



RELATÓRIO

FASE 1 | JUNHO 2020

Adenda Identificação das Ilhas de Calor Urbano e Simulação para Áreas Críticas na Cidade 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:



75
anos

Cofinanciado por:



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

Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor no futuro
(2070-2100, IPCC - RCP 8.5)

Relatório

**IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA
CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras**

FICHA TÉCNICA

Coordenador	António Lopes
Membro da Equipa	Ana Oliveira
Membro da Equipa	Cláudia Reis
Membro da Equipa	Ezequiel Correia

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

ÍNDICE

FICHA TÉCNICA	2
Índice	3
Índice de Figuras	4
Índice de tabelas	5
PREÂMBULO	6
1. PADRÃO ESPACIAL DA ICU FUTURA, EM CADA TIPO DE TEMPO DOMINANTE E DIAS DE CALOR EXTREMO	7
1.1 Modelação Espacial: Dados e Metodologia	7
1.1.1. Estimacção da Intensidade ICU (ΔT_{u-r}) no futuro, com o edificado projetado para a cidade de Lisboa, de acordo com os vários tipos de tempos.....	7
1.1.2. Projecção climática urbana (ICU) e onda de calor futura (OC_f) ao entardecer, de acordo com o cenário mais gravoso do IPCC (2014) - RCP 8.5, para o período 2070-2100	13
2. RESULTADOS.....	15
2.1. Estimacção da intensidade ICU (ΔT_{u-r}) no futuro, com o edificado projetado para a cidade de Lisboa de acordo com os vários tipos de tempos locais.....	15
2.2. Projecção climática urbana (ICU) e onda de calor futura (OC_f) ao entardecer, de acordo com o cenário mais gravoso do IPCC (2014) - RCP 8.5, para o período 2070-2100.	25
3. CONCLUSÕES	32
BIBLIOGRAFIA.....	33
ANEXO	36

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Alterações da densidade urbana nas células de 100x100m na “cidade do futuro” (termo de comparação: densidade urbana atual). Fonte: Correia, 2020. 12

Figura 2 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Inverno - Entardecer 15

Figura 3 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Inverno - Noite..... 16

Figura 4 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Verão - Entardecer..... 17

Figura 5 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Verão - Noite..... 18

Figura 6 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Onda de Calor - Entardecer 19

Figura 7 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Onda de Calor - Noite 20

Figura 8 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa futura, na envolvente dos bairros projetados..... 24

Figura 9. Valor médio das anomalias da temperatura máxima no Verão, na AML, para o período 2041-2070 no cenário RCP 8.5: Extraído de PMAAC AML (2020)..... 25

Figura 10. Regime do vento em Lisboa Portela (período 1974-2016): A - regime anual da velocidade do vento (m/s); B - rosa de ventos anual. Adaptado de PMAAC AML, 2020..... 26

Figura 11 – Padrões térmicos ao entardecer de inverno no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) 27

Figura 12 – Padrões térmicos das noites de inverno no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) 28

Figura 13 – Padrões térmicos ao entardecer de verão no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) 29

Figura 14 – Padrões térmicos das noites de verão no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) 30

Figura 15 – Padrões térmicos em situação de Onda de Calor ao entardecer no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) 31

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valor da intensidade da ICU (ΔT_{u-r}), calculada pela mediana da diferença entre cada estação da Rede IGOT e o Aeroporto, por tipo de tempo local (TTL), ao entardecer (máximo diário) e durante a noite (período estável positivo).....	9
Tabela 2 – Variáveis Explicativas testadas na modelação dos campos térmicos de Lisboa	11
Tabela 3 - Valores médios ($^{\circ}\text{C}$) da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura, por Freguesia	22

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

PREÂMBULO

De acordo com o **Contrato de Aquisição de Serviços nº 19042458**, designado “Identificação das Ilhas de Calor Urbano e Simulação para as Áreas Críticas na Cidade de Lisboa”, apresenta-se o Relatório da Fase 1b) de acordo com a cláusula 3, ponto 2 a) do Caderno de Encargos.

O presente relatório é uma adenda ao relatório anterior, *Identificação das Ilhas de Calor Urbano e simulação para as Áreas Críticas da Cidade de Lisboa - Fase 1 – Caracterização e cartografia das ilhas de calor atuais*, acrescentando-se a caracterização dos padrões espaciais da Ilha de Calor Urbano da Cidade Futura (incluindo as alterações ao parque edificado previstas), expressos na cartografia digital entregue¹, designadamente:

- a) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura no Inverno, ao entardecer
- b) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura no Inverno, durante o período noturno
- c) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura no Verão, ao entardecer
- d) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura no Verão, durante o período noturno
- e) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura durante um dia de Onda de Calor, ao entardecer
- f) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura durante um dia de Onda de Calor, durante o período noturno

e a Projeção Climática Urbana (ICU) e onda de calor futura (OCf), de acordo com o cenário mais gravoso do IPCC (2014) - RCP 8.5, para o período 2070-2100.

- g) Mapa da intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) – Entardecer no Inverno
- h) Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Noite de Inverno
- i) Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Entardecer de Verão
- j) Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Noite de Verão
- k) Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Entardecer em Onda de Calor

Para efeitos de contextualização teórico-científica da problemática das ilhas de calor, no contexto do clima urbano, bem como consulta às principais projeções de alterações climáticas para a Área Metropolitana de Lisboa e sua relevância para o clima local, sugere-se a consulta aos capítulos 1 e 2 do relatório anterior (*Lopes et al., 2020*).

¹ Inclui-se em anexo a este relatório os metadados da cartografia elaborada.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

1. PADRÃO ESPACIAL DA ICU FUTURA, EM CADA TIPO DE TEMPO DOMINANTE E DIAS DE CALOR EXTREMO

1.1 MODELAÇÃO ESPACIAL: DADOS E METODOLOGIA

A modelação da ilha de calor urbano (ICU) futura segue a metodologia aplicada anteriormente para a modelação dos padrões espaciais da ICU típica dos tipos de tempo dominantes (TTD) atuais (relatório da Fase 1 – Caracterização e cartografia das ilhas de calor atuais), com pequenas exceções que se explicarão mais adiante.

O presente trabalho é constituído por duas etapas:

- A. - Estimção da Intensidade ICU (ΔT_{u-r}) no futuro, com o edificado projetado para a cidade de Lisboa;
- B. - Projeção climática urbana (ICU) e onda de calor ao entardecer (OCE), de acordo com o cenário mais gravoso do IPCC (2014) - RCP 8.5, para o período 2070-2100.

1.1.1. Estimção da Intensidade ICU (ΔT_{u-r}) no futuro, com o edificado projetado para a cidade de Lisboa, de acordo com os vários tipos de tempos

A modelação da intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura é um desafio com grande grau de incerteza, pois as projeções existentes são desenvolvidas em modelos globais e regionais. O recurso a soluções de modelação microclimática, como sejam as que usam o software ENVI-met, não é ainda uma solução viável, pois está limitada a pequenas áreas urbanas (tipicamente inferiores a 3 km²), devido sobretudo a limitações computacionais de processamento. Por conseguinte, torna-se muito difícil estimar a intensidade da ICU no futuro, sendo a solução mais utilizada o *Downscaling* Estatístico (DE) climático (Smid e Costa, 2018). O DE é genericamente composto por técnicas estatísticas normalmente multivariadas, que transformam os valores representativos do clima às escalas globais e regionais em escalas mais finas (locais). Para se chegar a essa escala fina, existem variadíssimas técnicas, mas em todas é necessário conhecer os padrões de distribuição espacial que resultam da interpolação de valores normalmente obtidos em grelhas de pontos, ou em locais de

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

medição numa escala climática local. O DE urbano é baseado no princípio genérico de que o clima regional é condicionado por dois fatores de escalas climáticas diferentes: a grande e média escala (global e regional) e as características locais como a topografia, a proximidade de grandes massas de água, a ocupação e uso do solo (incluindo os espaços verdes), a densidades urbanas, entre outras.

Neste trabalho utilizaram-se os dados registados nas estações da Rede do Centro de Estudos Geográficos do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (Rede CEG/IGOT), pontos de observação imprescindíveis ao desenvolvimento de modelos de previsão espacial. Optou-se por utilizar, como ponto de partida, os valores de intensidade de ICU anteriormente calculados para estimar as ICU atuais (ver relatório da fase 1), pressupondo-se que os resultados da modelação das intensidades de ICU devem ser encarados como cenários conservadores e que a intensidade da ICU se mantêm constantes (diferenças entre os locais de medição da rede CEG/IGOT e o Aeroporto de Lisboa). As maiores alterações previstas decorrem assim das modificações no edificado da cidade, com base nos edifícios a demolir e nos que estão previstos nos loteamentos aprovados pela CM de Lisboa até dezembro de 2018, que alteram as densidades de ocupação e os vários índices que as caracterizam (Correia, 2020), e que servem de novos preditores. Na Tabela 1 recordam-se os valores de intensidade da ICU em cada ponto da Rede CEG/IGOT para as estações térmicas extremas e para um evento de onda de calor. Os detalhes da metodologia de cálculo constam do relatório da Fase 1 (Lopes *et al.*, 2020).

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

Tabela 1 – Valor da intensidade da ICU (ΔT_{u-r}), calculada pela mediana da diferença entre cada estação da Rede IGOT e o Aeroporto, por tipo de tempo local (TTL), ao entardecer (máximo diário) e durante a noite (período estável positivo)

Temperatura Média de Referência (T _{mr}) e Intensidade da Ilha de Calor Urbano (ΔT_{u-r}) (°C)						
Estação	TTD de Verão		TTD de Inverno		Onda de Calor (06/07/2010)	
	Entardecer (18h-20h)	Noite (21h-6h)	Entardecer (17h-19h)	Noite (20h-7h)	Entardecer	Noite
(T _{mr}) Aeroporto ¹	22,4	18,7	12,4	10,9	30,2	27,6
(ΔT_{u-r}) Bairro Alto	1,14	0,71	0,83	0,29	2,18	0,87
Belém	2,30	1,03	1,91	1,11	2,02 (2.1)	0,75 (0.21)
Campo de Ourique	1,96	0,95	1,26	0,48	0,14 ²	0,54 ²
Carnide	0,56	0,20	0,91	0,28	1,17 (1.186)	0,29 (0.62)
Monsanto	0,92	-0,65	0,20	-0,64	1,07 (1.35)	-0,10 (-0.08)
Parque das Nações	2,41	0,99	1,64	0,90	2,02 (2.8)	-0,20 (-0.15)
Restauradores	3,15	1,68	2,21	1,42	4,15 (4.35)	1,49 (1.83)
Saldanha	2,03	1,20	1,69	0,76	2,28 (2.46)	0,92 (1.45)
V. de Alcântara	1,42	0,50	1,38	0,12	0,41 ²	0,39 ²

¹Estação de Referência para cálculo da ICU

²Dados estimados

Variáveis Explicativas Consideradas

As variáveis explicativas utilizadas na modelação espacial da ICU da cidade futura são as mesmas utilizadas na fase 1 (Lopes *et al.*, 2020), caracterizando a diversidade geográfica natural e a ocupação do solo, a saber:

- (i) fatores geográficos como a topografia ou a distância ao Tejo;
- (ii) índices de geometria e densidade do tecido urbano construído, calculados no âmbito dos “Mapas Climáticos Urbanos”, na sua versão da “cidade futura” (Correia, 2020);
- (iii) características sazonais das superfícies, tais como o estado da vegetação ou as componentes do balanço energético e radiativo urbano, obtidas a partir de imagens de satélite de dias representativos das condições medianas identificadas.

A Tabela 2 contém a lista e uma descrição sumária de todos os parâmetros considerados na modelação espacial, identificando-se, com sombreamento cinza, as variáveis explicativas que foram substituídas pelas suas versões equivalentes da cidade futura. Estas variáveis explicativas foram, novamente, reamostradas para uma resolução em grelha de 100x100m, concordante com os

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

“Mapas Climáticos Urbanos - Geometria e densidade urbana futura” (Correia, 2020), e convertidas em formato de matriz digital (*geotiff*), de forma a uniformizar os inputs do modelo geoestatístico, e a respeitar os requisitos de introdução de variáveis do mesmo.

Por conseguinte, os parâmetros das características geográficas do território e da permeabilidade das superfícies foram mantidos, uma vez que não se perspetivam alterações significativas no tipo de coberturas do solo. Também se mantiveram os dados obtidos através de imagens de satélite, devido à sua natureza retrospectiva, pois, utilizar modelos preditivos nas imagens, implicaria um elevado grau de arbitrariedade e incerteza. Os detalhes do seu processamento constam do relatório da Fase 1 (Lopes *et al.*, 2020).

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

Tabela 2 – Variáveis Explicativas testadas na modelação dos campos térmicos de Lisboa

Tipo	Variável Explicativa	Fontes de Dados:
Fatores Geográficos de Mesoescala	Latitude/Longitude	Cálculo da posição do centroide de cada célula da grelha de 100x100m, sistema de referência ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763), ArcGIS Pro versão 2.4.0
	Altitude (m)	Modelo Digital de Terreno ASTER GDEMv3 (Team, 2009)
	Orientação da encosta ($^{\circ}$)	Cálculo da orientação através da ferramenta <i>Aspect</i> disponível no módulo <i>3D Analyst Tools</i> do software ArcGIS Pro versão 2.4.0
	Distância à Margem do Tejo (m)	Cálculo da distância através da ferramenta <i>Euclidean Distance</i> disponível no módulo <i>Spatial Analyst</i> do software ArcGIS Pro versão 2.4.0
Áreas Verdes e Permeabilidade	Índice de vegetação por diferença normalizada	Imagens ETRS+/Landsat7 ² , formulação conforme (Lopes, 2003; Rigo & Parlow, 2007)
	Nível de impermeabilização	(European Environment Agency (EEA), 2018a)
	Percentagem de cobertura arbórea	(European Environment Agency (EEA), 2018b)
Geometria e Densidade Urbanas Cidade Futura	Altura do Edificado	Edificado (planimetria e altimetria) – CM Lisboa (2019)
	Índice de Compacidade (HW)	(Correia, 2020)
	Comprimento da Rugosidade Aerodinâmica (Z_0)	(Correia, 2020)
	Altura do Plano de Deslocamento (Z_d)	(Correia, 2020)
	Índice Volumétrico (IV)	(Correia, 2020)
	Densidade de Edificado (λ_p)	(Correia, 2020)
	Densidade de Área Frontal (λ_f)	(Correia, 2020)
	Densidade Urbana (DU)	(Correia, 2020)
Balanço Energético e Radiativo das Superfícies ¹	Fluxo de Calor Latente Q _E	Imagens ETRS+/Landsat7, formulação conforme (Lopes, 2003; Rigo & Parlow, 2007)
	Fluxo de Calor Sensível Q _H	Imagens ETRS+/Landsat7, formulação conforme (Lopes, 2003; Rigo & Parlow, 2007)
	Fluxo de Calor Armazenado Q _G	Imagens ETRS+/Landsat7, formulação conforme (Lopes, 2003; Rigo & Parlow, 2007)
	Rácio Q _G /Q _{net}	Imagens ETRS+/Landsat7, formulação conforme (Lopes, 2003; Rigo & Parlow, 2007)
	Albedo das Superfícies	Imagens ETRS+/Landsat7, formulação conforme (Lopes, 2003; Rigo & Parlow, 2007)

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

Os parâmetros de geometria e densidade urbanas que foram objeto de atualização consideraram as seguintes alterações:

- (i) edificado a demolir;
- (ii) edificado a construir, conforme processos aprovados até dezembro de 2018. Dessas alterações, verificam-se alguns núcleos que, pela sua dimensão, importa referir (Correia, 2020): a) na parte setentrional: Benfica / Carnide e Lumiar / Alta de Lisboa; b) no setor oriental: Marvila / Parque das Nações, na frente ribeirinha, e Sapadores; c) na parte central da cidade: Entrecampos, Laranjeiras, Campo de Ourique / Campolide e Jardim Botânico; e d) na parte meridional: Cais do Sodré e Alcântara, na frente ribeirinha, e Alvitto.

Na Figura 1 apresentam-se as modificações ao índice de Densidade Urbana nas células onde se verificam alterações ao parque edificado.

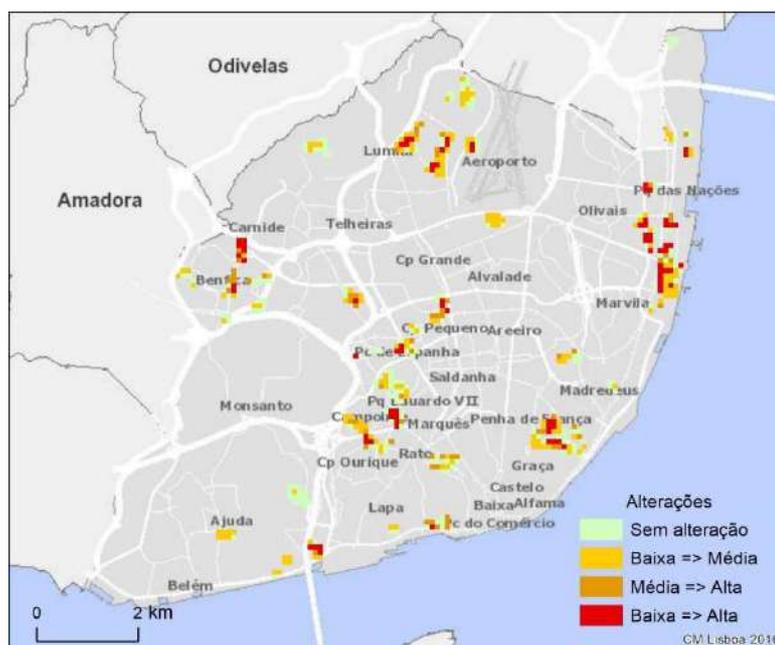


Figura 1 – Alterações da densidade urbana nas células de 100x100m na “cidade do futuro” (termo de comparação: densidade urbana atual). Fonte: Correia, 2020.

Valores dos centroides das classes de densidade urbana						
Classe	Z0	Zd	H/W	IV	λ_p	λ_f
Alta	2,62	31,34	0,97	0,24	0,34	0,27
Média	1,37	20,00	0,78	0,22	0,32	0,18
Baixa	0,52	8,00	0,26	0,12	0,16	0,07

Na sua versão para a Cidade Futura, os índices de geometria e densidade urbanas sofreram alterações em 489 células da grelha de base 100x100m utilizada, verificando-se um aumento

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

significativo da proporção de áreas designadas como de ‘Alta Densidade’, nestes locais (Correia, 2020).

Modelo Geoestatístico

Para a interpolação espacial dos resultados para a Cidade Futura, foi mantida a opção pelo método *Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction* (EBKRP), implementado no módulo *Geo-statistical Analyst Tools* do software ArcGIS Pro, versão 2.4.0 (Krivoruchko, 2012; Krivoruchko & Gribov, 2019). A descrição metodológica detalhada consta do Relatório da Fase 1 (Lopes *et al.* 2020).

Mantiveram-se os procedimentos utilizados na Fase 1 (Lopes *et al.* 2020), substituindo apenas as camadas de informação cujas variáveis preditivas foram objeto de alteração, ou seja, usando agora os Índices de Geometria e Densidade Urbanas da Cidade Futura (Correia, 2020). Em coerência com o trabalho de atualização destes índices, também a intensidade da ICU foi recalculada para as células correspondentes às áreas onde existe alterações ao edificado prevista, numa grelha de 100x100m. Os mapas da intensidade da ICU do futuro resultam, portanto, de novas curvas de intensidade de ICU geradas a partir da grelha de 100x100m atualizada.

1.1.2. Projecção climática urbana (ICU) e onda de calor futura (OC_f) ao entardecer, de acordo com o cenário mais gravoso do IPCC (2014) - RCP 8.5, para o período 2070-2100

Os climas urbanos resultam da ação combinada dos valores médios dos regimes de mesoescala (regional) e dos padrões locais (no caso das temperaturas da camada limite atmosférica urbana representadas pela intensidade média e extrema da ICU (ΔT_{u-r}), para um determinado tipo de tempo local). No futuro, esse padrão será agravado pelo aumento da temperatura global há muito projetada pelos cenários climáticos do IPCC (2014). Neste trabalho assumiu-se o cenário mais gravoso (RCP 8.5), que projeta um aumento da temperatura máxima que poderá chegar a cerca de mais 3,4°C na AML e de cerca de mais 3,3°C na Península de Lisboa, em relação ao cenário base do período 1971-2000 (PMAAC AML, 2019).

A intensidade média (ICU_f) e extrema (ICU_{ocf}) futura foi calculada através das equações [1] e [2].

$$ICU_f = ICU_a (\Delta T_{u-r}) + RCP8.5 \quad [1]$$

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

No caso dos tipos de tempo extremos, como uma onda de calor, ao padrão térmico urbano, deverá ser acrescido o valor de intensidade máxima da onda de calor projetada (Int_{OCP}).

$$ICU_{OC_f} = ICU_f + Int_{OCP} \quad [2]$$

As fontes de informação utilizadas neste trabalho foram os seguintes:

$ICU_a (\Delta T_{u-r})$ - Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) atual

$ICU_f (\Delta T_{u-r})$ - Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) no futuro, com o edificado projetado para a cidade de Lisboa;

RCP8.5 - Temperatura máxima e mínima de acordo com o cenário RCP8.5; dados do Portal do Clima resultantes do projeto Europeu EUROCORDEX;

Int_{OCP} - Intensidade máxima da onda calor projetada, Rocha et al (2020): 3,5 °C

Os dados referentes ao RCP 8.5 para o final do século (2070-2100) foram obtidos através do Portal do Clima (portaldoclima.pt), em formato NetCDF e convertidos em grelhas regulares de pontos na AML. Foram recolhidos os valores estacionais de Verão (jja) e Inverno (djf) (temperaturas máxima e mínima), dos *Ensembles* Globais e Regionais. A espacialização desta informação foi efetuada através de um procedimento geoestatístico (*Diffusion kernel*) em ArcCMap (v. 10.7.1).

A simulação de uma onda de calor no futuro (OC_f), foi elaborada sobrepondo o efeito local da $ICU_f (\Delta T_{u-r})$, com o cenário IPCC8.5 do verão (entardecer), adicionando-se a intensidade da onda de calor futura (Rocha et al, 2020). De notar que não foi feito o cenário noturno por falta de informação referente à intensidade da OC durante a noite.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

2. RESULTADOS

2.1. Estimação da intensidade ICU (ΔT_{u-r}) no futuro, com o edificado projetado para a cidade de Lisboa de acordo com os vários tipos de tempos locais

Cartografia da Intensidade da Ilha de calor urbano (ICU) futura

Nesta secção apresentam-se os padrões térmicos que configuram as ICU (e de frescura – anomalias negativas) de Lisboa de acordo com os tipos de tempo locais (TTL) e uma onda de calor (OC) (Figura 1). De notar que se mantém os dois períodos em que se destacaram mais esses padrões (entardecer e noturno), de acordo com a investigação apresentada no relatório da Fase 1 - ICU atuais.

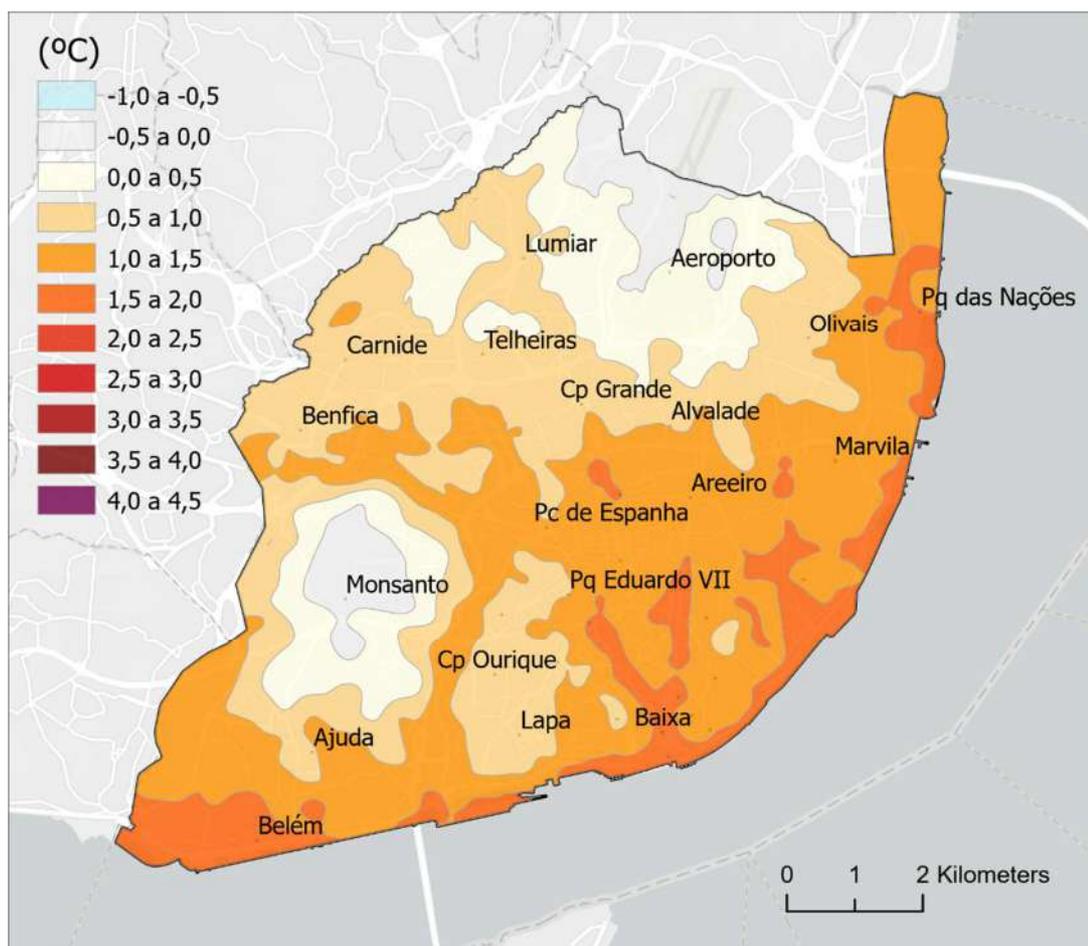


Figura 2 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Inverno - Entardecer

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

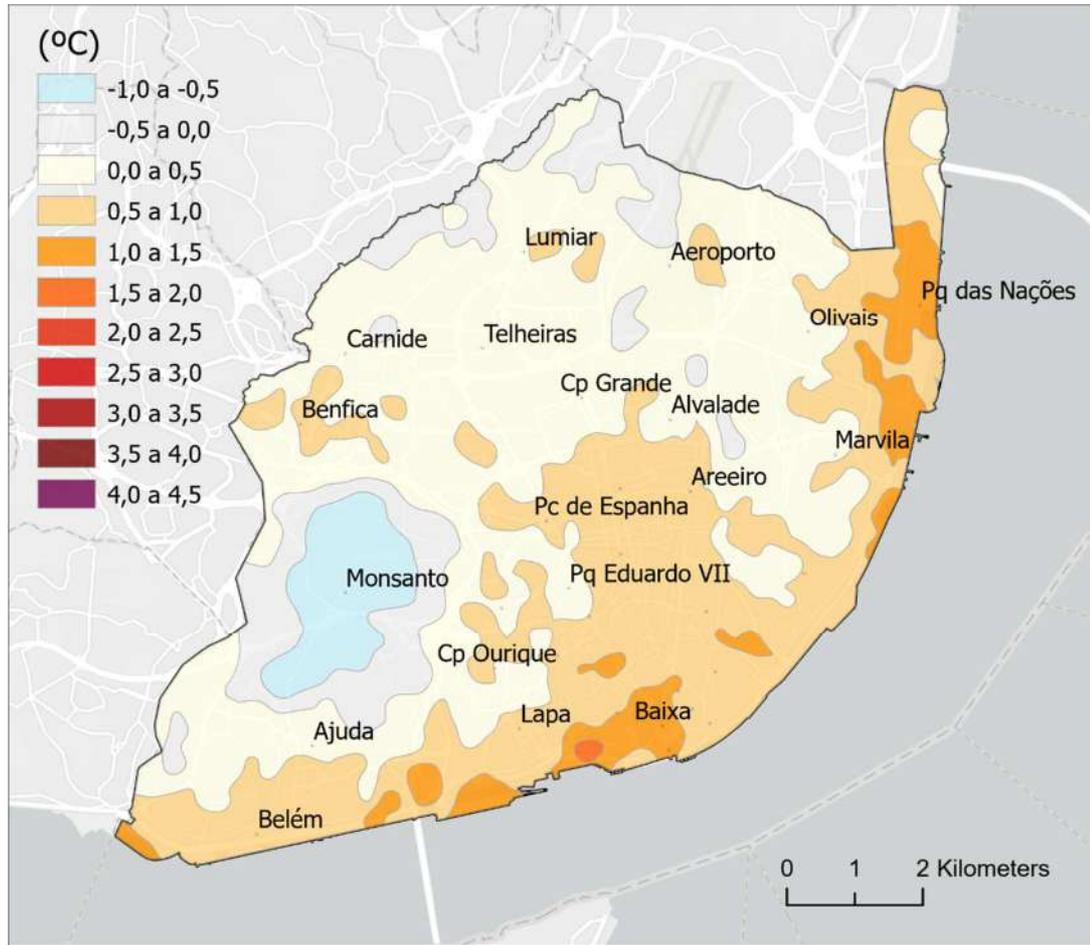


Figura 3 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Inverno - Noite

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

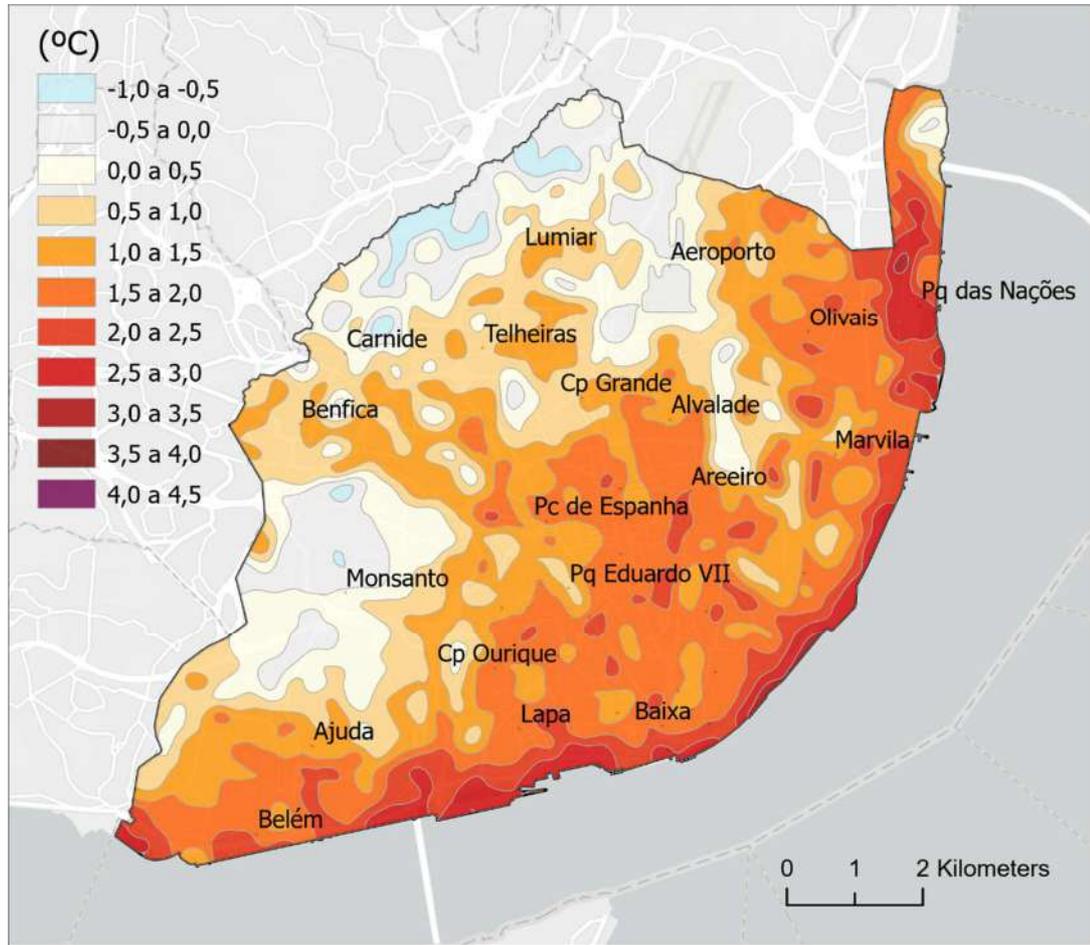


Figura 4 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Verão - Entardecer

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

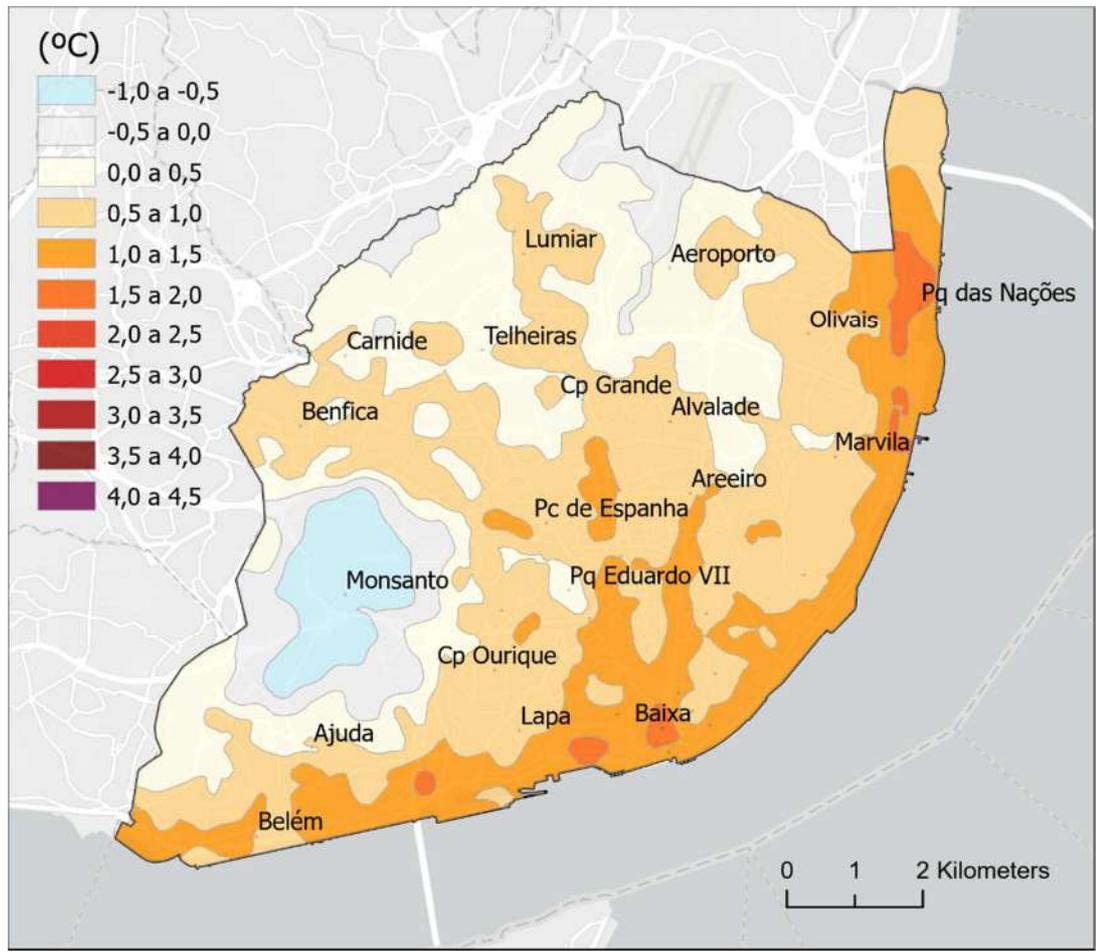


Figura 5 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Verão - Noite

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

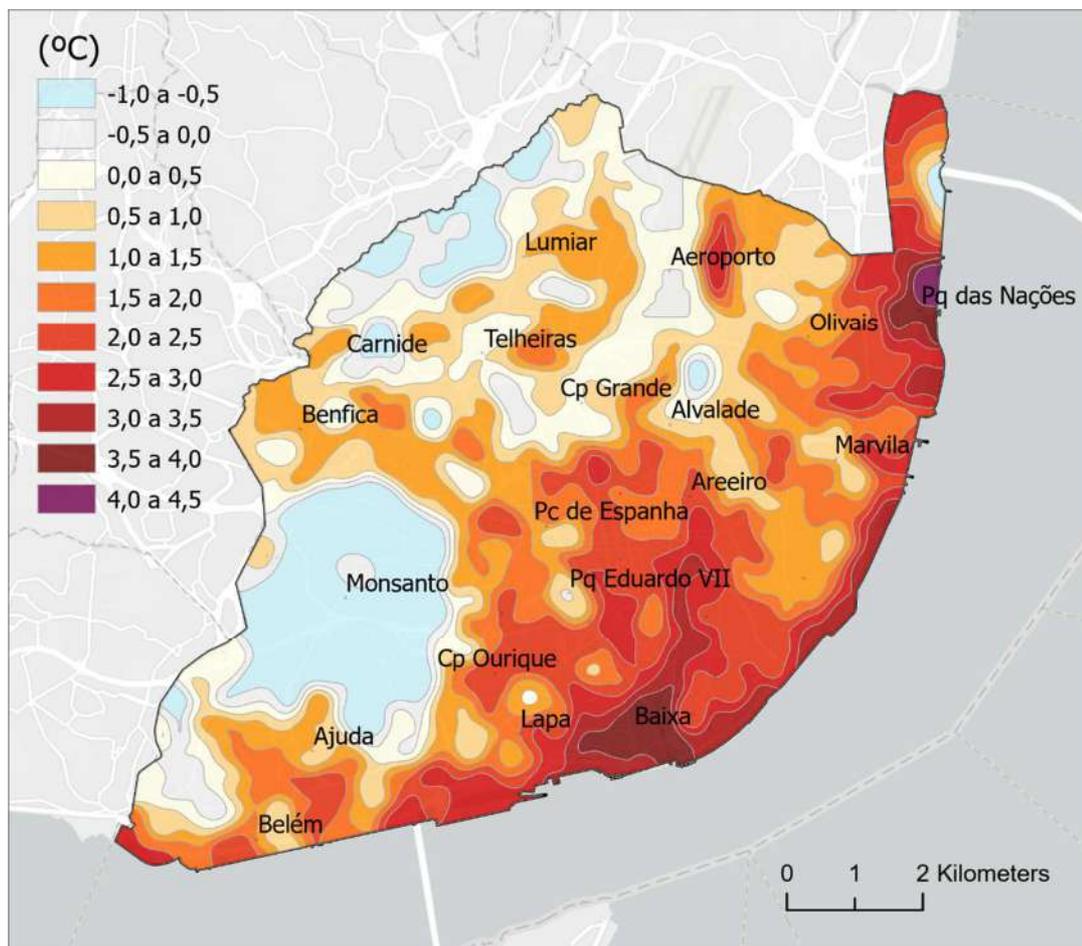


Figura 6 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Onda de Calor - Entardecer

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

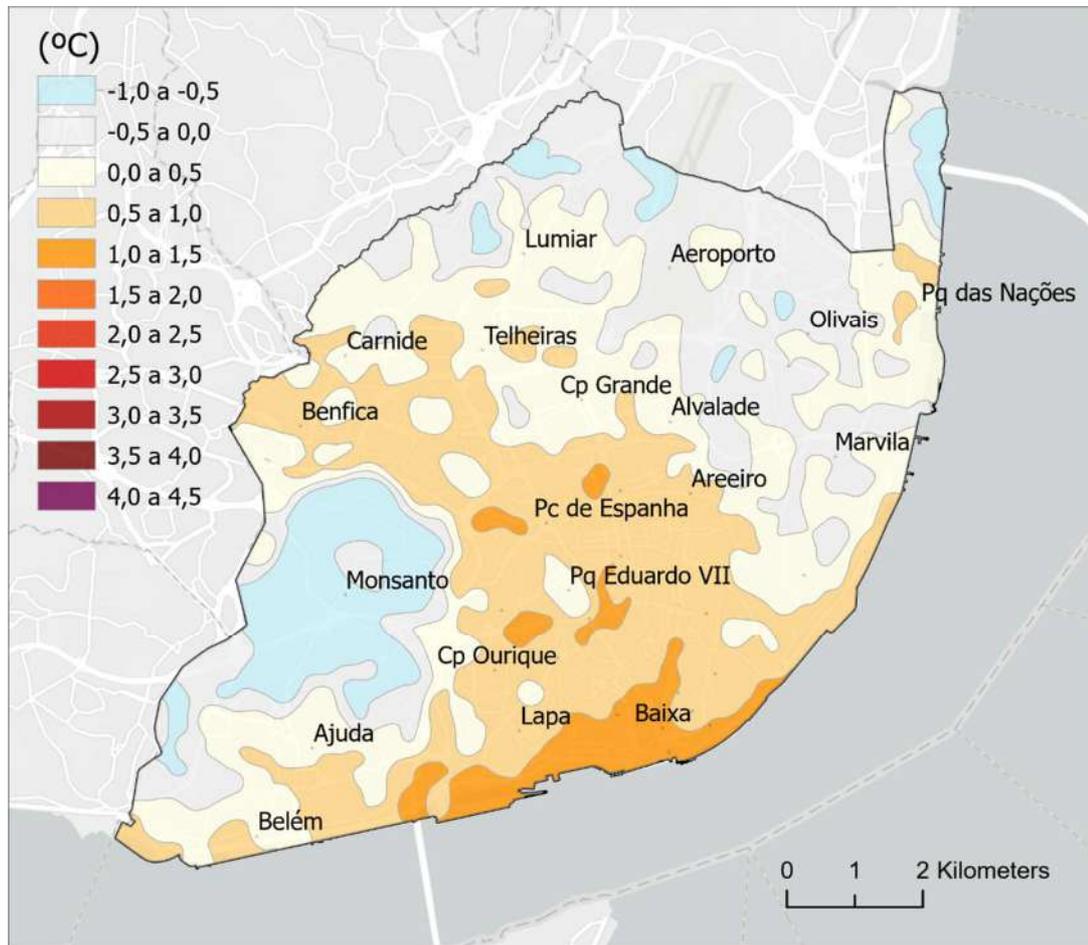


Figura 7 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura em Lisboa: Onda de Calor - Noite

Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios da Intensidade (ΔT_{u-r}) projetadas para o futuro, tendo em conta apenas as mudanças de densidade urbana, em cada uma das freguesias de Lisboa (ordenaram-se as freguesias de acordo com a intensidade de uma onda de calor projetada). Mas antes de mais, convém tecer alguns comentários sobre a metodologia utilizada: em primeiro lugar deve-se referir que os modelos de *downscaling* estatístico não são “absolutos”, no sentido de estimarem valores preditivos “reais”, representando apenas tendências estatísticas muito sensíveis a algumas variáveis (por exemplo a presença de vegetação) e menos, ou mesmo nada sensíveis a outras, como por exemplo, o facto de não entrar em conta com os sistemas de brisas do Tejo e do oceano que ocorrem especialmente durante a estação quente, quando a Nortada enfraquece (Lopes, 2003 e Lopes *et al*, 2011). Por estes motivos, os modelos de interpolação devem ser observados com precaução e sobretudo devem ser entendidos como representativos de cenários

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

plausíveis, numa cidade em mudança. Em segundo lugar, o modelo aplicado à cidade futura (*Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction*), resulta da modificação das variáveis preditivas usadas nas situações de ICU atuais. Introduzir novas variáveis (por exemplo os índices de densidades urbanas previstos no futuro), pode amplificar os erros e alterar a relação entre as variáveis explicativas e os pontos de input em toda a extensão da cidade, já que o modelo calcula internamente componentes principais como variáveis explicativas de síntese, resultantes das que foram originalmente introduzidas. Contudo, por se tratar de um modelo ‘fechado’, não é possível comparar o peso relativo de cada variável nos modelos da cidade atual e do futuro, podendo existir propagação de *outliers*. Os resultados são assim particularmente sensíveis a estes *outliers* que podem conter uma ordem de magnitude estimada muito superior aos pontos de input. Outra limitação que convém notar neste exercício de simulação é a impossibilidade de corrigir efeitos anisotrópicos.

Posto isto, nota-se que, genericamente, os padrões mais comuns de ICU se mantêm invariantes dos atuais, sendo as freguesias do centro de Lisboa e as ribeirinhas as mais afetadas pelo efeito do sobreaquecimento, sobretudo durante a ocorrência de ondas de calor. Mais uma vez se nota aqui a influência de vários fatores condicionantes, como por exemplo as fracas condições de ventilação, a menor densidade de vegetação, a maior densidade urbana, ou a produção de calor antrópico no centro da cidade. Durante a ocorrência de ondas de calor ao entardecer (Figura 6), as freguesias mais expostas são: Santa Maria Maior, Misericórdia, Parque das Nações, Arroios, S. Vicente, Santo António, Penha de França e Estrela, com anomalias $>2^{\circ}\text{C}$ em relação ao Aeroporto. Este efeito de sobreaquecimento é sobretudo notado ao entardecer, atenuando-se um pouco no período noturno (Figura 7), quando as intensidades da ICU (ΔT_{u-r}) são inferiores a $1,1^{\circ}\text{C}$.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

Tabela 3 - Valores médios (°C) da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) futura, por Freguesia ¹

Freguesia	Inverno		Verão		Onda de Calor	
	Entardecer	Noite	Entardecer	Noite	Entardecer	Noite
Santa Maria Maior	1.6	1.0	2.0	1.3	3.4	1.1
Misericórdia	1.3	1.0	1.9	1.2	3.3	1.1
Parque das Nações	1.4	0.8	1.9	1.1	2.6	0.0
Arroios	1.5	0.7	1.8	1.0	2.6	0.8
São Vicente	1.4	0.6	1.9	1.0	2.5	0.7
Santo António	1.3	0.7	1.7	1.0	2.3	0.9
Penha de França	1.5	0.5	1.7	0.8	2.2	0.5
Estrela	1.1	0.7	2.0	1.0	2.0	0.8
Beato	1.5	0.6	1.7	0.9	1.9	0.3
Campo de Ourique	0.8	0.4	1.3	0.7	1.8	0.7
Areeiro	1.3	0.5	1.6	0.8	1.8	0.5
Avenidas Novas	1.2	0.5	1.5	0.8	1.7	0.7
Marvila	1.2	0.4	1.3	0.7	1.6	0.0
Campolide	1.1	0.4	1.1	0.6	1.4	0.7
Olivais	0.5	0.4	1.3	0.6	1.3	-0.1
Ajuda	1.0	0.3	1.3	0.5	1.2	0.3
Belém	1.5	0.6	1.6	0.8	1.1	0.3
São Domingos de Benfica	1.1	0.4	1.1	0.7	1.0	0.6
Alcântara	1.1	0.5	1.5	0.8	0.9	0.4
Alvalade	0.8	0.3	1.1	0.6	0.7	0.2
Benfica	0.8	0.2	0.6	0.3	0.6	0.3
Lumiar	0.5	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2
Santa Clara	0.1	0.0	-0.1	0.1	0.2	-0.3
Carnide	0.7	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2
Belém (Monsanto)	1.2	0.0	0.7	0.2	-0.2	-0.5
Ajuda (Monsanto)	0.3	-0.6	0.1	-0.6	-0.3	-0.7
Campolide (Monsanto)	0.5	-0.2	0.7	-0.1	-0.5	-0.3
São Domingos de Benfica (Monsanto)	0.5	-0.3	0.3	-0.2	-0.8	-0.6
Benfica (Monsanto)	0.3	-0.5	0.1	-0.5	-0.9	-0.8
Alcântara (Monsanto)	0.3	-0.4	0.5	-0.3	-0.9	-0.6

¹ As Freguesias encontram-se ordenadas por intensidade de ICU projetada no futuro (apenas tendo em conta o novo edificado), durante a ocorrência de uma onda de calor. No caso das freguesias que abrangem o Parque Florestal de Monsanto, a intensidade média da ICU encontra-se descrita separadamente para as áreas que nele se incluem (ex: Benfica e Benfica Monsanto)

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

Já as freguesias do norte da cidade (Lumiar, Santa Clara e Carnide) são aquelas onde se projeta que continuem a ocorrer as mais baixas intensidade da ICU ($<0,5^{\circ}\text{C}$). Nesta área da cidade, a boa ventilação será certamente um fator positivo no alívio do sobreaquecimento urbano (Lopes, 2003; Lopes *et al*, 2011). De referir que as freguesias que confinam com Monsanto são as que detêm uma situação térmica mais favorável, com anomalias negativas, ajudando ao aparecimento de ilhas de frescura ($\text{ICU}_{(\Delta T_{u-r})} < 0^{\circ}\text{C}$).

Já no Inverno, ao entardecer (Figura 2), são as freguesias ribeirinhas (Santa Maria Maior, Parque das Nações e Belém) e as que são atravessadas pelos principais eixos rodoviários (Santo António e Arroios), aquelas que mantêm um padrão de maior aquecimento (Lopes *et al*, 2013).

De notar ainda que, ao nível das freguesias, não existem diferenças significativas das anomalias entre a cidade atual e a do futuro com os novos bairros projetados.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

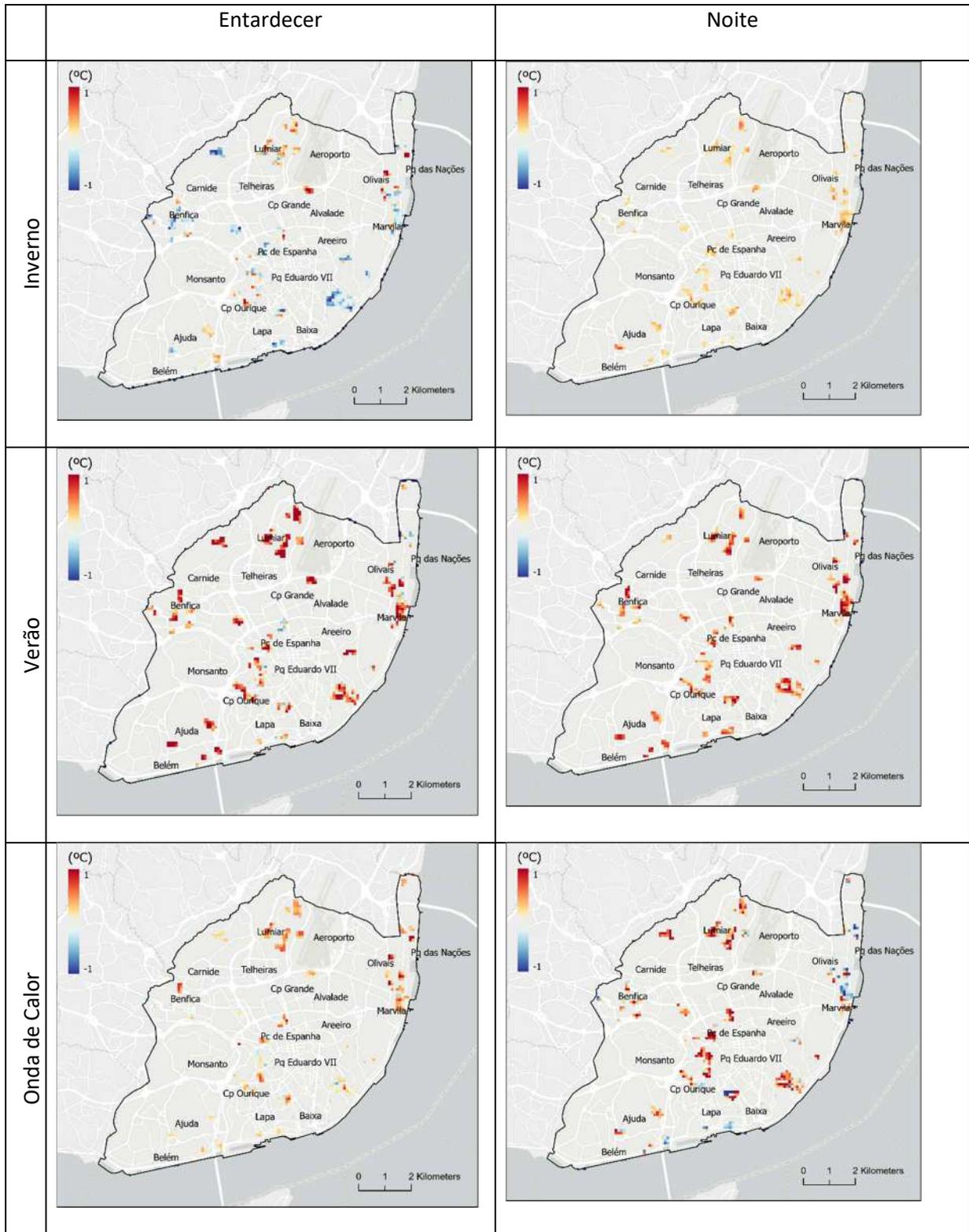


Figura 8 – Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa futura, na envolvente dos bairros projetados

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

2.2. PROJEÇÃO CLIMÁTICA URBANA (ICU) E ONDA DE CALOR FUTURA (OCF) AO ENTARDECER, DE ACORDO COM O CENÁRIO MAIS GRAVOSO DO IPCC (2014) - RCP 8.5, PARA O PERÍODO 2070-2100.

Cartografia da Intensidade da Ilha de calor urbano (ICU) e uma onda de calor futura, de acordo com o cenário RCP 8.5 no final do Século XXI.

O último conjunto de simulações incorpora o efeito das alterações no edificado e as temperaturas projetadas pelo cenário RCP 8.5 (o mais gravoso em termos de impactes no futuro pelo IPCC, 2014), para o final do séc. XXI (período 2070-2100). Como nas modelos apresentados anteriormente, subdividiram-se as simulações pelos períodos de Inverno e Verão, noturnos e diurnos (ao entardecer, quando a intensidade da ICU é maior em Lisboa). Simulou-se ainda uma onda de calor ao entardecer, com a intensidade máxima de 3,5°C (Rocha et al, 2020).

De notar alguns factos importantes: em primeiro lugar, a expansão das áreas urbanas com temperaturas mais elevadas, sobretudo no Verão, tanto ao entardecer como durante a noite. 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 pelo RCP 8.5, que aumenta para o interior de Portugal Continental no Verão (PMAAC AML 2020 – Figura 9).

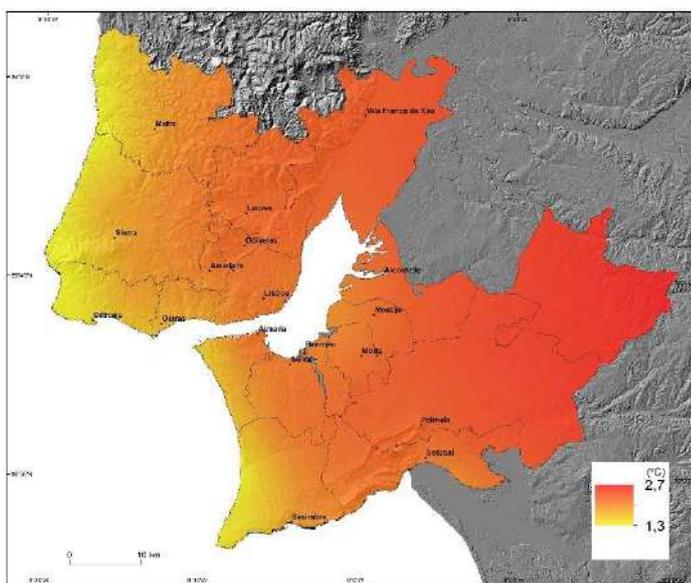


Figura 9. Valor médio das anomalias da temperatura máxima no Verão, na AML, para o período 2041-2070 no cenário RCP 8.5: Extraído de PMAAC AML (2020)

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

Em segundo lugar deve-se reforçar a importância de manter a área setentrional da cidade com uma densidade urbana relativamente baixa (ver Correia, 2020), de modo a manter os corredores de ventilação constituídos por quatro eixos fundamentais (Aeroporto / Baixa; Carnide, Parque Eduardo VII / Baixa, Aeroporto/Vale de Chelas e Carnide / Campolide), desobstruídos e assim cumprindo a sua função bioclimática. Este efeito é tanto mais importante já que a boa ventilação induzida pelos ventos dominantes de norte (Figura 10), 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 (Figura 15), consegue reduzir em vários graus (de acordo com projecção apresentada cerca de 6/7°C), a temperatura do ar em relação aos bairros caracterizados por uma maior densidade urbana.

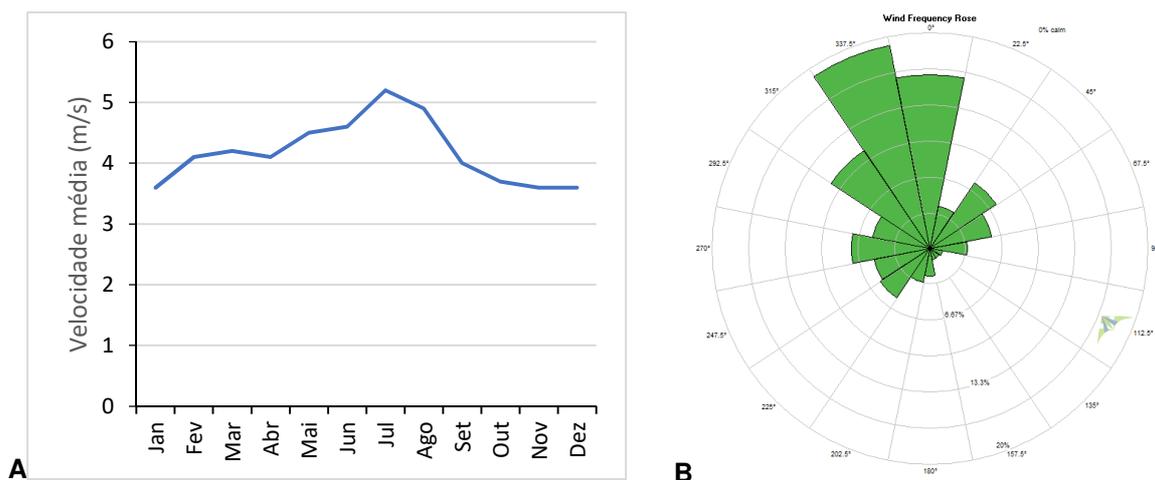


Figura 10. Regime do vento em Lisboa Portela (período 1974-2016): A - regime anual da velocidade do vento (m/s); B - rosa de ventos anual. Adaptado de PMAAC AML, 2020

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

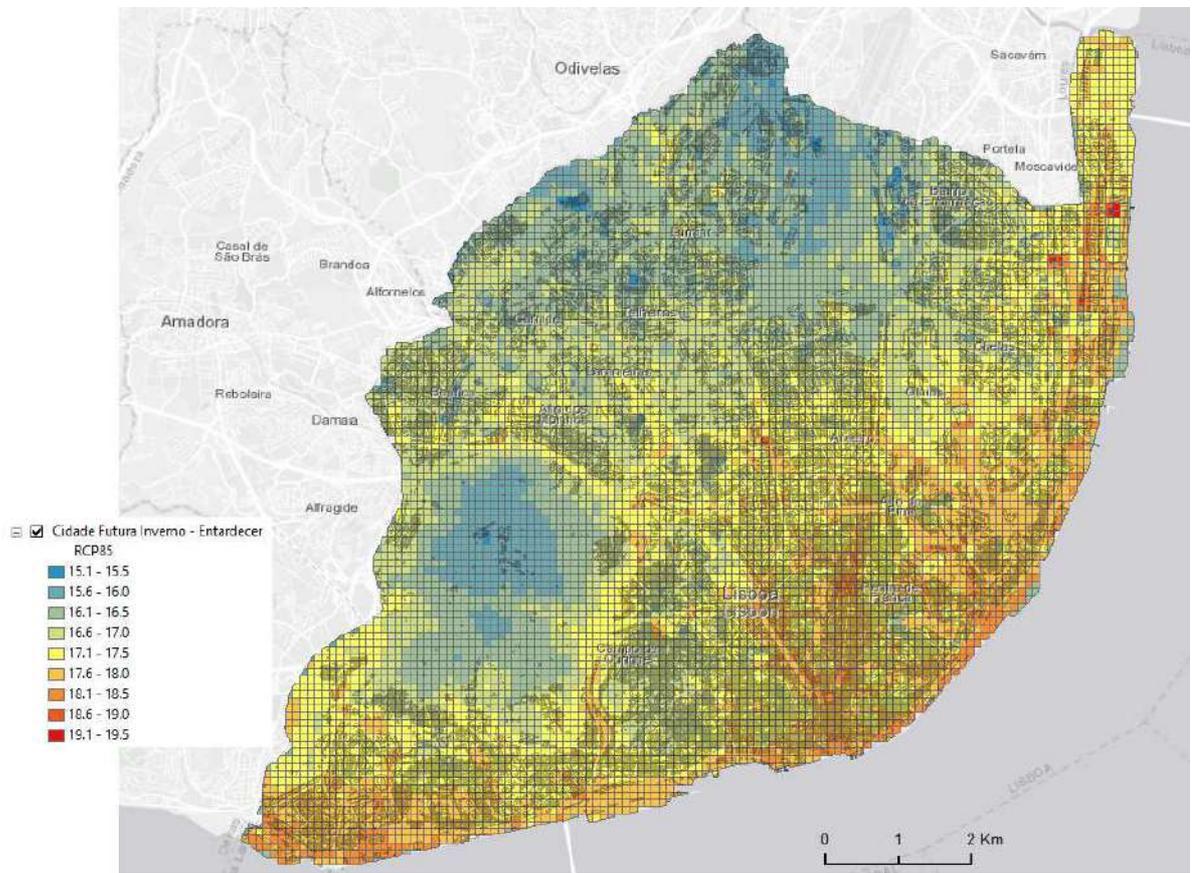


Figura 11 – Padrões térmicos ao entardecer de inverno no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_{u-r})

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

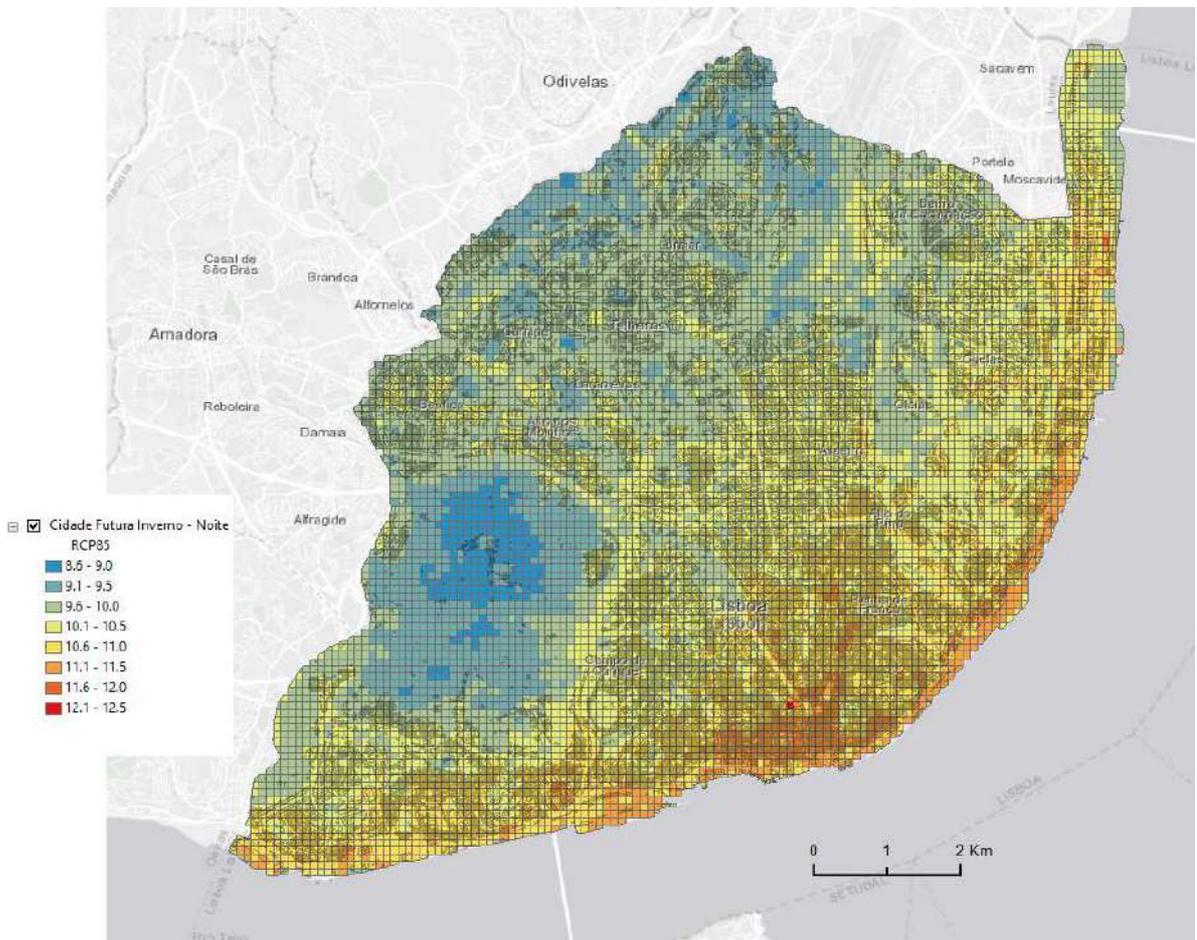


Figura 12 – Padrões térmicos das noites de inverno no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_{u-r})

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

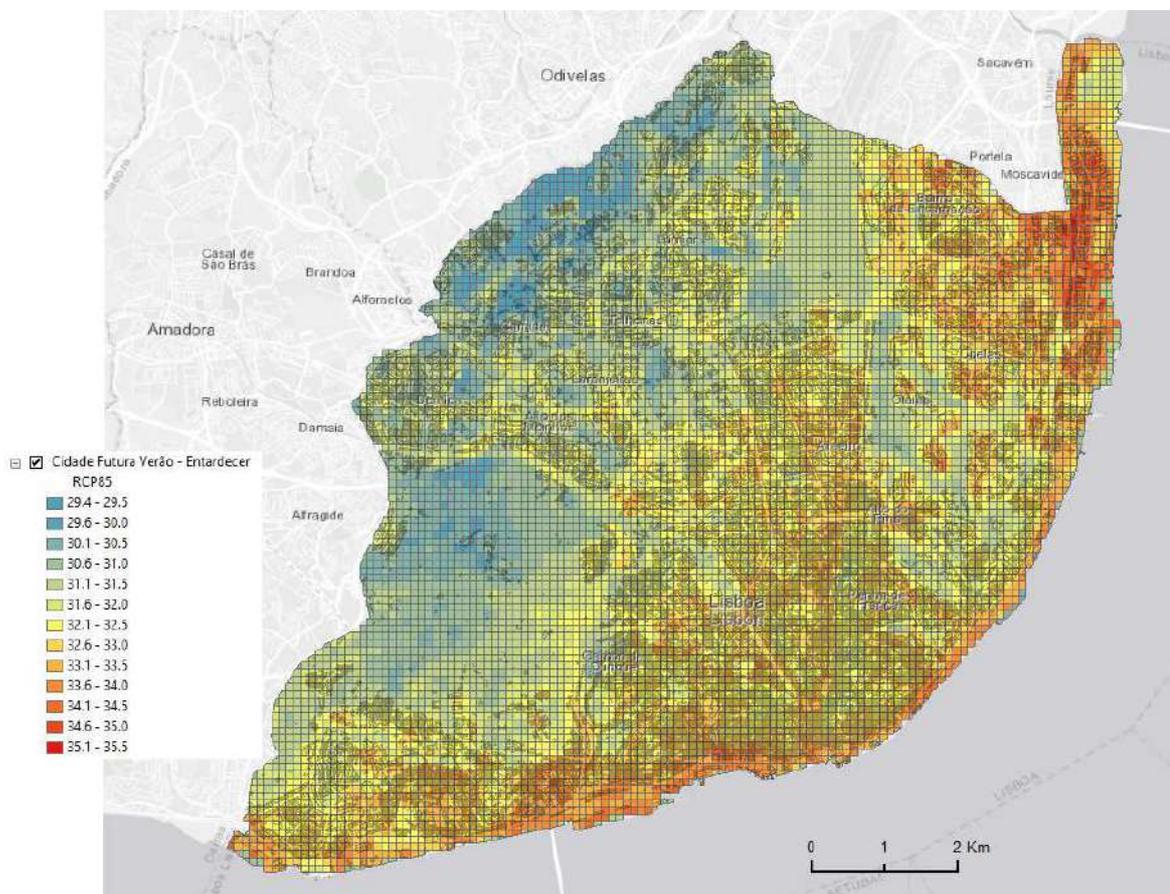


Figura 13 – Padrões térmicos ao entardecer de verão no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_{u-r})

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

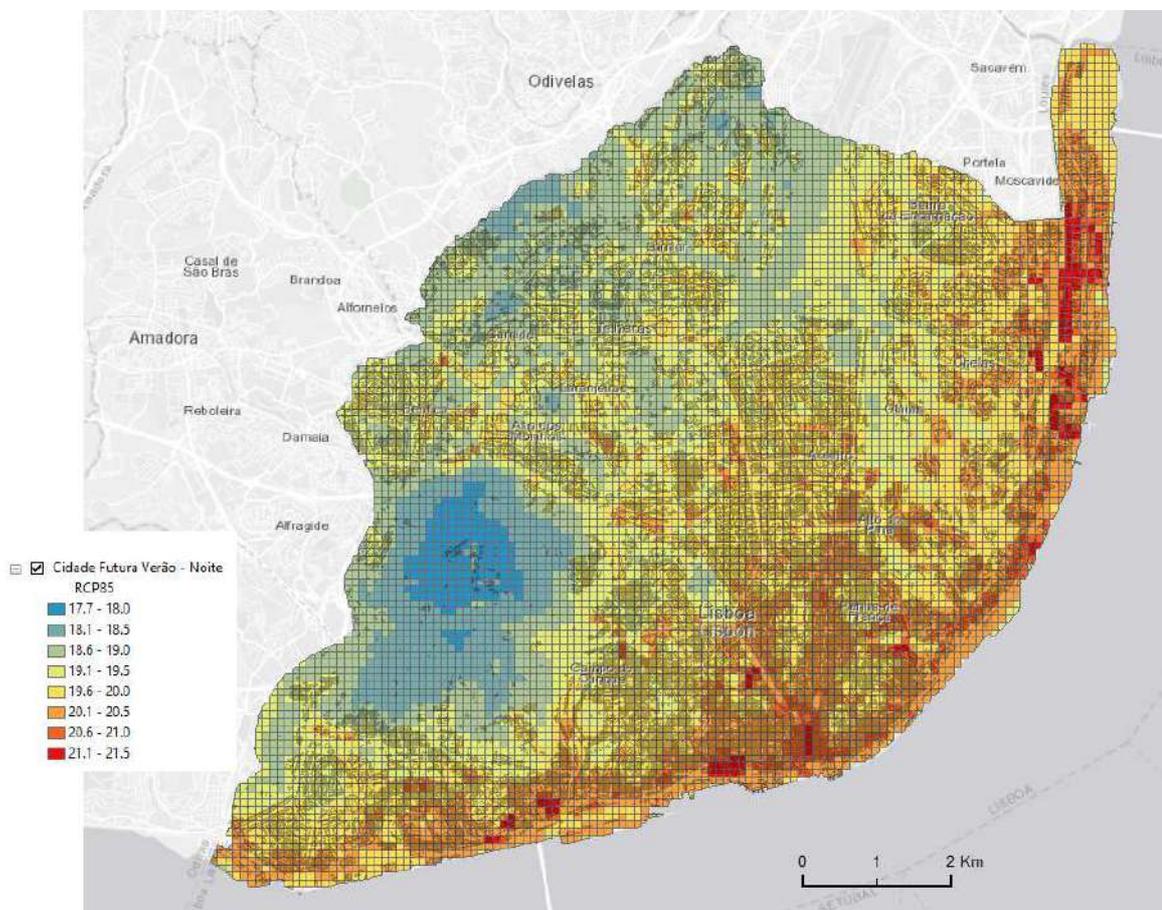


Figura 14 – Padrões térmicos das noites de verão no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU ($\Delta Tu-r$)

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

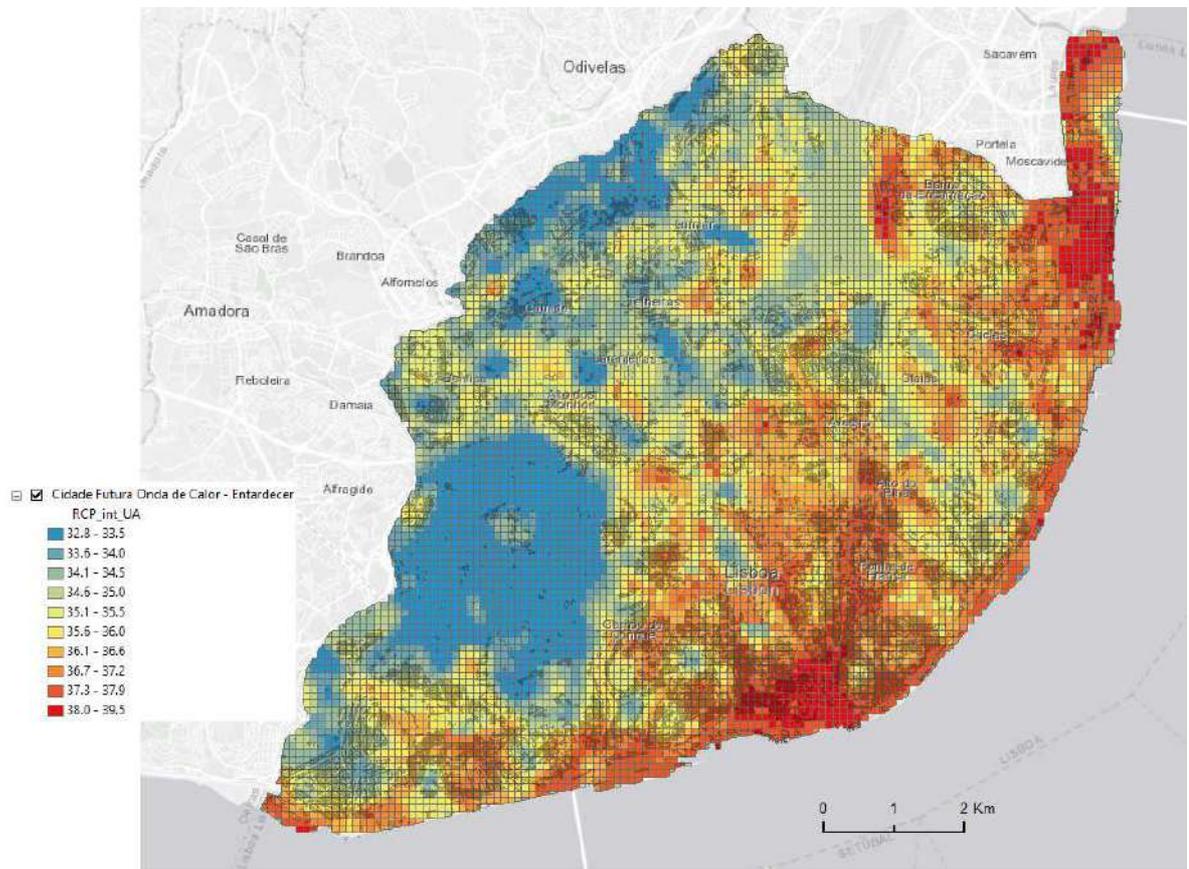


Figura 15 – Padrões térmicos em situação de Onda de Calor ao entardecer no futuro, considerando o cenário IPCC (RCP 8.5) + intensidade da ICU (ΔT_u-r)

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

3. CONCLUSÕES

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. No entanto dever-se-á alertar para o facto de que os principais corredores de ventilação da cidade (de orientação geral Norte/Sul) deverão ser mantido livres de grandes densidades de construção, de modo a permitir o alívio no sobreaquecimento do Sul da cidade)

A área de máxima intensidade de ICU (ΔT_{u-r}) poderá vir a expandir-se em Lisboa, sobretudo no verão e durante a ocorrência de ondas de calor. Os cenários futuros indicam que as freguesias com crescimento em densidade serão as mais expostas ao calor excessivo. Em cenários que não se prevejam medidas de mitigação e adaptação mais exigentes, os modelos mostram uma sobre-exposição ao calor, sobretudo na parte oriental da cidade, para além das tradicionais áreas dos eixos principais da cidade.

Os modelos utilizados não incorporam o efeito amenizador dos sistemas de brisas, pelo que será necessário, no futuro, criar ferramentas ainda mais robustas de cenários e projeções. Note-se ainda que caso a frente ribeirinha seja ocupada de forma desordenada com edifícios que bloqueiam as brisas, as temperaturas estimadas poderão ainda ser superiores aos piores cenários usados.

Por último uma nota muito importante: o trabalho que agora se apresenta só foi possível porque existiu uma rede mesoclimática urbana de recolha de temperatura e humidade relativa, que foi instalada e mantida durante mais de 10 anos pelo atual grupo de investigação Zephyrus – Alterações Climáticas e Sistemas Ambientais, do Centro de Estudos Geográficos, da Universidade de Lisboa (Lopes, *et al*, 2013). No entanto, o esforço de manutenção dessa rede esgotou-se com a falta de financiamento próprio. Por isso, as autoridades locais e a academia deverão fazer um esforço adicional para instalar uma nova 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.), seria importante medir, numa malha mais fina, poluentes atmosféricos, UV, ruído, conforto térmico e até odores. Sem concretizar este objetivo, não será possível validar os resultados estimados para o futuro, nem criar um sistema de monitorização, aviso e alerta em cada bairro, em tempos de alterações climáticas e eventos extremos.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

BIBLIOGRAFIA

- Alcoforado M.J., Lopes, A., Andrade, H. & Vasconcelos, J. (2005). *Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa*. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos (Área de Investigação em Geo-Ecologia, Relatório 4)
- Alcoforado, M.J. & Andrade, H. (2006). Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84 (1-3), 151–159.
- Alcoforado, M.J. (1986). Contribution to the Study of Lisbon’s Urban Heat Island: Analysis from an Infra-Red Image. International Symposium of Urban and Local Climatology, Universität Freiburg (BR), February 20-21.
- Alcoforado, M.J. (2010). Assessing and Modeling the Urban Climate in Lisbon. In Carrega, P. (ed.) *Geographical Information and Climatology*. London, ISTE, 125-158.
- Alcoforado, M.J., Andrade, H., Lopes, A. & Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning*, 90 (1-2), 56-65.
- Alcoforado, M.J., Lopes, A., Alves, E. D. & Canário, P. (2014). Lisbon heat Island statistical study (2004-2012). *Finisterra*, 49(98), 61-80.
- AML (2018). Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas (PMAAC-AML). Volume 1 - Definição do cenário base de adaptação para a AML. Área Metropolitana de Lisboa.
- Beniston M., Stephenson D.B., Christensen O.B., et al (2007). Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 81, 71-95.
- Bouzarovski, S. (2014). Energy poverty in the European Union: Landscapes of vulnerability. *Wires Energy Environ*, 3, 276-289.
- Casimiro, E., Calheiros, J., Santos, F.D. & Kovats, S. (2006). National assessment of human health effects of climate change in Portugal: Approach and key findings. *Environ. Health Perspect.*, 114(12), 1950-1956.
- Correia, E. (2019). *Mapas Climáticos Urbanos - Geometria e densidade urbana atual. Relatório*. In, “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das Ondas de Calor em Lisboa, face às projecções climáticas”, Câmara Municipal de Lisboa.
- Correia, E. (2020). *Mapas Climáticos Urbanos - Geometria e densidade urbana futura. Relatório*. In, “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das Ondas de Calor em Lisboa, face às projecções climáticas”, Câmara Municipal de Lisboa.
- European Environment Agency (EEA) (2005). Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. EEA Technical report No 7
- European Environment Agency (EEA) (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012: An indicator-based report. EEA Report No 12
- European Environment Agency (EEA) (2018a). *Imperviousness Density*. <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/2015>
- European Environment Agency (EEA) (2018b). *Tree Cover Density*. <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/tree-cover-density/status-maps/2015>

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

europaean/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density

EUROSTAT (2017) Eurostat Database. Online Stat. database.

Fonseca, D., Carvalho, M.J., Marta-Almeida, M. et al (2016). Recent trends of extreme temperature indices for the Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth*, 94, 66-76.

Giorgi, F. (2005). Climate change prediction. *Climatic Change*, 73, 239–265.

Gouveia, J.P., Seixas, J. & Long, G. (2018). Mining households' energy data to disclose fuel poverty: Lessons for Southern Europe. *Journal of Cleaner Production*, 178 (290), 534-550.

Hidalgo, J., & Jouglu, R. (2018). On the use of local weather types classification to improve climate understanding: An application on the urban climate of Toulouse. *PloSone*, 13(12), e0208138.

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IDAD (2019). Estudo do regime das Ondas de Calor na AML – clima atual e futuro. In, “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das Ondas de Calor em Lisboa, face às projecções climáticas”, Câmara Municipal de Lisboa.

Kent, C. W., Grimmond, S., Barlow, J., Gatey, D., Kotthaus, S., Lindberg, F., & Halios, C. H. (2017). Evaluation of urban local-scale aerodynamic parameters: implications for the vertical profile of wind speed and for source areas. *Boundary-Layer Meteorology*, 165, 183–213.

Krivoruchko, K. & Gribov, A. (2019). Evaluation of empirical Bayesian kriging. *Spatial Statistics*, 32

Krivoruchko, K. (2012). Empirical Bayesian Kriging Implemented. in *ArcGIS Geostatistical Analyst. ArcUser*.

Krivoruchko, K. (2012). Empirical Bayesian Kriging. *ESRI Press*.

Lopes, A. (2003). Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Ilha de calor de superfície e balanço energético. Lisboa, FLUL (Dissertação de Doutoramento em Geografia Física).

Lopes, A., Alves, E., Alcoforado, M.J. & Machete, R. (2013). Lisbon urban heat island updated: New highlights about the relationships between thermal patterns and wind regimes. *Advances in Meteorology*. Article ID 487695, 11 p.

Lopes, A., Oliveira, A., Correia, E., & Reis, C. (2020). *Identificação das Ilhas de Calor Urbano e simulação para as Áreas Críticas da Cidade de Lisboa - Fase 1 – Caraterização e cartografia das ilhas de calor atuais*.

Lopes, A., Saraiva, J. & Alcoforado, M.J. (2011). Urban boundary layer wind speed reduction in summer due to urban growth and environmental consequences in Lisbon. *Environmental Modelling and Software*, 26 (2), 241-243.

Lowry, W.P. (1977). Empirical estimation of urban effects on climate: problem analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 16(2), 129-135.

Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2nd edition). Routledge.

Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

- Oke, T.R., Mills, G., Christen, A. & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.
- PMACC-AML (2019). Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas. Volume I Definição do cenário base de adaptação para a AML, Lisboa.
- Rigo, G., & Parlow, E. (2007). Modelling the ground heat flux of an urban area using remote sensing data. *Theoretical and Applied Climatology*, 90, pages185–199
- Rigo, G., Parlow, E., & Oesch, D. (2006). Validation of satellite observed thermal emission with in-situ measurements over an urban surface. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 201-210.
- Rocha, A., Pereira, S. C., Viceto, C., Silva, R., Neto, J., & Marta-Almeida, M. (2020). A consistent methodology to evaluate temperature and heatwave future projections for cities: A case study for Lisbon. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/app10031149>
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A.H., García-Casado, L.A. & Nieto, S. (2010). Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: Relationships to large-scale variables. *Climatic Change*, 100(3):667-684.
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Hammer, S. & Mehrotra, S. (2011). *Urban Climate Change in Context. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., Bowman, T., & Ibrahim, S. (2018). *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Smid, M., & Costa, A. C. (2018). Climate projections and downscaling techniques: a discussion for impact studies in urban systems. *International Journal of Urban Sciences*, 22(3), 277–307. <https://doi.org/10.1080/12265934.2017.1409132>
- Team, A. (2009). ASTER Global DEM Validation. *Lpdaac Usgs Gov4 Accessed 28 July 2009*.
- Thomson, H., Snell, C. & Bouzarovski, S. (2017). Health, well-being and energy poverty in Europe: A comparative study of 32 European countries. *Int J Environ Res Public Health*, 14(6):584, 20p.
- Vasconcelos J (2012) *Bioclima, saúde e qualidade da habitação em Portugal : papel da exposição ao frio na incidência de doenças coronárias agudas*. Universidade Nova de Lisboa
- Weston, K. J. (2007). *Boundary layer climates (Second edition)*. By T. R. Oke. Methuen. 1987.
- Wicki, A., & Parlow, E. (2017). Multiple regression analysis for unmixing of surface temperature data in an urban environment. *Remote Sensing*, 9(7):684, 23 p.
- Wicki, A., Parlow, E., & Feigenwinter, C. (2018). Evaluation and Modeling of Urban Heat Island Intensity in Basel, Switzerland. *Climate*, 6(55), 25p.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

ANEXO

MAPAS DA ILHA DE CALOR URBANA FUTURAS

METADADOS

De acordo com o **Contrato de Aquisição de Serviços nº 19042458**, designado “Identificação das Ilhas de Calor Urbano e Simulação para as Áreas Críticas na Cidade de Lisboa”, apresentam-se as fichas de metadados dos Mapas das Ilhas de Calor (ICU) da Cidade Futura elaborados em formato digital, cuja fundamentação científica é apresentada no relatório elaborado para o efeito.

A – Lista de mapas

- a) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura no Inverno, ao entardecer
- b) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura no Inverno, durante o período noturno
- c) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura no Verão, ao entardecer
- d) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura no Verão, durante o período noturno
- e) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura durante um dia de Onda de Calor, ao entardecer
- f) Mapa da Ilha de Calor da Cidade Futura durante um dia de Onda de Calor, durante o período noturno
- g) Mapa da intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) – Entardecer no Inverno
- h) Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Noite de Inverno
- i) Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Entardecer de Verão
- j) Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Noite de Verão
- k) Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Entardecer em Onda de Calor

B – Unidade elementar de análise

Indo ao encontro das diferentes escalas de análise do projeto “Cartografia de Vulnerabilidade Térmica – Mapeamento dos efeitos das ondas de calor em Lisboa, face às projeções climáticas”, onde esta operação se enquadra, e às eventuais necessidades no âmbito das ações de

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

ordenamento e/ou de planeamento, os mapas foram elaborados com base num modelo contínuo geoestatístico de interpolação espacial e apresentado em:

- a) Grelha regular com uma resolução horizontal de 100x100 metros;
- b) Isolinhas com os valores de ICU classificados.

Os mapas são acompanhados de ficheiros de simbologia para visualização em ArcGIS, v. 10.5.

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

A.1 - Mapas da Ilha de Calor Urbana da Cidade Futura, no Inverno – Entardecer

Designação	Futura_G100_ICU_INV_TRD.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Inverno, durante o crepúsculo da tarde (entardecer)
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i>
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha ICUinv_tar: valor das diferenças em °C
Designação	Futura_ISL_ICU_INV_TRD.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Inverno, durante o crepúsculo da tarde (entardecer)
Unidade de análise	Modelo contínuo, discretizado em classes
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Divisão em classes dos valores das diferenças de temperatura: amplitude de 0,5°C Isolinhas correspondentes aos limiares das classes
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	Classe: identificação dos intervalos das classes Intervalos: limiares das classes das diferenças de temperatura

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

A.2 – Mapas da Ilha de Calor Urbana da Cidade Futura, no Inverno – Noite

Designação	Futura_G100_ICU_INV_NT.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Inverno, durante o período noturno
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i>
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha ICUinv_noir: valor das diferenças em °C
Designação	Futura_ISL_ICU_INV_NT.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Inverno, durante o período noturno
Unidade de análise	Modelo contínuo, discretizado em classes
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Divisão em classes dos valores das diferenças de temperatura: amplitude de 0,5°C Isolinhas correspondentes aos limiares das classes
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	Classe: identificação dos intervalos das classes Intervalos: limiares das classes das diferenças de temperatura

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

A.3 – Mapas da Ilha de Calor Urbana da Cidade Futura, no Verão – Entardecer

Designação	Futura_G100_ICU_VER_TRD.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Verão, durante o crepúsculo da tarde (entardecer)
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i>
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha ICUver_tar: valor das diferenças em °C

Designação	Futura_ISL_ICU_VER_TRD.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Verão, durante o crepúsculo da tarde (entardecer)
Unidade de análise	Modelo contínuo, discretizado em classes
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Divisão em classes dos valores das diferenças de temperatura: amplitude de 0,5°C Isolinhas correspondentes aos limiares das classes
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	Classe: identificação dos intervalos das classes Intervalos: limiares das classes das diferenças de temperatura

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

A.4 – Mapas da Ilha de Calor Urbana da Cidade Futura, no Verão – Noite

Designação	Futura_G100_ICU_VER_NT.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Verão, durante o período noturno
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i>
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha ICUver_noi: valor das diferenças em °C

Designação	Futura_ISL_ICU_VER_NT.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Verão, durante o período noturno
Unidade de análise	Modelo contínuo, discretizado em classes
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Divisão em classes dos valores das diferenças de temperatura: amplitude de 0,5°C Isolinhas correspondentes aos limiares das classes
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	Classe: identificação dos intervalos das classes Intervalos: limiares das classes das diferenças de temperatura

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

A.5 – Mapas da Ilha de Calor Urbana da Cidade Futura, num dia de Onda de Calor (06/07/2010) – Entardecer

Designação	Futura_G100_ICU_OC_TRD.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no dia de Onda de Calor, durante o crepúsculo da tarde (entardecer)
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i>
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha ICUoc_tar: valor das diferenças em °C

Designação	Futura_ISL_ICU_OC_TRD.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no dia de Onda de Calor, durante o crepúsculo da tarde (entardecer)
Unidade de análise	Modelo contínuo, discretizado em classes
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Divisão em classes dos valores das diferenças de temperatura: amplitude de 0,5°C Isolinhas correspondentes aos limiares das classes
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	Classe: identificação dos intervalos das classes Intervalos: limiares das classes das diferenças de temperatura

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

A.6 – Mapas da Ilha de Calor Urbana da Cidade Futura, num dia de Onda de Calor – Noite

Designação	Futura_G100_ICU_OC_NT.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no dia de Onda de Calor, durante o período noturno
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i>
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha ICUoc_noi: valor das diferenças em °C

Designação	Futura_ISL_ICU_OC_NT.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no dia de Onda de Calor, durante o período noturno
Unidade de análise	Modelo contínuo, discretizado em classes
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Divisão em classes dos valores das diferenças de temperatura: amplitude de 0,5°C Isolinhas correspondentes aos limiares das classes
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	Classe: identificação dos intervalos das classes Intervalos: limiares das classes das diferenças de temperatura

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

B.1 - Mapa da intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) – Entardecer no Inverno

Designação	FUTURA_INV_NOI_RCP85.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Inverno, durante o crepúsculo da tarde (entardecer), sobreposta ao Cenário IPCC RCP 8.5
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto. Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Dados Eurocordex: Interpolação espacial Diffusion Kernel Somatório de ICUinv_trd+ RCP8.5 MEAN
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto Portal do Clima / Eurocordex PT100-r820712100-djf-avgr-txavgr-en-en.nc
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha RCP85: valor em °C

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

B.2 – Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Noite de Inverno

Designação	FUTURA_INV_ENT_RCP85.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Inverno, durante a noite, sobreposta ao Cenário IPCC RCP 8.5
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto. Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Dados Eurocordex: Interpolação espacial <i>Diffusion Kernel</i> Somatório de ICUinv_noi + RCP8.5 MEAN
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto Portal do Clima / Eurocordex PT100-r820712100-djf-avgr-tnavgr-en-en.nc
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha RCP85: valor em °C

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

B.3 – Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Entardecer de Verão

Designação	FUTURA_VER_TRD_RCP85.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Verão, durante o crepúsculo da tarde (entardecer), sobreposta ao Cenário IPCC RCP 8.5
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto. Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Dados Eurocordex: Interpolação espacial Diffusion Kernel Somatório de ICUver_trd+ RCP8.5 MEAN
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto Portal do Clima / Eurocordex PT100-r820712100-jja-avgr-txavgr-en-en.nc
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha RCP85: valor em °C

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caraterização e cartografia das ilhas de calor futuras

B.4 – Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) de Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Noite de Verão

Designação	FUTURA_VER_NOI_RCP85.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Verão, durante o período noturno, sobreposta ao Cenário IPCC RCP 8.5
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto. Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Dados Eurocordex: Interpolação espacial Diffusion Kernel Somatório de ICUver_noi + RCP8.5 MEAN
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto Portal do Clima / Eurocordex PT100-r820712100-jja-avgr-tnavgr-en-en.nc
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha RCP85: valor em °C

IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO E SIMULAÇÃO PARA AS ÁREAS CRÍTICAS DA CIDADE DE LISBOA | Fase 1b – Caracterização e cartografia das ilhas de calor futuras

B.5 – Mapa da Intensidade da ICU (ΔT_{u-r}) Lisboa no futuro (cenário RCP 8.5) - Entardecer em Onda de Calor

Designação	FUTURA_OC_ENT_RCP85.shp
Descrição	ICU mediana da Cidade Futura, no Verão, durante o crepúsculo da tarde (entardecer), sobreposta ao Cenário IPCC RCP 8.5 e onda de calor com 3,5°C de intensidade
Unidade de análise	Grelha regular com resolução horizontal de 100 x 100m
Método analítico	Diferença mediana entre a temperatura do ar registada nos pontos de observação da rede do CEG/IGOT e a estação meteorológica do Aeroporto. Interpolação espacial através de método geoestatístico: <i>Empirical Bayesian Kriging Regression Prediction</i> Adição de 3,5°C (Rocha et al, 2020) Dados Eurocordex: Interpolação espacial Diffusion Kernel Somatório de ICUver_trd + RCP8.5 MEAN + 3,5°C
Fontes de dados	Rede CEG/IGOT Estação meteorológica do Aeroporto Portal do Clima / Eurocordex PT100-r820712100-jja-avgr-txavgr-en-en.nc Rocha et al (2020)
Sistema de referência	ETRS89/ PT-TM06 (EPSG:3763)
Formato	Esri Shapefile
Representação espacial	Vetorial
Geometria	Polígono
Atributos	ID_Cel100: código identificador de cada célula da grelha RCP_int_UA: valor em °C