acaba quase por “cortar” a ICU entre os dois setores.

Porém, algo deve ser referido no percurso da noite. A diferença térmica é de apenas 2,2°C, registando a temperatura máxima de 18,9°C (Couraça de Lisboa) e mínima de 16,7°C (Elevador da rua Padre António Vieira), ou seja, ambos os pontos se localizam na colina da Alta, embora nos lados opostos - sul e norte respetivamente.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra



Figura 30 - Cartograma térmico da área de estudo da noite de 11 de maio de 2022.

Campanha de 8 de julho de 2022

Como já foi referido anteriormente (cartogramas gerais) o dia 8 de julho, Portugal encontrava-se sob influência de uma onda calor, constatando-se posteriormente que o dia 8, foi um dos dias com temperaturas mais elevadas, desse período de 7 dias. Este dia acabou por ser um bom exemplo do que é o habitualmente assumido na bibliografia sobre climatologia urbana, embora com algumas *nuances* que a escala a que o trabalho se desenvolve vai introduzir.

Percurso da Manhã (início às 9:29 horas e término às 11:02 horas):

A diferença térmica dos dados dos diferentes pontos recolhidos no decorrer da manhã de 8 de julho foi de 6,5°C, registando como temperatura máxima 32,9°C (uma vez mais na rua da Saragoça – exposição aos quadrantes de sul) e de temperatura mínima 26,4°C (estacionamento do Colégio São Jerónimo - exposição a norte e com significativo sombreamento por parte do edifício).

Num dia com estas características, torna-se possível observar que, no período da manhã, o topo da cumeada da Conchada e Montes Claros, assim como o que culmina na

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

colina da Alta (espaço universitário) refletia um ar mais fresco, resultante de uma brisa matinal que, no decorrer do percurso, foi sendo perceptível. Já na mesma zona, mas em situações de morfológicos diferente, ou seja, na vertente da cumeada exposta a SW registam-se as temperaturas mais elevadas, especialmente no cruzamento entre as Ruas da Saragoça, Montarroio, da Manutenção Militar e António Vasconcelos²¹. As temperaturas, nesta área e principalmente neste local, devem-se à exposição solar da vertente, com um conjunto de fatores que contribuem para o intensificar desta situação, como a aglomeração urbana existente, a orientação e os declives deste espaço, encontrando-se todas elas com exposições de SE e SW, originando uma maior exposição solar em número de horas na parte da manhã. A Alta da cidade apresenta algumas células de ar fresco localizadas em setores de sombra do edificado, estacionamento do Colégio de São Jerónimo, na Couraça de Lisboa e na rua das Flores.

Existem apenas dois pontos na Alta que destoam da restante realidade da Alta, são eles o átrio da entrada para o Museu Machado Castro e o Largo da Sé Velha, sendo dois pontos com grande exposição solar na parte da manhã, recebendo radiação solar direta nas primeiras horas do dia. Já a Praça da República e Avenida Sá da Bandeira apresentam temperaturas ligeiramente elevadas, embora não apresentando valores significativos. Estas temperaturas amenas devem-se, no essencial, à vegetação presente na Avenida, visto que estão muito perto do local mais quente da área e não permite que a zona da Avenida fique sob a influência das temperaturas elevadas, embora também deva aqui ser referido o papel da evapotranspiração.

²¹ De destacar que este ponto foi o último a ser registado, por isso há alguma discrepância térmica, visto que este ponto estava sob influência da radiação solar direta há mais horas que os restantes.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

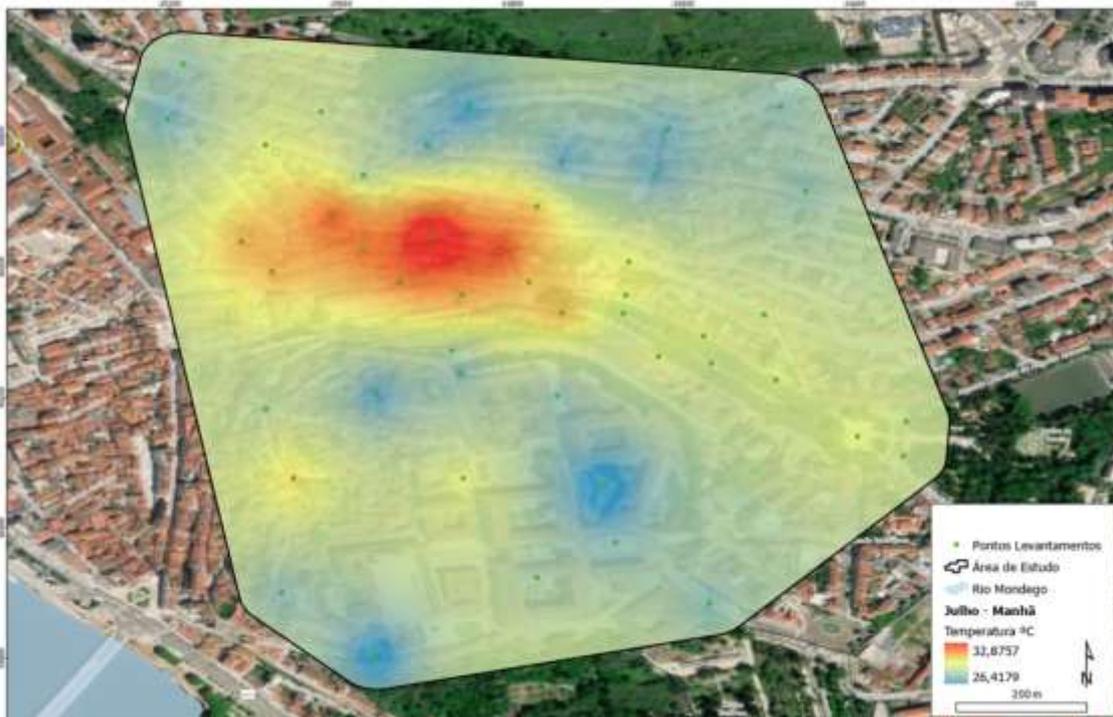


Figura 31 - Cartograma térmico da área de estudo da manhã de 8 de julho de 2022.

Percurso da Tarde (início às 15:10 horas e terminos às 16:38 horas):

A campanha da tarde apresenta uma diversidade térmica bastante peculiar em toda a área, reflexo da distribuição (e orientação) do edificado e de se ter tratado de um dia extremamente quente. Verificam-se várias células de ar fresco, mas com pouca expressão, entre as quais, na rua Nicolau Chanterene, no elevador (rua Padre António Vieira), rua Inácio Duarte, rua das Flores, rua Colégio Novo (Faculdade de Psicologia), na Couraça de Lisboa e, por fim, entre a rua da Ilha e a rua Dr. Guilherme Moreira, todos eles a refletirem o sombreamento existente e aqui reforçado pelo papel das larguras das ruas e da altura do próprio edificado, uma vez que, nesta tarde, não se observou a presença de nenhum fator meteorológico que criasse estas condições. As justificações possíveis que encontramos é o desta. O que possa justificar a presença do ar um pouco mais fresco, reforçando assim o papel da sombra do edificado (e da morfologia) na climatologia urbana.

Já no que se refere ao papel que o arbóreo apresenta, é de realçar o que se observa com a presença de uma “célula de ar fresco” com alguma expressão e intensidade em praticamente toda a Avenida Sá da Bandeira e mesmo até num setor da rua Antero de

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Quental. Embora, a sombra proporcionada pelos edifícios também deva ser equacionada, é principalmente pela sombra produzida pelas copas das árvores, a qual não permite que a radiação solar penetre e atinja a superfície (1,5 metros), facto que vem demonstrar, mais uma vez, a importância da sombra e o efeito atenuador de calor que a vegetação promove, nomeadamente a vegetação arbórea, durante um dia muito quente (aqui durante uma vaga de calor). Neste sentido, deve repensar-se a importância fundamental do arbóreo das ruas de uma cidade. Por seu turno, na Alta da cidade registam-se temperaturas relativamente elevadas, embora o ponto que se desta com maior expressividade é o largo da Sé Velha. O que se justifica pela exposição solar recebida durante a manhã e tarde, densidade urbana e estética do local, fator importante para estes resultados, já que é um largo relativamente fechado e isolado.

Contudo, em praticamente toda a vertente da cumeada direcionada para SW, estão presentes vários setores com temperaturas elevadas, existindo quatro pontos que se destacam: rua António José de Almeida, rua Dr. Dias Ferreira, rua de Montarroio e entre a rua da Manutenção Militar e Avenida Sá da Bandeira. Estas temperaturas elevadas parecem dever-se, tal como nos restantes levantamentos diurnos, à orientação da vertente a SW de que resulta um elevado número de horas de exposição solar, como também à densidade urbana onde estes pontos se encontram.

A diferença térmica registada na tarde do dia 8 de julho foi de apenas 3,9°C, tendo temperatura máxima de 39,5°C (entre a Avenida Sá da Bandeira e a Rua da Manutenção Militar) e mínima de 35,6°C (Avenida Sá da Bandeira), não deixando de ser curioso e invulgar os dois extremos das temperaturas deste cartograma estarem localizados tão próximos um do outro, o que reflete de forma evidente o papel da exposição solar (por um lado) e da vegetação (por outro) na climatologia urbana.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra



Figura 32 - Cartograma térmico da área de estudo da tarde de 8 de julho de 2022.

Percurso da Noite (início às 21:30 horas e terminos às 22:52 horas):

Como foi anteriormente referido relativamente à questão que tanto tem vindo a ser desenvolvida no âmbito da climatologia urbana - a “Ilha de Calor Urbano” -, a noite de 8 de julho de 2022 apresenta-se como um belo exemplo deste fenómeno de origem térmica da climatologia urbana. O cartograma da noite demonstra a presença evidente desta, já que em grande parte da área central deste trabalho se encontram presentes temperaturas elevadas muito por força da irradiação noturna do calor acumulado pelos edifícios e pelas ruas durante o dia, formando assim a “Ilha de Calor Urbano”, bem definida e com uma intensidade que não tinha sido referida até agora. Nesta noite a ICU localiza-se não só na Alta da cidade, (mais precisamente na Couraça de Lisboa estendendo-se para sul), assim como a área da cumeada da Conchada e de Montes Claros, demonstrando, em toda a sua área, um registo de temperaturas que reflete tudo o que tem vindo a ser referido relativamente à ICU, as temperaturas mais elevadas resultam da acumulação de calor pelos edifícios e ruas, libertando-o durante a noite. Ambas as áreas são densamente urbanizadas e ambas têm as ruas com exposição para oeste, tendo apenas como fatores diferenciadores a idade dos edifícios e das ruas e o material que os integram.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

No contexto dos registos obtidos nos percursos e dos cartograma deles resultantes, observa-se uma anomalia relativamente à ICU, constatando-se a existência de uma influência de ar fresco que proporciona, tal como constatado no percurso, um maior conforto térmico, e que se distribui pela Avenida Sá da Bandeira, Praça da República e entrada do Parque de Santa Cruz, demonstram a já referida influência que as copas das árvores tiveram durante o dia, não permitindo que a radiação solar penetrasse até ao solo, e que o calor não fosse absorvido pelo solo e pelos edifícios. Durante a manhã e a tarde, já se verificava que estas três áreas tinham temperaturas ligeiramente mais baixas do que as restantes, embora no campo térmico da noite essa diferença seja mais notória, verificando-se um corredor de ar fresco ao longo de toda a avenida. Se dúvidas existissem sobre a importância de espaços verdes nas cidades e que efeito podem ter no combate às “Ilhas de Calor Urbano”, reduzindo as temperaturas, proporcionando um maior conforto térmico e uma melhor qualidade de vida, o cartograma relativo à noite deste dia muito quente de julho, elas são totalmente dissipadas.

No entanto, e à semelhança do observado nas restantes campanhas, a diferença térmica da noite de 8 de julho foi apenas de 3,3°C, registando a temperatura máxima 29,7°C (Couraça de Lisboa) e a temperatura mínima 26,4°C (entrada do Parque de Santa Cruz do lado esquerdo). A diferença térmica dentro da malha urbana foi de 3,3°C, mas se observarmos o cartograma geral da noite de 8 de julho, com a abertura de área e a saída do centro urbano, verifica-se uma maior diferença térmica (7,2°C), destacando ainda mais a ICU. Esta diferença acontece devido ao facto de, na área do cartograma geral, estar integrado o Jardim Botânico (espaço verde) e o rio Mondego (espaço azul), ambos com áreas bem mais frescas. No caso do jardim Botânico, verifica-se na área dos patamares e Alameda da Tílias, já no rio Mondego, observa-se nas suas margens, principalmente no Parque da canção.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

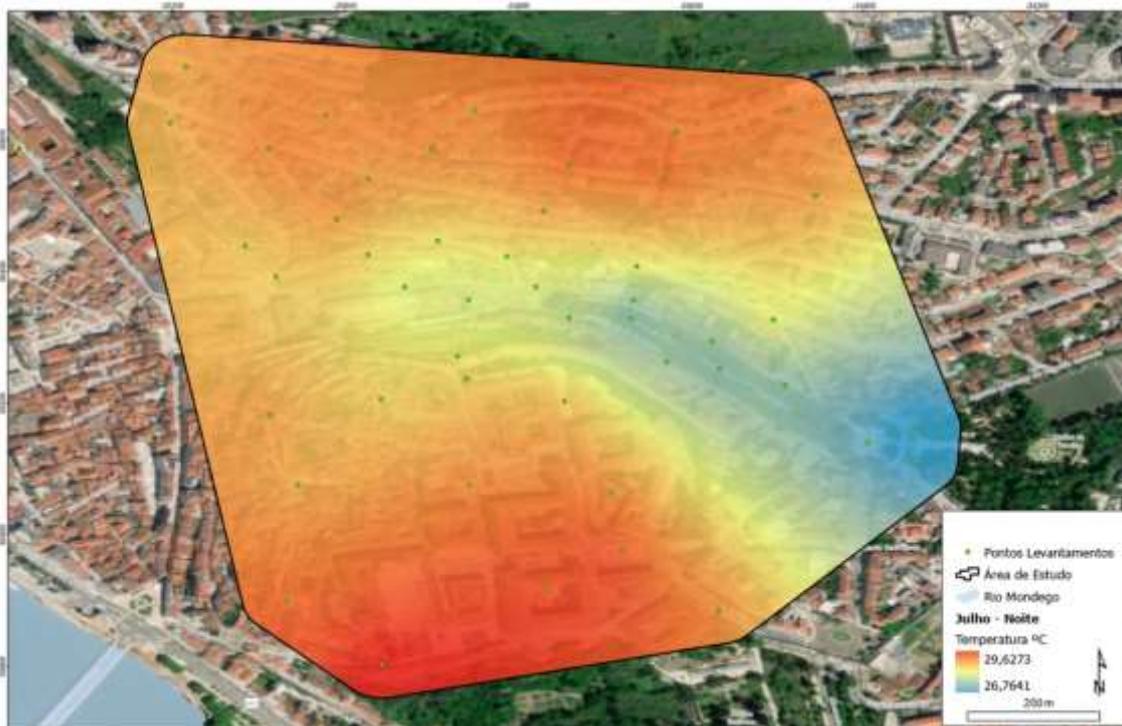


Figura 33 - Cartograma térmico da área de estudo da noite de 8 de julho de 2022.

4.3. Discussão de resultados

Com esta dissertação pode verificar-se que na atualidade, e tal como referem diferentes autores, as sociedades enfrentam vários desafios na ordem da crise climática, sendo um dos principais fenómenos a “Ilha de Calor Urbano” e o seu papel no âmbito das cada vez mais usuais ondas de calor. Ao longo dos últimos anos, foram dados vários exemplos do impacto da morfologia das cidades que promoveram estratégias de mitigação deste fenómeno climático. Assim sendo, com a utilização dos dados que foram obtidos através das três campanhas de diferentes momentos do ano (inverno – 28 de fevereiro, primavera - 11 de maio e verão – 8 de julho), em que cada campanha se constituiu por três percursos, (manhã, tarde e noite), pretendeu-se comprovar a existência da “Ilha de Calor Urbano” na sua configuração atual e a influência que a morfologia da cidade e os espaços verdes podem ter nos resultados obtidos.

Todos os resultados obtidos vieram corroborar o que já tinha sido escrito e publicado até à data sobre a “Ilha de Calor Urbano”, como também confirmaram o impacto que a morfologia da cidade e os espaços verdes podem ter na ICU. Contudo, foi possível apresentar algumas particularidades do comportamento térmico na cidade.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Relacionando as três manhãs, pôde-se observar que a 28 de fevereiro e a 11 de maio foram as manhãs que apresentaram mais semelhanças entre si, ambas se encontram na Alta da cidade sob influência de ar fresco matinal. Já as cumeadas da Conchada e Montes Claros como a sua própria vertente direcionada a SW estão na sua totalidade com temperaturas mais elevadas. Embora a manhã de dia 8 de julho se apresente, em grande parte da área, com vários núcleos de ar fresco, ao verificar-se com maior precisão, estes locais com ar mais fresco tinham no mínimo 26°C, isto devido ao dia em que nos encontrávamos. Portugal estava sob influência de uma onda de calor que propiciou a agudização das temperaturas em locais da cidade onde estas por norma se apresentam mais elevadas, localizando-se principalmente na área da rua de Montarroio.

Nos percursos da tarde, verificaram-se mudanças significativas nos campos térmicos, principalmente no dia 28 de fevereiro em que a situação se inverte em comparação com o que se observou na parte da manhã deste dia, tendo a Alta da cidade registado as temperaturas mais elevadas da tarde e, nas cumeadas da Conchada e Montes Claros, verifica-se a presença de uma célula de ar fresco. É importante destacar que, nesta tarde, a Avenida Sá da Bandeira apresenta resultados com temperaturas mais elevadas pela razão de que, à data, nos encontrávamos em pleno inverno presenciando a inexistência de folhagem nas árvores caducifólias. Na tarde de 11 de maio, observam-se bastantes diferenças térmicas em comparação com a tarde de 28 de fevereiro - demonstrando a influência que a sazonalidade pode ter - apresenta-se na zona da rua Nicolau Chanterene (topo aplanado das cumeadas), pontos com células de ar fresco. Já na vertente direcionada a SW, na maioria da sua área apresenta temperaturas mais elevadas, devido à maior exposição solar. É importante destacar a célula de ar fresco que se encontra praticamente em toda a Avenida Sá da Bandeira, isto porque, neste momento do ano, a vegetação arbórea já se encontra com a folhagem completa, confirmando assim a importância e influência dos espaços verdes e da sombra das árvores em locais onde as temperaturas são mais acentuadas. Já a tarde de 8 de julho apresenta algumas pareções com a tarde de 11 de maio, onde se verificam alguns pontos de ar fresco na rua Nicolau Chanterene e uma célula maior de ar fresco na Avenida Sá da Bandeira. Contudo, estes núcleos de ar fresco estão bem mais comprimidos em relação à tarde de maio, isto deve-se à estação do ano em que estávamos, verão, como também a onda de calor que estava neste momento em Portugal. Na restante área, verificam-se temperaturas mais elevadas principalmente nas cumeadas da Conchada e Montes Claros, sendo fruto da sua exposição

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

solar a SW, da densidade urbana e também da onda de calor que se fazia sentir, levando a que as temperaturas fossem mais intensas em toda a vertente.

Por fim, nos percursos da noite podemos destacar dois dias, 28 de fevereiro e 8 de julho. O dia 28 de fevereiro percebe-se com nitidez a “Ilha de Calor Urbano” na sua forma em “cúpula” na Alta da cidade, observa-se também a presença de temperaturas mais elevadas na Avenida Sá da Bandeira devido à ausência de folhagem, com a constatação de que nos encontrávamos em pleno inverno, podendo mais uma vez confirmar a importância da sombra produzida pelas copas das árvores quando têm folhagem, refletindo-se nas temperaturas deste espaço durante a noite. Na noite de 8 de julho, em pleno fenómeno extremo de calor, constatou-se a presença da “Ilha de Calor Urbano” com maior dimensão que a ICU de fevereiro, ocupando a Alta da cidade e parte da mata do Jardim Botânico. Destaca-se algo muito diferente que não se observou em fevereiro, a Avenida Sá da Bandeira tem sob sua influência uma extensa célula de ar fresco que se estende em toda a área da avenida, rodeada por dois setores mais quentes, seja a Alta da cidade com a ICU, ou toda a extensão das cumeadas. Importa também referir, mais uma vez, que neste cartograma a diferença térmica dentro do espaço urbano não é algo de transcendente, mas se observarmos o cartograma geral desta noite, com a abertura de área, para outros espaços, como espaços verdes e azuis, podemos verificar que a diferença térmica é bem maior, sendo esta de 7,2°C. Já a noite de 11 de maio foi algo particular, visto que a “Ilha de Calor Urbano” se fragmentou em dois setores, um na Couraça de Lisboa e outro na rua de Montarroio, destacando mais uma vez, a presença da célula de frescura na Avenida Sá da Bandeira, demonstrando assim em pleno as diferenças entre inverno, primavera e verão.

Concluindo, a presença da célula de frescura na Avenida Sá da Bandeira comprovada com estes resultados, pôde, mais uma vez, confirmar o impacto que a densidade urbana tem no aumento das temperaturas, intensificando a “Ilha de Calor Urbano”. Contudo destacou-se o papel que os espaços verdes e a sombra produzida pelos mesmos têm em atenuar as temperaturas, mesmo em locais onde as ICU são mais intensas.

Capítulo V - CONSIDERAÇÕES FINAIS

5. Conclusão

A elaboração desta dissertação e de todo o trabalho de pesquisa e investigação teve como principal objetivo obter resultados que pretendiam demonstrar o fenómeno da “Ilha de Calor Urbano” na Alta da cidade, na Conchada e Montes Claros tentando perceber a sua constituição atual. Com este trabalho, procurou-se integrar o problema da climatologia urbana na atual inovação em relação às cidades, à sustentabilidade e, de forma integrada, ao urbanismo sustentável. Podendo atenuar a presença da “Ilha de Calor Urbano”, utilizando muitos dos objetivos para as cidades através das novas metas criadas, como por exemplo, a “Agenda 2030: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” ou a “Lei das Bases do Clima”. Relacionar as metas anteriormente mencionadas com a temática desta dissertação serve precisamente para criar métodos e estratégias para a mitigação desta problemática, sendo preciso algo coeso e adaptado para cada local, consoante as suas características morfológicas, topográficas, climáticas, sociais e económicas.

No início deste projeto, procurou-se perceber qual seria a influência dos espaços verdes na “Ilha de Calor Urbano”. Mas rapidamente se percebeu que, no contexto da cidade de Coimbra e da área de estudo, questões como o relevo, a exposição das vertentes e da sombra são eixos fundamentais que podem ter um impacto maior do que a área de influência que os espaços verdes podem ter na atenuação das temperaturas. Ao longo do desenvolvimento do trabalho, com a monitorização das temperaturas através das campanhas, compreendeu-se também a importância da sazonalidade tanto para a presença da “Ilha de Calor Urbano” como para as restantes temperaturas registadas na área de estudo. Esta perceção não se deveu só às diferenças térmicas entre inverno, primavera e verão, deveu-se também à queda das folhas das árvores caducifólias, ao número de horas que o sol permanece acima da linha do horizonte, como também a agudização de fenómenos meteorológicos, neste caso, o que fenómeno que alterou algumas vezes o expectável foi o vento o que, na nossa perspetiva, é algo que deve ser aprofundado, visto que se verificou, várias vezes, que os corredores de vento e as áreas amplas sem nenhum obstáculo a obstruir propiciam uma atenuação das temperaturas e melhoram o conforto térmico.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Com estes resultados pôde-se verificar como o impacto no tecido urbano com a libertação de ar quente dos edifícios, durante a noite, pode resultar no fenómeno da “Ilha de Calor Urbano” que, no caso de Coimbra, não é a única razão pela presença destes fenómenos. Tal como foi referido, muitas vezes, nas descrições dos mapas térmicos, uma das principais razões das temperaturas mais elevadas e da presença da “Ilha de Calor Urbano” durante a noite não se deveu só aos edifícios, mas também ao relevo, na medida em que aqueles refletem o papel da exposição das vertentes (quadrantes de Sul, SW e SE).

Se se observar com atenção, ao longo das várias fases do dia (manhã, tarde e noite) em que foram feitos os registos entre o setor da Alta e o setor da Conchada, as diferenças térmicas da tarde e da noite foram as com menor dimensão, mesmo nos dias 11 de maio e 8 de julho em plenas ondas de calor, algo que deixou uma precessão diferente que existia em relação às diferenças térmicas. Já as amplitudes térmicas da manhã foram as mais surpreendentes, registando entre as três manhãs diferenças ao longo dos percursos entre os 6,5°C e os 10,7°C. A isto se deve o início dos percursos às 9 horas da manhã com o ar fresco, ao longo do percurso matutino, as temperaturas foram aquecendo, resultando nestas diferenças discrepantes de temperaturas.

A intervenção nesta problemática não deve ser só feita em Coimbra, mas também noutras cidades, adaptando sempre a metodologia a cada local e circunstância, permitindo que as condições dos locais não se agravem, com o objetivo de que a vida dos cidadãos não perca a qualidade e conforto que necessitam. Caso aconteça o oposto, agravam-se as doenças cardiovasculares, respiratórias e de pele, podendo mesmo resultar na morte dos mais vulneráveis.

É premente que sejam efetuadas intervenções nestes locais com temperaturas mais elevadas, não só com a criação de jardins e parques, mas com espaços públicos com mais locais de sombra, criando uma maior e melhor distribuição de árvores pelas vias públicas. As coberturas proporcionadas pela copa das árvores²² ou por toldes com a função de promover sombra podem contribuir para mitigar o excessivo aquecimento. No caso da

²² A fisionomia das árvores é sempre importante, neste caso deverá ser de copa larga e caducifolia, a dimensão da copa irá proporcionar uma maior área de influência da sombra e a queda da folha será benéfica por razões energéticas, proporcionando sombra no verão nos dias com temperaturas elevadas e no inverno com as temperaturas mais baixas haja uma maior exposição à radiação solar, permitindo a criação do conforto térmico.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

área de estudo, as intervenções terão de ir além dos espaços públicos e passar para os edifícios presentes, tendo a Alta da cidade edifícios seculares e a restante área, como Av. Sá da Bandeira, Conchada e Montes Claros, edifícios do século passado. Como é óbvio, as intervenções deverão ser de diferente dimensão pela diferença de constituição e idade dos edifícios, mas é necessário projetar neles novas condições na sua constituição da estrutura, como novos materiais, potenciando o controlo da entrada das temperaturas mais elevadas nos edifícios, principalmente em fenómenos climáticos com maior intensidade de calor²³, tendo como principal objetivo promover uma menor retenção de calor.

Esta dissertação pretende, assim, mostrar um problema impactante nas áreas urbanas e nas sociedades citadinas. Se nada for feito, com o passar das décadas, este fenómeno acentuar-se-á, muito por consequência da expansão dos espaços cinzentos e pela maior frequência de ondas de calor. Sendo esta uma questão de sustentabilidade e urbanismo, é algo em que se deve investir e realizar projetos que se enquadrem nos objetivos e metas de sustentabilidade e clima.

Por fim, é necessário que a “Ilha de Calor Urbano” seja considerada como um dos fenómenos climáticos de maior relevo a ser combatidos nos centros urbanos através da integração desta problemática nos planos e estratégias às alterações climáticas e dos próprios Planos Diretores Municipais. É importante que todos os detentores do poder reconsiderem as formas de atuar, principalmente nos municípios com maior densidade urbana, voltando a referir que qualquer intervenção tem de ser sempre adaptada a cada local e à sua fisionomia. Só assim se poderá garantir um maior resultado nos objetivos e metas traçados, tanto na vida dos cidadãos como no conforto térmico dos centros urbanizados, consequentemente ganhando uma maior qualidade de vida.

²³ Através de exemplos de mitigação que foram referidos anteriormente, tais como os telhados e paredes verdes, telhados frios e pavimentação fresca.

BIBLIOGRAFIA

- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. pp. 295-310. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0038092X0000089X?token=DDBA3C3316B665B9C66BF09EACEAC15FBE834FE8269D98376D26132EC1BE60E52300BCA69F01303CE6BFB44AFE79A2D5&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728143352>
- Alcoforado, M. J., Andrade, H., Oliveira, S., Festas, M. J., & Rosa, F. (2009). *Alterações climáticas e desenvolvimento urbano*. Lisboa: Direção Geral do Território. Obtido de https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/publicacoes/S_Politica_Cidades_4.pdf
- Almeida, A. (2006). O valor das árvores: Árvores e floresta urbana de Lisboa. Tese de Doutoramento em Arquitectura Paisagista. 344. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia. Obtido de <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/469>
- Al-Obaidi, K., Ismail, M., & Abdul Rahman, A. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia. pp. 283-297. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2095263514000399?token=A39DD69156893CFA7835615BB988F092CC3FBF4A56DD7A159D29616BB350391209602CA61FC35C9F8F1DF853A49BDA5B&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728143934>
- Amorim, M. C. (2019). Ilhas de Calor Urbanas: Métodos e Técnicas de Análise. *Revista Brasileira de Climatologia*, 25. Obtido de <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14136/7369>
- Amorim, M. C., Dubreuil, V., Quenol, H., & Neto, J. L. (2009). Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). p. 2. Obtido de <https://journals.openedition.org/confins/6070>
- Aram, F., García, E. H., Solgi, E., & Mansournia, S. (04 de April de 2019). Urban green space cooling effect in cities. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2405844019300702?token=436CD99A8EBA33304FC8E85A94723C1D75CA8F4A61C6343AEE52F95DD18831DBCD3322C0A9C2136013302F21263EF65A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728144344>

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- Asgarian, A., Amiri, J. J., & Sakieh, Y. (29 de July de 2015). Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. pp. 1-14. Obtido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11252-014-0387-7.pdf>
- Assembleia da República. (2021). Lei de Bases do Clima. *Diário da República, 1ª série*, 10. Obtido de <https://files.dre.pt/1s/2021/12/25300/0000500032.pdf>
- Associação Portuguesa do Ambiente. (2011). *Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas 2020*. Lisboa: Associação Portuguesa do Ambiente. Obtido de <https://apambiente.pt/clima/estrategia-nacional-de-adaptacao-alteracoes-climaticas>
- Associação Portuguesa do Ambiente. (2019). *Portugal - Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030)*. Lisboa: APA. Obtido de <https://apambiente.pt/clima/plano-nacional-de-energia-e-clima-pnec>
- Barbosa, G. S., Drach, P. R., & Corbella, O. D. (2012). Sustentabilidade urbana e desenvolvimento sustentável: uma discussão em aberto. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Obtido de https://silo.tips/queue/sustentabilidade-urbana-e-desenvolvimento-sustentavel-uma-discussao-em-aberto?&queue_id=-1&v=1659019970&u=MmEwMToxMTozMjA6MjM3MDo3ZDZjOjdhMGY6OWFiNDoxZWUx
- Beatley, T. (2000). *Green Urbanism: Learning from European Cities*. Washington, D.C.: Island Press.
- Beaujeu-Garnier, J. (1983). *Geografia urbana*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (15 de September de 2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. pp. 147-155. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0169204610001234?token=EF09B2A8D0CE9BE8883A98E579F8162CE1C91424E1F68D35EA79B5BD1E3A8DC5B49F7EBB26E4884A4640B33417A18F75&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728153636>
- Callejas, I. J., Nogueira, M. C., Biudes, M. S., & Durante, L. C. (julho-setembro de 2016). Variação Sazonal do Balanço de Energia em Cidade Localizada na Região Central do Brasil. pp. 1-2. Obtido de <https://www.scielo.br/j/mercator/a/ZCDBX6Z5x4ktFTtRRSkZ53r/?format=pdf&lang=pt>
- Campos, G. d. (2014). Análise da Influência do Sombreamento causado pelos Edifícios na Zona Central de Curitiba. 142-143. Curitiba, Brasil: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Obtido de http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1095/1/CT_PPGECC_M_Campos%20c%20Giovana%20de%20Almeida%20Coelho_2014.pdf

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- Carvalho, N. L., Kersting, C., Rosa, G., Fruet, L., & Barcellos, A. L. (2015). Desenvolvimento sustentável x desenvolvimento económico. *Revista Monografias Ambientais*, 14(3). Obtido de <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/17768/pdf>
- Cavaco, C., Vilares, E., Rosa, F., Magalhães, M., Esteves, N., & Tavares, M. (2015). *Cidades Sustentáveis 2020*. Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.: Direção Geral do Território.
- Cavalheiro, F., & Del Picchia, P. C. (1992). Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planeamento. *1º Congresso Brasileiro sobre Arborização Urbana e 4º Encontro Nacional sobre Arborização Urbana.*, (pp. 29-38). Vitória, Espanha. Obtido de <https://docplayer.com.br/19500059-Areas-verdes-conceitos-objetivos-e-diretrizes-para-o-planeamento.html>
- Cordeiro, A. M. (30 de December de 2021). Coimbra (Portugal): A City from the Roman Times to the Present*. *Morphological System and Urban Settlements.*, pp. 1-19. Obtido de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/35637/27026>
- Cordeiro, A. M., Lameiras, J. M., Ornelas, A., & Silva, D. D. ((in press)). Cordeiro, A. M. Rochette; Lameiras, José Miguel; Ornelas, Cool cities: The thermal regulator role of urban green spaces. *Geography and Sustainability*.
- Corrêa, R. L. (1989). O Espaço Urbano. p. 13.
- Cunha, L., Borges, A. F., Tavares, A., & Marques, J. F. (1999). O "Julgamento" Geomorfológico de Coimbra. *I Colóquio de Geografia em Coimbra* (pp. 15-26). Coimbra: Cadernos de Geografia. Obtido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31250997/1999_-_O_Julgamento_Geomorfologico_de_Coimbra_-_o_testemunho_dos_depositos_quaternarios-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1659026871&Signature=NwShFI-MarW5u-pM7yQEGParspdWsmh2PIHBebjF9~gRx1rHIN6UHxYayxx6t6YRM9-L
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., . . . Faehnle, M. (15 de december de 2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. pp. 107-115. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301479714003740?token=C9AB4C4880A3BB720679151D24F41DA978B28BB7D1D4CA2987403C7130EE59364FA5D38699C4CCD86EF1EEE842E2ACF6&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728154948>
- Derkzen, M. L., Teeffelen, A. J., & Verburg, P. (january de 2017). Green infrastructure for urban climate adaptation: How do residents' views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? pp. 106-130. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0169204616300949?token=E15C4A53011E5064507A3C28F7567C619DEEF58166B5DF7AA5ED4DCB93D3C17B5F72F9DE8B4E048E02B7886D491FDB3C&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728155128>

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- Dias, R. T. (s.d.). ANÁLISE DA SOBREELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR DE ORIGEM METEOROLOGICA DURANTE OS TEMPORAIS DE FEVEREIRO/MARÇO DE 1978 E DEZEMBRO DE 1981. *Genovas: a Geologia e o Ambiente*, pp. 89-97.
- Douglas, I. (1983). *The urban environment*. London: Edward Arnold. University of Oxford.
- Farr, D. (2013). *Sustainable Urbanism: Urban Design With Nature*. Porto Alegre: Bookman.
- Ferreira, F., & Bomfim, Z. (2010). Sustentabilidade Ambiental: visão antropocêntrica ou biocêntrica, ambientalmente sustentável?, (Volume I). p. 39. Obtido de <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/8335/AS%209-10%202010%20art%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ferreira, F., & Bomfim, Z. Á. (2010). Sustentabilidade Ambiental: visão antropocêntrica ou biocêntrica? p. 39.
- Fialho, E. S. (2012). Ilha de Calor: Reflexões acerca de um Conceito. p. 62. Obtido de <http://revista.ufr.br/actageo/article/view/1094/867>
- Forman, R. T. (2014). *Urban Ecology: Science of Cities*. United Kindgom: Cambridge University Press.
- Ganho, N. (1995). A Ilha de Calor Urbano de Coimbra sob Diferentes Condições de Tempo de Verão. 2, pp. 41-42. Obtido de https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_2_4/2828
- Ganho, N. (1998). Estudo de Climatologia local aplicada ao ordenamento urbano. *O Clima Urbano de Coimbra*, 26-27. Coimbra: Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.
- Ganho, N. (1999). Clima urbano e a climatologia urbana: fundamentos e aplicação ao ordenamento urbano. *Cadernos de Geografia*, 97-127. Obtido de <https://digitalis-dsp.uc.pt/handle/10316.2/40429>
- García-Grinda, J. (2007). *L'architecture traditionnelle méditerranéenne*. Barcelona: Casanovas. Obtido de <http://openarchive.icomos.org/id/eprint/1392/1/II.RehabilitationBatiments.pdf>
- Gartland, L. (2008). Heat islands : understanding and mitigating heat in urban areas. p. 9.
- Gaspar, J. (2016). Futuro, Cidades e Território. p. 21. Obtido de <https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/8875>
- Gilbert, H., Mandel, B. H., & Levinson, R. (15 de february de 2016). Keeping California cool: Recent cool community developments. pp. 20-26. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378778815300542?token=AD360A65A7B074CE690808DE5CBC15F9F367423386498C7E9481CA576A15BD2B4F6894B3869F959889113F6B63F4F407&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728162636>
- Giridharan, R., Lau, S., Ganesan, S., & Givoni, B. (october de 2008). Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence. pp. 1583-1595. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360132307001813?token=AB78CD977F4708EAB00C7AFF835C00B591D6F838F0CDD9FE14C7794DF6179944FDB51F7448DF>

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- A346DE4463E646DBF40C&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728162743
- Gonçalves, R. G. (2016). Modelo de avaliação do potencial de Smart City: caso de estudo da Região Autónoma da Madeira (Dissertação de Mestrado). Guimarães: Universidade do Minho. Obtido de http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/45170/1/Ricardo_Gomes_Goncalves.pdf
- Greater London Authority. (2006). London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers. pp. 12-15. Obtido de https://www.researchgate.net/publication/277003200_London's_Urban_Heat_Island_A_Summary_for_Decision_Makers
- Guerreiro, R. J. (2020). Planeamento urbano e clima: Adaptação ao efeito de ilha de calor urbano em Lisboa. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Obtido de https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/47975/1/ulfc126268_tm_Ricardo_Guerreiro.pdf
- Hancock, T. (2013). *Ciudades ocultas: la Agenda de Investigación de la Red Global de Investigación sobre Equidad en Salud Urbana*. Medellín: Grnuhe. Obtido de https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-PT&as_sdt=0%2C5&q=Hancock++T.++Ciudades++ocultas%3A++la++Agenda++de++Investigaci%C3%B3n++de++la++Red++Global++de++Investigaci%C3%B3n++sobre++Equidad++en++Salud++Urbana++%28GRNUHE%29.+Medell%C3%ADn%3B+2013&btnG=#
- Hogan, D. J. (1995). Qualidade Ambiental Urbana, oportunidades para um novo salto. *Revista São Paulo em Perspectiva*, 17-23. Obtido de http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v09n03/v09n03_03.pdf
- Huang, L., Li, J., Zhao, D., & Zhu, J. (2008). A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. *Building and Environment*, pp. 7-17. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360132306004446?token=A5D4F13DBC4BF60580EF618E0813C6FB2A4489C47D4209C0151512C726AFE265D12E4EC29ACBC5E25281F17EABFEBEF&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728170308>
- Hulley, M. E. (2012). The urban heat island effect: Causes and potential solutions. *Metropolitan Sustainability*, 79-98. Obtido de https://www.researchgate.net/profile/Abbas-Mohajerani/publication/316118695_The_urban_heat_island_effect_its_causes_and_mitigation_with_reference_to_the_thermal_properties_of_asphalt_concrete/links/5cadcb98458515cd2b0d602b/The-urban-heat-island-effect-its

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- IPMA. (maio de 2022). *Boletim Climático Portugal Continental*. Obtido de Instituto Português do Mar e da Atmosfera: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20220608/doEOrQOHPDDWhISEKCGO/cli_20220501_20220531_pcl_mm_co_pt.pdf
- IPMA. (fevereiro de 2022). *Boletim Climático Portugal Continental*. Obtido de Instituto Português do Mar e da Atmosfera: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20220310/SwIIXADgyXIcWQnvaLam/cli_20220201_20220228_pcl_mm_co_pt.pdf
- Kolokotsa, D., Santamouris, M., & Zerefos, S. (September de 2013). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. pp. 118-130. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0038092X1300220X?token=2A186B0D73F8429DFDF47924746D01872D2F6CBAB19D327EF13D2E5A8899B80EFBDC8EDA3366B8CDE5B4969F9144FB8&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728170746>
- Konarska, J., Holmer, B., Lindberg, F., & Thorsson, S. (22 de september de 2015). Influence of vegetation and building geometry on the spatial variations of air temperature and cooling rates in a high-latitude city. p. 35. Obtido de <https://p302.zlibcdn.com/dtoken/9c3a2bcf8189b05efb21ff993f6ab480/joc.4502.pdf>
- Lameiro, L. F. (junho de 2009). Sedimentação em Albufeiras e Estudo da Possibilidade de Utilização dos Sedimentos em Alimentação Artificial de Praias.
- Leal, C. (2008). Os espaços verdes na cidade de Coimbra: Uma abordagem topo e microclimática. p. 44. Obtido de https://www.researchgate.net/profile/Catia-Leal-3/publication/338801733_Os_espacos_verdes_na_cidade_de_Coimbra_Uma_abordagem_topo_e_microclimatica/links/5e2b0b7792851c3aadd7ad13/Os-espacos-verdes-na-cidade-de-Coimbra-Uma-abordagem-topo-e-microclimatica.pdf
- Lehmann, S., & Mainguy, G. (2010). Green Urbanism: Formulating a Series of Holistic Principles. *OpenEdition Journals*. Obtido de <https://journals.openedition.org/sapiens/1057>
- Li, D., Bou-Zeid, E., & Oppenheimer, M. (02 de maio de 2014). The effectiveness of cool and green roofs as urban heat island mitigation strategies. p. 9. Obtido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/5/055002/pdf>
- LNEG. (04 de janeiro de 2022). *LNEG*. Obtido de Laboratório Nacional de Energia e Geologia: <https://www.lneg.pt/portugal-aprova-a-lei-do-clima/>
- Lopes, A. (2008). O Sobreaquecimento das Cidades - Causas e Medidas para a Mitigação da Ilha de Calor de Lisboa. *Territorium* 15, 41,42. Obtido de https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_15_4/2488
- Loureiro, J., Castro, P., Alves, F., & Figueiredo, A. (setembro de 2017). *Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas da CIM Região de Coimbra*. Coimbra: Comunidade

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- Intermunicipal de Coimbra. Obtido de <https://www.cim-regiaoodecoimbra.pt/wp-content/uploads/2018/10/PIAAC-CIM-RC-vers%C3%A3o-web.pdf>
- Lucena, A. J. (2013). Notas Conceituais e Metodológicas em Clima Urbano e Ilhas de Calor. (R. C. (UFRRJ), Ed.) (2), p. 42. Obtido de <http://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/17/16>
- Magalhães, M. R. (1992). *Espaços Verdes Urbanos*. Lisboa: Direcção-Geral do Ordenamento do Território, Ministério do Planeamento e da Administração do Território.
- Magalhães, M. R. (2001). *Arquitectura Paisagista – Morfologia e Complexidade*. Lisboa: Editorial Estampa. Obtido de https://www.academia.edu/43369649/A_ARQUITECTURA_PAISAGISTA_MORFOLOGIA_E_COMPLEXIDADE_Raposo
- Malho, P. (2014). O crescimento do urbanismo sustentável: Caso de estudo de Landshut-West. (Relatório de Estágio de Mestrado). Porto: Universidade do Porto. Obtido de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/76982/3/33070.1.pdf>
- Marques, D., Ganho, N., & Cordeiro, A. M. (2008). Clima local e ordenamento urbano - O exemplo de Coimbra. p. 318. Obtido de https://www.uc.pt/fluc/depgeotur/publicacoes/Cadernos_Geografia/Numeros_publicados/CadGeo26_27/artigo35
- Martins, M. M. (Novembro de 2018). A Dotação do Espaço Público num Contexto de Urbanismo Sustentável: O Caso da Amadora. 19. Lisboa, Portugal: Faculdade de Ciências Sociais e Humanas & Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Obtido de <https://run.unl.pt/handle/10362/58109>
- Mascaró, J. J. (1996). *Ambiência Urbana* (1 ed.). Sagra, Porto Alegre, Brasil: D.C. Luzzatto.
- Mascaró, L., & Mascaró, J. J. (2009). *Ambiência urbana* (3 ed.). Masquatro, Porto Alegre, Brasil.
- Matias, M. A. (2018). O Balanço Radiativo de um Conjunto de Edifícios em Telheiras com Recurso a Termografia Infravermelha. Universidade de Lisboa: Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Obtido de <https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/36238/1/TM-igotul011241.pdf>
- Mead, M. N. (2008). Benefits of sunlight: a bright spot for human health. *Environ. Health Perspect.* p. 116. Obtido de <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.116-a160>
- Monteiro. (1993). Clima Urbano Do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território. - Tese de Doutoramento. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Obtido de <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/16163>
- Monteiro, M. V., Doick, K., Handley, P., & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. pp. 160-169. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1618866716000285?token=DF22DA5E83052B5A784523A03419345AC9DDE549B55F30597E09784237940469271744615C86DD99DB06F7E7FC5520C8&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728175753>

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- Moreno, C., Lavadinho, S., Gwiazdzinski, L., René, C., Broekman, M., Luna, R., & Madec, P. (2021). La Ville du 1/4 d'heure. p. 8.
- Mostofa, T., & Manteghi, G. (2019). Influential Factors of Water Body to Enhance the Urban Cooling Islands (UCIs): A Review. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 2. Obtido de [https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=iB03EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=RA4-PA15&dq=INFLUENTIAL+FACTORS+OF+WATER+BODY+TO+ENHANCE+THE+URBAN+COOLING+ISLANDS+\(UCIs\):+A+REVIEW&ots=jjHsm5_RaW&sig=7vYWCpIsWe27f9esS2htJDv9Vcs#v=onepage&q=INFLUENTIAL%20FACTORS%20](https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=iB03EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=RA4-PA15&dq=INFLUENTIAL+FACTORS+OF+WATER+BODY+TO+ENHANCE+THE+URBAN+COOLING+ISLANDS+(UCIs):+A+REVIEW&ots=jjHsm5_RaW&sig=7vYWCpIsWe27f9esS2htJDv9Vcs#v=onepage&q=INFLUENTIAL%20FACTORS%20)
- Mota, I. A., Pinto, M., e Sá, J. V., Marques, V. S., & Ribeiro, J. F. (2005). Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável ENDS 2005-2015. pp. 87- 88. Obtido de https://ecoreporter.abae.pt/docs/apoio/Estrategia_Nacional_para_o_Desenvolvimento_Sustentavel.pdf
- Nakata-Osaki, C. M., de Souza, L. C., & Rodrigues, D. S. (2016). Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. *Ambiente Construído*, 73-87. Obtido de <https://www.scielo.br/j/ac/a/Q8gGjr3HbNjqZvhCybNxNLd/?format=pdf&lang=pt>
- Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban. *Atmosphere*, 275. Obtido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00046973.1976.9648422>
- Oke, T. R. (1988). The Urban Energy Balance. *Progress in Physical Geography*, pp. 471- 475. Obtido de https://www.researchgate.net/publication/275590257_The_urban_energy_balance_Prog_Phys_Geogr
- Oke, T. R. (2002). *Boundary Layer Climates (2nd Ed)*. Taylor & Francis e-Library.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Oliveira, A. P. (setembro de 2013). Estratégias de Resiliência Urbana na Cidade Mediterrânica – Constrangimentos e Desafios face às Alterações Climáticas. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Obtido de https://www.academia.edu/5241634/Resili%C3%A2ncia_urbana_na_cidade_mediterr%C3%A2nica_constrangimentos_e_desafios_face_%C3%A0s_alter%C3%A7%C3%B5es_clim%C3%A1ticas
- Oliveira, A. S., Nogueira, M. C., Sanches, L., & Nogueira, J. d. (2013). Variáveis Meteorológicas e Cobertura Vegetal de Espécies Arbóreas em Praças Urbanas em Cuiabá, Brasil. Em *Revista Brasileira de Meteorologia* (Vol. 28, p. 390). Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso. Obtido de <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/gS8pJXTH7hHq6ZWBZpXgNpq/?format=pdf&lang=pt>

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- ONU. (25 de setembro de 2015). *A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Obtido de Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: <https://globalcompact.pt/index.php/pt/agenda-2030>
- Ornelas, A. (2019). O Papel da Geografia Física no Territórios Inteligentes. - O Caso de Estudo da Lousã como Território Inteligente e Sustentável (Dissertação de Mestrado). Coimbra: Universidade de Coimbra. Obtido de https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/93370/1/AlexandreOrnelas_versaofinal.pdf
- Rebelo, F. (1999). Condicionais Físicos-Geográficos na Origem e no Desenvolvimento da Cidade de Coimbra. *Cadernos de Geografia*, 11-13. Obtido de https://www.uc.pt/fluc/depgeotur/publicacoes/Cadernos_Geografia/Numeros_publicados/CadGeoNespecial99/artigo02
- Reis, C. C. (Setembro de 2019). Ondas de Calor no Município de Coimbra: A Importância da Vulnerabilidade. 9. Coimbra: Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Obtido de https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/93640/1/TESE_CATARINA_REIS.pdf
- Ribeiro, O. (1987). *Introdução ao Estudo da Geografia Regional*. Lisboa: Edições João Sá .
- Romero, C. W. (2016). Uso e Ocupação do Solo em Áreas com Ilhas de calor na cidade de Ilha Solteira-SP. p. 21. Obtido de https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/144494/romero_cws_me_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Romero, M. A. (2007). *Frentes do Urbano para a Construção de Indicadores de Sustentabilidade Intra Urbana*. Brasília: In Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo da FAU-UnB. Obtido de https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/42917/3/ARTIGO_FrentesUrbanoConstrucao.pdf
- Rupard, M. (june de 2019). Urban Heat Islands: Causes, impacts e mitigation (Senior Project). pp. 7-8. Obtido de <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1200&context=crpsp>
- Sala-Zapata, L., López-Ríos , J., Gómez-Molina, S., Franco-Moreno, D., & Martínez-Herrera , E. (2015). *Ciudades sostenibles y saludables: estrategias en busca de la calidad de vida (Revista Facultad Nacional de Salud Pública)*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. Obtido de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/21778/20779295>
- Santana, A. P., Freitas , Â., Loureiro, A., Costa, C., Almendra, R., Padeiro, M., . . . Patriarca, J. (2020). *Perfil Municipal de Saúde*. Coimbra: Câmara Municipal de Coimbra e Universidade de Coimbra.
- Santos, A. M., & Rodrigues, G. A. (2015). Ilhas de Calor: Conceito, Problemas e Alternativas. *III SIMTEC –Simpósio de Tecnologia da FATEC Taquaritinga* (p. 6). Brasil: Faculdade de

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- Tecnologia de Taquaritinga (FATEC). Obtido de <https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/download/227/170/>
- Serro, J. C. (2013). *Corredores Verdes” – Oportunidade e Estratégias de Integração no Município do Porto*. Porto: Universidade do Porto. Obtido de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72520/2/28397.pdf>
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. (april de 2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. pp. 221-235. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378778899000183?token=7225D6A9DC6E4EAF74F5FCD8E70EC1493DB1766606EDCE81D6B686CD2DAB443EAEF12DECC9B9A980939C59BD83C3A559&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728182004>
- Solcerova, A., van de Ven, F., Wang, M., Rijdsdijk, M., & van de Giesen, N. (January de 2017). Do green roofs cool the air? pp. 249-255. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S036013231630422X?token=6EDC3250C33D735F1A71BDD9664192164C129AFFEA378A4350A2A47E34C73168D50BFD0159FC9061C017E56824E2A0B8&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728182101>
- Soltani, A., & Sharifi, E. (2016). Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of architectural Research*, pp. 530, 534. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2095263517300432?token=56392F6A2290245F4E960A75448530327D76A0E20742E096D3C2DFBB6D920009F980FA87241A795D8364569F2E3878BC&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728182209>
- Spronken-Smith, R. A., & Oke, T. (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 2085-2104. Obtido de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/014311698214884?needAccess=true>
- Stanley, C. H., Helletsgruber, C., & Hof, A. (26 de june de 2019). Mutual Influences of Urban Microclimate and Urban Trees: An Investigation of Phenology and Cooling Capacity. pp. 9-10. Obtido de <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/7/533/pdf?version=1562148935>
- Tan, J., Belcher, R., Tan, H., Menz, S., & Schroepfer, T. (5 de março de 2021). The urban heat island mitigation potential of vegetation depends on local surface type and shade. p. 6. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1618866721001539?token=18AA33738170312DBF8510B4BFB25ECE97735AD7D9476D36CA3C6527337146F35BB539E8E4511A184DD6F94887FAD2D0&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728182758>
- Tavares, J. (1 de janeiro de 2007). [As] simetrias entre Lúcio Costa e Oscar Niemeyer. *Brasília*, p. 6. Obtido de <https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/44686/48309>

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

- U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies - Green Roofs*. Obtido de U.S. Environmental Protection Agency: https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_3.pdf
- UNRIC. (2022). *Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental*. Obtido de Global Compact - Network Portugal: <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>
- Upmanis, H., & Chen, D. (26 de October de 1999). Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences--a case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden. pp. 125-139. Obtido de <https://www.int-res.com/articles/cr/13/c013p125.pdf>
- Varela, M. (2020). As Instituições de Ensino Superior e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Proposta de Campanha para o ISEG sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. (Relatório de Estágio de Mestrado). Lisboa: Universidade de Lisboa. Obtido de <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/20875/1/DM-MLTV-2020.pdf>
- Viveiros, R. R. (Abril de 2017). A influência da vegetação em pequenos espaços verdes na mitigação do efeito ilha de calor urbano em Lisboa (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Obtido de https://run.unl.pt/bitstream/10362/22175/1/Viveiros_2017.pdf
- Werneck, D. R. (Fevereiro de 2018). Estratégias de Mitigação das Ilhas de Calor Urbanas: Estudo de Caso em Áreas Comerciais em Brasília - DF. Brasília, Brasil: Universidade de Brasília - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Obtido de https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/31816/3/2018_DanielaRochaWerneck.pdf
- wetterzentrale. (s.d.). *wetterzentrale*. Obtido de <https://www.wetterzentrale.de/>
- World Health Organization - Regional Office for Europe. (2017). *Espaços verdes urbanos: um manual para a ação*. Porto: edições Universidade Fernando Pessoa. Obtido de <http://arquitectura.ufp.pt/docs/2017/11/Urban-Green-Spaces-PT.pdf>
- Yu, Z., Fryd, O., Sun, R., Jørgensen, G., Yang, G., Özdil, N. C., & Vejre, H. (15 de February de 2020). Where and how to cool? An idealized urban thermal security pattern model. Obtido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10980-020-00982-1.pdf>
- Yu, Z., Guo, X., Jørgensen, G., & Vejre, H. (November de 2017). How can urban green spaces be planned for climate adaptation in subtropical cities? pp. 152-162. Obtido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1470160X17304156?token=4D2FEA3133DA67E65B37AC04312A1A4F7E50414801895FA4C24A40CE866EB0260FF5484673AFAFCE970EFF70AB281385&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220728183354>

Vitor Parada

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA
DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Vitor Parada

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA
DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

ANEXOS

Anexo 1

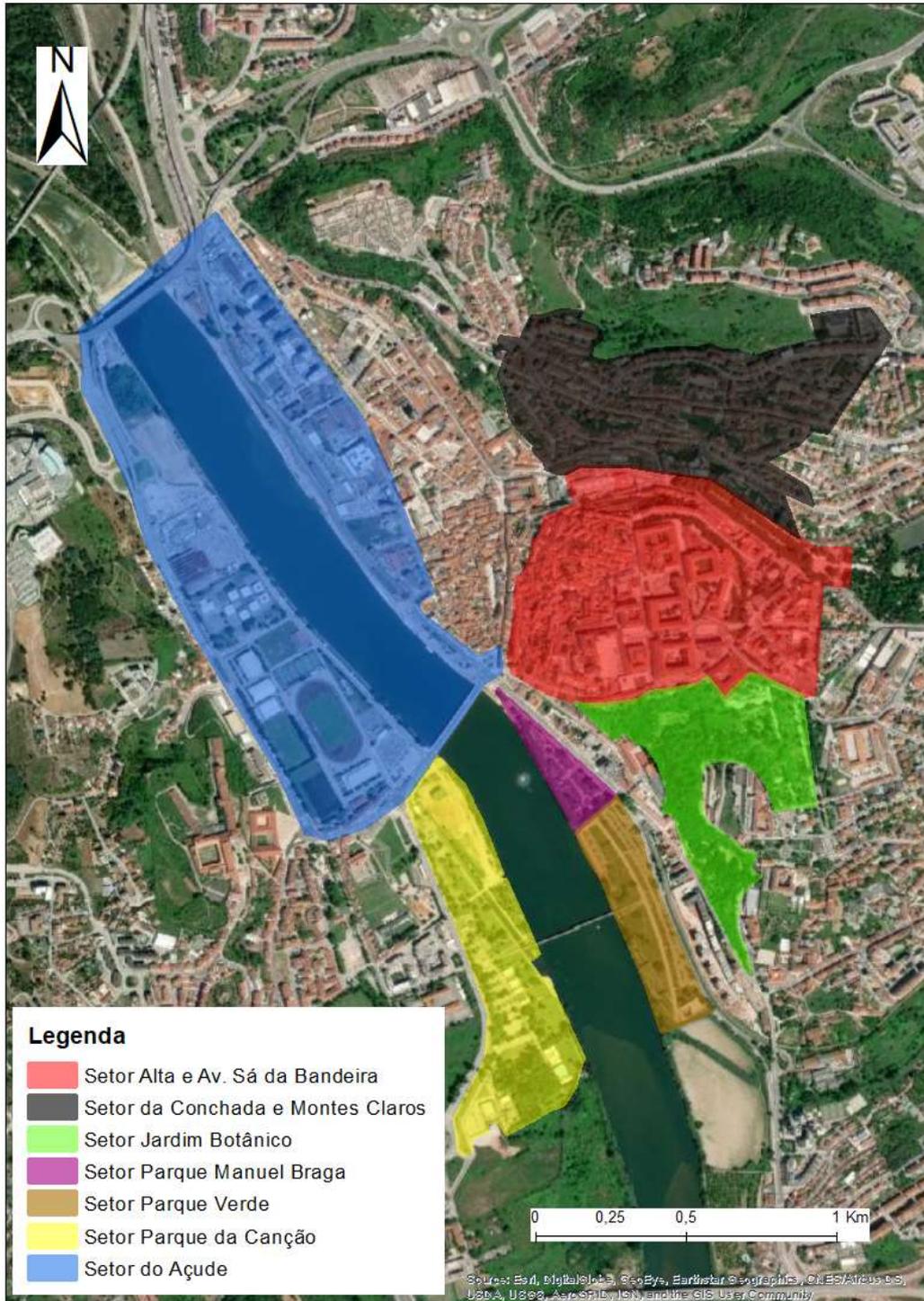


Figura 34 -Mapa dos setores descritos.

O PAPEL DA MORFOLOGIA E DOS ESPAÇOS VERDES NAS DINÂMICAS DA ILHA DE CALOR URBANO. O exemplo da cidade de Coimbra

Anexo 2



Figura 35 – Setor da Alta da cidade e Avenida Sá da Bandeira.

Anexo 3

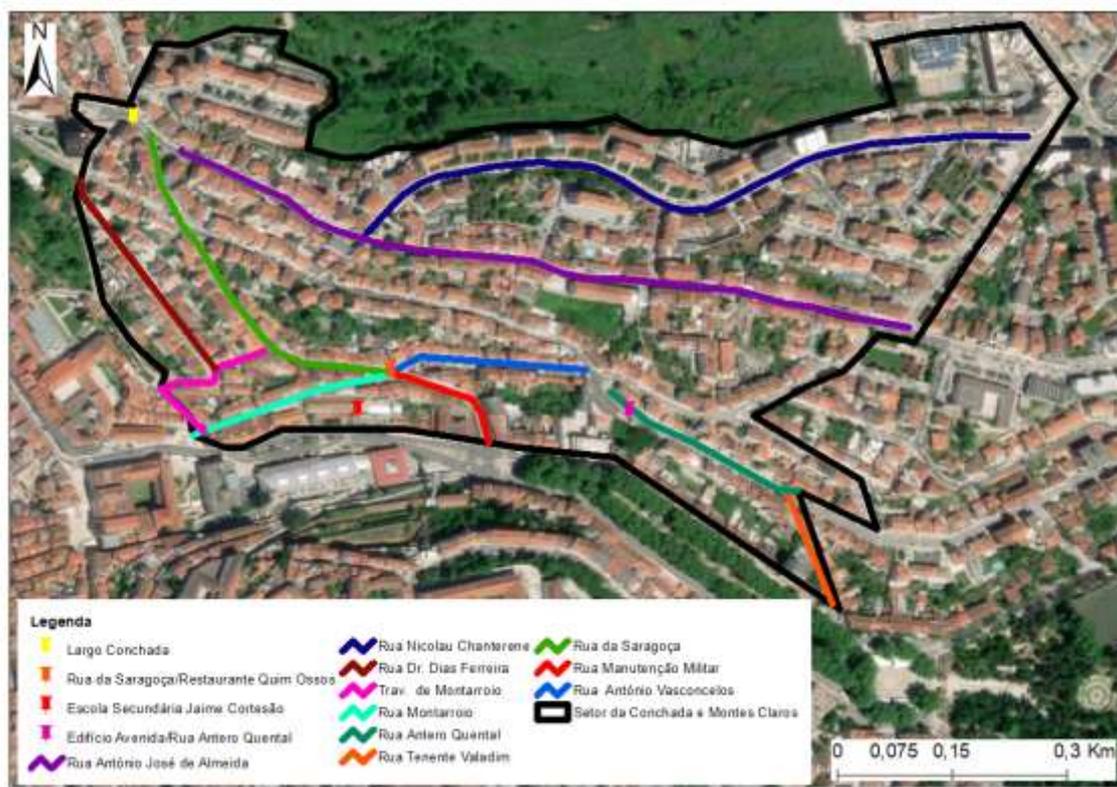


Figura 36 – Setor da Conchada e Montes Claros.

Anexos 4



Figura 37 – Setor do Jardim Botânico.

Anexo 5



Figura 38 – Setor Parque Manuel Braga.

Anexo 6



Figura 39 – Setor do Parque Verde.

Anexo 7



Figura 40 – Setor do Parque da Canção.

Anexo 8



Figura 41 – Setor do Açude.