



RELATÓRIO SÍNTESE
Setembro 2021

Estudo do Regime das Ondas de Calor na Área Metropolitana de Lisboa

Cartografia
de Vulnerabilidade Térmica:
Mapeamento dos Efeitos
das Ondas de Calor em Lisboa
Face às Projecções Climáticas



ONDAS de CALOR LISBOA

Em parceria com:



Cofinanciado por:



CARTOGRAFIA DE VULNERABILIDADE TÉRMICA

– Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas -

RELATÓRIO SÍNTESE

RELATÓRIO SÍNTESE

FICHA DE PROJETO

Para aprofundar o conhecimento sobre vulnerabilidades aos extremos de temperatura máxima traduzidos por aumento da temperatura média e máxima na cidade de Lisboa no cenário atual e futuro, a Câmara Municipal de Lisboa (CML) apresentou uma candidatura ao Programa Operacional da Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (Operação POSEUR-02-1708-fc000060) – Eixo “Promover a Adaptação às Alterações Climáticas e a Prevenção e Gestão de Riscos”, tendo obtido a aprovação de cofinanciamento do FEDER/FC para a execução do projeto "Ondas de Calor em Lisboa".

Designação do projeto: Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas.

Código do projeto: POSEUR-02-1708-fc-000060

Objetivo principal: promover a adaptação às alterações climáticas e a prevenção e gestão de riscos na cidade de Lisboa

Data de aprovação: 18-05-2018

Data de início: 31-03-2018

Data de conclusão: 31-12-2021

Custo total do investimento elegível: 571 131,22 €

Contribuição Feder/FC: 428 348,41 €


Financiamento público nacional/ regional: 142 782,81 €



RELATÓRIO SÍNTESE


FICHA TÉCNICA

ESTUDO DO REGIME DAS ONDAS DE CALOR NA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA

Entidade	 IDAD – Instituto do Ambiente e Desenvolvimento https://www.ua.pt/pt/idad/
Coordenador	Alfredo Rocha
Membro da Equipa	Rui Silva
Membro da Equipa	Susana C. Pereira

3

MODELO TRIDIMENSIONAL DA OCUPAÇÃO URBANA SUPERFICIAL PARA O CONCELHO DE LISBOA

Entidade	 LRB - Consultores https://lrb.pt/
Coordenador	Eurico Loureiro
Membro da Equipa	António Silva
Membro da Equipa	Renato Baptista
Membro da Equipa	Miguel Sousa

MAPAS CLIMÁTICOS URBANOS

Autor	Ezequiel Correia
-------	------------------

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA ÁREAS CRÍTICAS NA CIDADE DE LISBOA

Entidade	 Instituto de Geografia e Ordenamento do Território Universidade de Lisboa http://www.igot.ulisboa.pt/
Coordenador	António Lopes
Membro da Equipa	Ana Oliveira
Membro da Equipa	João Vasconcelos
Membro da Equipa	Ezequiel Correia
Membro da Equipa	Cláudia Reis
Membro da Equipa	Márcia Matias



RELATÓRIO SÍNTESE

MODELAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO DA CIDADE DE LISBOA

Entidade



Lisboa E-Nova – Agência de Energia e Ambiente de Lisboa

<https://lisboanova.org/>

Coordenador

Maria João Rodrigues

Membro da Equipa

Sara Freitas

RELATÓRIO SÍNTESE

FICHA TÉCNICA DE COORDENAÇÃO DA CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA

<https://www.lisboa.pt/>

COORDENAÇÃO GERAL

Arq. Paulo Pais	Diretor de Departamento de Planeamento Urbano (DMU DPU)
Arq. Ana Cristina Lourenço	Diretora de Departamento de Ambiente, Energia e Alterações Climáticas (DMAEVCE DAEAC)
Dra. Cláudia Pinto	Coordenadora do Núcleo de Cartografia Geológica (DMGP DAP DC)
Dra. Maria João Telhado	Chefe de Divisão de Ambiente (DAEAC DA)
Eng ^a Ana Runa	Gabinete do Vereador Ricardo Veludo

GESTOR DE PROJETO

Eng ^a Paula Pacheco	(DMU DPU DPDM)
--------------------------------	----------------

COLABORAÇÃO

Arq. Ana Luísa Domingos	Chefe de Divisão de Cadastro (DMGP DAP DC)
Dra. Alexandra Frias	(DMGP DAP DC)
Dr. Pedro Leonardo	(DMGP DAP DC)
Dra. Luisa Araújo+	(DMU DPU)
Designer Helena Palma	(DMU DPU)
Dra. Inês Metelo	(DAEAC EPECDAEAC)

RELATÓRIO SÍNTESE

ÍNDICE

FICHA DE PROJETO	2
FICHA TÉCNICA	3
FICHA TÉCNICA DE COORDENAÇÃO DA CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA	5
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABELAS	8
I. PREÂMBULO	9
I.1. ENQUADRAMENTO CLIMÁTICO	11
II. INTRODUÇÃO	13
III. CARTOGRAFIA NUMÉRICA VETORIAL	16
IV. MODELO TRIDIMENSIONAL DA OCUPAÇÃO URBANA SUPERFICIAL PARA O CONCELHO DE LISBOA18	
V. O REGIME DAS ONDAS DE CALOR NA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA	22
VI. MAPAS CLIMÁTICOS URBANOS	33
VII. IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA ÁREAS CRÍTICAS NA CIDADE DE LISBOA	36
VIII. MODELAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO DA CIDADE DE LISBOA	47
IX. ORIENTAÇÕES PARA O PLANEAMENTO E O AMBIENTE DA CIDADE DE LISBOA	54
X. DESAFIOS FUTUROS PARA A CIDADE DE LISBOA	59
XI. SIGLAS	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz de risco. 1.0 Precipitação Intensa; 2.0 Vento forte / Rajadas; 3.0 Temperatura elevada/Onda de calor; 4.0 Temperatura baixa/Onda de frio; 5.0 Granizo (EMAAC, 2017)	10
Figura 2 - Tendências recentes de evolução climática na AML para a subida de temperatura	12
Figura 3 - Ortofotocartografia à escala 1:1000, voo 2016	16
Figura 4 – Modelo Numérico Altimétrico	16
Figura 5 – Extrato de uma Carta topográfica- formato DWG	17
Figura 6 - Tratamento de dados	18
Figura 7 - Modelo Digital do Terreno e elementos 3D	19
Figura 8 – Modelo 3D de Lisboa	19
Figura 9 - Voos (parciais) das zonas: Alta; Baixa; Parque das Nações; Telheiras	20

RELATÓRIO SÍNTESE

Figura 10 - Level of detail (LOD).....	20
Figura 11 – LOD 3 da área da Alta de Lisboa.....	21
Figura 12 – LOD 3 da área da Baixa de Lisboa.....	21
Figura 13 - Configuração de domínios usada nas simulações climáticas (D-1, D-2 e D-3) e nas simulações da ICU (D-1, D-2, D-3, D-4 e D-5).....	23
Figura 14 - (em cima) Temperatura máxima média mensal para HIST, MED e LONG e (em baixo) anomalias da temperatura máxima média mensal para MED e LONG relativas a HIST em Lisboa....	26
Figura 15 - Para os períodos atual, médio e longo prazo: (a) Número médio anual de dias de onda de calor, (b) duração média das ondas de calor, (c) temperatura máxima média, máxima de todas as ondas de calor, (d) média anual da soma de temperatura máxima de todos os dias da onda de calor em Lisboa.	27
Figura 16 - Mapa de uso do solo no domínio de simulação D-5.....	28
Figura 17 - Decomposição da média espacial no domínio D-5 da ICU a 2 metros nas diferentes classes urbanas de uso do solo, durante a OC de agosto de 2003. Ciclo diário obtido usando o método de avaliação local (Método 2). Valores apresentados em °C.....	29
Figura 18. Campo médio temporal da ICU noturna durante a OC de agosto de 2003. Campo da ICU obtido usando o método de avaliação clássica (Método 1) no domínio D-5. Valores apresentados em °C.....	30
Figura 19 - Perfis do ciclo diário do calor de origem antropogénica usados nas simulações da ICU em cenários climáticos futuros, como é o caso do calor libertado pelo metabolismo humano (curva azul), calor libertado pelos veículos (curva vermelha), consumo elétrico (curva verde), e o calor antropogénico total (curva negra).....	30
Figura 20 – (da esquerda para a direita) Ortofoto do Município de Lisboa atual; Representação do uso do solo atual no município; Representação do uso do solo tendo em conta as áreas do município a consolidar até 2050; Representação do uso do solo tendo em conta as áreas do município a consolidar até 2100. As áreas a branco dentro dos limites do ML correspondem a zonas do Domínio Público Hídrico.....	31
Figura 21 - Campos médios temporais da ICU noturna das Simulações 3 e 4 para a temperatura a 2 metros no Município de Lisboa, obtidos através do método de avaliação local (Método 2). Valores apresentados em °C. Os vetores sobrepostos aos campos da temperatura representam a média temporal do vento a 10 metros em cada uma das simulações. $5 \text{ m s}^{-1} = 18 \text{ km h}^{-1}$	31
Figura 22 – Parâmetros associados à geometria urbana atual.....	34
Figura 23 – Densidade urbana atual.....	34
Figura 24 - Alterações da densidade urbana na “cidade futura”.....	34
Figura 25 - Localização das estações da rede de mesoescala do CEG/IGOT.....	37
Figura 26 - Ciclo Diário da Temperatura do Ar registada no Aeroporto e nos Restauradores, e intensidade da ICU durante condições de calor extremo do tipo de tempo local de Verão (percentis 90 da temperatura do ar, T90p).....	38

RELATÓRIO SÍNTESE

Figura 27 – Mapas da intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa: a) Onda de Calor – Entardecer (situação atual); b) Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa futura, na envolvente dos bairros projetados.	39
Figura 28 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro projetado com o cenário mais grave no final do século XXI (sem medidas de mitigação que combatam as alterações climáticas) – Situação ao entardecer em Onda de Calor.	39
Figura 29 – Modelo tridimensional da Baixa de Lisboa usado para as simulações do clima atual e futuro	40
Figura 30 – Modelos micro-meteorológicos de simulação da temperatura do ar na Baixa de Lisboa, situação de verão às 19:00h (atual e em 2100).	41
Figura 31 – Modelos micro-meteorológicos de simulação da temperatura do ar na Alta de Lisboa, situação de verão às 19:00h (atual e em 2100).	41
Figura 32 - Etapas e processos para a obtenção das classes de ventilação, das classes de Ocupação Dominante do Solo e das Unidades de Resposta Climática Homogénea (URCH).....	42
Figura 33 - Unidades de Resposta Climática Homogénea 2020 (URCH).....	43
Figura 34 - Comparação entre o limite aerodinâmico e setor setentrional da cidade em 2005 e 2020.	44
Figura 35 –Climatopos da cidade em 2005 e 2020	45
Figura 36 - Mapa das orientações climáticas do concelho de Lisboa.	46
Figura 37 – Balanço Radiativo na Cidade e Ilha de Calor Urbano	48

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Quarteirões existentes (Área 1 e 2) e projetos para área de construção futura (Projeto 1 e 2).</i>	50
Tabela 2 - <i>Temperatura fisiológica equivalente (PET) na Área 1 (superior) e na Área 2 (inferior), num dia de verão severo.</i>	51
Tabela 3 – <i>Benefícios das medidas de mitigação/adaptação nos quarteirões consolidados: alcance e redução máxima das temperaturas.</i>	52
Tabela 4 – <i>Principais vantagens e desvantagens em ambos os Projetos futuros.</i>	52

RELATÓRIO SÍNTESE

I. PREÂMBULO

O relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change Assessment Report*, IPCC AR5, 2013) confirma o impacto negativo das emissões antropogénicas de gases com efeito de estufa (GEE) no clima mundial. Efetivamente, o exponencial crescimento urbano pós-industrialização, vem colocar novos desafios ao nível das variáveis dos cenários das projeções das alterações climáticas globais. De acordo com alguns autores, essas alterações climáticas vão se refletir em impactos negativos e em cadeia, sobre as cidades, enquanto ecossistemas dinâmicos e complexos, com repercussões aleatórias no clima patentes na tendência de aumento dos regimes de eventos meteorológicos extremos, de temperatura, de precipitação, de ventos fortes com rajadas, de subida do nível médio das águas do mar com efeitos diretos na sobrelevação de maré entre outros tipos de tempestade, cada vez mais frequentes e severos (Kharin e Zwiers, 2000; Santos e Corte-Real, 2006). De entre estes cenários, sentidos nos dias de hoje e espectáveis de agravamento ao longo do século, destacam-se os extremos de temperatura máxima, como as ondas de calor (OC) e as ilhas de calor urbano (ICU), caracterizadas pelo seu impacto negativo na saúde pública, sobretudo, em áreas urbanas (Monteiro *et al.*, 2012).

Dados científicos obtidos através de projeções de cenários climáticos futuros apontam, para que os eventos meteorológicos extremos se tornem cada vez mais frequentes e de maior intensidade (Peterson *et al.*, 2012) prevendo-se efeitos mais devastadores, os quais se começam a constatar no presente. É, assim, esperado que fenómenos extremos de temperatura, como por exemplo OC, se tornem mais frequentes e se traduzam por um aumento de dias das OC, sobretudo, no verão, mas também na primavera e no outono (WMO, 2011). Vários estudos mostram que esta tendência seja sentida na Europa Central (Tomczyk e Bednorz, 2016) e que a probabilidade de ocorrência de OC excepcionalmente intensas (*mega heat waves*) possa aumentar num fator de 5 a 10 nos próximos 40 anos (Barriopedro *et al.*, 2011).

Neste contexto, as alterações climáticas (AC) são hoje consideradas a maior ameaça ambiental do século XXI, constituindo uma preocupação transversal ao planeta. As evidências confirmaram as projeções que há alguns anos pareciam alarmistas, conduzindo à celebração do acordo histórico da Cimeira de Paris (COP 21), em dezembro de 2015, no qual 195 Países Membros da Convenção do Clima da ONU e a União Europeia se comprometeram em conter o aquecimento global para um patamar abaixo dos dois graus centígrados.

Concomitante com os objetivos da Estratégia Nacional para Adaptação às Alterações Climáticas¹ (ENAA) 2020, o município de Lisboa aprovou em julho de 2017 a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC) elaborada no âmbito do projeto ClimAdaPT-Local (2015-16), que teve como visão estratégica: *Lisboa, uma Cidade Resiliente às Alterações Climáticas: preparada para o futuro, adaptada ao presente*. Refira-se neste âmbito, que as projeções sobre o clima futuro para a cidade de Lisboa evidenciam o aumento da temperatura como sendo a maior ameaça climática no final do séc. XXI, com consequentes impactos na saúde, no conforto e na biodiversidade (Figura 1).

¹ A Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas - ENAA 2020- estabelece um modelo de organização onde é promovida a articulação entre os diversos sectores e partes interessadas, tendo em vista a prossecução de prioridades em 6 áreas temáticas e 9 setores prioritários, através de 3 objetivos chave da estratégia nacional: Melhorar o nível de conhecimentos sobre as alterações climáticas; implementar medidas de adaptação e promover a integração da adaptação em políticas setoriais. <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=118&sub3ref=955>

RELATÓRIO SÍNTESE

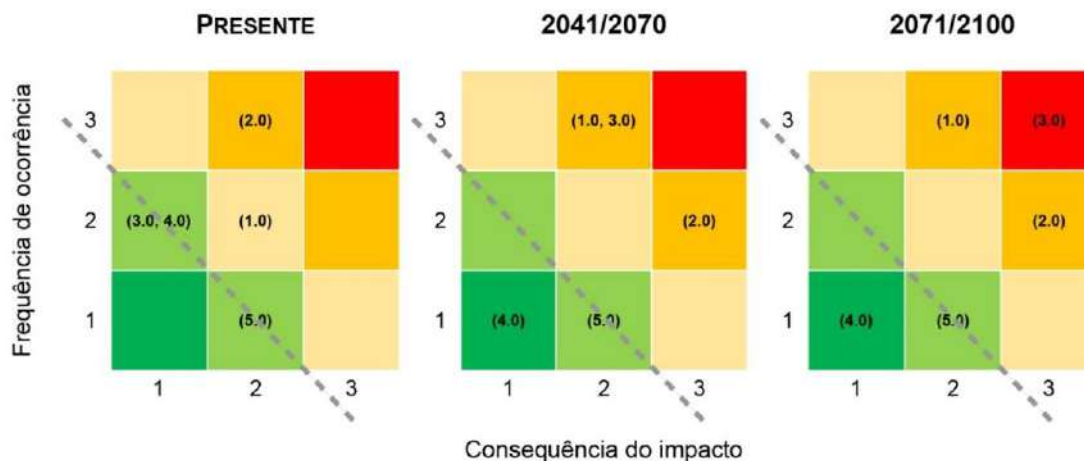


Figura 1 - Matriz de risco. 1.0 Precipitação Intensa; 2.0 Vento forte / Rajadas; 3.0 Temperatura elevada/Onda de calor; 4.0 Temperatura baixa/Onda de frio; 5.0 Granizo (EMAAC, 2017)

Neste documento estratégico foram identificadas lacunas no conhecimento, quer ao nível do território, quer ao nível dos impactos provocados pelo aumento da temperatura previsto para este século, que se preveem agravados atendendo às características fortemente antropizadas da cidade. Neste enquadramento, requer especial acuidade os efeitos correlacionados com as temperaturas extremas, nomeadamente as ondas de calor (OC) e a ilha de calor urbano (ICU).

Refira-se também que o PMAAC-AML² (AML, 2018) identifica que “é expectável que a subida da temperatura do ar e o aumento do número de dias de stress térmico devido ao calor se agravem nas áreas de densidade média e elevada, nomeadamente onde ocorre o efeito ilha de calor urbano (atualmente com uma intensidade média de 3º C)”.

Num cenário de risco provocado pelo aumento de temperatura, o município entendeu ser prioritário aprofundar o conhecimento sobre as vulnerabilidades da cidade ao efeito das ondas de calor. Dando sequência ao estudo “As Orientações Climáticas para o Planeamento em Lisboa” (IGOT/2005) foi proposto um novo estudo para se conhecer o comportamento da cidade em cenários de alterações climáticas, com base nas características atuais futuras da cidade em termos construtivos e dinâmicas diversas.

A candidatura “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas” ao Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR) no âmbito do Aviso POSEUR-08-2017-20, inserido no Eixo Prioritário 2 – Promover a Adaptação às Alterações Climáticas, visando ações imateriais – produção de informação e conhecimento (cartografia), surgiu como uma oportunidade para alcançar e impulsionar o processo de atualização desse estudo.

² Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da Área Metropolitana de Lisboa.

RELATÓRIO SÍNTESE



I.1. ENQUADRAMENTO CLIMÁTICO

Os climas urbanos passaram a ser alvo de uma atenção muito especial a partir da individualização desta disciplina na segunda metade do século XX, principalmente depois do reconhecimento internacional sobre as causas antropogénicas das alterações climáticas globais. O crescimento urbano, sem precedentes na história da humanidade - em 2030 estima-se que 60% da população mundial habitará em áreas urbanas, valor que aumentará para 65% em meados do século XXI, colocando muitos desafios aos decisores e políticos, particularmente quanto às políticas públicas ambientais e de ordenamento do território. As ondas de calor são fenómenos extremos de larga escala que podem afetar negativamente os ecossistemas, as atividades socioeconómicas, bem como a saúde humana pelo aumento dos níveis de *stress* térmico, da morbilidade e mortalidade, particularmente nos grupos mais vulneráveis da população. Os seus efeitos podem ser localmente amplificados ou reduzidos por fatores locais responsáveis pela existência de microclimas, como o uso e tipo de solo, a altitude, a orografia, a orientação de vertentes, a proximidade de corpos de água, como o Estuário do Tejo, no caso de Lisboa -, o desenho urbano e índices construtivos. Confirmando-se que em regiões de elevada ocupação urbana (ou densidade urbana), como são, na generalidade, as áreas metropolitanas, as ondas de calor podem ser amplificadas pela ocorrência do fenómeno de ilha de calor urbano (ICU), aumentando assim os riscos climáticos associados às mesmas.

A Ilha de Calor Urbano (ICU) é considerada o efeito mais evidente de alteração climática de origem antrópica em contexto local. Fruto das alterações nas características materiais e morfológicas no território, bem como das emissões de calor e poluentes, a ICU define-se de forma sintética como uma anomalia (diferença) positiva entre a temperatura observada em meio urbano, quando comparada com aquela observada em meio não urbano. Embora seja apelidada como 'ilha', o seu padrão espacial não só é muito diverso entre áreas urbanas distintas, como também se altera no tempo numa mesma cidade, consoante as condições meteorológicas ou a sazonalidade. Assim, as ICU podem assumir geometrias tão distintas como um padrão térmico concêntrico, tentacular ou múltiplo - *hotspots* dispersos pela área urbana -, muito embora, em termos de ciclo diário, a sua intensidade máxima seja comumente verificada depois do pôr-do-sol, ou durante a noite. Nos climas quentes e/ou durante o período estival em que se verifique a existência de uma ICU, a presença deste diferencial de temperatura pode exacerbar a exposição ao calor. Esse diferencial positivo pode contribuir para o aumento da mortalidade e morbilidade, em contexto de tempo muito quente, encontrando-se documentada e referida em literatura científica sobre a matéria, a associação entre calor extremo e patologias, tais como golpes de calor, exaustão, distúrbios de sono, problemas respiratórios e cardíacos, entre outros.

Localizada no centro da Área Metropolitana de Lisboa, a cidade de Lisboa, segundo o PMAAC-AML (AML, 2018) está abrangida pela Unidade Morfoclimática (URCH) da Península de Lisboa e apresenta um regime térmico atual relativamente moderado no contexto da AML. Esta área, em conjunto com a Península de Setúbal, é a que possui maior percentagem de ocupação do solo por áreas urbanas, registando os valores de temperatura mínima mais elevados da AML, ao longo de todos os meses do ano, sendo ainda a que apresenta menor arrefecimento durante a noite. Verifica-se ainda, uma maior frequência de noites tropicais nestas unidades, chegando a registar-se na Península de Lisboa 11 noites tropicais.

RELATÓRIO SÍNTESE

<p> Aumentos generalizados da temperatura do ar na AML:</p> <ul style="list-style-type: none"> • verificado tanto nas temperaturas mínimas como nas máximas • mais pronunciados nas temperaturas mínimas <p>Aumentos das temperaturas mínimas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tendências significativas à escala anual, sazonal e mensal (única exceção: dezembro) • incrementos acentuam-se de oeste para leste • menos acentuados no Litoral Ocidental e nas Serras e Colinas da Estremadura, e mais pronunciados na Peneplanície • mais acentuados na Primavera (entre +0,60 e +1,04) e no Verão (entre +0,46 e +0,97) • máximos incrementos em maio e junho <p>Aumentos das temperaturas máximas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tendências significativas à escala anual, na Primavera e no Verão • incrementos relativamente homogêneos na AML • na Primavera, entre +0,57 e +0,64 • no Verão, entre +0,35 e +0,45 	<p> Aumento da frequência de dias de verão:</p> <ul style="list-style-type: none"> • entre +7 e 8 dias • aumento no Verão e na Primavera <p>Aumento da frequência de noites tropicais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • entre +3,5 e 4 noites • aumento no Verão <p>Aumento da frequência do número de ondas de calor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • entre +0,5 +0,8 ondas • aumento mais acentuado na Península de Setúbal e na Peneplanície <p>Aumento da frequência do número de dias em onda de calor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • entre +2,5 +3,5 dias • aumento mais acentuado na Península de Setúbal e na Peneplanície
---	---

Fonte: PMAAC – AML, Relatório de Definição do Cenário base de adaptação para a AML, Página 167

Figura 2 - Tendências recentes de evolução climática na AML para a subida de temperatura

Segundo o mesmo estudo, as projeções bioclimáticas no território metropolitano para o futuro até final do século XXI mostram que *“é expectável que a subida da temperatura do ar e o aumento do número de dias de stress térmico devido ao calor se agravem nas áreas de densidade urbana média e elevada, nomeadamente, onde ocorre o efeito ilha de calor”*.

Em síntese, as projeções do clima futuro apontam para um continuado aumento generalizado da temperatura do ar e dos eventos de calor extremo, o que requer um acompanhamento e investimento na atualização do conhecimento científico que possam alicerçar estratégias de planeamento e gestão da cidade de Lisboa.

RELATÓRIO SÍNTESE

II. INTRODUÇÃO

O presente documento constitui a síntese dos estudos desenvolvidos no âmbito da candidatura ao projeto “**Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas**”.

Tendo em vista que:

- as OC e a ICU são fenómenos meteorológicos distintos resultantes de estados de tempo específicos. As OC resultam da presença estacionária de anticiclones de larga escala que geram anomalias positivas de temperatura numa região alargada, seja urbana ou rural. A ICU representa um fenómeno de escala local que ocorre devido às diferentes características da superfície urbana (albedo, calor específico, utilização do solo);
- os eventos extremos como as OC e as ICU têm um impacto direto superior em ambientes urbanos por diversas razões, nomeadamente: os índices construtivos e a predominância de materiais de construção utilizados nas cidades (como por exemplo, o betão e o asfalto, fracos refletores de radiação solar e com uma capacidade elevada armazenar calor durante o dia), as atividades emissoras de calor (como os sistemas de transportes, a iluminação e a climatização dos espaços). Este calor é depois libertado para o ambiente durante a noite, criando um gradiente de temperatura acentuado entre as cidades e o meio rural envolvente. Este efeito é designado por Ilha de Calor Urbano (ICU).
- presentemente Lisboa regista ocorrências de OC e efeitos de ICU, prevendo-se no futuro a curto, médio e longo prazos uma tendência para o seu agravamento, com impacto direto sobre a população, com especial destaque para os grupos sensíveis, e as atividades diárias.

E a necessidade do município

- i) aprofundar o conhecimento sobre o desempenho da cidade de Lisboa face a estes fenómenos e;
- ii) dispor de ferramentas auxiliares ao planeamento, gestão municipal em situações de normalidade e de emergência, capazes de definir opções em termos de planeamento e de ordenamento do território para uma atuação imediata conjunta.

Foi desenvolvido este projeto que integra cartografia temática, estudos técnico-científicos e recomendações, mais especificamente:

- **Produção de Cartografia Numérica Vetorial** à escala 1:1000, em formato digital, construída com o objetivo de caracterizar e mapear os efeitos da temperatura elevada. Esta cartografia foi produzida no Sistema de Coordenadas ETRS89 sobreponível a diversos temas de informação geográfica municipal, que permite a representação da orografia em 3D e a visualização tridimensional da superfície do terreno através do Modelo Numérico Altimétrico (MNA);
- **Modelo Tridimensional da Ocupação Urbana Superficial**, modelação efetuada para se avaliar a ocupação das superfícies a 3 dimensões, construído a partir da justaposição das cotas de pontos no parque edificado, associadas ao levantamento da Cartografia Numérica Vetorial ao Modelo Numérico Altimétrico **Estudo do Regime das Ondas de Calor na Área Metropolitana de Lisboa**, para atualizar e aprofundar a caracterização do clima atual (de referência) e das projeções climáticas da temperatura e das ondas de calor, em termos de frequência, duração e intensidade, no município de Lisboa e grande parte da AML, sendo considerado o cenário de emissões de gases com efeito de estufa RCP8.5;

RELATÓRIO SÍNTESE

- **Mapas Climáticos Urbanos**, para se avaliar o impacto à escala da cidade de Lisboa da geometria urbana, em termos de ilha de calor urbano, devido à forma como influencia a ventilação e os balanços radiativo e energético nas cidades. Assim, foram analisados os parâmetros da geometria urbana relevantes para a determinação da densidade urbana para fins bioclimáticos nos cenários de ocupação e clima atual e ocupação e clima futuro;
- **Identificação das Ilhas de Calor Urbano e Simulação para áreas críticas na cidade de Lisboa**, elaborado para a caracterização da ilha de calor urbano atual na cidade, partindo da identificação dos tipos de tempo locais dominantes (TTL), da caracterização do ritmo diário e da intensidade da ICU através da monitorização de dados de observação da rede urbana do IGOT em complemento à estação meteorológica da rede principal do IPMA, estação Lisboa/Aeroporto, e ainda da identificação à mesoescala, do padrão espacial de ICU atuais representativas de cada TTL. Foram realizadas simulações das ICU futuras previstas tendo por base a identificação de intervenções urbanísticas projetadas em cenário de aquecimento da atmosfera RCP8.5, para o final do século; tendo-se definido 2 casos de estudo de áreas críticas (Baixa de Lisboa e a Alta de Lisboa) para modulação à microescala climática; com cenarização e mapeamento de medidas de mitigação das ilhas de calor urbano, e apresentação de orientações climáticas para o planeamento urbano da cidade de Lisboa que permitam aumentar o conforto térmico em contexto de cidade e de bairro;
- **Modelação do Balanço Energético da cidade de Lisboa, através da** simulação realizada com o objetivo de aprofundar do conhecimento da situação atual em termos de comportamento térmico da Cidade, com incorporação no estudo da ICU a sua avaliação ao nível da meso e micro escala em função da variação de fatores antropogénicos com implicações no balanço energético da Cidade e simulação microclimática para o clima futuro nas duas áreas críticas (Praça do Município na Baixa de Lisboa e Quarteirão na Alta de Lisboa) e cenários com medidas de mitigação e adaptação. Recomendações da correlação e avaliação da informação e do registo de variáveis com implicações no balanço radiativo na cidade foram produzidas para linhas de ação ao nível do tráfego automóvel e da instalação de painéis solares fotovoltaicos; foi realizada a **simulação à microescala de 2 quarteirões** consolidados atualmente existentes na cidade (Praça do Município e quarteirão do Alto de Lisboa), incluindo a avaliação de medidas de mitigação/adaptação à ICU; e ainda a simulação à microescala de 2 projetos de construção futura numa área atualmente expectante.

De realçar que o último capítulo que consta deste relatório versa uma série de orientações climáticas para a cidade de Lisboa, decorrentes dos estudos efetuados, e identifica desafios e estudos a desenvolver num futuro próximo.

O **Estudo Ondas de Calor**³ abrange várias escalas de análise:

- i) compreende um enquadramento, à **escala da Área Metropolitana**, de caracterização das Ondas de Calor e das Ilhas de Calor Urbano, no clima presente e cenários climáticos futuros;
- ii) à escala do município, a produção da Cartografia Numérica Vetorial permitiu a construção do modelo tridimensional da ocupação urbana superficial a partir do qual foram gerados os mapas climáticos urbanos e os mapas de Intensidade e Ilhas de Calor Urbano;

³Designação reduzida para o Projeto “**Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas**”.

RELATÓRIO SÍNTESE

- iii) à microescala, a simulação de duas áreas críticas (Baixa de Lisboa e Alto de Lisboa) considerando os cenários de alterações climáticas futuras

Os capítulos que são apresentados de seguida constituem uma sinopse elaborada pela equipa responsável por cada um dos estudos desenvolvidos, pretendendo, de uma forma clara, com uma linguagem acessível e dirigida ao público em geral, sintetizar os resultados apresentados nos 15 relatórios e 33 mapas produzidos no âmbito deste projeto (com exceção da Cartografia Numérica Vetorial). Complementarmente, toda a documentação técnica encontra-se disponibilizada no sítio da Câmara Municipal Lisboa através do seguinte link:

<https://www.lisboa.pt/cidade/urbanismo/planeamento-urbano/teste-outros-estudos-e-planos/ondas-de-calor>.

RELATÓRIO SÍNTESE

III. CARTOGRAFIA NUMÉRICA VETORIAL

A produção da Cartografia Numérica Vetorial do Concelho de Lisboa decorreu dum Concurso Público Limitado por Previa Qualificação, com Publicitação Internacional (anúncio de abertura publicado em 26-04-2016), tendo sido adjudicado em janeiro de 2017, sendo por isso anterior à Candidatura “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas”, de 2018.

À data a Câmara Municipal de Lisboa não dispunha de cartografia atualizada e homologada.

Em 2016 foi realizado um voo (maio de 2016) para a realização da cobertura aerofotográfica de todo o concelho, do qual resultou um Ortofotomapa à escala 1:1000, já homologado e que serve de base a toda a produção de cartografia temática da cidade de Lisboa, especialmente no que se refere aos instrumentos de gestão territorial.



Figura 3 - Ortofotocartografia à escala 1:1000, voo 2016

A partir deste voo foram produzidos vários modelos cartográficos, entre os quais o Modelo Numérico Altimétrico (MNA), o Modelo Numérico Topográfico (MNT) e o Modelo Numérico Topo-Cartográfico (MNTC).

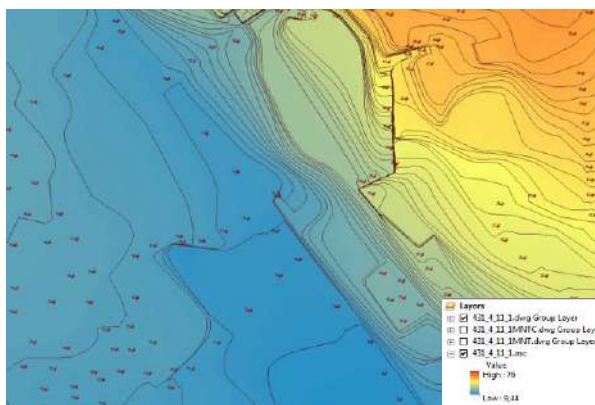


Figura 4 – Modelo Numérico Altimétrico

RELATÓRIO SÍNTESE

Toda a cartografia produzida teve por base as seguintes especificações técnicas:

ETRS89-TM06

Referencial Planimétrico

Elipsóide referência: GRS80

Projeção cartográfica: Transversa de Mercator

Origem das Coordenadas Retangulares:

Latitude: 39° 40' 05",73 N

Longitude: 8° 07' 59",19 W

Falsa origem: M=0 metros; P=0 metros

Fator de Escala no Meridiano Central: 1,0

Referencial Altimétrico: Datum Cascais (1938)

A cartografia agora produzida apresenta como principais diferenças em relação ao modelo cartográfico base:

- As vias de comunicação e os muros com largura superior a 50cm passam a ter geometria poligonal;
- Existência de pontos cotados nos corpos balançados, recuados e elevados;
- Passam a estar delimitados e identificados outros objetos específicos da realidade territorial do município de Lisboa.

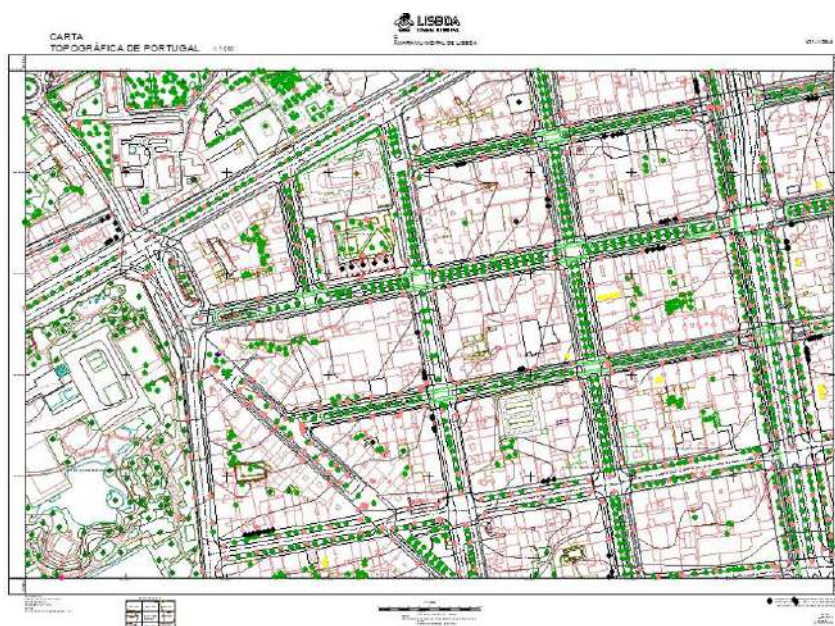


Figura 5 – Extrato de uma Carta topográfica- formato DWG

IV. MODELO TRIDIMENSIONAL DA OCUPAÇÃO URBANA SUPERFICIAL PARA O CONCELHO DE LISBOA

O Modelo Tridimensional da Ocupação Urbana Superficial da cidade de Lisboa permite consolidar, tratar e projetar em 3D a informação cartográfica que o município dispõe proveniente do voo aéreo de 2016.

No âmbito da execução do projeto tridimensional da ocupação urbana superficial do concelho os trabalhos realizados desenvolveram-se ao longo de diferentes fases de execução, desde a conversão de dados geográficos provenientes do voo de 2016, passando pela conversão dos dados planimétricos em modelos altimétricos, culminando no desenho pormenorizado do edificado de duas áreas selecionadas pelo município.

Numa fase prévia procedeu-se à análise e ao tratamento de dados fornecidos pela CML. Esta tarefa consistiu na compilação e análise de toda a informação planimétrica e altimétrica, nomeadamente: a informação relativa aos objetos do parque edificado; ao Modelo Numérico Altimétrico para suporte à produção do Modelo Tridimensional da Ocupação Urbana Superficial, sobre o qual foi efetuada a extrusão dos elementos constituintes da superfície; da Informação relativa às “Árvores”; da Cobertura aérea à escala 1:1000 datada de 2016; do projeto de triangulação aérea; das Intervenções urbanísticas projetadas (edifícios do futuro); da delimitação dos dois quarteirões na zona da Baixa de Lisboa e na Zona Alta de Lisboa.

A nível do processamento da informação foi realizado o tratamento de dados o que consistiu essencialmente na conversão dos dados fornecidos pelo Município, centrando-se na análise da informação planimétrica existente e nos pontos cotados de referência para projetar tridimensionalmente as infraestruturas associadas ao projeto.



Figura 6 - Tratamento de dados

A primeira fase do projeto consistiu no desenvolvimento do modelo 3D do parque edificado existente à escala 1:1.000 e dos aglomerados arbóreos existentes à escala 1:5.000.

Utilizando a informação de base recebida sobre a altimetria (curvas de nível e pontos cotados) (Figura 6), gerou-se o modelo digital de terreno (MDT). Este processo permitiu a obtenção da base para o cálculo dos valores de extrusão dos edifícios e das árvores e dos outros elementos. O MDT foi utilizado como base de implementação das diferentes *layers* do projeto como é elucidativo o exemplo da rede viária da Figura 7 Sendo que este processo foi a todos os objetos da ocupação superficial do território considerados como sendo relevantes para o projeto em questão, tais como: edificado, árvores, passeios e ciclovias.

RELATÓRIO SÍNTESE

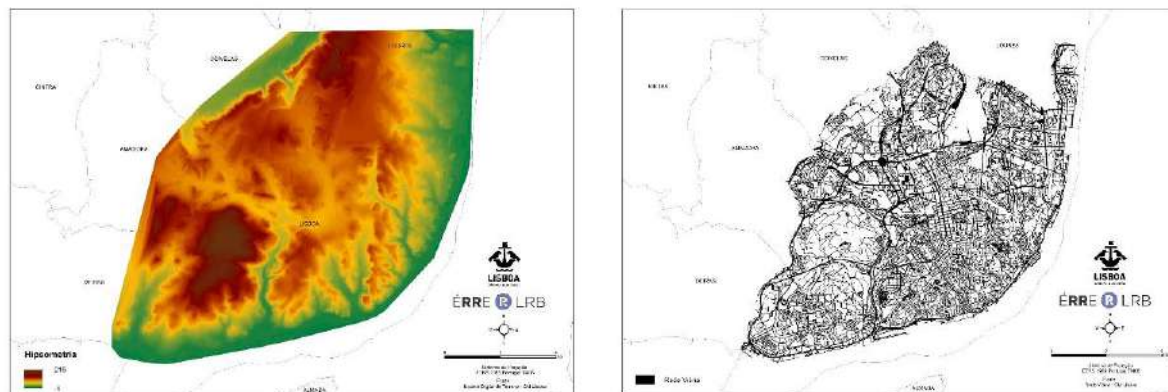


Figura 7 - Modelo Digital do Terreno e elementos 3D

Com base nos parâmetros referidos, toda a superfície do território de Lisboa, passa a estar assente num modelo tridimensional, passível de ser utilizado em modelação e estudos do território ou de ser integrada na plataforma tridimensional (Figura 8).



Figura 8 – Modelo 3D de Lisboa

Ao longo da Fase 2 os trabalhos realizados foram os seguintes:

- i) Modelo 3D virtual da ocupação urbana superficial à escala 1:1000, com inclusão das edificações resultantes das intervenções urbanísticas projetadas;
- ii) Modelo 3D virtual da ocupação urbana superficial projetada à escala 1:1000 (cidade existente e futura) e
- iii) Detalhe do Modelo 3D do parque edificado em dois bairros situados em áreas críticas da Ilha de Calor Urbano, identificados pela CML, com a obtenção da informação relativa ao tipo de coberturas simplificadas e elementos de fachada do edificado (*Level of detail* -LOD3) nas áreas de interesse da Baixa e da Alta de Lisboa.

Nesta fase o modelo tridimensional do município assume uma nova dimensão espacial permitindo uma análise do território na vertente planimétrica e altimétrica. Como forma de potencializar a modelação tridimensional do concelho, para além da informação proveniente do voo de 2016, foram realizados voos com Drones (VANS), promovendo um aerolevantamento de imagens oblíquas e de fachada dos imóveis em 360°, com altitude média de 30 metros acima dos objetos mais elevados da superfície, produzindo um acervo de imagens com resolução GSD entre 0,5 cm e

RELATÓRIO SÍNTESE

2,5 cm por *pixel* (Figura 9). Os voos foram efetuados em áreas específicas da cidade: - Alta de Lisboa, Baixa de Lisboa, Parque das Nações e Telheiras (Figura 9).

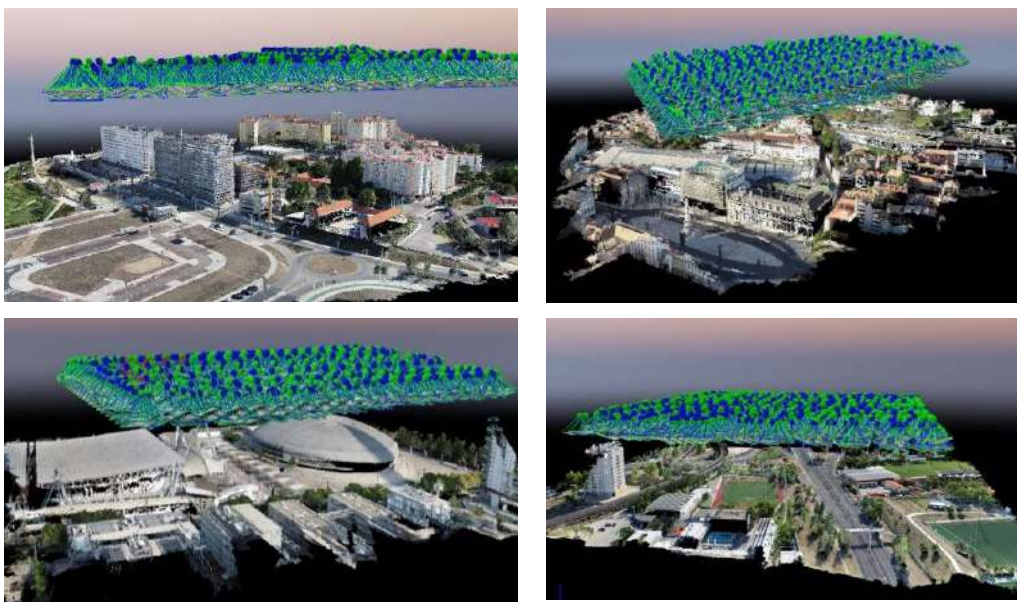


Figura 9 - Voos (parciais) das zonas: Alta, Baixa, Parque das Nações e Telheiras (com identificação dos pontos obtidos nos voos com drone)

No decorrer do projeto, as diferentes fases de tratamento de dados e a obtenção de informação tridimensional, cada vez com mais detalhe, culminou na obtenção do modelo 3D de detalhe LOD3 em duas zonas específicas, propostas pela CML, coincidentes com áreas críticas da Ilha de Calor Urbano.

Os voos efetuados com recurso aos Drones permitiram obter elementos que acrescentam qualidade de detalhe relativa ao tipo de coberturas simplificadas e elementos de fachada do edificado nas áreas de interesse da Baixa e da Alta de Lisboa.

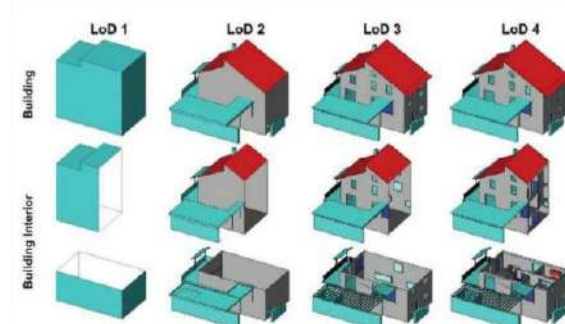


Figura 10 - Level of detail (LOD)

RELATÓRIO SÍNTESE

Através do processo de fotogrametria, que assentou no levantamento (voos com drone) das áreas da Alta e da Baixa de Lisboa, e após o processamento dos dados, convertendo as fotografias de alta resolução, em nuvens com milhares de pontos por imagem, obtivemos os dados necessários para obter o LOD 3 das áreas definidas (Figura 11 e Figura 12)



Figura 11 – LOD 3 da área da Alta de Lisboa

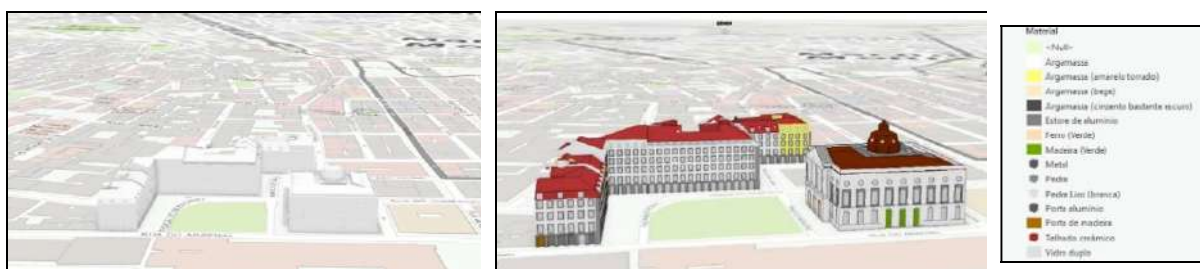


Figura 12 – LOD 3 da área da Baixa de Lisboa

RELATÓRIO SÍNTESE

V. O REGIME DAS ONDAS DE CALOR NA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA

No quadro climático de aumento generalizado da temperatura do ar e de maior ocorrência de eventos de calor extremo o “Estudo do Regime das Ondas de Calor na Área Metropolitana de Lisboa”, teve em consideração três objetivos distintos:

1. O estudo do regime das ondas de calor na Área Metropolitana de Lisboa (AML) para o clima atual e futuro;
2. O estudo e cartografia da ilha de calor urbano na AML para o clima atual;
3. O estudo e cartografia da ilha de calor urbano na AML para o clima futuro.

Para responder ao primeiro objetivo, foi realizado um conjunto de simulações climáticas para três períodos climáticos: clima atual recente de referência (HIST: 1986-2005) e dois cenários climáticos futuros, um a médio prazo (MED: 2046-2065) e um a longo prazo (LONG: 2081-2100). Estes períodos são similares aos considerados no 5º Relatório⁴ do Painel Intergovernamental Sobre Alterações Climáticas (IPCC). Nas simulações para cenários climáticos futuros considerou-se o cenário mais grave quanto à emissão de gases com efeito de estufa – cenário RCP8.5. Sendo este, um dos cenários mais prováveis de ocorrer face ao desentendimento político internacional existente quanto à intenção de compromisso, por parte de muitos países, no processo de redução na emissão de gases com efeito de estufa.

Após a realização das simulações climáticas, foi elaborado um conjunto de simulações numéricas tendo como propósito estudar e mapear a ICU na AML. De realçar que estas simulações centraram-se num episódio de onda de calor do período atual, que foi identificada como a onda de calor com maior temperatura máxima média nas simulações climáticas forçada por dados de reanálises. A escolha deste episódio de onda de calor deve-se ao facto de ser durante este tipo de eventos que a ICU poderá ter maior impacto socioeconómico. A onda de calor ocorreu entre 29 de julho e 3 de agosto de 2003 (5 dias), com uma temperatura máxima média de 36.98°C e máxima absoluta de 41.1°C.

Por último, e em resposta ao terceiro objetivo, procurou-se avaliar a ICU em Lisboa para cenários futuros, tendo em consideração a evolução expectável da cidade dentro dos limites do município, através da inclusão no uso do solo das áreas urbanas a consolidar até 2050 e 2100. Para além da evolução expectável da cidade, considerou-se ainda, os efeitos do calor antropogénico (i.e., calor libertado pelos veículos, edifícios e metabolismo humano) e da irrigação da fração verde das classes urbanas de uso do solo (i.e., espaços verdes urbanos) entre as 21 e as 22 horas (opção única no modelo). As simulações realizadas centraram-se em dois episódios de onda de calor. A primeira onda de calor é uma onda de calor típica identificada durante o período HIST nas simulações climáticas forçadas por dados do modelo climático global e serviu para avaliar o impacto do crescimento da cidade, calor antropogénico e irrigação. Esta onda de calor foi identificada no período entre 18 e 22 de junho de 2000 (4 dias), apresentando uma temperatura máxima média de 38.1°C e máxima absoluta de 41.2°C. A segunda onda de calor foi a que apresentou maior temperatura máxima média identificada nas simulações para o longo prazo e serviu apenas para

⁴ Este relatório compila e sintetiza os estudos de milhares de cientistas de todo o mundo sobre o aquecimento global, sendo o IPCC o resultado de uma cooperação entre a Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Este relatório veio confirmar que a atividade humana é a responsável pelo atual aquecimento do planeta e alerta para os perigos de nada se fazer para alterar esta situação.

RELATÓRIO SÍNTESE

avaliar o impacto que a intensidade da onda de calor tem na intensidade da ilha de calor urbano. Esta onda de calor foi identificada no período entre 10 e 20 de julho de 2008 (10 dias), com uma temperatura máxima média de 39.21°C e máxima absoluta de 41.3°C. De notar que nas simulações da ICU não foram consideradas ondas de calor para o médio prazo.

Os períodos de Onda de Calor identificados nas simulações forçadas por dados do modelo climático global no período atual e de longo prazo não apresentam uma correspondência com datas reais. Na verdade, a correspondência com dados reais ocorre apenas para a onda de calor de 2003, identificada na simulação do período atual forçada por dados de reanálises.

As simulações climáticas realizadas para o estudo do regime de ondas de calor no clima atual tiveram em consideração os três domínios de maior extensão espacial representados na Figura 13.

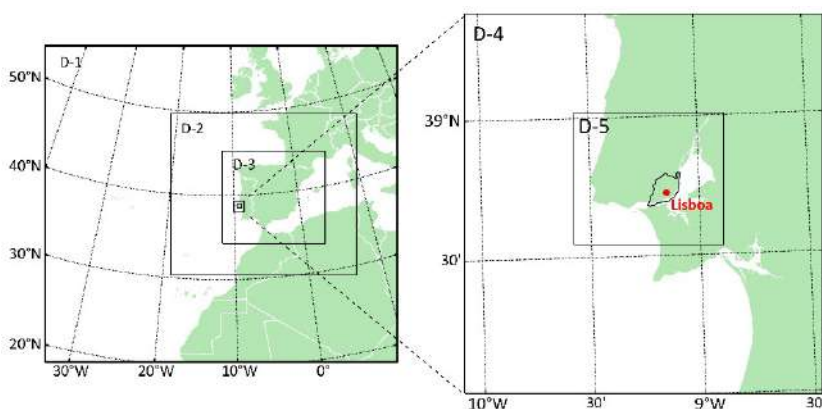


Figura 13 - Configuração de domínios usada nas simulações climáticas (D-1, D-2 e D-3) e nas simulações da ICU (D-1, D-2, D-3, D-4 e D-5)

Para o período atual foram realizadas duas simulações recorrendo, para o efeito, a dados de forçamentos diferentes: i) dados de reanálises ERA-Interim (do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) e ii) dados do modelo climático global MPI-ESM-LR (*Max Planck Institute Earth System Model – low resolution*). Para as simulações climáticas dos períodos de médio e longo prazo foram usados apenas os dados do modelo climático global como forçamento. A partir dos dados simulados foi selecionado o ponto da grelha do domínio D-3 sobre o município de Lisboa (38.8492°N, 9.1972°W) e extraídos os valores diários da temperatura máxima e mínima para os períodos atual e de médio e longo prazo. A partir das séries temporais destas variáveis foi calculada a amplitude térmica diária.

Para a validação dos resultados da simulação do período atual, forçada por dados de reanálises, foram obtidos dados diários em grelha da base de dados E-OBS (desenvolvida pelo *European Climate Assessment & Dataset*). Os dados das E-OBS foram previamente sujeitos a um controlo de qualidade e corrigidos quando necessário. Na avaliação da incerteza das projeções climáticas do

RELATÓRIO SÍNTESE

modelo WRF⁵, foram usados dados de saída de um conjunto 15 modelos regionais que fizeram parte do programa EURO-CORDEX⁶ (<https://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en>).

Neste estudo, uma onda de calor é definida como sendo um fenómeno que surge num período em que pelo menos em 3 dias consecutivos a temperatura máxima de cada dia é igual ou superior a um valor crítico de temperatura máxima para o dia respetivo. As ondas de calor são identificadas em todas as simulações para o período de 1 de maio a 31 de outubro de todos os anos em análise.

Nos diferentes estudos elaborados, as ondas de calor surgem caracterizadas pelas seguintes propriedades:

- Duração (dias) – dias de uma onda de calor;
- Intensidade (°C) – diferença média entre temperatura máxima e o valor da temperatura crítica diária para os dias de uma onda de calor;
- Temperatura máxima média dos dias da onda de calor (°C);
- Temperatura mínima média dos dias da onda de calor (°C);
- Fator de recuperação (°C) - Igual à diferença média entre temperatura máxima e mínima para todos os dias de uma onda de calor;
- Soma de temperatura máxima de todos os dias da onda de calor (°C).

Foi ainda calculado o número de ondas de calor e número de dias de ondas de calor em Lisboa durante os períodos em análise.

Nas **simulações da ICU para o clima atual** acoplou-se um modelo de canópia urbana ao modelo atmosférico. As simulações adotaram uma configuração de cinco domínios, sendo os primeiros três domínios os mesmos que os usados nas simulações climáticas. Os outros dois domínios representados na Figura 13, por D-4 e D-5 estão centrados no Município de Lisboa e têm uma resolução de 1 km e 333 m, respetivamente. As simulações consideraram o período de onda de calor identificado nas simulações climáticas do período atual quando forçadas por dados de reanálises e usaram como forçamento os mesmos dados. A validação dos resultados das simulações foi feita através da comparação com dados observados de nove estações meteorológicas localizadas em diferentes pontos da AML. A avaliação da ICU foi feita considerando valores de temperatura à superfície e a dois metros, usando dois métodos distintos:

Método 1 (Avaliação clássica) - comparação da média da temperatura nos pontos urbanos e rurais, ou através da comparação da temperatura de cada ponto urbano com a média da temperatura de todos os pontos rurais do domínio D-5. A ICU avaliada em cada ponto do domínio tem a contribuição de vários fatores, nomeadamente, a localização, topografia, e o tipo de superfície (urbano ou rural). Este método é aplicado porque permite a comparação com outros estudos previamente realizados e que utilizam esta definição de ICU. No entanto, o método não permite

⁵ O Modelo WRF - *Weather Research and Forecasting* é um modelo regional de previsão numérica de tempo desenvolvido para investigação e serviço operacional. Neste estudo foi usado para a obtenção das projeções climáticas a versão WRF3.5

⁶ O Programa EURO-CORDEX reúne simulações climáticas realizadas por um conjunto de modelos regionais para a Europa (Giorgi *et al.*, 2009). Este é o ramo europeu da iniciativa CORDEX que produz simulações climáticas em conjunto com base em vários modelos de *downscaling* dinâmicos e empírico- estatísticos forçados por vários modelos climáticos globais do *Coupled Model Intercomparison Project*, Fase 5. Todos os modelos têm uma resolução horizontal de ~50km e 12,5km

RELATÓRIO SÍNTESE

avaliar exclusivamente a contribuição do tipo de superfície (urbano/rural) num determinado local urbano, como é o caso de Lisboa.

Método 2 (Avaliação local) - comparação da temperatura de cada ponto urbano no caso em que o ponto está ocupado por classes urbanas e no caso em que está ocupado por classes rurais (através da substituição no uso do solo das classes urbanas por classes rurais). Este método permite avaliar a ICU em cada ponto e depende exclusivamente do tipo de superfície (urbana ou rural). Ou seja, permite comparar a temperatura de um local urbano com a temperatura do mesmo local se o mesmo fosse rural.

Para a avaliação da ICU usando o método de avaliação local (Método 2) procedeu-se à realização de uma simulação adicional onde as classes urbanas do uso do solo foram removidas.

A metodologia aplicada no **estudo da ICU no clima futuro** foi semelhante ao do estudo da ICU no clima atual, mas considerando o crescimento da cidade até 2050 e 2100, calor antropogénico, e irrigação dos espaços verdes urbanos e períodos respeitantes às duas ondas de calor selecionadas do clima atual e longo prazo forçadas por dados do modelo climático global. Neste estudo, a avaliação da ICU foi feita recorrendo apenas ao método de avaliação local (Método 2). O crescimento da cidade considera apenas alterações ao uso do solo dentro dos limites do concelho de Lisboa.

Para uma onda de calor do clima atual foram realizadas, de forma resumida, as seguintes simulações e respetivas alterações em cada uma:

Simulação 1 - simulação com o uso do solo representativo de Lisboa atual.

Simulação 2 – simulação 1, mais calor antropogénico e irrigação dos espaços verdes urbanos.

Simulação 3 – simulação 2, com o uso do solo representativo de Lisboa em 2050.

Simulação 4 – simulação 2, com o uso do solo representativo de Lisboa em 2100.

Para uma onda de calor do clima a longo prazo foi realizada a:

Simulação 5 – simulação 4, mas para a onda de calor identificada no clima LONG.

Para além destas foram feitas mais duas simulações de referência (uma para cada onda de calor), em que as classes urbanas do uso do solo foram removidas. Tal como nas simulações da ICU no clima atual, é em relação a estas simulações de referência que a ICU das Simulações 1, 2, 3, 4 e 5 é avaliada.

Estudo do regime das Ondas de Calor na Área Metropolitana de Lisboa para o clima atual e futuro

Tendo por base as simulações climáticas com o modelo WRF e dos modelos do EURO-CORDEX para os períodos climáticos atual, médio e de longo prazo, são aqui apresentadas as principais conclusões para o Concelho de Lisboa do estudo do regime de ondas de calor na AML para o clima

RELATÓRIO SÍNTESE

atual e futuro. Note-se mais uma vez que as projeções futuras consideram o cenário de emissões RCP8.5⁷.

No que concerne à temperatura:

- A média anual da temperatura mínima diária irá aumentar 1.6°C no clima a médio prazo e 3.1°C no clima a longo prazo, relativamente ao clima atual.
- A temperatura máxima diária média anual sofrerá um aumento de 1.6°C e 3.6°C, respetivamente. Estes valores correspondem a um aumento da amplitude térmica relativo ao período atual de 0.3°C no médio prazo e 0.5°C no longo prazo.
- Os meses de julho a outubro sofrerão os maiores aumentos destas variáveis nos períodos médio e longo prazo, enquanto os meses de dezembro a março registam os menores aumentos.
- Julho regista os maiores aumentos em relação ao período de referência. Para o período de médio prazo o aumento será de 2.1°C na temperatura mínima e 2.6°C na temperatura máxima. No período de longo prazo estes aumentos serão de 4.2°C e 5.3°C, respetivamente (Figura 14)

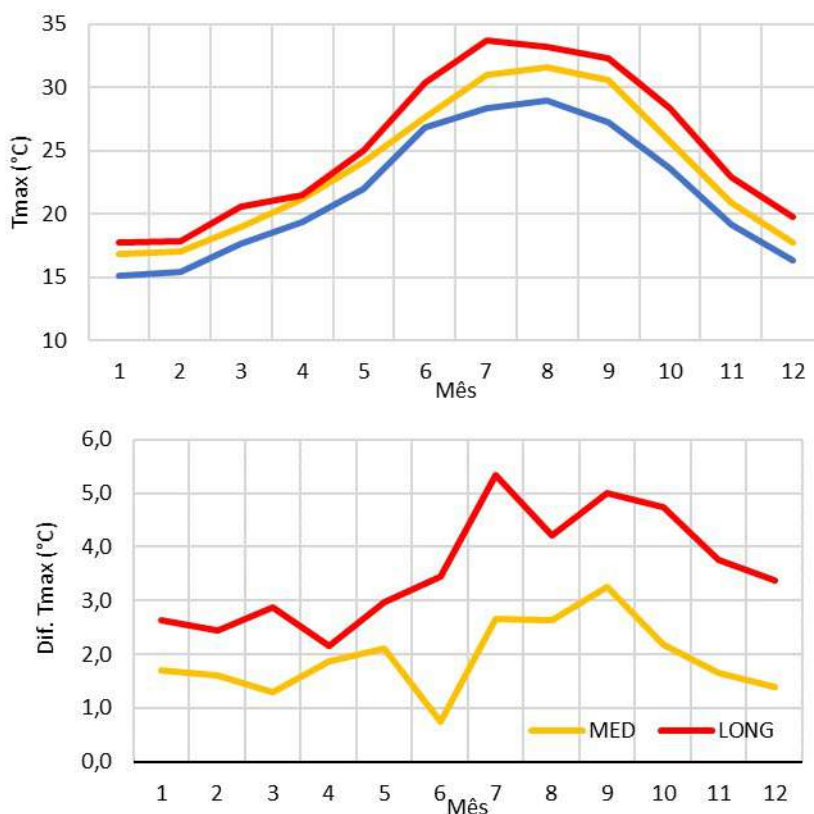


Figura 14 - (em cima) Temperatura máxima média mensal para HIST, MED e LONG e (em baixo) anomalias da temperatura máxima média mensal para MED e LONG relativas a HIST em Lisboa.

⁷ O RCP8.5 (Moss *et. al.*, 2008) é o cenário futuro que representa apenas ligeiras reduções de emissões de gases com efeito de estufa, sendo o mais provável de ocorrer face ao desentendimento político internacional.

RELATÓRIO SÍNTESE

Relativamente às Ondas de Calor

- A média anual do número de dias de onda de calor no clima atual é de 10.7 dias. Passando a ser de 38.3 dias no clima a médio prazo, e de 63.5 dias no clima a longo prazo (Figura 15a);
- Quanto ao número de ondas de calor, intensidade, duração (Figura 15b), temperatura máxima média das ondas de calor, irá também aumentar, com o valor médio anual acumulado das temperaturas máximas das ondas de calor a aumentar dos 358°C no período atual para os 1270°C no clima a médio prazo e 2078°C no período de longo prazo (Figura 15c e Figura 15d);
- Os meses de julho a outubro apresentam o maior aumento no número de dias de onda de calor e no somatório das temperaturas máximas dos dias de onda de calor. Para os meses extremos do período considerado para a identificação das ondas de calor e, portanto, os mais frios (maio e outubro) terão um número de dias de onda de calor e valores do somatório das temperaturas máximas dos dias de onda de calor muito superiores aos que se registam atualmente para os meses mais quentes (julho e agosto).
- As ondas de calor com temperatura máxima diária igual ou superior a 40°C (i.e., ondas de calor extremas) só deverão ocorrer no período a longo prazo, correspondendo a 8% dos dias de onda de calor e 10% do somatório das temperaturas máximas dos dias de onda de calor desse período.

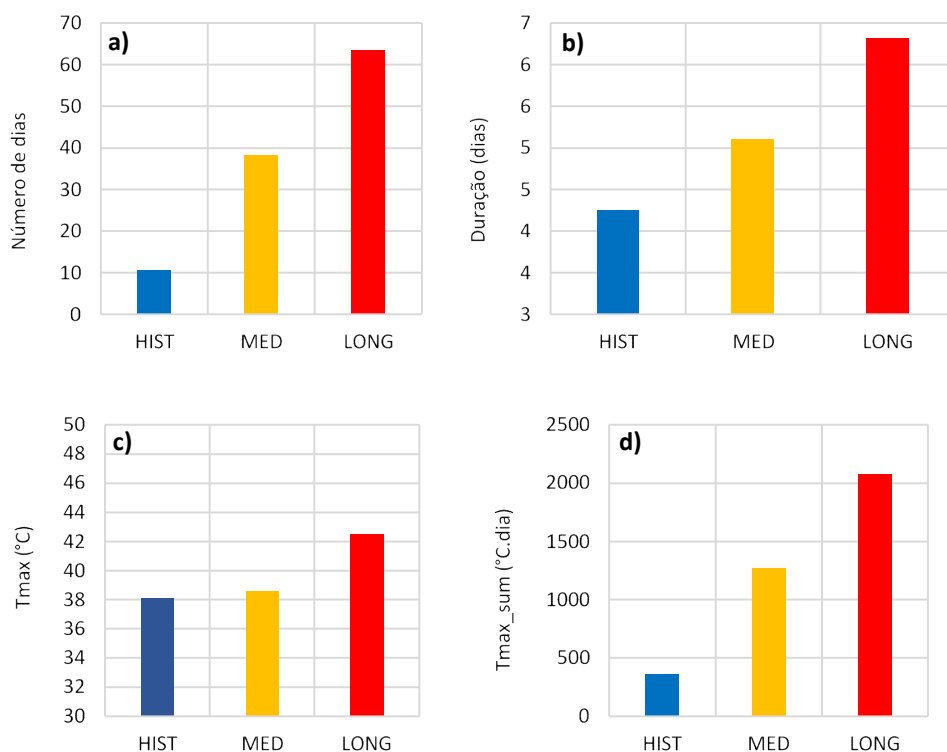


Figura 15 - Para os períodos atual, médio e longo prazo: (a) Número médio anual de dias de onda de calor, (b) duração média das ondas de calor, (c) temperatura máxima média, máxima de todas as ondas de calor, (d) média anual da soma de temperatura máxima de todos os dias da onda de calor em Lisboa.

RELATÓRIO SÍNTESE

Estudo e cartografia da Ilha de Calor Urbano na AML para o clima atual

O estudo da ICU durante o período de onda de calor que ocorreu de 28 de julho a 3 de agosto de 2003 permitiu perceber que este fenómeno é altamente condicionado por fatores locais como a topografia, presença do Oceano Atlântico, a oeste, e Estuário do Tejo, a sul, e oeste da cidade. Para além disso, a ICU é também influenciada pelas condições sinóticas do vento que facilitam o transporte do excesso de temperatura para regiões na direção contrária ao vento, diminuindo assim a temperatura local.

Como auxiliar à análise das conclusões aqui apresentadas na Figura 16 é mostrada a representação do uso do solo no domínio D-5 das simulações numéricas da ICU. Como se pode verificar, consideraram-se três classes urbanas de uso do solo: baixa intensidade residencial, alta intensidade residencial, e comercial e industrial. Os pontos do mapa da Figura 16 classificados com uma destas classes têm uma ocupação urbana de 50%, 90%, e 95%, respetivamente, sendo a restante percentagem ocupada por espaços verdes urbanos.

A ICU foi avaliada segundo dois métodos distintos: Método 1 (Avaliação clássica) e Método 2 (Avaliação local). A avaliação da ICU com os dois métodos mostrou resultados coerentes entre as duas abordagens, mas com intensidades diferentes, daí ser importante usar diferentes metodologias neste tipo de estudos.

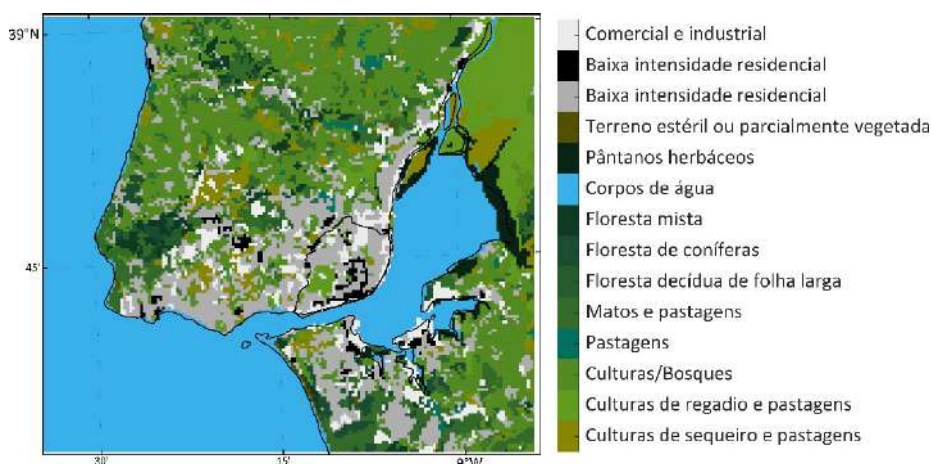


Figura 16 - Mapa de uso do solo no domínio de simulação D-5.

Os resultados obtidos pela análise das simulações permitiram verificar que a ICU em Lisboa é fundamentalmente um fenómeno noturno (i.e., em média, as zonas urbanas apresentam temperaturas superiores às zonas rurais envolventes). Durante o período diurno da onda de calor de agosto de 2003, a temperatura urbana na superfície e a 2 metros foi inferior à rural, evidenciando o conhecido fenómeno de “ilha de frescura”. Na avaliação pelo método clássico para o período diurno, obtiveram-se na média do domínio D-5 valores para a temperatura a 2 metros e da superfície $\sim 2^{\circ}\text{C}$ e $\sim 3^{\circ}\text{C}$ superiores à rural, respetivamente, enquanto pelo método local estes valores foram de $\sim 0.7^{\circ}\text{C}$ e $\sim 2^{\circ}\text{C}$. Os resultados obtidos mostram também que a intensidade da ICU é superior no Município de Lisboa relativamente à intensidade quando se considera todos os pontos urbanos do domínio D-5 (i.e., grande parte da AML), independentemente do método de avaliação aplicado. No entanto, a intensidade da ICU obtida pelo método de avaliação clássico é superior à da

RELATÓRIO SÍNTESE

avaliação pelo método local. Este último resultado permite perceber o grande impacto da não consideração de fatores geográficos locais neste tipo de estudos.

Como seria de esperar, uma grande parte da intensidade da ICU noturna é devida às classes urbanas com maior percentagem de ocupação urbana (i.e., alta intensidade residencial e comercial e industrial) (Figura 17). Segundo o método clássico e para o Município de Lisboa, as temperaturas noturnas da superfície e a 2 metros nestas classes foram em alguns locais, 6°C (10°C em alguns pontos da AML) e 3.5 °C (4.5°C em alguns pontos da AML) superiores às rurais (Figura 18), respetivamente. Este resultado reforça a importância da utilização dos espaços verdes em zonas urbanas para diminuição da ICU. Na avaliação pelo método local, estes valores diminuem em média cerca de 1°C para a temperatura a 2 metros e 2°C para a temperatura da superfície. Durante o dia, as zonas de baixa intensidade residencial foram as que mais contribuíram para a “ilha de frescura” verificada durante a onda de calor em análise.

A diferença de temperatura entre pontos urbanos e rurais deve-se à maior capacidade térmica das superfícies e materiais urbanos, que durante o dia armazenam mais energia e durante a noite libertam o excesso de energia acumulada.

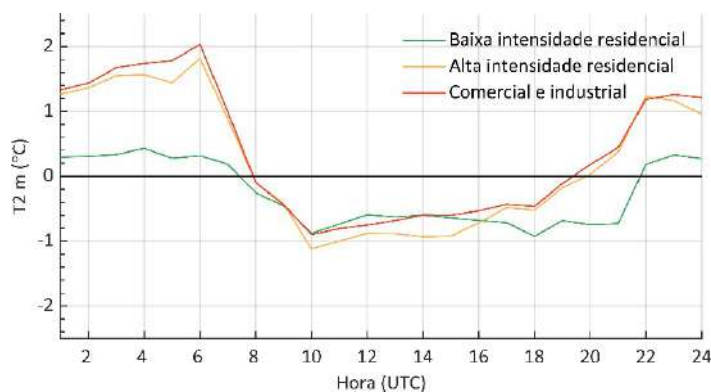


Figura 17 - Decomposição da média espacial no domínio D-5 da ICU a 2 metros nas diferentes classes urbanas de uso do solo, durante a OC de agosto de 2003. Ciclo diário obtido usando o método de avaliação local (Método 2). Valores apresentados em °C.

RELATÓRIO SÍNTESE

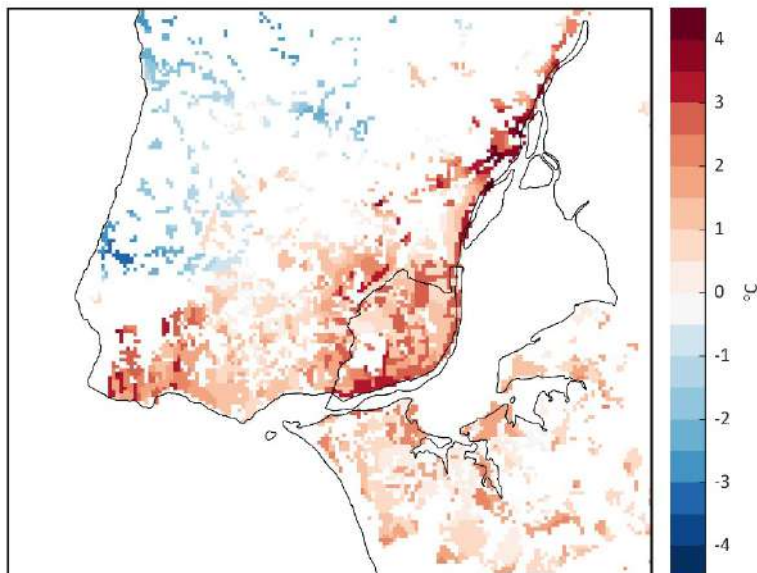


Figura 18. Campo médio temporal da ICU noturna durante a OC de agosto de 2003. Campo da ICU obtido usando o método de avaliação clássica (Método 1) no domínio D-5. Valores apresentados em °C.

Estudo e cartografia da Ilha de Calor Urbano na AML para o clima futuro

Na sequência da análise às simulações realizadas, apresentam-se em seguida as principais conclusões obtidas do estudo da ICU para o Município de Lisboa em cenários climáticos futuros.

Na Figura 19 são mostrados os perfis do ciclo diário do calor de origem antropogénica usados nas simulações, como é o caso do calor libertado pelo metabolismo humano (curva azul), calor libertado pelos veículos (curva vermelha), consumo elétrico (curva verde) e o calor antropogénico total (curva negra). Na Figura 20 é mostrada uma ortofoto (imagem de satélite) do município de Lisboa na atualidade, os mapas do uso do solo da Lisboa atual, e as áreas a consolidar até 2050 e 2100. Note-se que, para efeitos de estudo se considerou que as áreas a consolidar correspondem à classe de alta intensidade residencial ou à classe comercial e industrial.

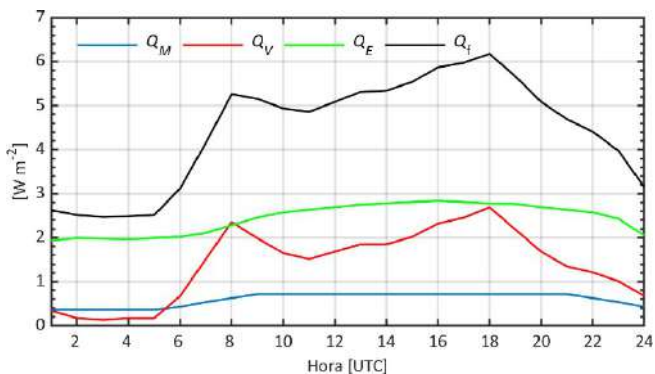


Figura 19 - Perfis do ciclo diário do calor de origem antropogénica usados nas simulações da ICU em cenários climáticos futuros, como é o caso do calor libertado pelo metabolismo humano (curva azul), calor libertado pelos veículos (curva vermelha), consumo elétrico (curva verde), e o calor antropogénico total (curva negra).

RELATÓRIO SÍNTESE

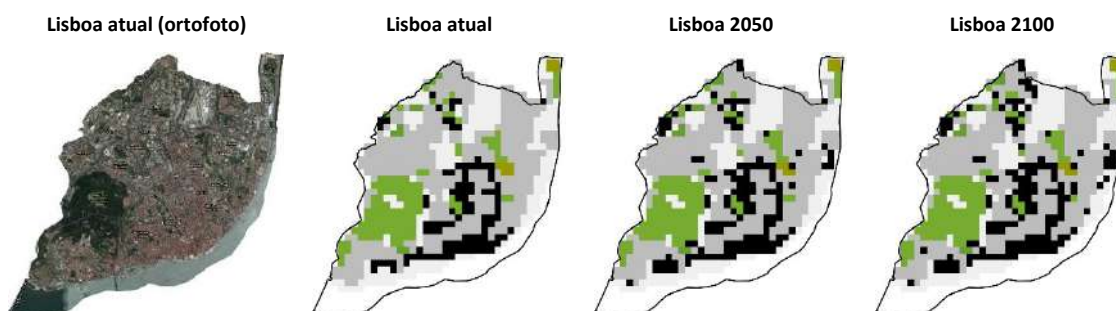


Figura 20 – (da esquerda para a direita) Ortofoto do Município de Lisboa atual; Representação do uso do solo atual no município; Representação do uso do solo tendo em conta as áreas do município a consolidar até 2050; Representação do uso do solo tendo em conta as áreas do município a consolidar até 2100. As áreas a branco dentro dos limites do ML correspondem a zonas do Domínio Público Hídrico.

- A comparação dos resultados entre as Simulações 1 e 2 mostra que durante o período noturno a introdução de irrigação nos espaços verdes urbanos permite compensar o efeito do calor antropogénico através do processo de evapotranspiração tendo ocorrido uma diminuição 10% (1% à superfície) da ICU noturna a 2 metros na média espacial do município. Por outro lado, durante o período diurno, houve um aumento da ICU em cerca de 7% (12% à superfície), explicado pela maior intensidade do calor antropogénico durante esse período.
- A alteração do uso do solo decorrente da introdução das áreas urbanas a consolidar até 2050 (i.e., Simulação 3) gerou um aumento da intensidade da ICU noturna a 2 metros de 6% (3% à superfície) e uma diminuição de 17% (5% à superfície) da ICU diurna, relativamente à Simulação 2. A introdução das classes urbanas a consolidar até 2100 (i.e., Simulação 4) geraram o maior impacto no aumento da ICU, com os valores médios da ICU diurna a 2 metros a subirem 25% (11% à superfície) e da noturna a subirem 30% (11% à superfície), relativamente à Simulação 3 (Figura 21).

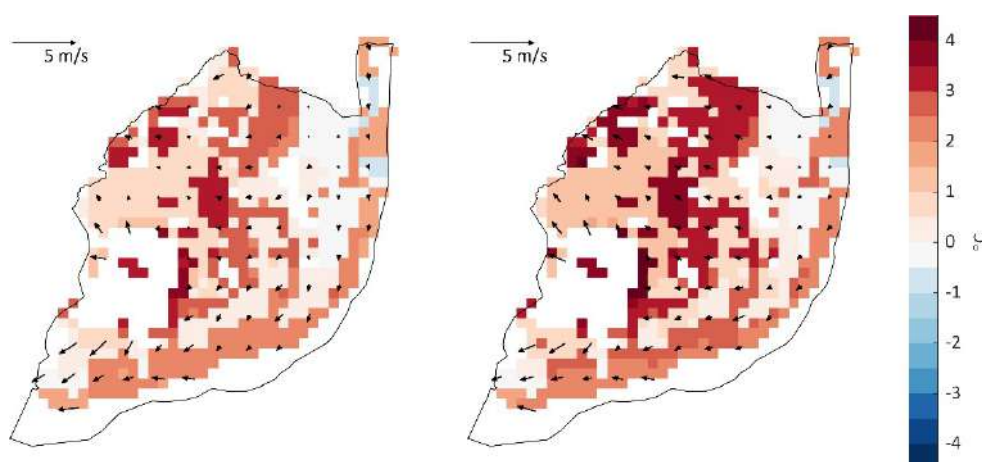


Figura 21 - Campos médios temporais da ICU noturna das Simulações 3 e 4 para a temperatura a 2 metros no Município de Lisboa, obtidos através do método de avaliação local (Método 2). Valores apresentados em °C. Os vetores sobrepostos aos campos da temperatura representam a média temporal do vento a 10 metros em cada uma das simulações. $5 \text{ m s}^{-1} = 18 \text{ km h}^{-1}$.

- A análise da ICU da Simulação 5 (i.e., simulação do período para o longo prazo) permitiu perceber que a intensidade da ICU não é diretamente proporcional à intensidade da onda

RELATÓRIO SÍNTESE

de calor, porque comparando a ICU desta simulação com a da simulação 4 (i.e., comparando simulações com a mesma configuração, mas com intensidades de onda de calor diferentes, sendo a onda de calor da Simulação 5 mais intensa), a ICU da Simulação 5 tem menor intensidade. Esta conclusão é também válida quando se compara a ICU da Simulação 5 com a da simulação da onda de calor de agosto de 2003 analisada no estudo da ICU no clima atual.

- Um dos fatores que mais influencia a intensidade da ICU é a direção e a intensidade média do vento junto à superfície. Simulações de ondas de calor com vento do quadrante norte têm menor intensidade de ICU, principalmente nas zonas de baixa intensidade residencial, enquanto simulações de ondas de calor com vento do quadrante leste têm uma intensidade de ICU maior. Quanto maior é a intensidade do vento, maior é a redução da ICU, principalmente a ICU a 2 metros, porque o excesso de temperatura é transportado pelo vento. Esta relação entre a intensidade da ICU e os regimes de vento são coerentes com os de outros estudos feitos anteriormente para a cidade de Lisboa.
- É também importante realçar o papel dos corredores de ventilação da cidade na dissipação da ICU. Estes são particularmente visíveis em zonas de menor intensidade residencial e em espaços verdes urbanos, ajudando à diminuição da ICU.

Com o aumento da frequência, intensidade e duração das ondas de calor em cenários climáticos futuros é expectável um agravamento dos impactos da ICU nos níveis de *stress* térmico, uma vez que os efeitos cumulativos entre as ondas de calor e da ICU deverão aumentar, principalmente durante o período noturno.

VI. MAPAS CLIMÁTICOS URBANOS

Os estudos efetuados revelaram que a morfologia e a geometria urbanas desempenham um papel decisivo na alteração das condições atmosféricas, ao nível da camada inferior da atmosfera. A densidade urbana, a altura e o volume dos edifícios, a proximidade entre eles, a sua orientação, são fatores que isoladamente e, sobretudo, conjugadamente, interferem nas condições aerodinâmicas e nas trocas radiativas e energéticas e, assim, influenciam a magnitude e a distribuição espacial da ilha de calor urbano, que é mais intensa onde a retenção de radiação e energia é mais elevada e as condições de ventilação são mais deficientes.

No âmbito deste projeto procedeu-se à avaliação dos graus de compacidade, de volumetria e de rugosidade aerodinâmica na cidade de Lisboa. Estes parâmetros são relevantes para a determinação da densidade urbana, conceito que aqui é entendido numa perspetiva climática e que traduz espacialmente o efeito cumulativo potencial do parque edificado nas condições de ventilação e na carga térmica no interior da cidade.

O cálculo e a espacialização dos vários índices associados à geometria urbana fornecem elementos que permitem compreender melhor a magnitude e o padrão espacial da ilha de calor urbana, dada a sua reconhecida influência na temperatura do ar na atmosfera urbana inferior. Pretende-se contribuir, também, para a tomada de decisões ao nível do ordenamento da cidade.

A determinação dos diversos parâmetros e índices foi efetuada com base na cobertura tridimensional do parque edificado existente em Lisboa e procedeu-se, também, à avaliação das alterações no parque edificado da cidade projetadas para o futuro próximo, tendo em conta os edifícios a demolir e os que estão previstos nos loteamentos aprovados até dezembro de 2018.

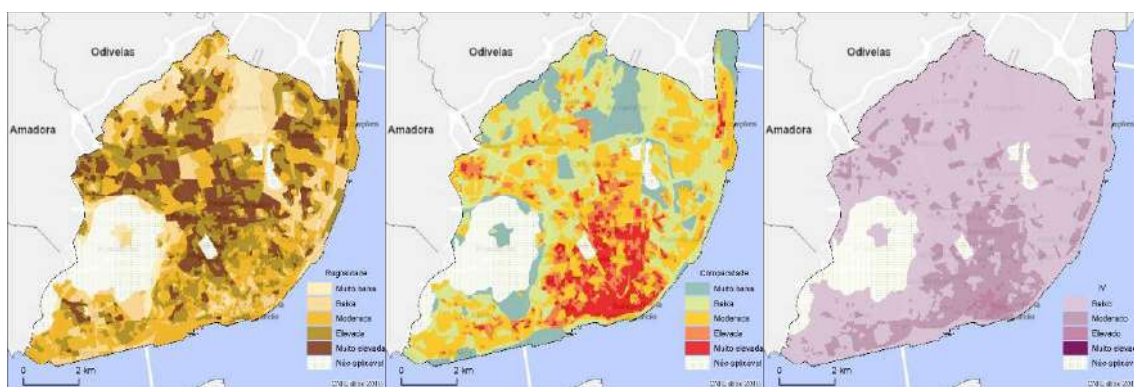
O desenvolvimento foi realizado em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), utilizando-se uma malha regular constituída por células de 100m² que cobre toda a cidade e os resultados foram generalizados ao nível da subsecção estatística. Utilizou-se a altura, a área e o volume dos edifícios, a área das suas fachadas expostas à direção predominante do vento na cidade de Lisboa e a distância entre eles, elementos necessários para o cálculo dos diversos índices.

No âmbito deste estudo, foram elaborados mapas nomeadamente:

- **Rugosidade aerodinâmica** (Figura 22A), a partir do comprimento da rugosidade (Z_0), que expressa o efeito de barreira à progressão do vento decorrente da presença dos elementos físicos nas áreas urbanas, em particular os edifícios; o atrito associado às características destes elementos provoca o empobrecimento das condições de ventilação no interior da cidade, com a consequente degradação da qualidade do ar e a intensificação da ilha de calor urbano, devido à menor transferência de calor por advecção. Lopes (2003), estimou uma redução da velocidade do vento em cerca de 7 km/h nas áreas centrais e meridionais da cidade de Lisboa, devido ao crescimento urbano durante a década de 80.
- **Compacidade** (Figura 22B) que pode ser avaliada, para fins climáticos, pelo quociente entre a altura dos edifícios e a distância que os separa (Lindberg et al, 2015; Masson et al, 2020) e expressa-se pelo índice H/W (*height/width ratio*); esta relação está entre os fatores da geometria urbana que mais contribuem para a alteração dos balanços radiativo e energético no interior das cidades estando, por isso, diretamente relacionada com a intensidade da ilha de calor urbano (Oke et al., 2017).

RELATÓRIO SÍNTESE

- Porção disponível na atmosfera urbana inferior para as trocas radiativas e energéticas. A volumetria do edificado influencia a ventilação e, de modo particular, a carga térmica na atmosfera urbana inferior, pela interferência na troca de fluxos radiativos e na absorção e/ou produção de calor; o espaço disponível para essas trocas na camada limite inferior pode ser avaliado através do grau de preenchimento tridimensional de uma dada área, traduzido pelo quociente entre o volume edificado e o volume máximo que essa unidade de análise pode conter – **Índice de Volumetria** (Figura 22 C).
- **Densidade urbana** (Figura 23), conceito que para fins bioclimáticos traduz a compacidade, a volumetria, a rugosidade aerodinâmica e o potencial efeito cumulativo destes aspetos nas condições térmicas e de ventilação na camada inferior da atmosfera urbana. O seu cálculo foi feito através da conjugação dos índices cartografados e outros parâmetros como a densidade de edifícios, a densidade da área das suas fachadas expostas ao vento dominante e a altura acima do solo onde a velocidade do vento é teoricamente zero e a partir da qual se desenvolve o seu perfil de velocidade.



A – Rugosidade aerodinâmica (Z_0)

B – Compacidade (H/W)

C – índice de Volumetria

Figura 22 – Parâmetros associados à geometria urbana atual.

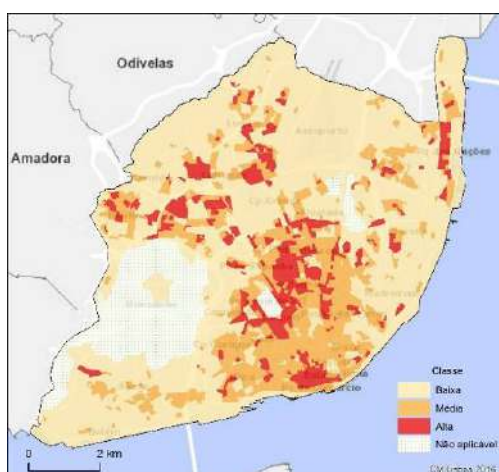


Figura 23 – Densidade urbana atual

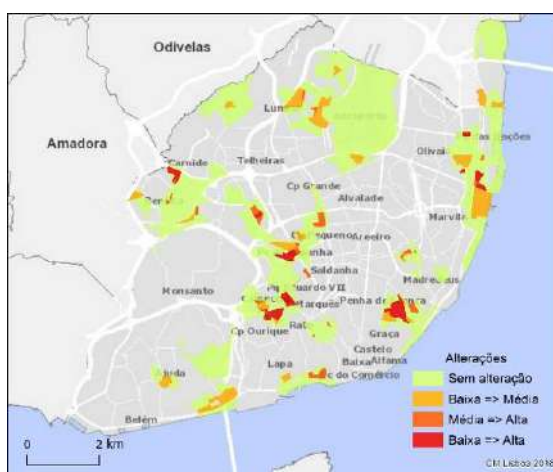


Figura 24 - Alterações da densidade urbana na "cidade futura"

Os resultados alcançados revelam que a maior parte da cidade de Lisboa possui rugosidade aerodinâmica moderada ou baixa, baixa compacidade e baixo índice de volumetria. Constatando que aproximadamente 64% da sua área é de baixa densidade.

RELATÓRIO SÍNTESE

As áreas de alta e média densidade urbana correspondem, sobretudo, à parte central da cidade, entre Campo de Ourique/Madragoa e Xabregas/Olaias, e desde a frente ribeirinha até Benfica, prolongando-se ainda para o Lumiar. Núcleos dispersos observam-se na parte oriental, no Parque das Nações e na Encarnação, e na parte ocidental, no Alto do Restelo, Ajuda e Santo Amaro.

A alta densidade ocupa 12% da cidade, em núcleos descontínuos, dos quais se destacam a Baixa, a metade setentrional da Av. Almirante Reis e as Avenidas Novas, o Lumiar/Quinta do Lambert, Laranjeiras e Telheiras, Carnide, Calhariz e Benfica; destacam-se ainda o Alto do Restelo e o Parque das Nações.

Embora as áreas de alta densidade se caracterizem pela elevada rugosidade aerodinâmica e compacidade, e pelos valores mais altos do índice de volumetria, a relevância destes aspetos não é semelhante em todas elas; ainda que na maior parte das áreas seja a elevada rugosidade aerodinâmica o fator determinante, como por exemplo, no caso das Avenidas Novas ou no Alto do Restelo, noutras áreas é a compacidade que possui maior peso, como é o caso da Baixa. Já o Parque das Nações é a área da cidade que apresenta os valores mais elevados de rugosidade aerodinâmica, compacidade e índice de volumetria.

As modificações no parque edificado projetadas para o futuro conduzirão ao aumento da densidade urbana nas áreas diretamente afetadas. Com a concretização dos projetos as áreas de baixa densidade passarão a representar 19% da área, e as de alta densidade, 39%.

O aumento significativo da densificação resulta do incremento da compacidade e, sobretudo, da rugosidade aerodinâmica: a concretização dos projetos futuros, elevará em três vezes o seu valor mediano e 62% da área afetada passará a ter rugosidade elevada e muito elevada.

O aumento da densidade urbana será mais relevante na frente ribeirinha de Marvila e na parte meridional do Parque das Nações, no Lumiar e na Alta de Lisboa, em Carnide, em Entrecampos, em Campolide / Campo de Ourique e em Sapadores (Figura 24).

Para além do potencial aumento da intensidade da Ilha de Calor Urbano naquelas áreas, deve-se também considerar que o aumento da rugosidade aerodinâmica em determinadas áreas poderá ter consequências semelhantes noutros pontos da cidade, devido ao empobrecimento das condições de ventilação a sotavento. Nomeadamente, no Lumiar e na Alta de Lisboa, que fará deslocar-se para norte o limite aerodinâmico (Alcoforado et al. 2005), e na frente ribeirinha de Marvila e no Parque das Nações, onde a densificação poderá constituir um obstáculo à progressão da brisa do Tejo para o interior da cidade.

VII. IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA ÁREAS CRÍTICAS NA CIDADE DE LISBOA

De acordo com os cenários mais gravosos de concentração de gases com efeito de estufa, no futuro, a cidade de Lisboa poderá registar valores médios da temperatura máxima superiores em 3,6°C em relação aos registados atualmente. A estação mais quente do ano (que não corresponde ao verão astronómico), tem aumentado em número de dias, decorrendo atualmente entre 11 de junho e 8 de outubro. Os meses de julho a outubro são aqueles para os quais se projetam maiores aumentos na temperatura do ar, período durante o qual a ocorrência de eventos de calor extremo deverá aumentar significativamente. O número médio anual de dias em onda de calor, em meados do século poderá ser aproximadamente 4 vezes superior ao atual e cerca de 6 vezes superior no fim do século.

O Ordenamento do Território pode ter um enorme benefício ao utilizar cartografia sintética de funções e serviços climáticos. As Unidades de Resposta Climática Homogénea (URCH), vulgarmente denominadas como **climatopos** podem ser descritas como áreas com características climáticas semelhantes entre si. Do ponto de vista físico são áreas homogéneas, em termos de topografia, exposição, ventilação natural, etc., que, dependendo da diversidade dos tipos de uso e ocupação do solo, interagem de modo particular com a camada limite da atmosfera urbana.

A metodologia de avaliação climática para o planeamento recorreu ao mapeamento de dois níveis de informação:

- i) cartografia das “funções climáticas”, isto é, as características de que se tira partido para melhorar a qualidade do ambiente urbano, como a morfologia e a geometria urbana avaliadas através da rugosidade aerodinâmica, do índice volumétrico, da compacidade e da densidade urbana para fins bioclimático, e
- ii) mapas de avaliação climática onde são apresentadas as recomendações para diversas escalas de intervenção territorial (da cidade no seu todo, ao clima do bairro).

O Estudo da Identificação das Ilhas de Calor Urbano desenvolveu-se em três fases:

- i) Fase 1 - Análise da intensidade e imagens da espacialização das Ilhas de Calor Urbano de Lisboa, no presente e com as edificações projetadas para o futuro;
- ii) Fase 2 – Simulação micro-meteorológica (no presente e de acordo com as projeções e modelos RCP 8.5, para o final do século XX) em duas áreas críticas: Alta e Baixa de Lisboa;
- iii) Fase 3- cenarização e mapeamento de medidas de mitigação das Ilhas de Calor Urbano com proposta de orientações climáticas para mitigar o efeito do calor extremo na cidade e atualização dos mapas dos Climatopos de Lisboa elaborados em 2003 para o PDM.

Na **Fase 1** deste trabalho ensaiou-se uma divisão estacional inovadora baseada na análise do ciclo anual das temperaturas máxima e mínima observadas no período 2009-2018, na estação meteorológica do Aeroporto/Portela, de forma a identificar as datas de início e fim dos períodos mais quente e mais frio do ano, em Lisboa. Mantem-se a designação das diferentes estações, mas ressalva-se que a sua classificação está relacionada apenas com as suas características térmicas. Os resultados obtidos revelam quatro períodos cujo início e fim não coincide com os momentos

RELATÓRIO SÍNTESE

astronómicos. O período mais frio do ano, decorre entre 26 de novembro e 4 de abril, marcado por uma temperatura máxima média abaixo dos 15°C e mínima de 8,6°C, enquanto o verão decorre entre 11 de junho e 8 de outubro, com uma temperatura máxima média de 27,7°C e mínima de 17,7°C (com um período particularmente quente durante a primeira quinzena de agosto).

Para a análise da intensidade e dos padrões espaciais da ICU na cidade de Lisboa, classificaram-se as condições atmosféricas mais frequentes em cada estação do ano, nos períodos noturno e diurno, baseados no período de 2009 a 2018. Os tipos de tempo locais resultam da combinação de elementos climáticos (nebulosidade, temperatura, humidade, vento, precipitação, etc.). Dada a importância das direções do vento N, NO e O, que são as mais frequentes em Lisboa (> a 40% dos dias), analisaram-se os padrões da ICU em condições de vento destes quadrantes. Neste trabalho, considera-se concretamente o estudo da ICU da atmosfera urbana inferior (*Urban Canopy Layer*), que resulta das temperaturas registadas entre o nível do solo e o nível médio dos topos dos edifícios. Os valores da temperatura do ar utilizados neste estudo foram obtidos através de uma rede de observações urbanas do Centro de Estudo Geográficos (Grupo de Investigação Zephyrus – Alterações Climáticas e Sistemas Ambientais), do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT) da Universidade de Lisboa. Esta rede de mesoescala foi instalada em 2004 com sensores providos de *data loggers* e capacidade para registar em intervalos de 15 minutos, instalados em postes de iluminação a uma altura aproximada de 3,5 metros e distanciados cerca de 1 metro da estrutura de modo a evitar a sua influência térmica. Os sensores foram distribuídos por locais relevantes para o conhecimento dos padrões de distribuição da temperatura e dos fatores que os condicionam: dois na margem do rio Tejo, em Belém e no Parque das Nações, um no topo da colina de Monsanto e outro no Vale de Alcântara, um em Campo Ourique, três em áreas centrais (Bairro Alto, Restauradores e Saldanha) e um na parte setentrional da cidade, em Carnide (Figura 25). Neste trabalho utilizam-se as séries de dados horários disponíveis entre 2009 e 2014.

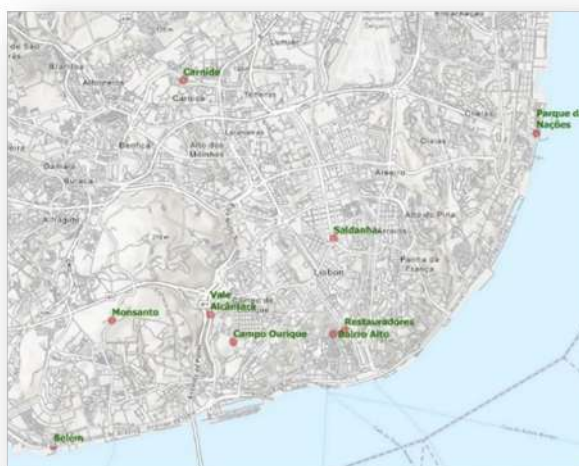


Figura 25 - Localização das estações da rede de mesoescala do CEG/IGOT

Para a interpolação espacial dos resultados, foi utilizado o método *Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction* (EBKRP), implementado no módulo *Geostatistical Analyst Tools* do software ArcGIS Pro. Como variáveis explicativas utilizaram-se as seguintes: Latitude, Longitude, Altitude, Orientação da encosta, Distância ao Tejo; NDVI; *Imperviousness Degree*; *Tree Cover Density*; Altura

RELATÓRIO SÍNTESE

do Edificado; Índice de Compacidade (HW); Comprimento da Rugosidade Aerodinâmica (z_0); Altura do Plano de Deslocamento (z_d); Índice Volumétrico (IV), Densidade de Edificado (λ_p); Densidade de Área Frontal (λ_f); Densidade Urbana (DU), Fluxo de Calor Latente (QE); Fluxo de Calor Sensível (QH); Fluxo de Calor Armazenado (QG); Rácio QG/Qnet; albedo das Superfícies.

Intensidade da Ilha de Calor atual e futura (com edificado projetado e cenário climático mais gravoso no final do Séc. XXI, em situação de onda de calor e sem medidas de mitigação).

38

A intensidade da ICU na cidade de Lisboa (diferenças entre a temperatura no centro da cidade e o Aeroporto de Lisboa) possui um ritmo diário bem marcado. A ICU noturna varia, em média, entre 1°C e 4°C, ocorrendo em 85% das noites de Inverno e 63% das noites de Verão. Em pelo menos 50% dos dias, a intensidade da ICU afirma-se como um fenómeno positivo sobretudo durante o período do crepúsculo da tarde (entardecer) e durante a noite, independentemente do local urbano, ou da sazonalidade. Adicionalmente, confirma-se a sazonalidade da intensidade da ICU: é durante o Verão que existe a maior amplitude de valores. Em circunstâncias de calor extremo (Figura 26), a intensidade da ICU tende a agravar-se, pelo que a temperatura registada nos Restauradores não só é superior à do Aeroporto, como ultrapassa os 30°C.

O padrão espacial da ICU em situação de onda de calor (Figura 27a) ao entardecer revela um exacerbar das intensidades máximas, do gradiente de temperaturas entre “ilhas de frescura” e núcleos mais aquecidos e, conseqüentemente, uma grande heterogeneidade espacial. Este facto torna mais evidente a presença e impacto das principais estruturas verdes urbanas, que permanecem como “ilhas de frescura” isoladas. Destas estruturas, destacam-se parques e grandes jardins tais como o da Gulbenkian, o Jardim Tropical, o Parque Eduardo XVII e o Corredor Verde de Monsanto, a Mata de Alvalade ou o Parque da Belavista.

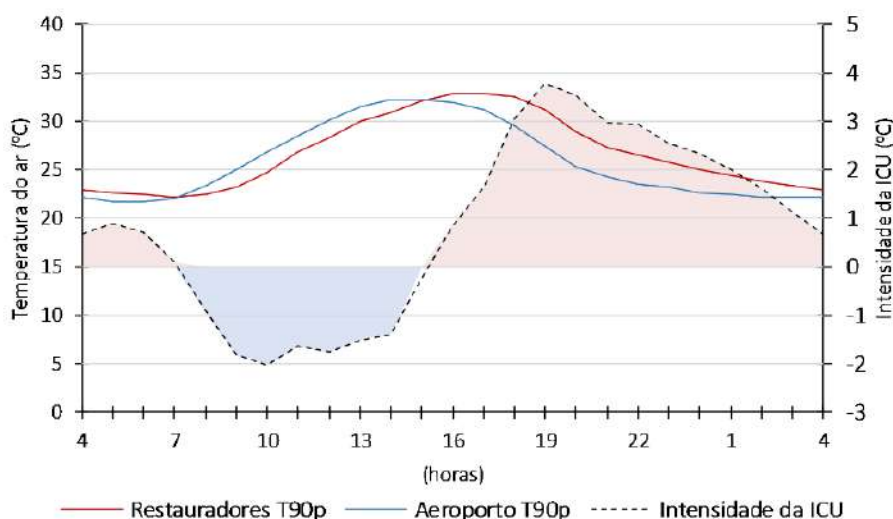


Figura 26 - Ciclo Diário da Temperatura do Ar registada no Aeroporto e nos Restauradores, e intensidade da ICU durante condições de calor extremo do tipo de tempo local de Verão (percentis 90 da temperatura do ar, T90p).

Chama-se ainda a atenção para o efeito de atenuação da intensidade da ICU ao longo do Vale de Chelas. As áreas de intensidade superior a 1,5°C surgem como um “arquipélago” rendilhado heterogéneo de núcleos sobreaquecidos no interior da cidade, designadamente na Avenida José

RELATÓRIO SÍNTESE

Malhoa, Laranjeiras, Telheiras e Alta de Lisboa, sendo os núcleos mais aquecidos a Baixa e o Parque das Nações, com intensidades de ICU superiores a 4°C. Não há evidências que demonstrem claramente que os índices de densidade projetados em Lisboa no futuro afetem os padrões térmicos urbanos ao nível da freguesia, nem aumentem as intensidades da ICU (Figura 27b).

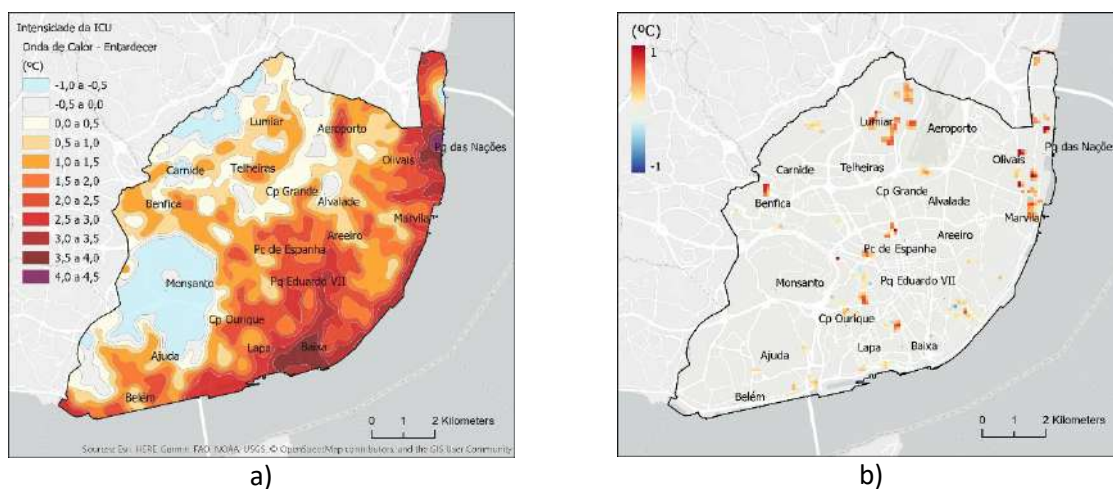


Figura 27 – Mapas da intensidade da ICU (ΔT_u-r) de Lisboa: a) Onda de Calor – Entardecer (situação atual); b) Intensidade da ICU (ΔT_u-r) de Lisboa futura, na envolvente dos bairros projetados.

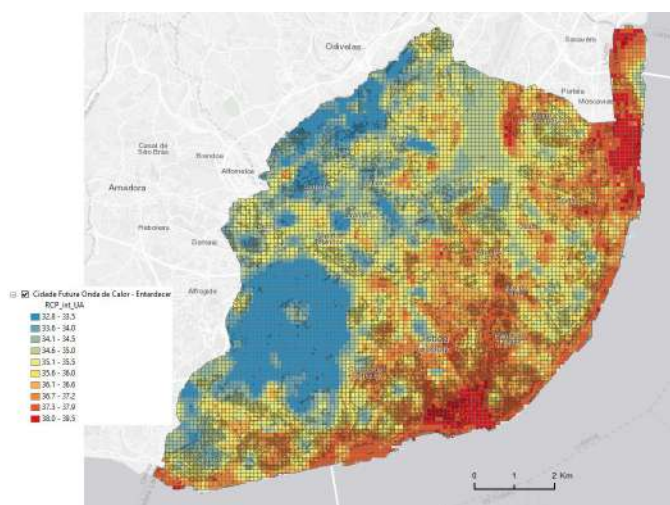


Figura 28 – Intensidade da ICU (ΔT_u-r) de Lisboa no futuro projetado com o cenário mais grave no final do século XXI (sem medidas de mitigação que combatam as alterações climáticas) – Situação ao entardecer em Onda de Calor.

Em cenários de alterações climáticas projetadas para o final do século XXI (sem medidas globais de mitigação efetivas), os modelos sugerem a expansão das áreas urbanas com temperaturas muito elevadas, sobretudo, durante a ocorrência de ondas de calor, e principalmente ao entardecer (Figura 28). Particularmente exposta estará muito provavelmente toda a zona ribeirinha e especialmente a área do Parque das Nações. Mesmo tratando-se de uma área próxima do Estuário do Tejo, os fatores que poderão explicar este agravamento térmico estarão ligados com a existência de um forte gradiente da temperatura projetado para o interior centro de Portugal Continental.

RELATÓRIO SÍNTESE

Deve-se reforçar a importância de manter o norte da cidade com uma densidade urbana relativamente baixa, de modo a manter desobstruídos os corredores de ventilação constituídos por quatro eixos fundamentais (Aeroporto / Baixa; Carnide, Parque Eduardo VII / Baixa, Aeroporto/Vale de Chelas e Carnide / Campolide), cumprindo assim a sua função bioclimática. Este efeito é tanto mais importante já que a boa ventilação induzida pelos ventos dominantes de norte, não só melhoram o conforto bioclimático, como dispersam mais eficazmente os poluentes produzidos pelas atividades urbanas. Por último, de notar a importante função bioclimática dos espaços verdes da cidade (nomeadamente o Parque Florestal de Monsanto), que, mesmo perante situação extremas de onda de calor, consegue reduzir em vários graus (de acordo com projeção apresentada cerca de 6/7°C), a temperatura do ar em relação aos bairros caracterizados por uma maior densidade urbana.

40

Na **Fase 2**, para a análise das principais variáveis meteorológicas em duas áreas críticas (Alta e Baixa de Lisboa –Figura 29), foi escolhida uma técnica de modelação micro-meteorológica. O *software* escolhido foi o ENVI_met V4.4.4, que simula as condições em meio urbano através dos estados atmosfera na camada limite urbana, com possibilidade de introduzir vários tipos de vegetação, diferentes arquiteturas e materiais e simular conjuntos que se adaptam aos cenários escolhidos.

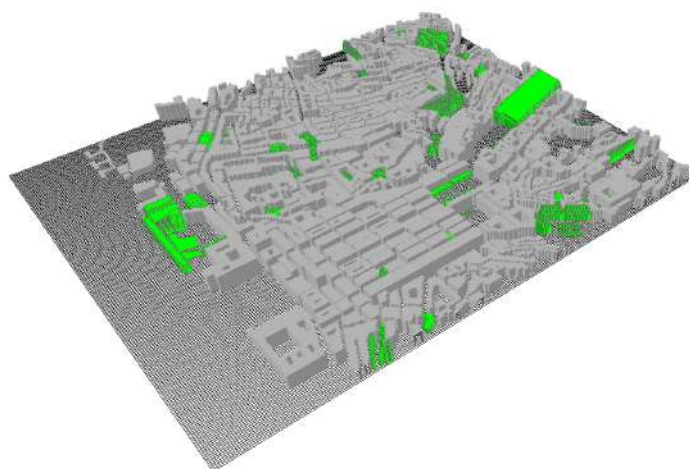


Figura 29 – Modelo tridimensional da Baixa de Lisboa usado para as simulações do clima atual e futuro

Simulações microclimáticas de duas áreas críticas (Baixa e Alta de Lisboa): situação atual e projeções para o futuro com modificações no edificado

Os cenários apresentados permitem avaliar um conjunto de dados climáticos que podem estar na explicação dos fatores com maior peso no sobreaquecimento urbano. Nos estudos elaborados foram identificados os seguintes aspetos fundamentais:

RELATÓRIO SÍNTESE

i) A Baixa de Lisboa é um dos locais da cidade onde os padrões térmicos dos tipos ICU são mais evidentes (Figura 30);

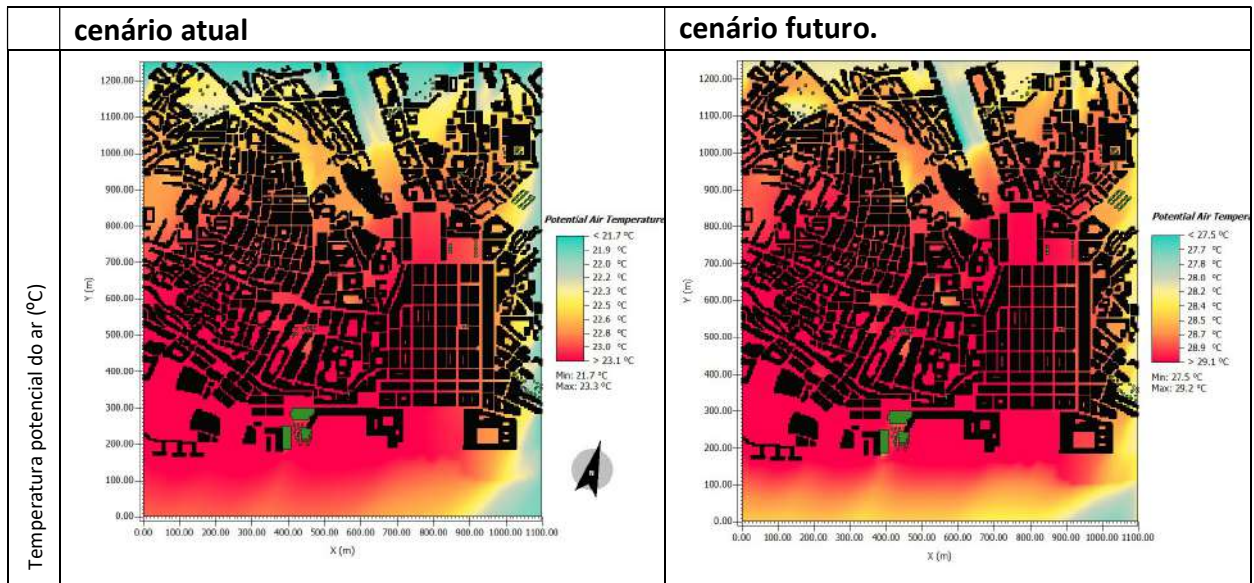


Figura 30 – Modelos micro-meteorológicos de simulação da temperatura do ar na Baixa de Lisboa, situação de verão às 19:00h (atual e em 2100).

ii) A Alta de Lisboa já possui um ritmo compatível com estes padrões embora mais atenuados (Figura 31);

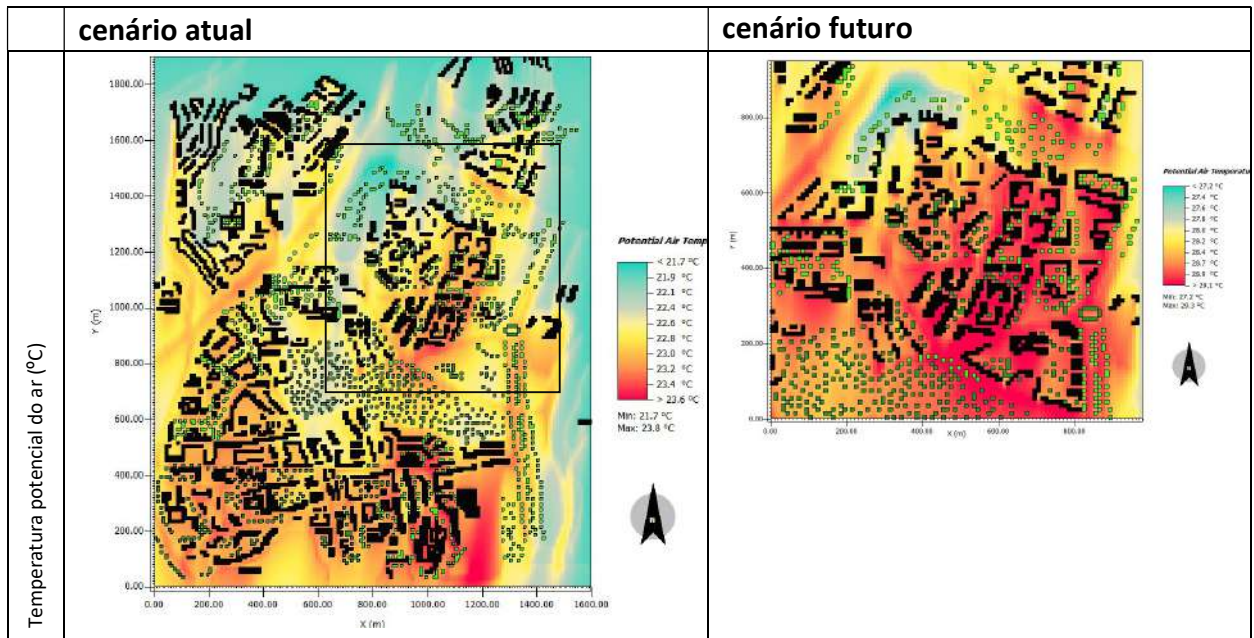


Figura 31 – Modelos micro-meteorológicos de simulação da temperatura do ar na Alta de Lisboa, situação de verão às 19:00h (atual e em 2100).

RELATÓRIO SÍNTESE

- iii) Comprovou-se pelos estudos que o sombreamento e, sobretudo, a vegetação conseguem atenuar as temperaturas extremas e por isso são fatores determinantes para combater o efeito das alterações climáticas urbanas;
- iv) A ventilação natural surge como um dos fatores que favorece a cidade, atuando não apenas no desagramento do desconforto termofisiológico, mas também como dispersor de poluentes atmosféricos, beneficiando a qualidade do ar;
- v) Apesar das anomalias das temperaturas não sofrerem grandes alterações no futuro, atendendo a que o aquecimento é global e atinge todo o território, parece existir uma ligeira tendência para o agravamento das ICU no centro da cidade;
- vi) E por último, a constatação de que as “novas” urbanizações que poderão surgir na parte norte da cidade, desde que sejam planeadas de acordo com as regras de planeamento bioclimático - bom arejamento, ruas largas, com elementos sombreadores e espaços verdes que não constituam espaços bloqueadores do vento não parecem criar áreas de stress térmico extremo, para além do previsto com as alterações climáticas que já se fazem sentir.

Neste estudo a **Fase 3** foi dedicada à atualização da informação produzida para os primeiros mapas climáticos de 2005, recorrendo a novas técnicas e ferramentas, nomeadamente através da inclusão métricas da morfologia urbana com relevância climática. À semelhança do mapa climático de 2005, também na construção dos climatopos atuais se optou por um procedimento metodológico composto em três fases (Figura 32).

Nomeadamente: Unidades de ventilação; Unidades de uso e ocupação dominante do solo; Unidades de Resposta Climática Homogénea (URCH).

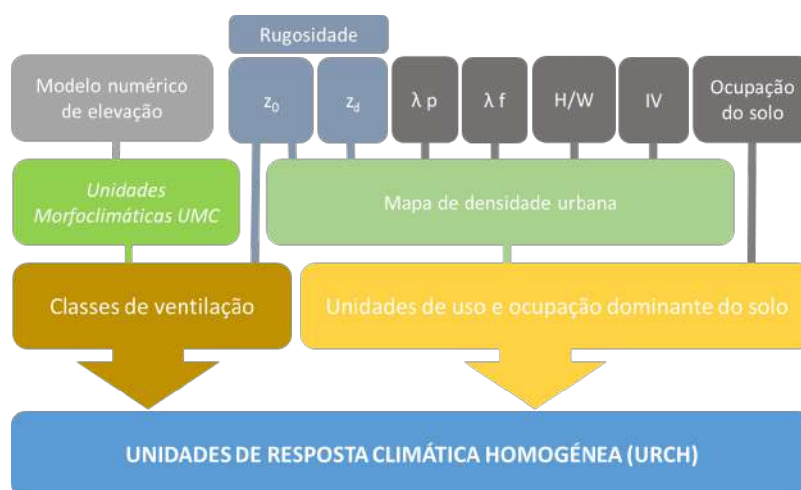


Figura 32 - Etapas e processos para a obtenção das classes de ventilação, das classes de Ocupação Dominante do Solo e das Unidades de Resposta Climática Homogénea (URCH).

O mapa das URCH (Figura 33) foi obtido a partir do cruzamento das classes de ventilação com as formas predominantes de ocupação e uso do solo, com generalização do número de classes, de modo a que as funções climáticas de cada unidade territorial fossem entendíveis e claras. Este é um passo intermédio para se chegar às orientações climáticas (Figura 36), que contém todas as funções

RELATÓRIO SÍNTESE

e serviços climáticos possíveis de serem potenciados para mitigar os efeitos esperados de aquecimento ou arrefecimento, ventilação (ou sua falta), etc., de modo a minimizar especialmente o *stress* térmico (para pessoas, culturas e atividades) e reduzir os efeitos adversos que se projetam com as alterações climáticas.

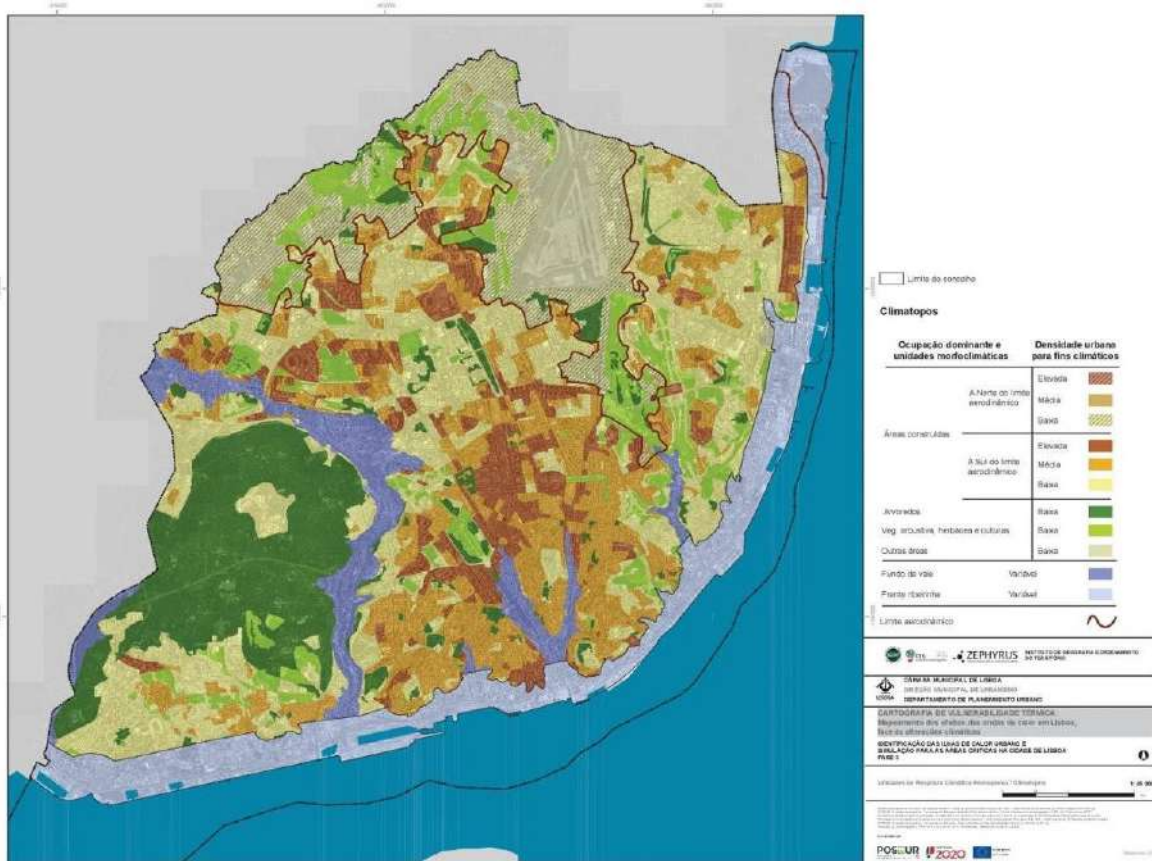


Figura 33 - Unidades de Resposta Climática Homogénea 2020 (URCH).

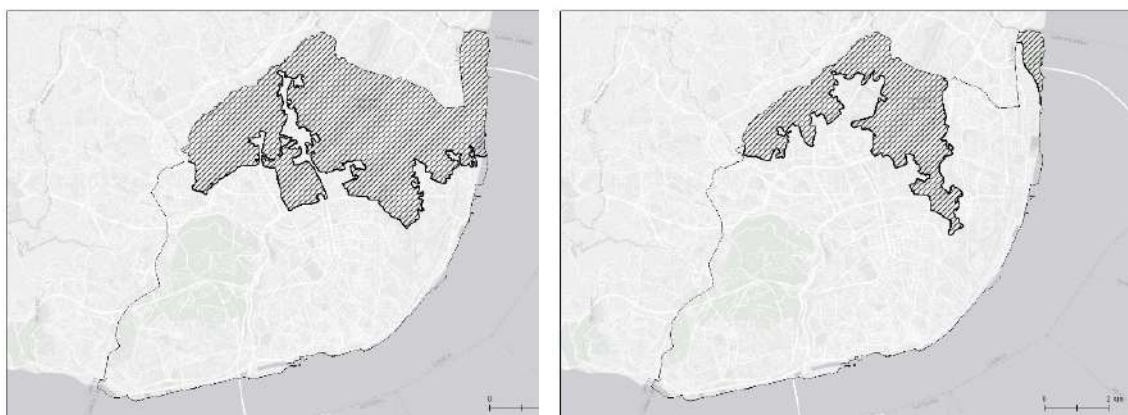
Em 2005, foi elaborado um estudo sobre “Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa”, (<https://www.lisboa.pt/cidade/urbanismo/planeamento-urbano/plano-diretor-municipal/estudos-de-caracterizacao>), e decorridos alguns anos sobre esse estudo, verificou-se a necessidade de atualizar a cartografia então apresentada - atendendo a que o crescimento da cidade é um processo rápido e dinâmico e, melhorar as recomendações climáticas para o ordenamento do território da cidade, de acordo, com as mais recentes e melhores práticas técnico-científicas sobre este tema.

Não obstante, os dados e a metodologia utilizados serem manifestamente diferentes de 2005, podemos concluir sobre as condições de ventilação na cidade, os seguintes aspetos:

- Relativamente ao limite aerodinâmico é possível observar uma significativa alteração entre 2005 e 2020 (Figura 34). Em 2005, a área a norte deste limite correspondia a 34,8% da cidade e em 2020 esse valor foi reduzido para menos de metade, ocupando 16,9%. Esta redução de áreas melhor ventiladas decorre do aumento da densificação urbana em

RELATÓRIO SÍNTESE

algumas áreas da cidade, registadas nos últimos anos (Laranjeiras, Altos dos Moinhos, Parque da Nações, entre outras). Esta deslocação para norte do limite aerodinâmico pode implicar uma redução das condições de ventilação nas áreas do sul da cidade, dada a predominância dos ventos de norte. Este facto pode agravar o efeito de ilha de calor (sobretudo em contexto de alterações climáticas, que aliás já se fazem sentir).



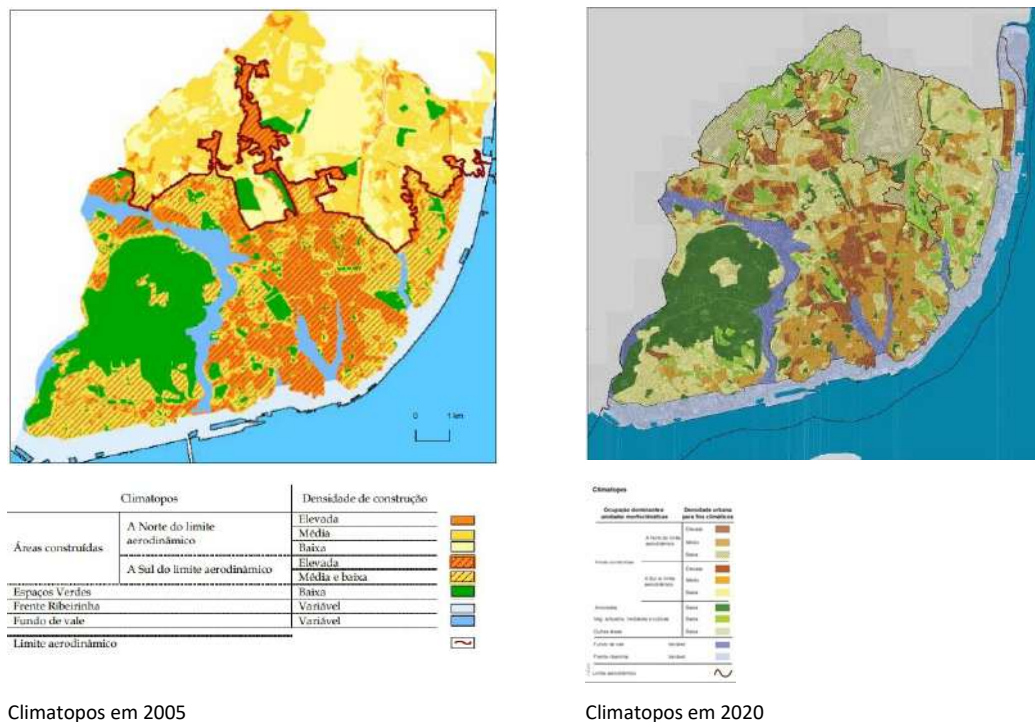
Limite aerodinâmico e setor setentrional calculados em 2005

Limite aerodinâmico e setor setentrional atualizados em 2020

Figura 34 - Comparação entre o limite aerodinâmico e setor setentrional da cidade em 2005 e 2020.

- Apesar dos mapas dos climatopos não serem absolutamente comparáveis, parece haver uma tendência para o aumento da densidade urbana, que será mais relevante na frente ribeirinha de Marvila e na parte meridional do Parque das Nações, no Lumiar e na Alta de Lisboa, em Carnide, em Entrecampos, em Campolide / Campo de Ourique e em Sapadores. Este será mais um fator de potencial aumento da intensidade da ICU naquelas áreas.

RELATÓRIO SÍNTESE



Climatopos em 2005

Climatopos em 2020

Figura 35 –Climatopos da cidade em 2005 e 2020

- Os corredores de ventilação, estruturas abertas tão importantes para o arejamento do centro da cidade (função de remoção de poluentes e alívio do stress térmico humano), têm sofrido poucas alterações. Não obstante, o corredor ocidental que potencia a ventilação nos eixos Carnide/Vale de Alcântara e com ramificação em Campolide/Parque Eduardo VII/Baixa, tem observado um estrangulamento na sua parte norte com o aumento da densidade urbana.

Com base nos objetivos: i) a mitigação da ilha de calor urbano e as suas consequências e; ii) melhorar as condições de ventilação, foi desenvolvido o Mapa da Avaliação Climática e traçados os grandes corredores de ventilação da cidade que correspondem a faixas de sentido norte-sul, alinhados com a direção dominante do vento regional (NW, N e NE), que se conservam ainda relativamente desocupadas ou com uma densidade urbana predominantemente baixa (Figura 36).

Um conjunto alargado de orientações foram identificadas para cada unidade e pode ser consultado no Relatório final de cenarização e mapeamento de medidas de mitigação das Ilhas de Calor Urbano (Fase 3), sendo no final do presente relatório apresentadas as orientações gerais para o planeamento urbano da cidade.

VIII. MODELAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO DA CIDADE DE LISBOA

O clima numa cidade está muito ligado ao conceito de metabolismo urbano. Nesta metáfora, a cidade é entendida como um organismo vivo, que “ingere” recursos e os processa para as suas atividades, processamento do qual resultam produtos e resíduos. Tal como num ser vivo, parte do resultado do processamento poderá resultar na acumulação, por exemplo, de materiais, como seja o meio construído. O metabolismo de uma cidade envolve fluxos de entrada de recursos (ar, alimentos, água, combustíveis, matérias primas, energia); a transformação dos mesmos (fluxos internos e acumulação); e a saída dos produtos e/ou resíduos resultantes dessa transformação (ar modificado, gases com efeito de estufa, calor desperdiçado, partículas poluentes, resíduos sólidos e líquidos, artigos fabricados).

Neste contexto, o balanço de energia de uma cidade pode ser abordado de diferentes maneiras. Do ponto de vista de política energética, e à semelhança do que é realizado a nível nacional, o balanço de energia analisa de que maneira as formas de energia (eletricidade, gás natural, gasolina, gasóleo) que são disponibilizadas às atividades da cidade são consumidas e por que setores (agricultura, indústria, transportes, edifícios de serviços, edifícios residenciais), associando-se usualmente também quais as emissões de gases de efeito de estufa que daí advêm. É comum designar este balanço energético por matriz de energia, sendo uma análise que se realiza numa base anual. Em Lisboa, a matriz de energia e inventário de emissões associado está disponível em www.observatorios-lisboa.pt.

Uma abordagem distinta é aquela que analisa a quantidade de energia que chega à cidade através da atmosfera e a quantidade que é depois reemitida. A fonte primária de energia na Terra vem do Sol. A energia solar que entra na atmosfera chega-nos na forma de radiação de onda curta – os raios ultravioletas e a luz visível. A Terra, por seu turno, reemite esta energia na forma de radiação de onda longa – a radiação infravermelha. Toda a radiação infravermelha que fique acumulada na Terra, sem conseguir ser reemitida para o espaço, provoca aquecimento. O balanço de energia da Terra, isto é o balanço entre a radiação que entra e a radiação que sai, também denominado balanço radiativo, é então fundamental para entender o efeito de aquecimento global. Quando aplicado a uma cidade, o balanço radiativo permite-nos avaliar o conforto térmico e os consequentes impactos sobre o bem-estar dos seus habitantes. O grau de urbanização de uma área e suas características influenciam o balanço radiativo, fazendo com que as cidades estejam normalmente mais quentes do que as suas envolventes rurais, bem como que, dentro da mesma cidade, existam grandes diferenças de temperatura. Este é um fenómeno conhecido por ilha de calor urbano.

RELATÓRIO SÍNTESE

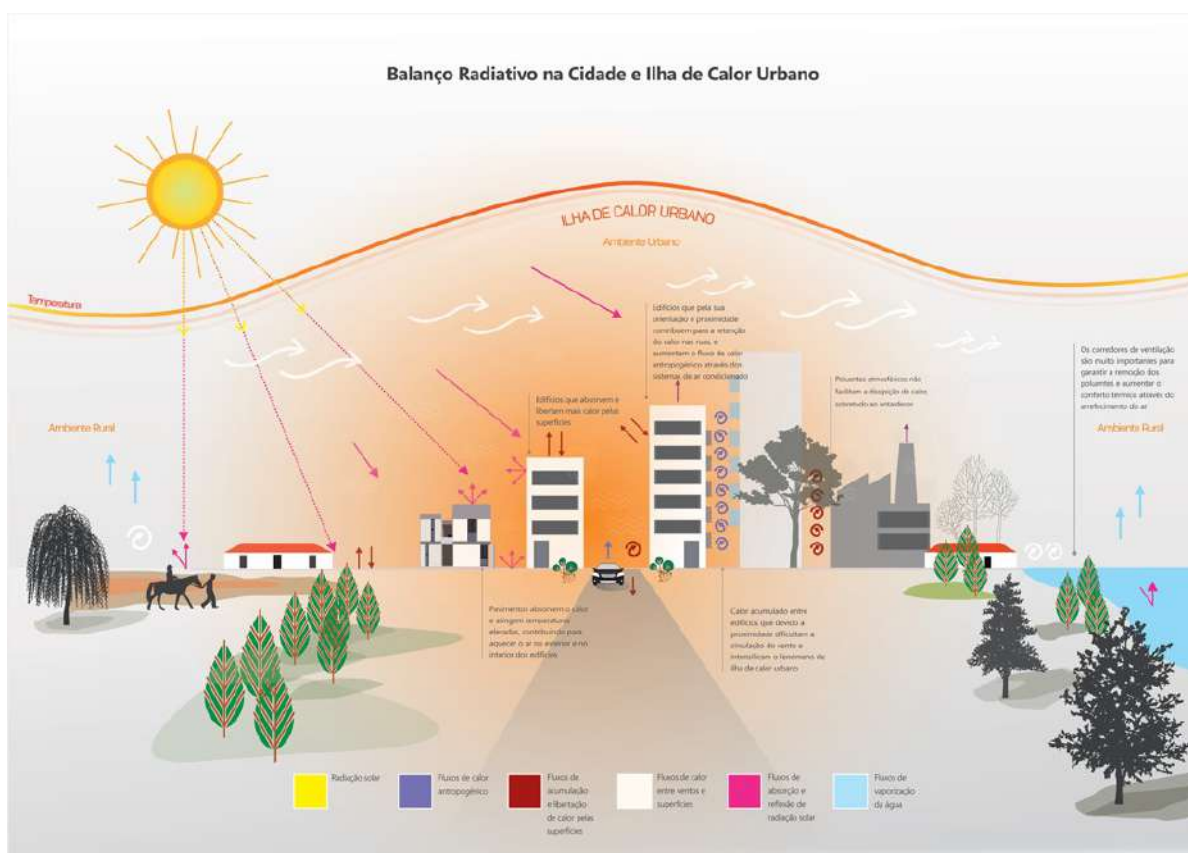


Figura 37 – Balanço Radiativo na Cidade e Ilha de Calor Urbano

Os principais fatores que influenciam a ocorrência de ICU nas cidades são a forma urbana, nomeadamente no que se refere à compacidade e altura do edificado, bem como a sua orientação solar e ao vento não perturbado; os materiais utilizados no edificado, no que se refere às suas características térmicas (resistência e difusidade) e radiativas (fatores de absorção, reflexão e emissão); o tipo de cobertura de solo, em particular o tipo de pavimentos, a estrutura verde e a presença de massas de água; as fontes de calor antropogénicas, como sejam as associadas ao tráfego rodoviário, à climatização de edifícios, à refrigeração e à produção térmica para atividades económicas; e o nível de poluição atmosférica.

Num contexto de alterações climáticas, é esperado um aumento da temperatura ambiente e da existência mais frequente de ondas de calor, quer em cidades tradicionalmente mais quentes, quer nas mais frias, como as cidades do norte da Europa. Neste sentido, é fundamental minimizar efeitos locais de ICU, pelo que os ambientes urbanos existentes e as novas construções devem ser geridos numa perspetiva de adaptação a este novo paradigma, contemplando um *design* de soluções que beneficie o conforto térmico dos seus habitantes. Isto é crucial uma vez que o *stress* térmico pode ter consequências graves para a saúde a médio/longo prazos, em áreas tão diversas como a qualidade do sono, os hábitos de consumo alimentares, a atividade física, a capacidade de concentração, as patologias psicológicas, as doenças cardiovasculares e respiratórias, a fertilidade e a produtividade laboral, impactando, por conseguinte, a micro e macroeconomia de uma região.

É comum a dificuldade em tornar um determinado espaço exterior universalmente entendido como termicamente confortável - as condicionantes locais poderão ser demasiadamente restritivas, bem

RELATÓRIO SÍNTESE

como a perceção do desconforto pelos utilizadores poderá ser muito heterogénea - pelo que devem ser sempre pensadas medidas que tentem, pelo menos, prolongar o período de fruição do espaço público. As medidas que permitem reduzir de forma mais permanente o desconforto térmico num espaço exterior contemplam alterações que poderão ser substanciais, tais como:

- i) utilização de pavimentos permeáveis e revestimentos refletores;
- ii) introdução de coberto vegetal;
- iii) mudança na geometria dos elementos urbanos.

Contudo, quando o problema tem uma natureza pontual, ou, quando existem constrangimentos à modificação do espaço público, geralmente opta-se por medidas de arrefecimento mais imediatas e de maior facilidade de implementação como:

- i) criação de sombreamentos;
- ii) rega de pavimentos;
- iii) massas de água ou *sprays* em locais estratégicos;
- iv) alteração das funções urbanas, como por exemplo a regulação do tráfego automóvel em zonas críticas da cidade.

É assim fundamental adaptar a cidade presente aos fenómenos de ICU, bem como prosseguir estratégias de mitigação e adaptação que permitam uma melhor resposta no médio/longo prazos às alterações climáticas esperadas, em particular ao aumento da temperatura ambiente. No quadro das ações de mitigação, é fundamental atuar sobre a forma como a cidade consome energia, no sentido de reduzir as fontes antropogénicas de calor. São neste caso prioritárias as áreas da mobilidade e dos edifícios, bem como sobre a produção local de energia recorrendo a fontes renováveis (em particular a solar e a componente renovável atribuível a bombas de calor). Lisboa tem em elaboração o Plano de Ação Climática 2030, que consubstancia uma evolução do Plano de Ação de Energia Sustentável e Clima, atualmente em vigor, e que concorre para o objetivo último de neutralidade carbónica em 2050. Na área da **mobilidade**, são vetores estratégicos: a alteração modal, que reflita uma predominância do recurso a modos suaves e transportes públicos; a eletrificação do transporte rodoviário (veículos ligeiros e autocarros); o aumento de eficiência energética dos transportes. Na área dos **edifícios**, são vetores estratégicos a eletrificação do consumo e a eficiência energética. No domínio da produção local de **energia**, Lisboa tem já em marcha a Estratégia Solar de Lisboa (Lisboa Cidade Solar), que tem como objetivo para 2030 alcançar 100 MW de capacidade instalada fotovoltaica. Em conjugação com medidas de adaptação do espaço público, é esperado que esta estratégia direcionada para a neutralidade carbónica seja eficaz no combate à ICU e na promoção do conforto térmico ambiente.




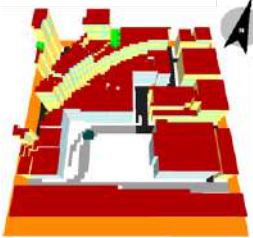
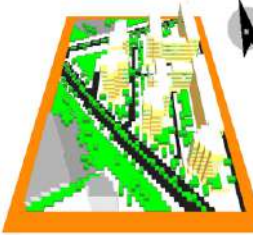
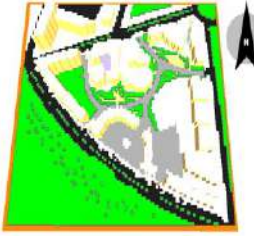
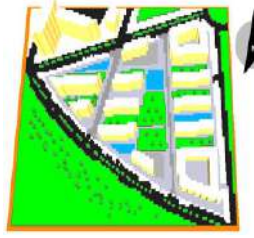
O estudo realizado compreende: i) o registo de variáveis com implicações no balanço radiativo na cidade, produzindo-se recomendações para linhas de ação ao nível do tráfego automóvel e da instalação de painéis solares fotovoltaicos; ii) a simulação à microescala de 2 quarteirões consolidados atualmente existentes na cidade, incluindo a avaliação de medidas de mitigação/adaptação à ICU; e iii) a simulação à microescala de 2 projetos de construção futura numa área atualmente expectante. Para estas simulações, foi considerado um dia de verão severo no clima atual recente e a sua modificação para o clima projetado para os anos 2081-2100.

Efetuaram-se simulações com recurso ao *software* ENVI-met e a dados relativos ao histórico do clima local. Para as áreas atualmente existentes, comparou-se a situação atual com um cenário onde foram introduzidas diversas medidas de mitigação/adaptação à ICU, enquanto para a

RELATÓRIO SÍNTESE

construção futura (a ocorrer até 2050) se compararam os dois projetos. Na Tabela 1 representam-se essas áreas, consoante o seu cenário atual sem quaisquer medidas, e o respetivo modelo 3D digital, incluindo os materiais dos edifícios e pavimentos.

Tabela 1 – *Quarteirões existentes (Área 1 e 2) e projetos para área de construção futura (Projeto 1 e 2).*

	Área 1	Área 2	Projeto 1	Projeto 2
Imagem aérea				
Modelo 3D				

Os parâmetros analisados em detalhe nas simulações foram a temperatura das superfícies, a temperatura do ar (a 1.5m) e a temperatura fisiológica equivalente (PET, a 1.5m). Esta última traduz a sensação equivalente que uma pessoa iria experienciar se no interior de um edifício se fizessem sentir as condições exteriores, chegando a atingir valores muito elevados que representam perigo para a saúde mesmo a curto prazo (por exemplo, paragem cardíaca por choque térmico).

Na Tabela 2 pode observar-se, para a Área 1 (linha superior) e Área 2 (linha inferior), um mapa de cores que representa as zonas de maior (vermelho) e menor (azul) *stress* térmico calculadas para algumas horas de um dia de verão severo no clima atual/recente, para os cenários sem medidas. A preto, marcam-se os edifícios. Como se pode observar, os valores máximos da temperatura fisiológica equivalente aproximam-se dos 50°C, o que seria uma situação incomportável num espaço interior. Decorre daqui a grande importância da existência de sombreamento nas ruas, quer seja proporcionado pelos próprios edifícios, quer por outras estruturas urbanas ou por árvores.

RELATÓRIO SÍNTESE

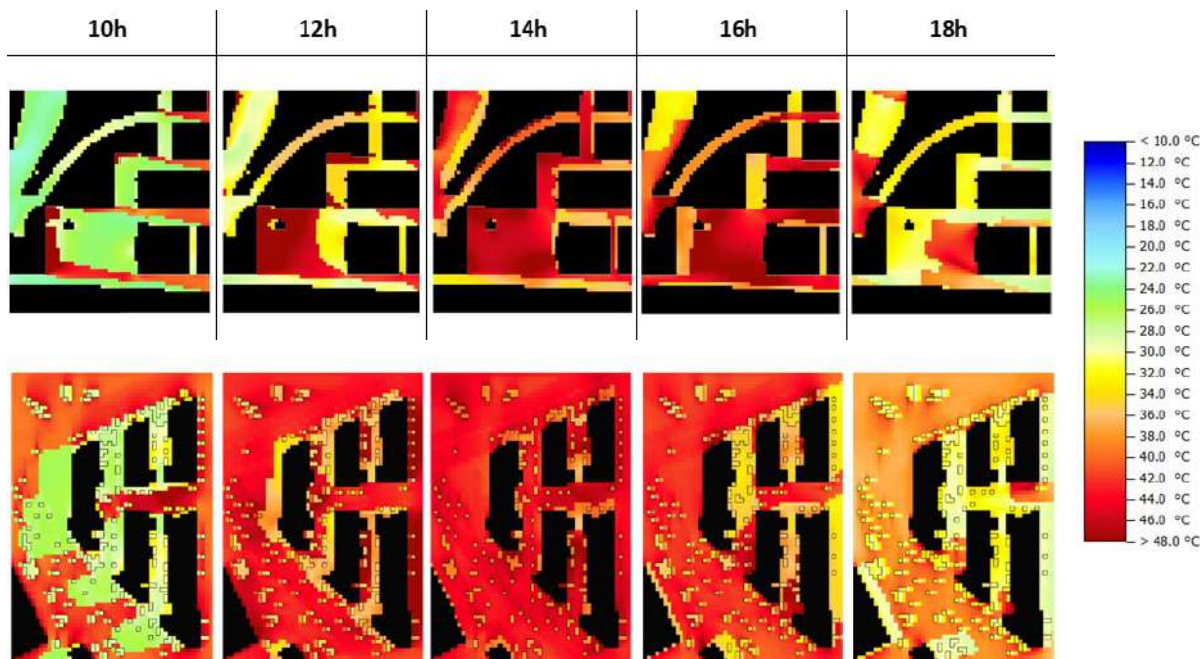


Tabela 2 - Temperatura fisiológica equivalente (PET) na Área 1 (superior) e na Área 2 (inferior), num dia de verão severo.

Para facilitar a leitura, remete-se a consulta da análise feita aos quarteirões incluindo medidas de mitigação/adaptação para os Relatórios detalhados de cada Fase. Na Tabela 3 resumem-se os benefícios das várias medidas simuladas nas duas áreas existentes atualmente, agrupadas por tipo – sombreamento, arrefecimento evaporativo e pavimento. É comparado o alcance em termos da área desde o ponto de implementação até onde se faz sentir mais fortemente o efeito da medida, sendo “pontual” um alcance apenas no ponto de implementação, “proximidade” num raio de alguns metros, e “amplo” quando ocorre projeção devido ao vento.

RELATÓRIO SÍNTESE

Tabela 3 – Benefícios das medidas de mitigação/adaptação nos quarteirões consolidados: alcance e redução máxima das temperaturas.

		Tipo de medida		
		Sombreamento	Arrefecimento evaporativo	Pavimento
Área 1	Alcance	Pontual	Proximidade	Proximidade
	Dif. máx Temperatura superfície	-17.4 °C	-0.5 °C	-9.0 °C
	Dif. máx Temperatura ar	-0.6 °C	-3.0 °C	-0.5 °C
	Dif. máx PET	-16.4 °C	-0.9 °C	-0.1 °C
Área 2	Alcance	Pontual	Amplo	Proximidade
	Dif. máx Temperatura superfície	-18.5 °C	0 °C	-15.1 °C
	Dif. máx Temperatura ar	-1.1 °C	-1.3 °C	-1.0 °C
	Dif. máx PET	-11.3 °C	-2.5 °C	-0.2 °C

Relativamente aos projetos de construção futura, remete-se a sua análise detalhada para o respetivo Relatório da Fase 3. Não obstante, na Tabela 4 destacam-se os principais pontos positivos e negativos identificados em ambos os Projetos.

Tabela 4 – Principais vantagens e desvantagens em ambos os Projetos futuros.

	Vantagens	Desvantagens
Projeto 1	<ul style="list-style-type: none"> Áreas amplas pavimentadas com placas/empedrado de cor clara Toldos reduzem a exposição à radiação solar direta Edificado com galerias protege transeuntes e paredes da radiação 	<ul style="list-style-type: none"> Canópia de vidro promove captura de radiação no interior Praças amplas sem sombreamentos pontuais ou arrefecimento evaporativo expõem transeuntes Alguns edifícios promovem reflexão dos raios solares numa área focal
Projeto 2	<ul style="list-style-type: none"> Massas de água de baixa profundidade dispersas projetam ar arrefecido Árvores proporcionam sombreamento pontual relevante Arruamento Este-Oeste promove sombreamento 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Ecofloor</i> e empedrado de cor escura aumenta absorção e retenção de calor Relvados/arbustos expostos ao sol aquecem excessivamente Pátios interiores promovem concentração da radiação solar

Este estudo sugere que uma possível solução otimizada seria aquela que combinasse parte dos arruamentos em paralelo do Projeto 2 com as áreas abertas mais amplas do Projeto 1, sendo que

RELATÓRIO SÍNTESE

estas devem preferencialmente ser pavimentadas recorrendo a materiais permeáveis, empedrado ou placas, com alta refletividade no infravermelho, e intercaladas com massas de água e/ou aglomerados de árvores e/ou toldos de sombreamento e/ou fileiras de *sprays* de gotículas de água (c.f. relatórios anteriores).

IX. ORIENTAÇÕES PARA O PLANEAMENTO E O AMBIENTE DA CIDADE DE LISBOA

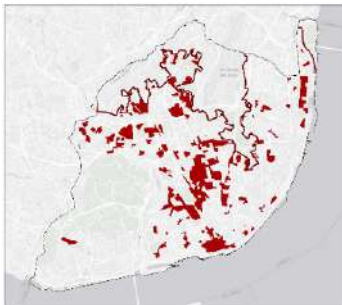
Visando a adaptação às Ondas de Calor e a mitigação/adaptação à Ilha de Calor Urbano e às suas consequências, bem como a melhoria das condições de ventilação e da qualidade do ar, foi desenvolvido um conjunto de recomendações a serem equacionadas no processo de planeamento e ordenamento da cidade.

No sentido de uma melhor clarificação das Recomendações considerou-se pertinente subdividi-las em Orientações Estratégicas que contemplam medidas de natureza abrangente a toda a cidade e Orientações Específicas, adequadas às diferentes unidades operativas com características ambientais e morfológicas distintas.

1. Assim sendo, no âmbito das **Orientações Estratégicas**, propõem-se as seguintes medidas:
 - Dar continuidade ao processo de consolidação da **Infraestrutura Verde e da sua integração com os corredores de ventilação**, de modo a propiciar melhores condições bioclimáticas face a um cenário de aumento do tempo quente;
 - Dar continuidade ao processo de **adaptação da Infraestrutura Verde** através da introdução de espécies mais resilientes ao tempo quente, favorecendo e fomentando a biodiversidade;
 - Reforçar a presença de **vegetação à escala do bairro**, redefinindo o desenho do espaço público e equacionando a inclusão de áreas de estadia e de lazer;
 - **Desenhar e planear os espaços verdes** de forma a garantir uma alternância de clareiras e áreas arborizadas de preferência com espécies de folha caduca;
 - Prever no processo de desenho e de planeamento da cidade a existência de **barreiras de árvores** de folha persistente sobre o quadrante onde sopra o vento dominante, reduzindo-lhe a velocidade, para proteção das áreas de estadia;
 - Equacionar a preservação e renaturalização dos **logradouros permeáveis** com adoção de vegetação arbórea ou arbustiva que robusteçam a conectividade da Infraestrutura Verde;
 - Favorecer a **“ilha de frescura”** através de soluções que favoreçam a evapotranspiração e possibilitem um maior ensombramento de zonas consideradas críticas;
 - Nos **vales**, manter desimpedidos os corredores como canais que favoreçam a drenagem atmosférica. Introduzir vegetação para evitar a dissipação acentuada de energia em noites de arrefecimento radiativo no inverno. Nos vales com maior densidade de ocupação, evitar o aumento da densidade, assim como o aumento do número de pisos nas edificações.
 - Privilegiar a **drenagem atmosférica** nos vales identificados neste estudo como prioritários, de forma a preservá-los como corredores de ventilação, como em Benfica, Vale de Alcântara, Vale de Chelas Avenida da Liberdade e Almirante Reis.

2. No âmbito das **Orientações Específicas**, propõe-se as seguintes medidas dedicadas às unidades operativas identificadas pelas suas características distintas, ou seja: densidade urbana elevada; densidade urbana média meridional; densidade urbana baixa meridional; densidade urbana baixa e média setentrional; espaços Verdes – arvoredo; espaços Verdes – vegetação arbustiva, herbácea e culturas; frente ribeirinha e corredores de ventilação.

Densidade urbana elevada

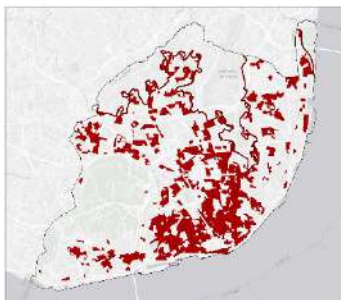


Orientações específicas:

- » Incentivar a **manutenção de logradouros** com vegetação arbórea ou arbustiva e a permeabilidade.
- » Nos **espaços verdes de lazer**, favorecer uma **estrutura diversificada**, com alternância de áreas abertas e arborizadas, dando preferência à vegetação caducifólia; a barlavento das áreas de permanência (por exemplo, em locais de lazer), ou em ruas onde possam ocorrer acelerações pontuais do vento (efeito *Venturi*), devem ser criadas barreiras, preferencialmente verdes.
- » Privilegiar, no planeamento de espaços verdes para efeitos de mitigação do calor urbano, a implementação de áreas de dimensão média preferencialmente com índices de biomassa elevados em detrimento de áreas predominantemente arbustivas e/ou herbáceas. Deverá também promover a existência de **corpos de água** nos jardins urbanos. Sempre que possível, os **espaços verdes nas áreas de elevada densidade** deverão estar **ligados aos principais corredores de ventilação** (Carnide/Alcântara e Aeroporto/Chelas).
- » Privilegiar a **ocupação de espaços intersticiais com vegetação**, de preferência caducifólia.
- » Nas áreas edificadas, **evitar o aumento da densidade**, respeitando a razão $H/W \leq 1$. **Evitar o aumento do número de pisos** dos edifícios e a construção nos espaços intersticiais.
- » Em novas urbanizações, **evitar a orientação perpendicular ao vento dominante**, de modo a diminuir a área de fachada exposta e reduzir a rugosidade aerodinâmica.
- » Sempre que possível, **utilizar materiais de construção e de cobertura de baixa condutividade e albedo elevado** (ex: telhados verdes, telhados brancos e pavimentos claros e permeáveis).
- » Dar especial prioridade às áreas emergentes de densidade urbana elevada como seja o setor oriental da cidade na freguesia do Parque das Nações, onde se regista o aparecimento da ilha de calor urbano. De igual modo, nas áreas já consolidadas da Baixa /Avenidas Novas, entre outras, deverão ser equacionadas soluções de microescala no espaço público que ofereçam condições de abrigo térmico estival e que promovam o conforto bioclimático (por exemplo, através do arrefecimento evaporativo por *spray* de água).

RELATÓRIO SÍNTESE

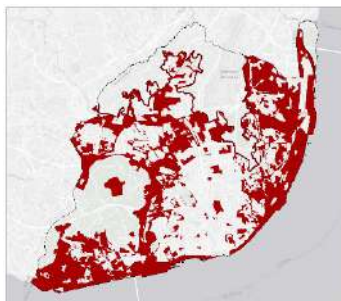
Densidade urbana média meridional



Orientações específicas:

- » Nas áreas edificadas, **evitar o aumento da densidade**, respeitando a razão $H/W \leq 1$. Evitar o aumento do número de pisos dos edifícios e a construção nos espaços intersticiais.
- » Sempre que possível, **utilizar materiais de construção e cobertura de baixa condutividade e albedo elevado** (Ex: telhados verdes, telhados brancos e pavimentos claros e permeáveis).
- » Incentivar a **manutenção de logradouros com vegetação arbórea ou arbustiva**, e a permeabilidade.
- » Criar espaços verdes extensos no interior e entre as áreas edificadas (pequenos jardins e logradouros com vegetação). Onde possam ocorrer acelerações vento (efeito *Venturi*), ponderar a restrição do plantio de árvores e espécies mais resistentes para diminuir o risco de quedas com vento forte.
- » Dar especial **prioridade à antecipação do impacto do calor** nestas áreas (tanto o desconforto térmico estival, assim como o efeito de ilha de calor urbano), através da **implementação** de iniciativas de planeamento de espaços públicos sombreados - por exemplo, **estruturas de fachada e canópias de toldos**, que não devem impedir o bom arejamento dos espaços.

Densidade urbana baixa meridional

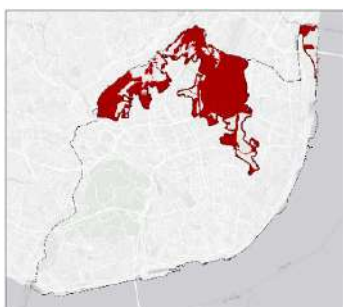


Orientações específicas:

- » **Manter a razão $H/W \leq 1$** . As ruas deverão ter uma largura que evite o **sombreamento mútuo da fachada Sul** dos edifícios no Inverno.
- » Nas áreas **topograficamente deprimidas**, dar atenção à **promoção de espaços verdes predominantemente arbóreos** de modo a evitar a perda excessiva de calor em noites de arrefecimento radiativo no Inverno.
- » Criar espaços verdes extensos no interior e entre as áreas edificadas (pequenos jardins e logradouros com vegetação), onde possam ocorrer acelerações vento (efeito *Venturi*). Ponderar a restrição do plantio de árvores a espécies mais resistentes e em menor quantidade para diminuir o risco de quedas com vento forte.
- » Nos espaços verdes de lazer favorecer uma estrutura diversificada, com alternância de áreas abertas e arborizadas, dando preferência à vegetação caducifólia.
- » A barlavento das áreas de permanência (por exemplo esplanadas), **criar barreiras de árvores de folha persistente**.
- » **Manter desimpedidos os corredores de ventilação de menor dimensão**, mas cujo papel no favorecimento de vento regional deverá ser maximizado, como por exemplo na **Avenida dos Combatentes e Av. Marechal Gomes da Costa**.

RELATÓRIO SÍNTESE

Densidade urbana baixa e média setentrional



» **Manter a razão $H/W \leq 1$** nos conjuntos urbanos de modo a evitar o aumento generalizado da rugosidade aerodinâmica neste setor da cidade. Manter a camada de atrito ao vento para valores de z_0 (rugosidade aerodinâmica) inferiores a 0,7m.

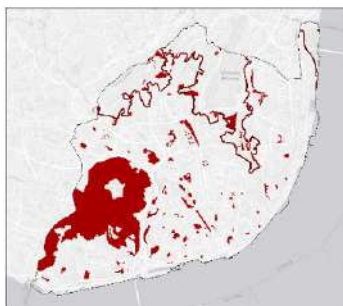
» Favorecer nas **construções** de novos conjuntos urbanos a **circulação do vento regional** e, se possível, que possam estar ligados com os principais corredores de ventilação, nomeadamente o corredor Aeroporto/Chelas e Benfica/Alcântara.

» **Manter desimpedidos os corredores de ventilação de menor dimensão**, mas cujo papel no favorecimento do vento regional deverá ser maximizado.

» Nos espaços verdes de lazer favorecer uma estrutura diversificada, com alternância de áreas abertas e arborizadas, dando **preferência à vegetação caducifólia e à presença de corpos de água** com efeito no arrefecimento.

57

Espaços Verdes - Arvoredo



Orientações específicas:

» **Manter e, se possível, aumentar estes espaços** porque desempenham um importante papel na promoção de condições bioclimáticas favoráveis (contribuindo para o arrefecimento das áreas urbanas adjacentes, através do efeito de sombra e da evapotranspiração) e na biodiversidade.

» Nas áreas de maior densidade urbana, assegurar que os espaços verdes sejam constituídos por um tipo de ocupação que privilegie elevados índices de biomassa em detrimento de áreas predominantemente arbustivas e/ou herbáceas, de modo a favorecer mais eficazmente o efeito de arrefecimento do espaço urbano.

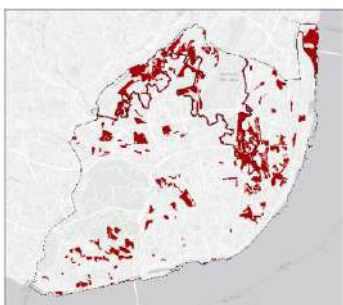
» Nos espaços verdes, **favorecer manchas densas de árvores de folha persistente.**

» A barlavento das áreas de permanência (por exemplo esplanadas), **criar barreiras de árvores de folha persistente.**

» Seleccionar para o plantio linear, espécies arbóreas de acordo com o uso principal dos espaços: preferencialmente de folha caduca a acompanhar troços pedonais de forma a proporcionar sombreamento, no verão, e a facilitar a radiação solar direta no inverno; nos eixos centrais de vias de tráfego automóvel, árvores de folha perene para sombreamento do asfalto. Dever-se-á ter especial atenção aos sistemas radiculares das espécies escolhidas de modo a não constituírem superfícies rugosas ao nível pedonal.

RELATÓRIO SÍNTESE

Espaços Verdes – vegetação arbustiva, herbácea e culturas



Orientações específicas:

- » **Manter e, sempre que for possível, aumentar estes espaços** porque desempenham um importante papel na promoção de condições bioclimáticas favoráveis (promoção da circulação do ar e evapotranspiração) e na biodiversidade.
- » **Promover a ligação em rede ou estrutura contínua entre espaços verdes e da sua ligação aos corredores de ventilação.**

Para um melhor aproveitamento da função de arrefecimento estes espaços deverão ser irrigados, sobretudo, no período mais quente do ano. No entanto, a utilização da água deve seguir as boas práticas recomendadas para o seu uso mais eficiente, constante no Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água e os procedimentos adotados pelo município nesta matéria.

58

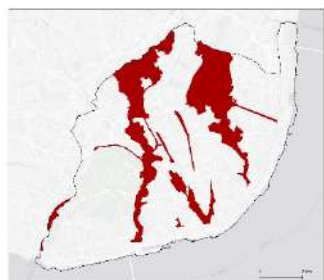
Frente Ribeirinha



Orientações específicas:

- » **Evitar o aumento da rugosidade urbana** por via da construção de edifícios altos ou médios com a fachada orientada paralelamente à margem do Tejo.
- » Dar **prioridade ao desenho urbano** que mantenha abertos corredores perpendiculares ou oblíquos em relação à margem do Tejo, que **favoreçam a penetração das brisas do estuário.**

Corredores de Ventilação



Orientações específicas:

- » **Manter corredores de ventilação com orientação N-S, predominante.** Reduzir a camada de atrito ao vento para valores de z_0 (rugosidade aerodinâmica) inferiores a 0,7m.
- » **Evitar a plantação de manchas arbóreas densas** em locais que prejudiquem a circulação dos ventos dominantes.
- » **Evitar a construção de conjuntos edificados com $H/W > 1$** ; evitar as tipologias de construções em que a fachada com a maior área esteja orientada perpendicularmente aos ventos dominantes (N, NW e NE).
- » **Áreas prioritárias para a manutenção da circulação do vento regional:**
 1. Eixo Norte/Sul;
 2. Av. Marechal Gomes da Costa;
 3. A. General Correia Barreto;
 4. Av. da República.

X. DESAFIOS FUTUROS PARA A CIDADE DE LISBOA

Os estudos realizados no âmbito do Projeto Ondas de Calor (OC) não só permitiram um melhor conhecimento sobre a realidade da cidade quanto ao comportamento térmico, como possibilitaram identificar alguns desafios de índole diversa, como adiante se enuncia e cuja relevância demonstrada contribui para uma ponderação em sede própria, que contribua para o processo de desenvolvimento sustentável da cidade capaz de oferecer à população maior qualidade ambiental.

Os diversos cenários climáticos associados às OC, e considerados nos diversos estudos realizados, demonstraram que, se perspetiva futuramente um aumento da frequência, intensidade e duração das ondas de calor, facto que contribui para um agravamento dos impactos da Ilha de Calor Urbana (ICU) nos níveis de *stress* térmico, à **mesoescala**, uma vez que os efeitos cumulativos entre as ondas de calor e da ICU devem aumentar, principalmente durante o período noturno.

No estudo da ICU em cenários climáticos futuros, foi simulada a aplicação de irrigação nos espaços verdes urbanos, entre as 21 e as 22 horas. Dai resulta uma redução significativa da temperatura noturna, permitindo compensar os efeitos do calor antropogénico durante este período do dia. Os benefícios desta medida incidem mais favoravelmente nas áreas onde existe uma mais acentuada fração verde. Contudo, esta situação também pode ter implicações negativas fundamentalmente relacionadas com a gestão dos recursos hídricos. Não obstante, **a manutenção dos espaços verdes urbanos** depende da irrigação e, por isso, esta é uma medida que poderá ser equacionada para servir dois propósitos.

Entre os desafios à mesoescala, relativamente ao crescimento da cidade, constata-se que devem ser **evitadas áreas a consolidar de grande densidade urbana, sendo de privilegiar uma ocupação de baixa intensidade residencial**, ou seja, na ordem dos 50% de ocupação urbana e 50% de ocupação por espaços verdes.

As **modificações na morfologia e na geometria urbana** decorrentes de projetos futuros devem ter em consideração os seus efeitos nas condições térmicas e na ventilação, não apenas nas áreas sujeitas a alterações urbanísticas como também nas suas áreas envolventes. A **avaliação prévia do seu efeito potencial** pode ser obtida a partir da determinação dos índices associados à rugosidade aerodinâmica, à compacidade e à volumetria.

A simulação da aplicação destas medidas às condições atuais e futuras e a sua relação com os padrões espaciais observados da Ilha de Calor Urbano de Lisboa constituem ferramentas de comprovada utilidade e relevância para as estratégias de planeamento urbano

A operacionalização e, eventualmente, a sua **consignação regulamentar** carece agora do aprofundamento do conhecimento da relação entre os fatores associadas ao edificado e ao desenho urbano e as condições atmosféricas observadas, na cidade de Lisboa. Para o efeito, devem ser **reforçadas ações-piloto e redes de monitorização, relativamente aos parâmetros meteorológicos e ambientais**, que, mediante observações contínuas, fundamentem estudos de escala microclimática, onde se observa o efeito cumulativo de todos os fatores e ainda, naquelas onde predomina apenas um dos fatores.

Neste âmbito, realça-se o interesse em reforçar a recolha à escala mesoclimática urbana, de dados de temperatura e humidade relativa, como, por exemplo, a que foi realizada durante mais de 10

RELATÓRIO SÍNTESE

anos pelo atual grupo de investigação que integrou a equipa do presente estudo⁸. Há **que assegurar uma rede de monitorização climática e ambiental, mantendo os locais de medição para a continuidade da monitorização, e se possível ampliar o número de instrumentos e diversificar as variáveis a medir**. Para além das variáveis meteorológicas (temperatura, humidade, vento, radiação solar, precipitação, pressão atmosférica, luz, etc.), considera-se também importante medir, numa malha mais fina, os poluentes atmosféricos, entre os quais os UV, o ruído, o tráfego, o conforto térmico e até os odores. Sem a concretização deste objetivo, não é possível validar os resultados estimados para o futuro, nem criar um sistema de alerta em cada bairro, quanto aos tempos de alterações climáticas e aos eventos extremos.

Esta **rede de monitorização deve conjugar esforços com a Plataforma de Gestão Inteligente de Lisboa (PGIL)**, para repositório de dados e produção de relatórios, permitindo ainda, o acesso aos dados de forma livre (Plataforma Lisboa Aberta) e possibilitando novos estudos neste domínio.

À **microescala** da cidade, e no âmbito do balanço energético, os estudos realizados permitem retirar algumas conclusões e consolidar recomendações, ao nível das medidas de mitigação/adaptação, a implementar em diferentes quarteirões, em particular, e a equacionar no processo de planeamento urbano da cidade, em geral.

No que respeita a medidas de **adaptação do espaço público**, o desafio coloca-se à criatividade para a adoção de medidas de **arrefecimento evaporativo**, nomeadamente ao nível do arrefecimento por *sprays* e por massas de água. Medidas com impactos positivos sobre o conforto térmico exterior, na **alteração da refletividade do pavimento** ou soluções de **sombreamento**. De um modo geral, deve ser considerada a criação de **espaços de lazer e abrigo**, enquanto elementos importantes que contribuem para o bem-estar e para a qualidade de vida dos cidadãos em espaço público, combinando diferentes medidas de mitigação/adaptação à ICU, como o sombreamento, os pavimentos e arrefecimento evaporativo por *sprays*. De forma a aliar estas valências a um efeito mitigador da ilha de calor, considera-se ser necessário estudos mais detalhados e com incidência geográfica, que tenham em consideração as condições urbanas específicas de cada local.

Por outro lado, ao **nível do edificado**, será um grande desafio a introdução de **soluções de arquitetura** segundo critérios bioclimáticos, que permitam a ventilação e o abrigo dos transeuntes, como as galerias, por exemplo. Também é relevante o contributo de estudos cromáticos para as fachadas dos edifícios, permitindo avaliar a reflexão da radiação solar direta, sendo para tal essencial um estudo vetorial da incidência dos raios solares ao longo do ano de forma a perceber onde poderá ocorrer a sua concentração, o que, devido à geometria dos edifícios, pode originar temperaturas excessivas no foco. As medidas atenuantes podem incluir, a título de exemplo, a escolha de padrões ou de cores intercaladas de modo a aliviar o efeito da reflexão. A **altura dos edifícios**, requer também um estudo que integre a sazonalidade, uma vez que a posição aparente do sol no céu se altera diária e anualmente, originando sombreamentos que podem ser mais ou menos intuitivos e usados a favor das condições exteriores que se pretende criar.

Outro desafio considerado importante é a **redução das fontes antropogénicas de calor**. De facto, o **tráfego automóvel** baseado em frotas movidas a combustíveis fósseis constitui-se como uma das mais importantes fontes antropogénicas de calor numa cidade.

⁸ Zephyrus – Alterações Climáticas e Sistemas Ambientais, do Centro de Estudos Geográficos, da Universidade de Lisboa.

RELATÓRIO SÍNTESE

A visão sustentada no PAESC⁹, recentemente revista e robustecida na proposta técnica do Plano de Ação Climática 2030, aponta para uma inversão do atual padrão de mobilidade, passando a prevalecer a mobilidade em transportes públicos e meios suaves, o que implica a redução do tráfego automóvel em Lisboa, bem como a tendência para uma eletrificação crescente dos transportes até 2050, reduzindo-se também, deste modo, as fontes de calor associadas aos motores de combustão interna.

As simulações realizadas no âmbito dos estudos efetuados assumem a ausência de fontes de calor representativas dos veículos a combustão interna, aproximando-se assim de um cenário de 100% de eletrificação dos veículos que circulam na cidade. Os resultados obtidos revelam-se, mesmo neste cenário ótimo, já muito gravosos para o conforto térmico exterior, reforçando a pertinência e caráter estratégico de eletrificação do transporte e da redução do tráfego automóvel no quadro da mitigação e adaptação às alterações climáticas.

A apropriação do potencial **solar fotovoltaico** da cidade, nomeadamente o alcance da meta de 100 MW em 2030, significará um aumento relevante do número de sistemas instalados nas coberturas dos edifícios (atualmente uma potência instalada de cerca de 5 MW). A conversão da radiação solar em eletricidade pelos painéis fotovoltaicos implica, por um lado, a captação de radiação e, por outro, a libertação de calor resultante do processo de conversão. O impacto da presença de campos solares na ICU tem vindo a ser analisado pela comunidade científica, não sendo ainda consensual se é positivo ou negativo. No âmbito dos estudos efetuados foram realizadas simulações para um dia de verão em Lisboa, assumindo a utilização integral das coberturas de um bairro por sistemas fotovoltaicos. Os resultados obtidos apontam para potenciais reduções da temperatura do ar, ao nível da circulação de transeuntes, na ordem dos 0.13°C. Face às simplificações necessárias para a realização das simulações, considera-se que este resultado aponta para um impacto nulo dos sistemas fotovoltaicos na ICU, embora, se considere necessário aprofundar este conhecimento recorrendo a simulações mais complexas.

Sem prejuízo, os benefícios decorrentes da produção local de eletricidade solar são tidos como estratégicos, resultando na recomendação de manutenção dos objetivos constantes da Estratégia Lisboa Cidade Solar.¹⁰

Os **sistemas de climatização** constituem uma fonte antropogénica de calor que pode igualmente ser significativa, sendo, no quadro da ICU, apenas relevante o calor libertado pelos sistemas de arrefecimento ambiente.

Por último, é de realçar que as medidas mencionadas e as respetivas argumentações surgem como uma grande oportunidade, não apenas para qualificar o espaço urbano da cidade, mas, sobretudo, para o preparar para cenários adversos, otimizando o conhecimento e as conclusões resultantes dos estudos elaborados. Contudo, esta nova forma de enfrentar o impacto das alterações climáticas

⁹ Plano de Ação para a Energia Sustentável e Clima, elaborado no âmbito do Pacto dos Autarcas para a Energia e o Clima, aprovado pela CML a 22 de maio de 2018 (Proposta 332/CM/2018) e pela AML a 28 de junho de 2018 (Deliberação nº241/AML/2018).

https://www.lisboa.pt/fileadmin/cidade_temas/ambiente/qualidade_ambiental/documentos/Relatorio_PAE_SC.pdf

¹⁰ A Estratégia de Lisboa Cidade Solar integra o Plano de Ação para a Energia Sustentável e Clima (SECAP), foi aprovado pelo município em junho de 2018 e desenvolvido pela Lisboa E-Nova em parceria com a Municipia. <https://lisboaenova.org/solispotencial-solar-em-lisboa/>

RELATÓRIO SÍNTESE

no território requerem uma legitimidade no processo de atuação e de gestão na cidade, por parte dos serviços com responsabilidade na matéria. Neste contexto, consideramos que, para a concretização de muitas das medidas anteriormente referidas, tendo em vista mitigar o impacto das alterações climáticas na cidade, é necessário **normativos legais** que garantam a sua implementação. Devendo estes, ser devidamente enquadrados e balizados pelos dispositivos regulamentares em vigor.

RELATÓRIO SÍNTESE

XI. SIGLAS

AC - Alterações Climáticas

AML - Área Metropolitana de Lisboa

ClimAdaPT-Local - Estratégias Municipais de Adaptação às Alterações Climáticas

CML - Câmara Municipal de Lisboa

COP21 - Conferência do Clima de Paris ou 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas

EMAAC - Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas

EN AAC - Estratégia Nacional para Adaptação às Alterações Climáticas

GEE - Gases com efeito de estufa

ICU- Ilha de Calor Urbano

IGOT - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change Assessment Report*, IPCC

IPMA - Instituto Português do Mar e Atmosfera

LOD3 – Nível de Detalhe, em inglês *Level of detail*

MDT - Modelo Digital de Terreno

MNA - Modelo Numérico Altimétrico

MNA - Modelo Numérico Altimétrico

MNT - Modelo Numérico Topográfico

MNTC - Modelo Numérico Topo-Cartográfico

OC - Onda de Calor

PET - Temperatura Fisiológica Equivalente

PMAAC-AML - Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da Área Metropolitana de Lisboa

PO SEUR - Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos

RCP8.5 - *Representative Concentration Pathways* - Neste caso RCP8.5, é um patamar elevado para cada forçamento radiativo e superior a $8,5 \text{ Wm}^{-2}$ em 2100 e continua a aumentar durante algum tempo (o RCP correspondente assume emissões constantes após 2250) [IPCC, 2013]

SIG - Sistema de Informação Geográfica

TTL - Tipo de Tempo Local

URCH - Unidade de Resposta Climática Homogénea

WRF - *Weather Research and Forecasting*