



RELATÓRIO

FASE 4 | MARÇO 2020

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:





Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

De acordo com o **Contrato de Aquisição de Serviços Nº 18041057** designado “Aquisição de serviços para a elaboração de Estudo do Regime das Ondas de Calor na Área Metropolitana de Lisboa” estabelecido entre **município de Lisboa** e o **Instituto do Ambiente e Desenvolvimento - IDAD** no dia 28 de Novembro de 2018,

Apresenta-se o **Relatório da Fase 4** de acordo com a Cláusula 3.ª e os pontos 1. e 2. da Parte II – Especificações Técnicas do respetivo Caderno de Encargos.



Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

FICHA TÉCNICA

Coordenador	Alfredo Rocha
Membro da Equipa	Susana C. Pereira
Membro da Equipa	Rui Silva

Início – 01 de Fevereiro de 2020

Fim – 31 de Março de 2020

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Índice

1. Introdução	1
2. Modelos, simulações, dados simulados e observados.....	5
2.1. Simulações das ondas de calor (Relatório da Fase 1)	5
2.1.1. Dados simulados com o modelo WRF.....	6
2.1.2. Outros dados simulados – EURO-CORDEX	7
2.2. Simulações da ICU de Lisboa (Relatório da Fase 2).....	8
2.2.1. Modelos de canópia urbana.....	10
2.2.2. Dados de uso do solo e topográficos	12
2.2.3. Experiências de simulação da ICU	19
2.3. Dados de observações.....	20
2.3.1. Estações meteorológicas – IPMA	20
2.3.2. Estação meteorológica Lisboa-Geofísico (IPMA) – Período longo	21
2.3.3. Dados observados em grelha – E-OBS	21
2.4. Variáveis de base.....	21
2.5. Variáveis derivadas e índices	22
2.5.1. Ondas de calor.....	22
3. Validação/comparação entre dados simulados e observados (Relatórios das Fases 1 e 2) ...	25
3.1. Ondas de calor (Relatório da Fase 1)	25
Anexo 3 do Relatório da Fase 1 – Comparação de resultados com o relatório da EMAAC (2017)	27
3.2. ICU (Relatório da Fase 2).....	31
4. Conclusões.....	34
5. Referências.....	34

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Lista de abreviaturas

AEA - Agência Europeia do Ambiente

AML – Área Metropolitana de Lisboa

Ampl – Amplitude térmica diária

BEP – Building Environment Parameterization

CLC – Corine Land Cover

CORINE – Coordination of Information on the Environment

EMAAC – Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas

HIST – Período climático atual de referência (1986-2005)

HW – Onda de Calor

ICU – Ilha de Calor Urbano

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

LONG – Período climático a longo prazo (2081-2100)

MED – Período climático de médio prazo (2046-2065)

ML – Município de Lisboa

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

RCP8.5 – Representative Concentration Pathways 8.5

SLUCM – Single-layer Urban Canopy Model

SRTM – The Shuttle Radar and Topography Mission

Tmax – Temperatura máxima diária

Tmin – Temperatura mínima diária

TT-DEWCE – Task Team on the Definition of Extreme Weather and Climate Events

UCM – Modelo de Canópia Urbana

USGS – United States Geological Service

WMO – Organização Meteorológica Mundial

WRF – Weather Research and Forecasting Model

1. Introdução

Este relatório apresenta os dados meteorológicos observados e simulados utilizados em todo o estudo sobre Ondas de calor e Ilha de Calor Urbana realizado para o Município de Lisboa. Isto permitirá identificar o tipo e origem destes dados para futura replicação dos resultados e comparação com outros estudos.

É também realizada uma comparação/validação entre os dados obtidos através de diferentes simulações com o modelo WRF e os dados meteorológicos observados utilizados neste estudo.

Os dados meteorológicos de base, nomeadamente, temperatura mínima, média e máxima diária considerados foram utilizados em:

Fase 1 – Estudo do Regime das Ondas Calor na Área Metropolitana de Lisboa – clima atual e futuro. (dados observados e simulados)

Fase 2 – Estudo e Cartografia da Ilha de Calor Urbano para o clima atual na AML. (dados observados e simulados)

Fase 3 – Estudo e Cartografia da Ilha de Calor Urbano para o Clima futuro. (só dados simulados)

Neste estudo foi considerado o cenário de emissões de gases com efeito de estufa **RCP8.5** (*Representative Concentration Pathways*) (Sillman *et al.*, 2013). Este cenário é definido por um forçamento radiativo de 8.5 W m^{-2} em 2100 e um aumento contínuo a partir desse ano (Moss *et al.*, 2008) e apresenta-se, cada vez mais, como um dos mais prováveis face ao desentendimento político internacional em reduzir a emissão de gases com efeito de estufa.

São considerados três períodos climáticos que representam o clima atual recente de referência (HIST - 1986-2005) e dois cenários climáticos futuros a médio (MED - 2046-

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

2065) e longo (LONG - 2081-2100) prazo, respetivamente. As alterações climáticas são avaliadas pelas diferenças entre MED/LONG relativamente a HIST.

Estes períodos são os considerados no 5º Relatório do IPCC (IPCC, 2013), onde toda a análise de alteração climática é feita para estes períodos (ver *Summary for Policy Makers* e nos Capítulos 11 e seguintes, onde a avaliação de alteração climática é feita para três períodos, nomeadamente, *near-term* 2016-2035, *mid-term* 2046-2065 e *long-term* 2081-2100, relativamente ao clima de referência 1986-2005).

Este estudo é realizado sobretudo com recurso a simulações climáticas. As projeções climáticas no EMAAC de Lisboa (2017) são estimadas com base em dois modelos climáticos que participaram no programa CORDEX (<http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>). Este estudo considera, simulações realizadas com 15 modelos CORDEX aumentando, assim, a confiança na análise da incerteza associada às projeções. A resolução horizontal de todos os modelos CORDEX é a mesma (11-12 km).

A correção de viés dos dados simulados é um procedimento que minimiza os erros sistemáticos dos modelos climáticos e que permite reduzir a incerteza das projeções climáticas futuras. Neste estudo é aplicado um método robusto de correção de viés a todos os dados simulados aqui utilizados tendo por referências os dados observados E-OBS.

À semelhança da EMAAC, foi selecionado, em cada modelo e base de dados, o ponto da grelha dentro do município de Lisboa para o qual foram obtidos os valores diários das variáveis utilizadas. Este ponto tem coordenadas ligeiramente diferentes em cada uma das bases de dados em grelha.

As diferenças entre as coordenadas destes pontos e as de Lisboa não são, nem aqui nem na EMAAC, relevantes para o estudo das ondas de calor uma vez que a diferença de temperatura devida à distância entre os pontos é desprezável considerando a resolução da grelha dos dois tipos de dados (i.e., dados simulados e observados) e a



Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

larga escala das ondas de calor. Portanto, os resultados aqui apresentados representam com rigor suficiente a assinatura das ondas de calor no município de Lisboa e na AML.

2. Modelos, simulações, dados simulados e observados

2.1. Simulações das ondas de calor (Relatório da Fase 1)

Neste estudo foi utilizado o **modelo meteorológico WRF v3.5** (*Weather Research and Forecasting*). O WRF é um modelo regional de previsão numérica de tempo desenvolvido para investigação e serviço operacional. O WRF é exaustivamente descrito no seu manual (Skamarock *et al.*, 2008).

O modelo WRF foi adaptado para simulações climáticas por Marta-Almeida *et al.* (2016). O modelo WRF foi implementado com três domínios, espaciais aninhados no modo *two-way nesting* D-1, D-2 e D-3 com resolução horizontal de 81, 27 e 9 km, respetivamente (Figura 1). A implementação e a validação geral do modelo foi realizada por Marta-Almeida *et al.* (2016). Foi selecionado o ponto da grelha do domínio D-3 dentro do município de Lisboa para o qual foram obtidos os valores diários das temperaturas máxima e mínima diária para os três períodos considerados. Foi calculada a amplitude térmica diária.

O modelo WRF utiliza a base de dados de utilização do solo designada '*Coordination of Information on the Environment Land Cover (CORINE)*' (Bossard *et al.*, 2000). Esta base de dados foi implementada com a re-categorização dos vários tipos de superfície de forma a ser reconhecida pela parametrização de superfície usada no WRF (Noah land surface model) de acordo com Pineda *et al.* (2004). Teixeira *et al.* (2014) validaram com sucesso a utilização da base de dados CORINE no WRF.

O WRF usou a base de dados topográfica designada '*The Shuttle Radar and Topography Mission (SRTM)*' (Farr *et al.*, 2007).

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

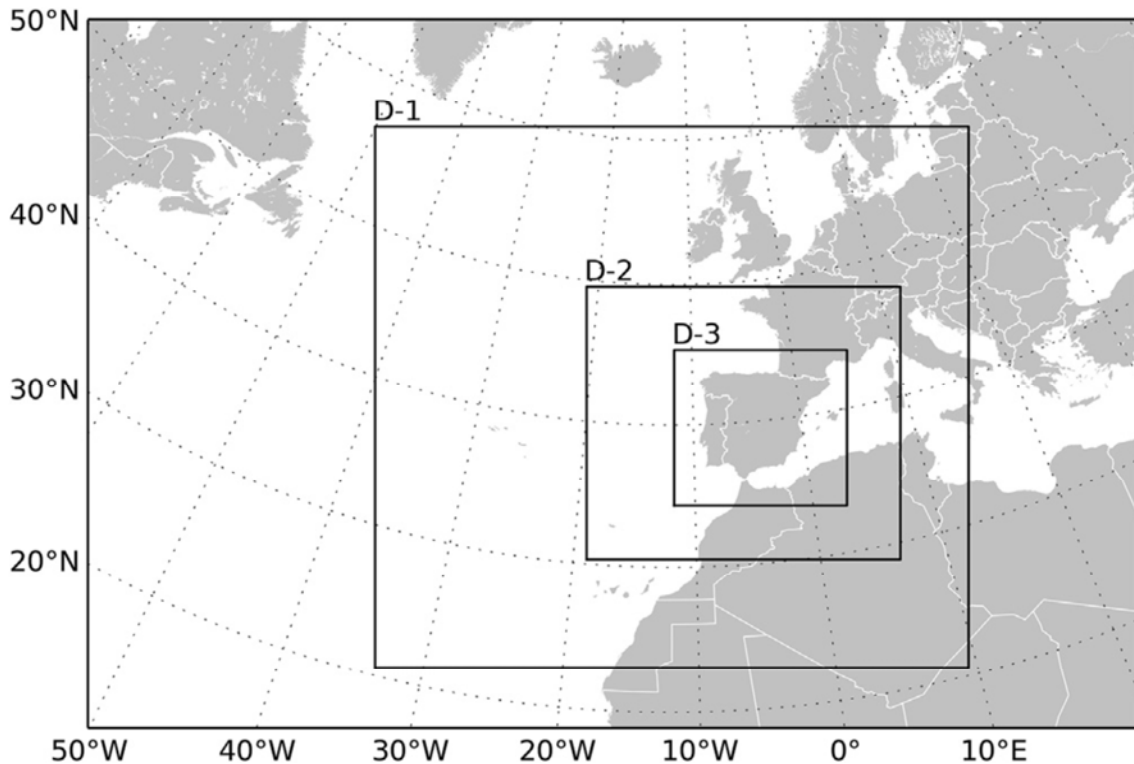


Figura 1- Configuração dos domínios usados na implementação do modelo WRF. Domínios D-1, D-2 e D-3 com resoluções horizontais de 81 km, 27 km e 9 km, respetivamente.

2.1.1. Dados simulados com o modelo WRF

Foram realizadas simulações climáticas para os três períodos anteriormente referidos (i.e., HIST, MED, LONG). Uma lista sumária das simulações realizadas e respetiva descrição é mostrada na Tabela 1.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Tabela 1 – Lista das simulações realizadas com o modelo WRF

Nome da Simulação	Período de simulação	Forçamento	Descrição
ERA	1986-2005	Reanálises ERA-Interim (Dee et al., 2011)	Simulação para avaliar o comportamento do modelo WRF forçado por dados observados depois de ‘analizados’ (i.e., interpolados/extrapolados, para uma malha 3-D com recurso a modelos numéricos atmosféricos globais).
HIST	1986-2005	MPI-ESM-LR (<i>Max Planck Institute Earth System Model – low resolution;</i> Giorgetta et al. 2013) para o RCP8.5	Simulações forçadas por modelo que participou na ‘ <i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i> ’, que utiliza
MED	2046-2065		O modelo MPI-ESM-LR é considerado um dos melhores modelos climáticos na
LONG	2081-2100		simulação do clima de Europa (Brands et al., 2011 e 2013).

Outros estudos, como Bartolomeu *et al.* (2016), Carvalho *et al.* (2016), Fonseca *et al.* (2016), Pereira *et al.* (2017) e Viceto *et al.* (2017) baseiam-se nas mesmas simulações climáticas aqui utilizadas.

2.1.2. Outros dados simulados – EURO-CORDEX

Foram obtidos dados diários de Tmax e Tmin para os períodos considerados anteriormente e calculada a amplitude térmica diária para um conjunto de modelos regionais que participaram no programa EURO-CORDEX (Giorgi *et al.*, 2009). Estes dados são utilizados para avaliar a incerteza das projeções estimadas neste relatório. A lista de modelos EURO-CORDEX cujos dados foram utilizados é mostrada na Tabela 2-1 do Anexo 2 do Relatório da Fase 1. Todos os modelos têm uma resolução horizontal de 12 km. Os dados de temperatura destes modelos foram submetidos ao mesmo

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

método de correção de viés que o modelo WRF (secção 3.1 do Relatório da Fase 1). A avaliação de incerteza é mostrada no Anexo 2 Relatório da Fase 1.

2.2. Simulações da ICU de Lisboa (Relatório da Fase 2)

Nas simulações numéricas da Ilha de Calor Urbana (ICU) para o clima atual na AML, utilizou-se o modelo WRF-ARW (daqui em diante referido apenas como WRF) v3.9 (Skamarock *et al.*, 2008) forçado nas condições iniciais e de fronteira por dados das reanálises ERA-Interim do Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF) – a descrição detalhada destas reanálises pode ser consultada em Dee *et al.* (2011). Os dados foram obtidos com resolução horizontal de $0.75 \times 0.75^\circ$, uma frequência temporal de 6h, e dispostos em 37 níveis isobáricos (i.e., 1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 775, 800, 825, 850, 875, 900, 925, 950, 975, 1000 hPa).

Todas as simulações foram feitas com modo de feedback ativo (i.e., com troca de informação entre domínios nos dois sentidos), numa configuração de cinco domínios aninhados de resoluções 81 km (D-1: 60x55 pts), 27 km (D-2: 94x55 pts), 9 km (D-3: 154x139 pts), 1 km (D-4: 145x154 pts) e 333 m (D-5: 181x160 pts). Note-se, que os três primeiros domínios abrangem a mesma área geográfica das simulações climáticas, tendo-se adicionado dois domínios de maior resolução, centrados na região da AML e no ML, à configuração anterior. A esquematização dos domínios de simulação é mostrada na Figura 2.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

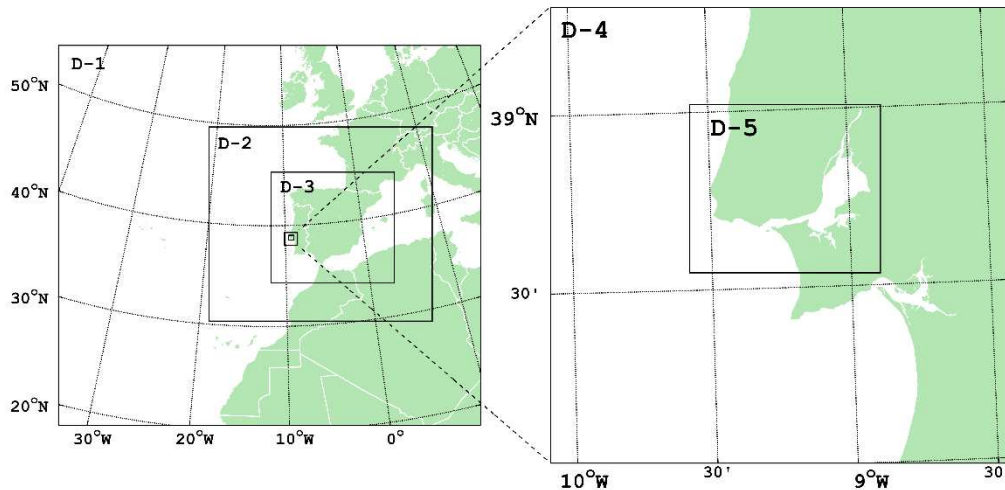


Figura 2 - Configuração de domínios usada nas simulações WRF.

O período de simulação para a HW representativa do clima atual decorre das 00h do dia 28 de julho às 00h do dia 4 de agosto de 2003, no entanto as primeiras 24 horas de simulação não são considerados na análise de resultados, por pertencerem ao período de “spin-up” do modelo (Warner, 2010), necessário para o modelo ajustar os campos meteorológicos aos dados de forçamento e às condições iniciais.

Na representação dos processos físicos que ocorrem na canópia urbana, foram usados em diferentes experiências de simulação (descritas na secção **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) os modelos de canópia urbana simples e de multicamada, SLUCM (Single-layer Urban Canopy Model, (Kusaka *et al.*, 2001; Kusaka and KIMURA, 2004)) e BEP (Building Environment Parameterization, (Martilli, Clappier and Rotach, 2002)), respetivamente. A forma como cada um destes modelos representa os processos da canópia urbana (descritos na secção 2.1.1 do Relatório da Fase 1) obriga à utilização de uma configuração de níveis verticais diferente nas simulações com cada tipo de modelo. Simulações com o modelo SLUCM usaram 46 níveis verticais, estando o primeiro nível acima da superfície - que define o limite superior da canópia urbana - a 54 m. As simulações com modelo BEP foram configuradas com 49 níveis verticais, tendo-se definido três níveis abaixo do limite superior da canópia urbana (54 m) aos 40 m, 24 m e 12 m.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

As restantes parametrizações físicas usadas em todas as simulações são mostradas na Tabela 2, e assemelham-se às usadas por Marta-Almeida *et al.* (2016) nas simulações climáticas.

Tabela 2 – Parametrizações físicas usadas nas simulações WRF.

Parametrizações	Opções
Microfísica	WSM6 (Hong and Lim, 2006)
Cúmulos	Grell-Freitas (desligado em D-4 e D-5; Grell and Freitas, 2014)
Camada limite	Boulac PBL (Bougeault and Lacarrere, 1989)
Superfície	Revised MM5 (Jiménez <i>et al.</i> , 2012)
Radiação LW	Rapid Radiative Transfer Model (RRTM, Mlawer <i>et al.</i> , 1997)
Radiação SW	Dudhia scheme (Dudhia, 1988)

2.2.1. Modelos de canópia urbana

Como descrito anteriormente, nas experiências de simulação realizadas neste estudo foram usados os modelos de camada única e de multicamada, SLUCM e BEP. Estes modelos estão acoplados ao modelo de superfície Noah LSM (Chen and Dudhia, 2001), que lhes providencia as condições de fronteira, como fluxos de calor sensível, latente e temperatura da superfície. O acoplamento é feito através do parâmetro de percentagem urbana (fração urbana), que representa a proporção de superfícies impermeáveis (e.g., telhados, passeios, ruas, etc) dentro de cada célula da grelha do modelo. Desta forma, e para cada ponto da grelha, o modelo de superfície calcula os fluxos e temperatura da superfície para as áreas urbanas vegetadas e para as superfícies antropogénicas.

O modelo SLUCM assume ruas e avenidas infinitamente longas e reconhece a natureza tridimensional das superfícies urbanas. Nas ruas e avenidas é assumido o efeito das sombras, reflexão e aprisionamento da radiação, e é atribuído um perfil vertical de vento predefinido.

O modelo BEP, que interage diretamente com o esquema de camada limite planetária, é um modelo mais sofisticado que reconhece a natureza tridimensional das superfícies urbanas, bem como a distribuição vertical das fontes e sumidouros de calor, humidade

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

e momento linear (quantidade de movimento). Este modelo tem uma grande influência na termodinâmica da subcamada rugosa da canóia urbana e, por isso, na parte mais baixa da camada limite planetária (Chen *et al.*, 2011).

Uma representação esquemática a comparar os dois modelos é mostrada na Figura 3.

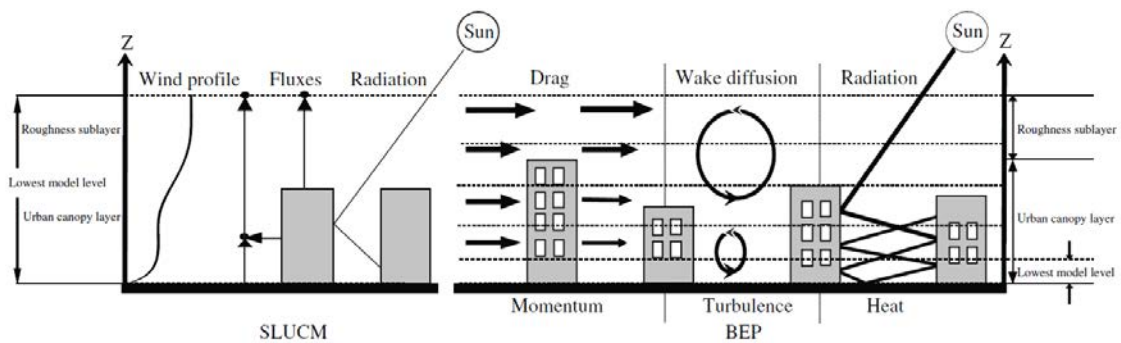


Figura 3 – Esquemática do funcionamento dos modelos de canóia urbana SLUCM (à esquerda) e BEP (à direita).

Os principais parâmetros térmicos e dinâmicos definidos para cada modelo estão definidos na Tabela 3.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Tabela 3 – Sumário dos parâmetros térmicos e dinâmicos usados nos modelos de canópia urbana SLUCM e BEP. *n.d. – parâmetro não disponível no modelo em questão.

Parâmetro térmico/dinâmico	Modelo urbano	
	SLUCM	BEP
CAPR: Capacidade térmica do telhado [$10^6 \text{ Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$]		1
CAPB: Capacidade térmica das paredes [$10^6 \text{ Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$]		1
CAPG: Capacidade térmica do solo (ruas) [$10^6 \text{ Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$]		1.4
AKSR: Condutividade térmica dos telhados [$\text{Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$]		0.67
AKSB: Condutividade térmica das paredes [$\text{Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$]		0.67
AKSG: Condutividade térmica do solo (ruas) [$\text{Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$]		0.4004
ALBR: Albedo dos telhados [Fração]		0.2
ALBB: Albedo das paredes [Fração]		0.2
ALBG: Albedo do solo (ruas) [Fração]		0.2
EPSR: Emissividade dos telhados		0.9
EPSB: Emissividade das paredes		0.9
EPSG: Emissividade do solo (ruas)		0.95
ZOB: Comprimento de rugosidade para a quantidade de movimento sobre as paredes [m]	0.0001	n.d.*
ZOG: Comprimento de rugosidade para a quantidade de movimento sobre o solo (ruas) [m]		0.01
ZOR: Comprimento de rugosidade para a quantidade de movimento sobre os telhados [m]	n.d.*	0.01

2.2.2. Dados de uso do solo e topográficos

a. Uso do solo

Para uma maior precisão na representação da heterogeneidade do uso do solo pelo modelo WRF nas escalas mais pequenas, os dados de uso do solo predefinidos no modelo (dados USGS de 24 categorias – U.S. Geographical Service), com resolução de 1 km, foram substituídos pelos do CORINE 2012 (CLC 2012 - Coordination of Information on the Environment Land Cover) da Agência Europeia do Ambiente (AEA), com 100 m de resolução e 44 categorias de uso do solo. Apesar dos dados de uso do solo definidos no modelo serem do USGS24, o modelo WRF consegue identificar categorias do USGS33 (com 33 categorias). De forma aos dados CLC 2012 serem reconhecidos pelo módulo geográfico do WRF, estes foram reclassificados para as categorias USGS33, que contém três categorias urbanas (Baixa densidade residencial, alta densidade residencial, comercial ou industrial) ao invés de uma só categoria disponível nos dados

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

USGS24. Assim, é possível obter um maior detalhe e diferenciação das diferentes classes urbanas, relativamente à classificação USGS24. A Tabela 3, adaptada de Pineda *et al.*, 2004, sumariza a equivalência entre as 44 categorias de uso do solo do CORINE 2012 e as 33 categorias do USGS, bem como as propriedades térmicas de cada classe após a reclassificação. Na Tabela 4 encontra-se a descrição das principais características de cada uma das classes urbanas, nomeadamente a altura média dos edifícios de cada classe, largura dos telhados e ruas, e fração de vegetação. Note-se que os valores apresentados na tabela representam a média em cada célula da grelha do modelo, com a dimensão de 333x333 m² (domínio D-5).

Na Figura 4 a) e b) é feita uma comparação entre o uso do solo na grelha do modelo no domínio D-4 (grelha 1x1 km) com os dados originais do USGS (esquerda) e os dados CLC 2012 (direita). Em baixo, a Figura 4c mostra a representação do uso do solo pelo modelo no domínio D-5 (grelha 333x333 m).

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

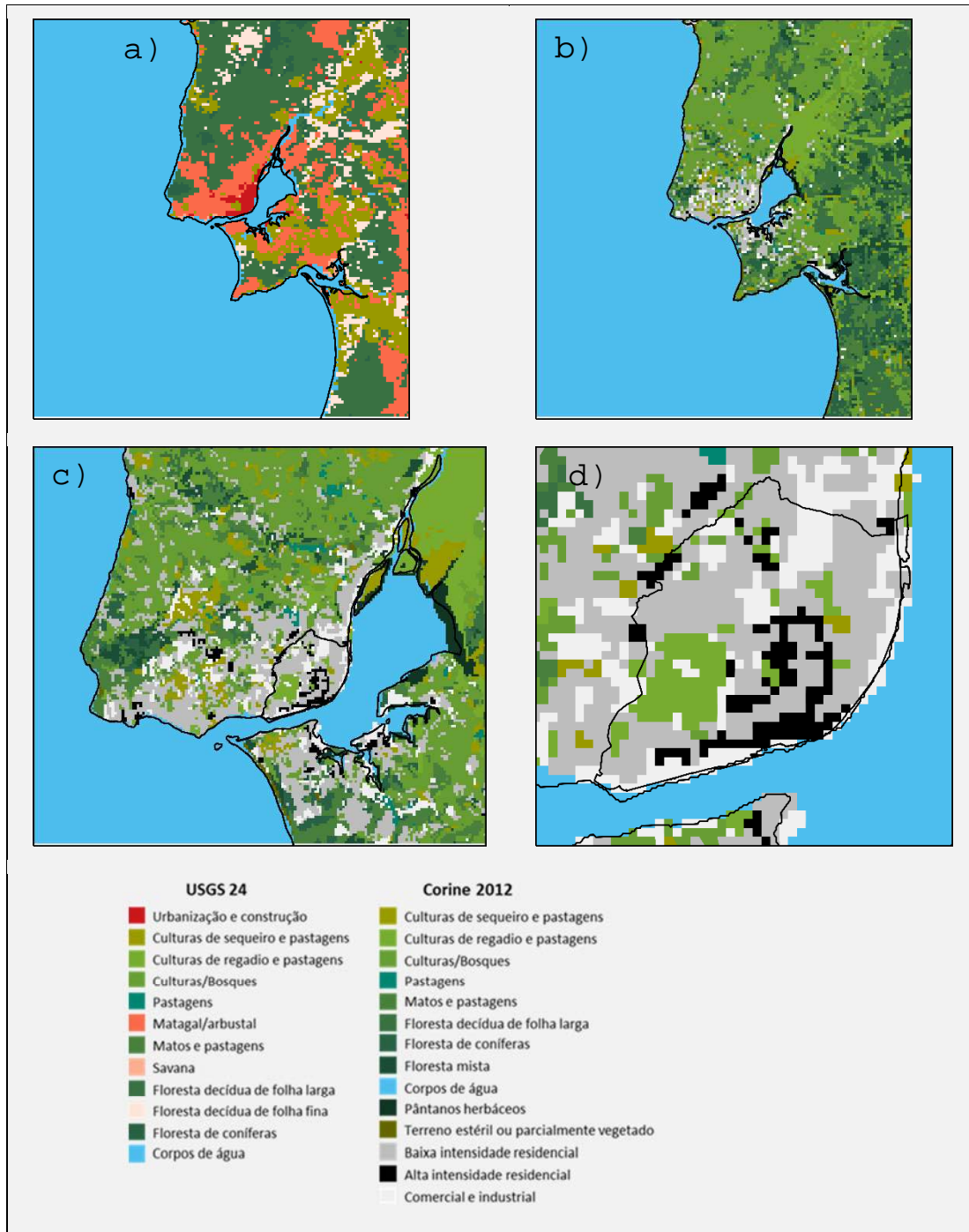


Figura 4 – a) Mapa de uso do solo do USGS24 para o domínio D-4 (1x1 km); b) Mapa de uso do solo CORINE 2012 reclassificado para as categorias USGS33 no domínio D-4; c) o mesmo que b), mas para o domínio D-5 (333x333 m); d) o mesmo que em c), mas ampliado para a região do Município de Lisboa (ML).

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Tabela 3 – Equivalências usadas na reclassificação das classes de uso do solo do CORINE 2012 para as classes do USGS 33, respetiva nomenclatura e propriedades térmicas.

Uso do solo Corine 2012		Uso do solo USGS		Propriedades térmicas					
Categoria	Nomenclatura	Categoria USGS33	Nomenclatura	Albedo [%]	Humidade do solo [%]	Emissividade da superfície [%]	Comprimento de rugosidade [cm]	Inércia térmica [$\text{cal cm}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1/2}$]	Capacidade térmica [$10^5 \text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$]
1	Tecido urbano contínuo	32	Alta intensidade residencial	10	10	97	80	3	18.9
2	Tecido urbano descontínuo	31	Baixa intensidade residencial	10	10	97	80	3	18.9
3	Indústria, comércio e equipamentos gerais	31	Comercial e industrial	10	10	97	80	3	18.9
4	Redes viárias e ferroviárias e espaços associados								
5	Áreas portuárias								
6	Aeroportos e aeródromos								
7	Áreas de extração de inertes								
8	Áreas de deposição de resíduos								
9	Áreas em construção								
11	Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas								
12	Culturas temporárias de sequeiro	2	Culturas de sequeiro e pastagens	17	30	98.5	15	4	25
18	Pastagens permanentes								
10	Espaços verdes e urbanos	3	Culturas de regadio e pastagens	18	50	98.5	10	4	25

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

13	Culturas temporárias de regadio								
14	Arrozais								
15	Vinhas	6	Culturas/Bosques	16	35	98.5	20	4	25
16	Pomares								
17	Olivais								
19	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes								
20	Sistemas culturais e parcelares complexos								
21	Agricultura com espaços naturais e seminaturais								
22	Sistemas agroflorestais								
26	Vegetação herbácea natural	7	Pastagens	19	15	96	12	3	20.8
27	Matos	9	Matos e pastagens	20	15	95	6	3	20.8
28	Vegetação esclerofila								
29	Florestas abertas, cortes e novas plantações								
23	Florestas de folhosas	11	Floresta decídua de folha larga	16	30	93	50	4	25
24	Florestas de resinosas	14	Floresta de coníferas	12	30	95	50	4	29.2
25	Florestas mistas	15	Floresta mista	13	30	97	50	4	41.8
40	Corpos de água	16	Corpos de água	8	100	98	0.01	6	9
41	Planos de água								
42	Lagoas costeiras								
43	Desembocaduras fluviais								
44	Mar e oceano								
35	Turfeiras	17	Pântanos herbáceos	14	60	95	20	6	29.2
36	Sapais								
37	Salinas e aquicultura litoral								
38	Zonas entre marés								

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

39	Sapais								
30	Praias, dunas e areais	19	Terreno estéril ou parcialmente vegetado	25	2	90	1	2	12
31	Rocha nua								
32	Vegetação esparsa								
33	Áreas ardidas								
34	Glaciares e neve perpétua	24	Gelo ou neve	55	95	95	0.1	5	9

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Tabela 4 – Parâmetros geométricos atribuídos às diferentes categorias urbanas de uso do solo dentro do modelo WRF, nos modelos de canópia urbana SLUCM e BEP.

Caraterística	Classe urbana	Modelo urbano	
		SLUCM	BEP
Altura dos edifícios (m)	Baixa intensidade residencial (31)	10	5 (15%)
			10 (70%)
			15 (15%)
	Alta intensidade residencial (32)	15	10 (20%)
			15 (60%)
			20 (20%)
	Comercial e industrial (33)	24	15 (10%)
			20 (25%)
			25 (40%)
			30 (25%)
Largura dos telhados (m)	31		8.3
	32		9.4
	33		10
Largura das ruas (m)	31		8.3
	32		9.4
	33		10
Fração de vegetação (%)	31		50
	32		10
	33		5

b. Topografia

Para a representação da topografia no modelo foram usados dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) da NASA, com uma resolução de ~90 m. Devido à existência de variações acentuadas da topografia entre alguns pontos da grelha do modelo, e de forma a evitar a instabilidade do mesmo, aplicou-se um filtro de suavização “1-2-1” com três passagens sobre o campo da topografia nos dois domínios de maior resolução. A Figura 5 mostra a representação da topografia para o domínio D-5.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

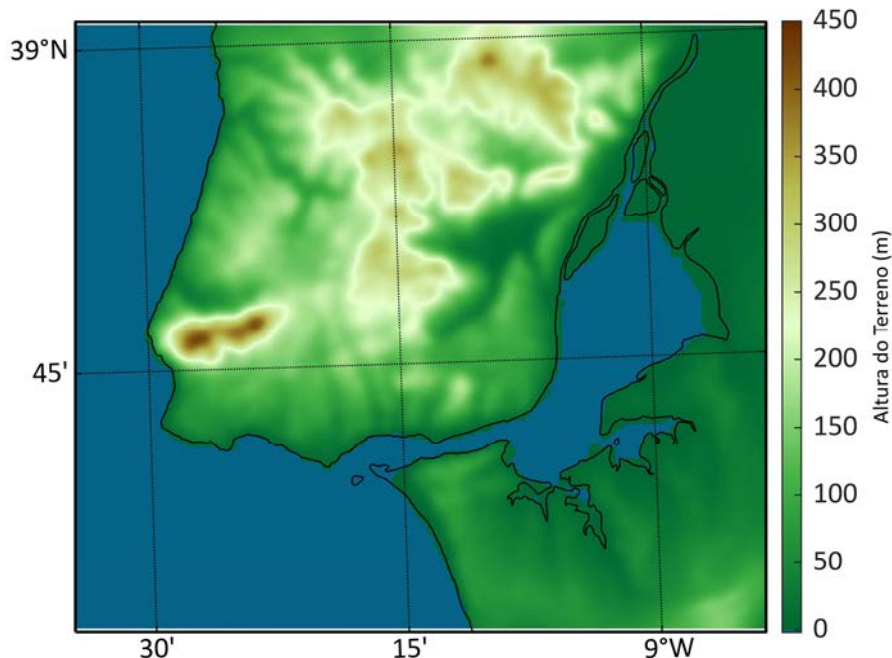


Figura 5 – Mapa da topografia no domínio D-5 após suavização com filtro 1-2-1 em três passagens.

2.2.3. Experiências de simulação da ICU

Para o estudo da ICU no clima atual usando o modelo WRF, procedeu-se à execução de um conjunto de simulações numéricas forçadas pelas reanálises ERA-Interim, com o intuito de se testar a influência do uso de diferentes UCMs ou da substituição das classes urbanas de uso do solo por classes rurais. As simulações em que se substituíram as categorias urbanas de uso do solo permitem a análise da ICU entre pontos com a mesma localização em relação aos das simulações em que estas categorias estão presentes. Um sumário das seis experiências de simulação feitas é mostrado na Tabela 5, onde as iniciais URB, NURB e CTRL representam simulações com UCM e categorias de uso de solo urbanas, com UCM sem categorias de uso do solo urbanas, e de controlo (i.e., sem UCM), respetivamente. O número no final das iniciais representa o número de níveis verticais de cada simulação.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Tabela 5 - Sumário das experiências de simulação WRF realizadas para o estudo a ICU da cidade de Lisboa.

Nome da simulação	Níveis verticais	Parametrização urbana	Categorias urbanas de uso do solo
URB46		Sim (SLUCM)	Sim
CTRL46	46	não	Sim
NURB46		Sim (SLUCM)	Não
URB49		Sim (BEP)	Sim
CTRL49	49	não	Sim
NURB49		Sim (BEP)	Não

2.3. Dados de observações

2.3.1. Estações meteorológicas – IPMA

Para a validação dos resultados do modelo nas diferentes experiências de simulação, foram utilizados dados médios horários da temperatura a 2 metros, fornecidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Na Tabela 6 é mostrado o número de identificação de cada estação, localização, altitude, bem como as coordenadas cartesianas do ponto do modelo mais próximo de cada uma das estações. Na Figura 6 é mostrada a localização das estações no mapa sobrepostas no mapa do uso do solo.

Tabela 6 – Estações meteorológicas do IPMA com respetivas coordenadas geográficas, altitude, e coordenadas nos pontos do modelo.

Nº	Estação	ID	Latitude (°)	Longitude (°)	Ponto do domínio D-5		Altitude (m)
					x	y	
1	Lisboa/Alvalade	01240921	38,75614722	-9,14462778	113	73	90
2	Amadora	01240935	38,75757778	-9,24244167	87	73	143
3	Lisboa/Baixa	01240925	38,71093333	-9,13405556	116	58	8
4	Lisboa/Benfica	01240931	38,74885278	-9,19946944	98	70	75
5	Barreiro (cidade)	01240928	38,65435000	-9,06719722	134	40	15
6	Cacém	01240936	38,76960833	-9,29948611	72	77	124
7	Lisboa/Estefânia	01240924	38,72952222	-9,14332222	113	64	79
8	Lisboa/Gago Coutinho	01200579	38,76620278	-9,12749444	117	77	104
9	Lisboa/Geofísico	01200535	38,71907778	-9,14972222	112	61	77

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

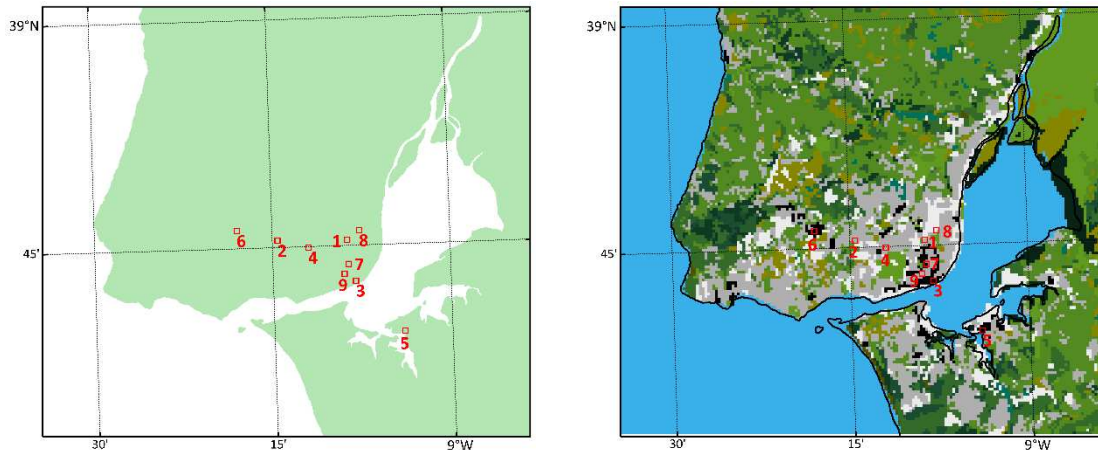


Figura 6 – Localização das estações meteorológicas do IPMA usadas na validação das diferentes experiências de simulação (esquerda) e correspondência na grelha de 333 m com as diferentes classes de uso do solo.

2.3.2. Estação meteorológica Lisboa-Geofísico (IPMA) – Período longo

Foram também utilizados dados médios mensais da temperatura da estação meteorológica de Lisboa/Geofísico, operada pelo IPMA, obtidos na base de dados do NOAA (GHCN, 2018). Estes dados foram sujeitos a um rigoroso controlo de qualidade e de correção de viés cujo detalhe pode ser consultado na referência atrás mencionada. Estes dados são apenas utilizados na secção 4.1 do Relatório da Fase 1 para enquadrar a alteração climática da temperatura média em Lisboa desde a Era pré-industrial.

2.3.3. Dados observados em grelha – E-OBS

Foram obtidos dados observados na base de dados **E-OBS** (EOBS daqui em diante) – desenvolvida pelo *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D), que consiste em dados diários em grelha sobre terra para a Europa (Haylock *et al.*, 2008). À semelhança dos modelos, Lisboa foi identificada nos dados EOBS como sendo o ponto da grelha respetiva dentro do município de Lisboa.

À semelhança dos modelos, foram extraídos das EOBS os dados observados de Tmax e Tmin e calculada a amplitude térmica diária para o período 1986-2005.

2.4. Variáveis de base

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Foram extraídas das várias bases de dados mencionadas, as temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) para os três períodos considerados. Foi também obtida a temperatura média diária e a amplitude térmica diária (Ampl).

2.5. Variáveis derivadas e índices

2.5.1. Ondas de calor

A maioria dos índices de onda de calor considera um valor absoluto ou relativo de temperatura crítica que persista por mais do que um determinado número de dias consecutivos.

O *Task Team on the Definition of Extreme Weather and Climate Events* (TT-DEWCE), estabelecido pela Comissão de Climatologia da Organização Meteorológica Mundial, apresenta uma discussão detalhada e sugere orientações para definir índices de onda de calor (WMO 2015).

Neste estudo define-se onda de calor usando o método de Russo et al. (2014), recentemente utilizado para as mesmas simulações aqui mencionadas por Pereira et al. (2017).

Onda de calor é definida como sendo um período de pelo menos 3 dias consecutivos em que a temperatura máxima diária de cada dia é igual ou superior a um valor crítico de temperatura máxima (**Tmax_c**). Este valor é determinado para cada um dos 365 dias do ano como sendo igual ao percentil 90 de temperatura máxima diária de todos os dias numa janela de 31 dias centrada no dia em questão. Neste cálculo são considerados todos os 31 dias dos 20 anos do período considerado (620 dias).

As ondas de calor são identificadas em todas as simulações para o período de 1 de Maio a 31 de Outubro porque considera-se que as ondas de calor de maior impacto sócio-económico são aquelas que ocorrem durante os meses mais quentes. A escolha deste período de verão alargado baseia-se no facto de as projeções de temperatura para os climas futuros mostrarem que Maio e Outubro irão registar valores

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

semelhantes àqueles que se registam no clima atual durante os meses de verão, como se pode observar na Tabela 2-1 (Anexo 2). São consideradas todas as ondas de calor com início no período mencionado, mesmo que as mesmas terminem fora desse período.

Cada onda de calor é aqui caracterizada pelas seguintes propriedades:

Duração (dias) de uma onda de calor.

Intensidade ($^{\circ}\text{C}$) – Diferença média entre T_{max} e $T_{\text{max_c}}$ diária para os dias de uma onda de calor. A intensidade é medida relativamente a $T_{\text{max_c}}$. Deste modo, um mesmo valor de intensidade poderá representar situação distintas. Por exemplo, intensidade = 3°C poderá representar uma onda de calor com $T_{\text{max_med}}$ de 35°C e $T_{\text{max_c}}$ de 32°C ou uma onda de calor com $T_{\text{max_med}}$ de 30°C e $T_{\text{max_c}}$ de 27°C .

$T_{\text{max_med}}$ ($^{\circ}\text{C}$) – Temperatura máxima média dos dias da onda de calor.

$T_{\text{min_med}}$ ($^{\circ}\text{C}$) – Temperatura mínima média dos dias da onda de calor.

Fator de recuperação ($^{\circ}\text{C}$) - Igual à diferença média entre T_{max} e T_{min} para todos os dias de uma onda de calor. Quanto maior for este valor, maior é o alívio durante a noite em dias de onda de calor. O fator de recuperação é uma medida de T_{max} relativamente a T_{min} . Deste modo, o mesmo valor de fator de recuperação poderá representar situação distintas. Por exemplo, fator de recuperação = 10°C poderá representar uma onda de calor com Temperatura máxima média de 35°C e temperatura mínima média de 25°C ou uma onda de calor com Temperatura máxima de 30°C e temperatura mínima média de 20°C . O fator de recuperação representa a amplitude térmica diária média durante a onda de calor.

$T_{\text{max_sum}}$ ($^{\circ}\text{C}.\text{dia}$) - Soma de T_{max} de todos os dias da onda de calor. Esta variável quantifica a energia acumulada durante uma onda de calor (depende da duração e da temperatura máxima diária nos dias de onda de calor). Esta grandeza é semelhante à

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

grandeza $^{\circ}\text{C}.\text{dia}$ comumente utilizada na determinação das necessidades térmicas de aquecimento. $T_{\text{max_sum}}$ representa o somatório das diferenças positivas entre a temperatura interior de um edifício e a temperatura média do ambiente exterior ao longo do período de aquecimento. Neste estudo $T_{\text{max_sum}}$ representa o somatório da temperatura máxima de todos os dias de uma onda de calor sem considerar uma temperatura de referência (i.e., temperatura ambiente exterior no caso de $^{\circ}\text{C}.\text{dia}$). Podemos considerar $T_{\text{max_sum}}$ uma grandeza relacionada com a energia acumulada durante uma onda de calor e relevante para o *stress* térmico. Por exemplo, um valor de $300^{\circ}\text{C}.\text{dia}$ de uma onda de calor pode representar uma onda de calor de 10 dias com temperatura máxima diária de 30°C em cada dia ou uma onda de calor de 8 dias com temperatura máxima diária de $37,5^{\circ}\text{C}$ em cada dia.

É ainda calculado o **número de ondas de calor** e **número de dias de ondas de calor**.

3. Validação/comparação entre dados simulados e observados (Relatórios das Fases 1 e 2)

3.1. Ondas de calor (Relatório da Fase 1)

Os dados observados para Lisboa foram comparados em várias ocasiões do Relatório da Fase 1 com dados simulados.

Essas comparações/validações foram realizadas para variáveis de base, nomeadamente, temperatura máxima e mínima e para índices e variáveis derivadas, por exemplo, número de dias de onda de calor e intensidade de ICU, entre muitas outras.

Os resultados dessas validações podem ser consultados com maior detalhe no Relatório da Fase 1, destacando-se do mesmo as seguintes secções, anexos e tabelas:

Secção 4.2 - Validação – Clima atual recente

Como exemplo, mostra-se na Figura abaixo a comparação entre a temperatura máxima média mensal observada (i.e., E-OBS) e simuladas (ERA, HIST-NC e HIST-BC) no ponto da grelha das E-OBS e do modelo WRF sobre o ML.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

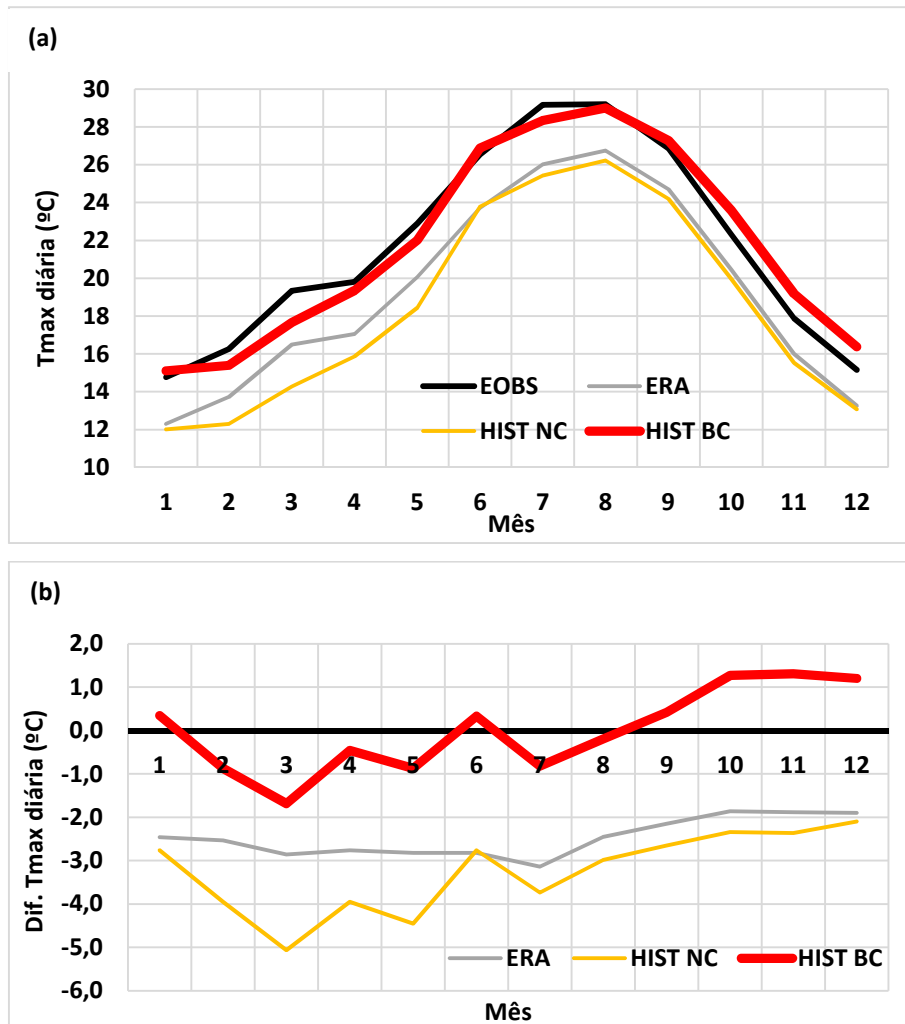


Figura 2 do Relatório da Fase 1 – (a) Temperatura máxima diária média mensal para as EOBS, ERA, HIST NC e HIST BC. (b) O mesmo que em (a) mas para anomalias relativas à média climatológica das EOBS.

A Figura seguinte, que replica a Figura 10 do Relatório da Fase 1, mostra o número médio anual de dias de onda de calor observados (i.e., E-OBS) e simulados (ERA, HIST-NC e HIST-BC) para Lisboa.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

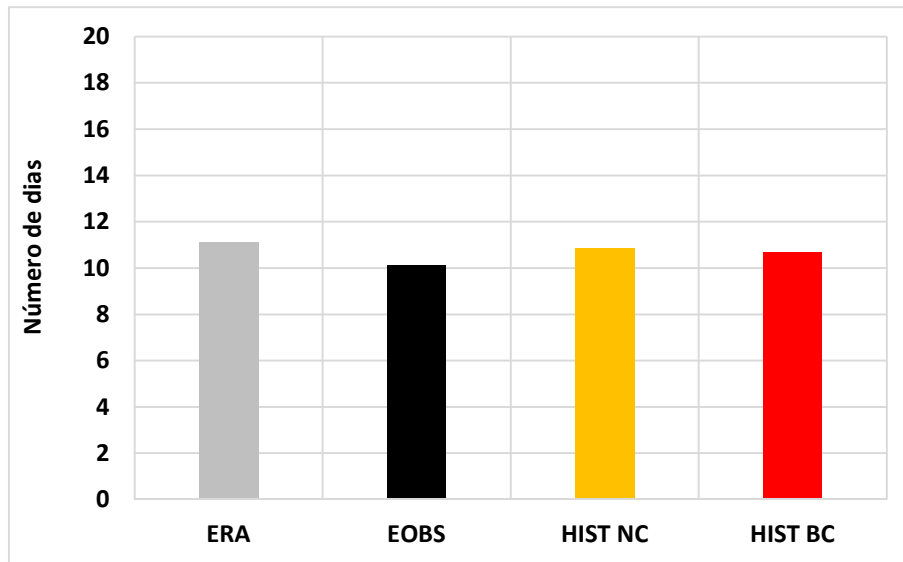


Figura 3 Relatório da Fase 1 – Número médio anual de dias de onda de calor para as EOBS, ERA, NC e BC.

Anexo 3 do Relatório da Fase 1 – Comparação de resultados com o relatório da EMAAC (2017)

Com o objetivo de enquadrar os resultados aqui apresentados com aqueles referidos no relatório da EMAAC (2017), a Tabela A3.1 (em baixo) mostra valores médios de algumas variáveis, para o clima de referência (1986-2005 neste estudo e 1971-2000 na EMACC) para o cenário RCP8.5. As variáveis derivadas da temperatura são assim definidas:

Número de dias de verão – Número de dias em que a temperatura máxima diária é igual ou superior a 25°C.

Número de dias muito quentes – Número de dias em que a temperatura máxima diária é igual ou superior a 35°C.

Número de noites tropicais – Número de dias em que a temperatura mínima diária é igual ou superior a 20°C.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Note-se que os períodos usados para calcular as respetivas médias são diferentes nos dois relatórios, sendo parcialmente comuns para o período de 1986-2000. Por isso, os resultados não devem ser rigorosamente comparados.

O modelo WRF não corrigido e os modelos utilizados na EMAAC apresentam um viés frio entre $-3,1^{\circ}\text{C}$ e $-2,0^{\circ}\text{C}$. Como consequência, os números de dias de verão, muito quentes e de noites tropicais apresentam diferenças negativas relativamente às EOBS. Como resultado da correção de viés, os dados corrigidos do WRF não apresentam diferenças relativamente às EOBS.

Tabela A3.1 do Relatório da Fase 1 – Comparação de variáveis de temperatura apresentadas neste relatório e na EMAAC (2017) para a temperatura média anual e números médios anuais de dias de verão, dias muito quentes e noites tropicais. Os valores relativos a este relatório referem-se ao período de 1986-2005. Os valores da EMAAC referem-se ao período 1971-2000. Os valores entre parêntesis representam anomalias relativas às EOBS. NC e BC referem-se a dados não corrigidos e corrigidos, respetivamente.

Variável	Este relatório			EMAAC	
	EOBS	WRF NC	WRF BC	mod1	mod2
Temperatura média anual	17,1	14,7 (-2,4)	17,1 (0,0)	15,1 (-2,0)	14,0 (-3,1)
Número de dias de verão (Tmax \geq 25°C)	122	69 (-53)	122 (0)	92 (-30)	63 (-59)
Número de dias muito quentes (Tmax \geq 35°C)	8,0	2,9 (-5,1)	8,0 (0)	8,5 (+0,5)	2,0 (-6,0)
Número de noites tropicais (Tmin \geq 20°C)	14,0	7,1 (-6,9)	14 (0)	3,5 (-10,5)	0,8 (-13,2)

Mais uma vez, a comparação dos valores correspondentes a cada variável obtida na EMAAC e nas simulações WRF do Relatório da Fase 1 não devem ser comparados

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

diretamente, porque consideram períodos climatológicos diferentes e que apenas se sobrepõem de 1986 a 2000.

A Tabela A3.2 do Relatório da Fase 1 mostra os valores das mesmas variáveis e modelos da Tabela A3.1, projetados para os climas futuros, nomeadamente, 2046-2065 e 2081-2100 deste estudo e 2041-2070 e 2071-2100 da EMAAC, para o cenário RCP8.5. Note-se que os períodos não são os mesmos, mas sobrepõem-se parcialmente.

Os valores absolutos das variáveis apresentadas são subestimadas nos modelos 1 e 2 da EMAAC relativamente às EOBS e WRF corrigido, pelo facto de os mesmos não terem sido submetidos a correção de viés. Isto acontece sobretudo para o modelo 2. No entanto, a alteração climática das mesmas variáveis simulada por estes modelos apresenta diferenças menores quando comparadas com o WRF e EOBS. De um modo geral, o número de dias de verão, o número de dias muito quentes, o número de noites tropicais e o número de dias de onda de calor são fortemente subestimados na EMAAC.

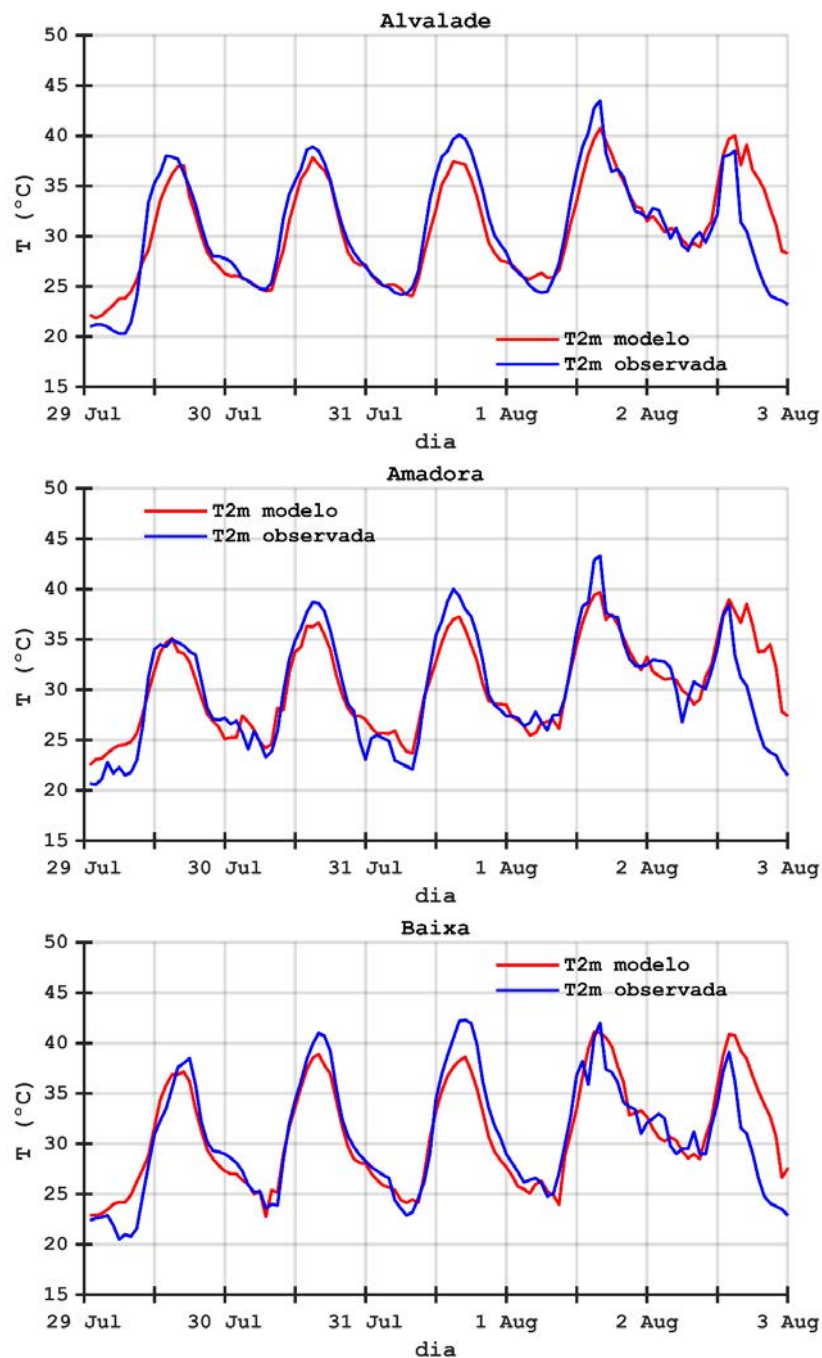
Variável	Este relatório			EMAAC					
	WRF 1986- 2005	WRF 2046- 2065	WRF 2081- 2100	mod1 1971- 2000	mod1 2041- 2070	mod1 2071- 2100	mod2 1971- 2000	mod2 2041- 2070	mod2 2071- 2100
Temperatura média anual (°C)	17,1	18,9 (+1,8)	20,4 (+3,3)	15,1	17,5 (+2,4)	19,1 (+4,0)	14,0	15,6 (+1,6)	17,1 (+3,1)
Número de dias de verão	122	156 (+34)	180 (+58)	92	135 (+43)	161 (+69)	63	97 (+34)	125 (+62)
Número de dias muito quentes	8	24 (+16)	38 (+30)	9	18 (+9)	33 (+24)	2	7 (+5)	14 (+12)
Número de noites tropicais	14	47 (+33)	86 (+72)	4	26 (+22)	66(+62)	1	4 (+3)	19 (+18)
Número de ondas de calor	3	8 (+5)	10 (+7)	1	4 (+3)	4 (+3)	1	4 (+3)	4 (+3)
Número de dias de onda de calor	11	38 (+27)	64 (+53)	5	28 (+23)	37(+32)	7	28 (+21)	32 (+25)
Duração média das ondas de calor (dias)	4	5 (+1)	6 (+2)	8	8 (0)	10(+2)	8	8 (0)	9(+1)

Tabela A3.2 do Relatório da Fase 1 – Comparação de variáveis apresentadas neste relatório e na EMAAC (2017) para a temperatura média anual e números médios anuais de dias de verão, dias muito quentes e noites tropicais. Os valores relativos a este relatório referem-se aos períodos de 2046-2065 e 2081-2100. Os valores da EMAAC referem-se aos períodos 2041-2070 e 2071-2100. Os valores entre parêntesis representam anomalias relativas ao clima de referência de cada estudo, nomeadamente, 1986-2005 neste estudo e 1971-2000 na EMAAC.

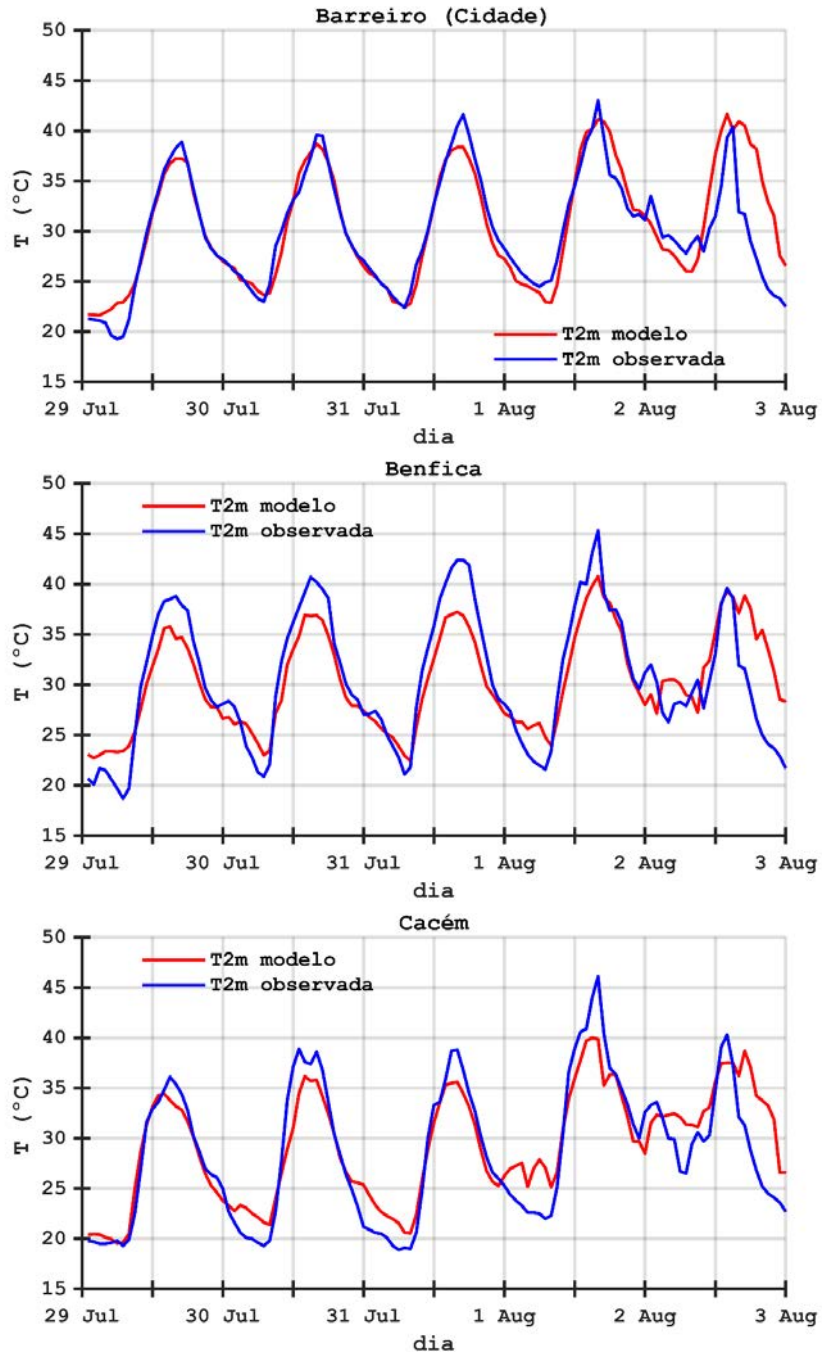
Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

3.2. ICU (Relatório da Fase 2)

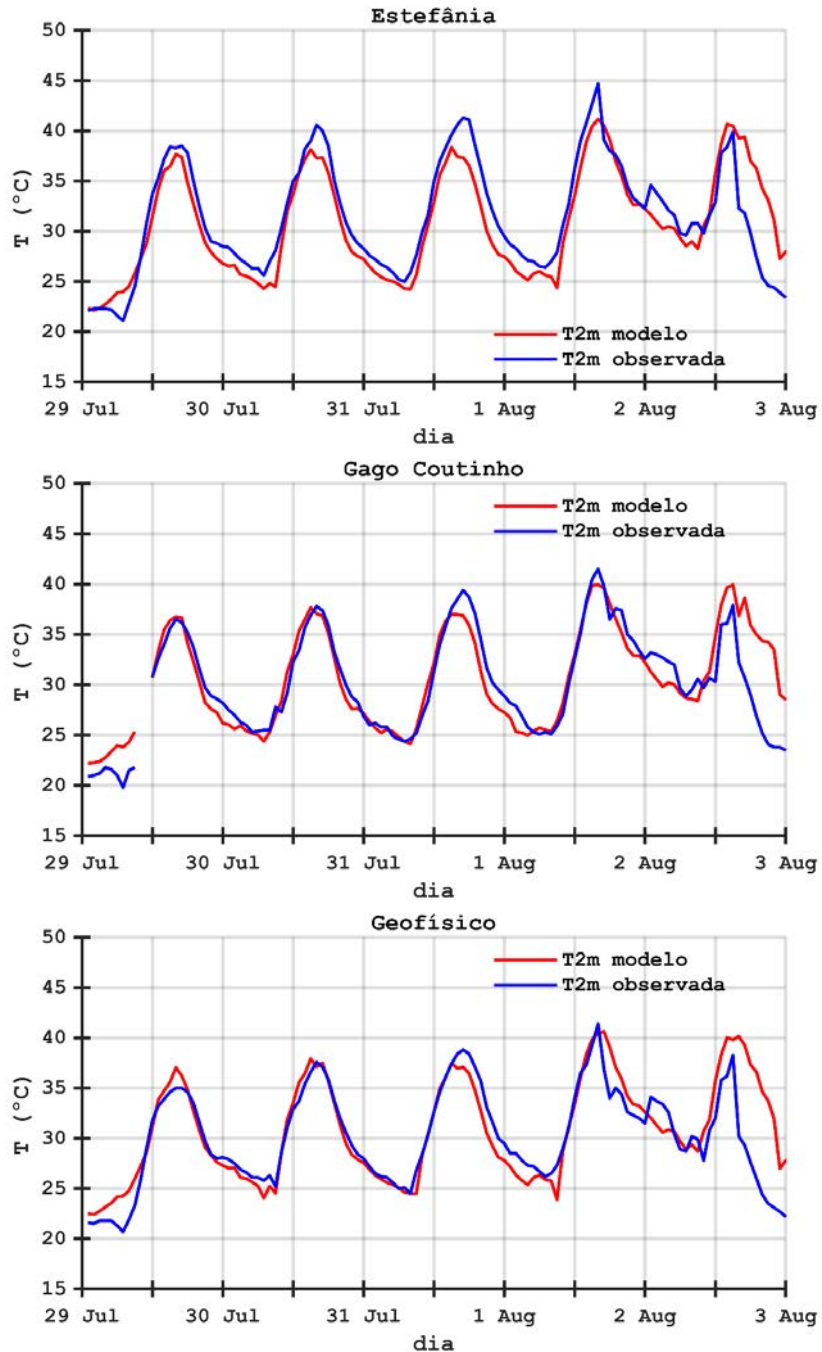
Nas figuras seguintes são comparadas as temperaturas a 2 metros de altura registadas pelas estações meteorológicas do IPMA e simuladas pelo modelo WRF, para o período de onda de calor de 2003.



Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório



Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório



4. Conclusões

Este relatório apresenta, em detalhe, a origem de todos os dados meteorológicos utilizados, observados e simulados, assim como algumas medidas estatísticas dos mesmos para o Município de Lisboa. São descritas as simulações realizadas para o estudo das ondas de calor (HW) e Ilha de Calor Urbana (ICU) e os modelos utilizados. É ainda feita uma comparação que permite validar as simulações por comparação com os dados observados e, finalmente, uma comparação entre os resultados obtidos na Fase 1 deste estudo e aqueles obtidos na EMAAC, embora os períodos considerados não sejam coincidentes.

Estes resultados permitem concluir que as projecções de HW e as simulações da ICU e as suas projecções podem ser utilizadas com confiança em estudos subsequentes.

5. Referências

Bartolomeu, S., Carvalho, M. J., Marta-Almeida, M., Melo-Gonçalves, P., & Rocha, A. (2016). Recent trends of extreme precipitation indices in the Iberian Peninsula using observations and WRF model results. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.06.005>.

Bossard, M., Feranec, J., Otahel, J., (2000). CORINE Land Cover Technical Guide e Addendum 2000. Technical Report 40. European Environmental Agency, Copenhagen. <http://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>.

Brands, S., Herrera, S., San-Martin, D., Gutierrez, J.M., 2011. Validation of the ENSEMBLES global climate models over southern Europe using probability density functions, from a downscaling perspective. *Clim. Res.* 48 (2–3), 145–161.

Brands, S., Herrera, S., Fernández, J., Gutiérrez, J.M., 2013. How well do CMIP5 Earth System Models simulate present climate conditions in Europe and Africa? *Clim. Dyn.* 41 (3–4), 803–817.

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

Carvalho, M. J., Melo-Gonçalves, P., Teixeira, J. C., & Rocha, A. (2016). Regionalization of Europe based on a K-Means Cluster Analysis of the climate change of temperatures and precipitation. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.05.001>.

Chen, F. *et al.* (2011) 'The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems', *International Journal of Climatology*. John Wiley & Sons, Ltd, 31(2), pp. 273–288. doi: 10.1002/joc.2158.

Chen, F. and Dudhia, J. (2001) 'Coupling an Advanced Land Surface–Hydrology Model with the Penn State–NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity', *Monthly Weather Review*. American Meteorological Society, 129(4), pp. 569–585. doi: 10.1175/1520-0493(2001)129<0569:CAALSH>2.0.CO;2.

Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., et al., 2011. The ERAinterim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* 137, 553e597. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.828>

EMAAC (2017). *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas*. Camara Municipal de Lisboa. 237 páginas.

Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, 1–33.

Fonseca, D., Carvalho, M. J., Marta-Almeida, M., Melo-Gonçalves, P., & Rocha, A. (2016). Recent trends of extreme temperature indices for the Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.12.005>.

Giorgetta, M. A., Jungclaus, J., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(3), 572-597. <https://doi.org/10.1002/jame.20038>.

GHCN-M, 2018. Global Historical Climatology Network-Monthly (GHCN-M) Mean Temperature (Version 4) - Climate Algorithm Theoretical Basis Document, NOAA Climate Data Record Program CDRP-ATBD-0859 Rev. 1 (2018).

Giorgi F, Jones C, Asrar G. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bull.* 58: 175–183.

Haylock, M. R., Hofstra, N., Tank, A. M. G. K., Klok, E. J., Jones, P. D., & New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Research*, 113, D20119. <https://doi.org/10.1029/2008JD010201>.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Kusaka, H. *et al.* (2001) 'A Simple Single-Layer Urban Canopy Model For Atmospheric Models: Comparison With Multi-Layer And Slab Models', *Boundary-Layer Meteorology*, 101(3), pp. 329–358. doi: 10.1023/A:1019207923078.

Kusaka, H. and KIMURA, F. (2004) *Coupling a Single-Layer Urban Canopy Model with a Simple Atmospheric Model: Impact on Urban Heat Island Simulation for an Idealized Case*, *Journal of the Meteorological Society of Japan*. doi: 10.2151/jmsj.82.67.

Marta-Almeida, M., Teixeira, J. C., Carvalho, M. J., Melo-Gonçalves, P., & Rocha, A. M. (2016). High resolution WRF climatic simulations for the Iberian Peninsula: Model

Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

validation. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 94-105.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.03.010>.

Martilli, A., Clappier, A. and Rotach, M. W. (2002) 'An Urban Surface Exchange Parameterisation for Mesoscale Models', *Boundary-Layer Meteorology*, 104(2), pp. 261–304. doi: 10.1023/A:1016099921195.

Moss, R.; Babiker, M.; Brinkman, S.; Calvo, E.; Carter, T.; Edmonds, J.; Elgizouli, I.; Emori, S.; Erda, L.; Hibbard, K.; et al. *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*; Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland, 2007; doi:10.1086/652242.

Pereira, S. C., Marta-Almeida, M., Carvalho, A. C., & Rocha, A. (2017). Heat wave and cold spell changes in Iberia for a future climate scenario. *International Journal of Climatology*, 37(15), 5192-5205. <https://doi.org/10.1002/joc.5158>.

Pineda, N., Jorba, O., Jorge, J., Baldasano, J.M. (2004). Using NOAA AVHRR and SPOT VGT data to estimate surface parameters: application to a mesoscale meteorological model. *Int. J. Remote Sens.* 25, 129e143. <http://dx.doi.org/10.1080/0143116031000115201>.

Sillmann, J., Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., & Bronaugh, D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(6), 2473-2493. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50188>.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G. Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Notes, NCAR/TN-475+STR.

Teixeira, J.C., Carvalho, A.C., Carvalho, M.J., Luna, T., Rocha, A.M., 2014. Sensitivity of the WRF model to the lower boundary in an extreme precipitation event-Madeira



Fase 4 – Aferição da Cartografia com dados meteorológicos e Mapas Climáticos, incluindo elaboração e entrega de relatório

island case study. *Nat. Hazard Earth Sys* 14, 2009e2025.
<http://dx.doi.org/10.5194/nhess-14-2009-2014>.

Viceto, C., Marta-Almeida, M., & Rocha, A. (2017). Future climate change of stability indices for the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4390-4408. <https://doi.org/10.1002/joc.5094>.

Warner, T. T. (2010) *Numerical Weather and Climate Prediction*. Cambridge: Cambridge University Press. doi: DOI: 10.1017/CBO9780511763243.

WMO (2015) Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events. TT-DEWCE WMO 4/14/2016. 61 pp.