

# **A importância da posição geográfica e do metabolismo urbano no agravamento de episódios extremos de calor – estudo de caso no Porto e na Corunha**

***Helena Madureira***

*Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, CEGOT.*

***Ana Monteiro***

*Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, CEGOT.*

***Maria Pacheco***

*Curso de Doutoramento em Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, CEGOT*

**RESUMO:** A Península Ibérica tem vindo a ser identificada como um *hotspot* nas evidências de mudança climática e como uma das áreas que mais contribui para o aquecimento global. Os sinais das manifestações de mudança climática no Noroeste da Península Ibérica, ainda que teoricamente menos expectáveis, têm sido cada vez mais eloquentes em todas as variáveis climáticas. Neste artigo avaliamos o peso relativo das especificidades locais e das condições zonais e globais na explicação da magnitude e frequência dos fenómenos térmicos extremos no Porto e na Corunha, analisando as tendências seculares do comportamento da temperatura e da precipitação, a frequência e magnitude dos episódios de calor extremo e o efeito local potencial do contexto geográfico e do metabolismo urbano na amplificação dos efeitos de episódios de calor extremo. Os resultados permitiram dissecar com clareza o peso e a importância relativa de alguns estímulos-respostas no sistema climático, confirmando a necessidade de incentivar a inclusão de uma maior elasticidade espacial nas múltiplas reflexões em curso sobre a forma mais eficaz e eficiente de implementar medidas de adaptação à ameaça climática.

**Palavras-chave:** ondas de calor; adaptação climática; tendências climáticas seculares; noroeste peninsular

***A importancia da posición xeográfica e o metabolismo urbano no agravamento dos episodios de calor extremo – estudio de caso no Porto e A Coruña***

**Resumo:** A Península Ibérica foi identificada como un *hotspot* nas evidencias do cambio climático e como unha das áreas que máis contribúe ao quentamento global. Os sinais das manifestacións do cambio climático no Noroeste da Península Ibérica, aínda que teoricamente menos esperábeis, foron cada vez máis elocuentes en todas as variábeis climáticas. Neste artigo avaliamos o peso relativo das especificidades locais e das condicións zonais e globais na explicación

da magnitude e frecuencia dos fenómenos térmicos extremos no Porto e na Coruña, analizando as tendencias seculares do comportamento da temperatura e da precipitación, a frecuencia e magnitude dos episodios de calor extrema e o efecto local potencial do contexto xeográfico e do metabolismo urbano na amplificación dos efectos dos episodios de calor extrema. Os resultados permitiron disecar con claridad o peso e a importancia relativa dalgúns estímulos-respostas no sistema climático, confirmando a necesidade de incentivar a inclusión dunha maior elasticidade espacial nas múltiples reflexións en curso sobre a forma máis eficaz e eficiente de implementar medidas de adaptación á ameaza climática.

**Palabras chave:** ondas de calor; adaptación climática; tendencias climáticas seculares; noroeste peninsular

### ***La importancia de la posición geográfica y el metabolismo urbano en el agravamiento de los episodios de calor extremo – estudio de caso en Oporto y A Coruña***

**RESUMEN:** La Península Ibérica ha sido identificada como un *hotspot* en las evidencias del cambio climático y como una de las áreas que más contribuye al calentamiento global. Las señales de las manifestaciones del cambio climático en el Noroeste de la Península Ibérica, aunque teóricamente menos esperables, han sido cada vez más elocuentes en todas las variables climáticas. En este artículo evaluamos el peso relativo de las especificidades locales y de las condiciones zonales y globales en la explicación de la magnitud y frecuencia de los fenómenos térmicos extremos en Oporto y A Coruña, analizando las tendencias seculares del comportamiento de la temperatura y de la precipitación, la frecuencia y magnitud de los episodios de calor extremo y el efecto local potencial del contexto geográfico y del metabolismo urbano en la amplificación de los efectos de los episodios de calor extremo. Los resultados han permitido diseccionar con claridad el peso y la importancia relativa de algunos estímulos-respuestas en el sistema climático, confirmando la necesidad de incentivar la inclusión de una mayor elasticidad espacial en las múltiples reflexiones en curso sobre la forma más eficaz y eficiente de implementar medidas de adaptación a la amenaza climática.

**Palabras clave:** olas de calor; adaptación climática; tendencias climáticas seculares; noroeste peninsular

### ***The importance of geographic position and urban metabolism in the worsening of extreme heat episodes – case study in Porto and A Coruña***

**ABSTRACT:** The Iberian Peninsula has been identified as a hotspot in climate change evidence and as one of the areas contributing most to global warming. The signs of climate change in the northwest of the Iberian Peninsula, although theoretically less expected, have been increasingly eloquent in all climate variables. In this article we assess the relative contribute of local specificities and zonal and global conditions in explaining the magnitude and frequency of extreme heat events in Porto and A Coruña. We analyzed the secular trends in temperature and precipitation, the frequency and magnitude of extreme heat episodes and the potential local impact of the geographical context and the urban metabolism in amplifying the effects of extreme heat episodes. The outcomes clearly showed the relative importance of certain stimulus-response relations in the climate system, confirming the need to encourage the inclusion of more spatial

elasticity in the multiple ongoing attempts to achieve most effective and efficient ways of implementing adaptation measures to climate threats.

**Keywords:** heat waves; climate adaptation; secular climatic trends; northwest Iberia

## 1. Introdução

Os sinais das manifestações de mudança climática no NW da Península Ibérica, à semelhança do que sucede em todo o Planeta, têm sido cada vez mais eloquentes em todas as variáveis climáticas, e mesmo na Corunha, que já foi considerada como o “melhor clima de Espanha”<sup>1</sup>.

A temperatura e a precipitação, por exemplo, têm vindo a revelar um padrão de comportamento muito irregular e impulsivo típico de qualquer *sistema* em busca de novos equilíbrios. Tanto em Portugal como em Espanha as evidências científicas de modificações no padrão de comportamento do *sistema climático* têm sido inúmeras (Castro, M., Martin-Vide, J. e Alonso, S., 2005; González, A., Pérez, D. et al., 2020; Monteiro, A., Madureira, H. et al., 2017; Serrano-Notivoli, R., Lemus-Canovas, M. et al., 2022).

E, na Península Ibérica, como noutras latitudes, as consequências negativas na saúde dos seres humanos, com um aumento da morbidade e mortalidade (Masselot, P., Mistry, M. et al., 2023; Monteiro, A., 2014; Monteiro, A., Carvalho, V. et al., 2013; Monteiro, A., Carvalho, V. et al., 2012; Monteiro, A. e Madureira, H., 2020), na flora, com o desaparecimento de algumas espécies e com o aumento da prevalência de pragas e doenças, ou na fauna, com o desaparecimento e/ou com a mutação genética de algumas espécies, têm sido alvo da atenção dos produtores de conhecimento desde meados da década de 80 do século passado. Até porque os impactes destas manifestações de mudança climática têm sido responsáveis por perdas e danos substantivos com reflexos, cada vez mais evidentes, no sucesso do desempenho socioeconómico dos mais variados grupos populacionais, e especialmente nos espaços urbanizados (Monteiro, A. e Madureira, H., 2020; Zhao, L., Oppenheimer, M. et al., 2018).

A frequência e a intensidade dos episódios extremos de calor em 2003, que provocaram um aumento extraordinário da mortalidade e da morbidade em toda a Europa e América do Norte (García-Herrera, R., Díaz, J. et al., 2010; Robine, J. M., Cheung, S. L. et al., 2008; Russo, S., Sillmann, J. e Fischer, E. M., 2015; Tobias, A., Roye, D. e Iniguez, C., 2023), corporizaram um marco importante na valorização destes sinais do *sistema climático*, e fizeram com que este risco se transformasse numa prioridade em todas as instâncias governativas mundiais, europeias, nacionais e locais (Peña-Angulo, D., Gonzalez-Hidalgo, J. C. et al., 2021) forçando a sua inclusão na agenda política e impondo a necessidade de encontrar, urgentemente, medidas de mitigação e de adaptação eficazes (European Commission, 2020; European Commission e Joint Research Centre, 2018; Official Journal of the European Union, 2021).

1 Cartaz realizado por Álvaro Cebreiro nos anos 30 (VENTUREIRA, R. «La Coruña, el mejor clima de España»: la profecía de 1934 que se está cumpliendo. *El Debate*, 16/06/2022, <https://www.eldebate.com/sociedad/20220616/coruna-clima-ideal-profecia-1934-esta-cumpliendo.html>

Desde então, a investigação científica intensificou a busca de evidências objetivas para procurar compreender a teia de estímulos envolvidos na ocorrência destes paroxismos. Os resultados, até ao momento, apontam para uma miríade de factos de índole espacial e temporal muito diversa. Incluem, por exemplo, a constatação de novos posicionamentos dos aparelhos barométricos térmicos e dinâmicos ao longo do ano, as modificações do percurso e das características das correntes marítimas, as alterações no teor de salinidade dos oceanos, mas também a importância da criação de novas condições à superfície da terra distorcendo substantivamente os reflexos dos estados de tempo no *canopy layer*.

A literatura científica sobre esta temática é consensual sobre a existência de uma subida da temperatura em todas as estações do ano na zona temperada da fachada leste do oceano Atlântico, que parece coincidir com uma presença mais frequente e mais intensa do anticiclone dos Açores próximo do NW da Península Ibérica sobretudo na Primavera e no Verão (Fernández-Montes, S., Rodrigo, F. S. et al., 2013) condicionando, nesta faixa de circulação zonal de W e de fronteira entre as massas de ar tropical e polar, a frequência relativa da sua presença em cada época do ano (García-Herrera, R., Díaz, J. et al., 2005; Jerez, S., Montavez, J. P. et al., 2010; Jerez, S., Montavez, J. P. et al., 2012). O consequente reposicionamento da depressão dinâmica da Islândia e a forma e a força dos anticiclones e das depressões de origem térmica geradas no continente europeu, no mar mediterrâneo e no norte do continente africano, assim como a alteração na prevalência das circulações zonais ou meridianas, produzem consequências relevantes no modo como se repercutem nos mosaicos climáticos junto ao solo.

O observatório europeu *Copernicus* que colige, analisa e divulga publicamente e em tempo quase real informação sobre o nosso Planeta em várias dimensões, dentre as quais a climática, tem vindo a ilustrar com grande clareza a modificação nos padrões de resolução do *sistema climático* chamando, por exemplo, à atenção para a tendência persistente de balanços energéticos positivos (Copernicus Climate Change Service (C3S), 2023). O ano de 2022 foi considerado por esta fonte como o que teve os valores mais elevados de temperatura, desde que há registos, em vários meses de Verão e de Outono.

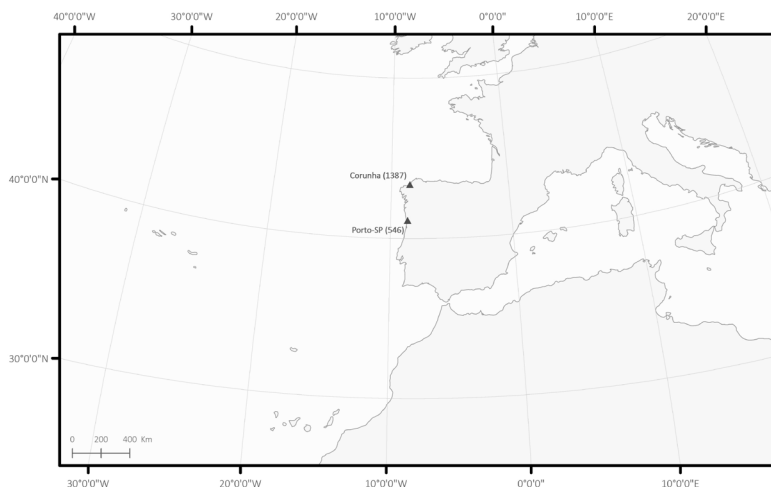
Acrescentando a esta nova vitalidade planetária ao nível do comportamento físico-químico da atmosfera, o reconhecimento da complexidade acrescentada pelas ações de origem antrópica expressas pela intensa artificialização da superfície terrestre, pela diminuição dos fornecedores de vapor de água para a atmosfera, pela modificação da composição química da camada gasosa e pela alteração da morfologia, é possível deduzir que há uma grande proliferação de resultados completamente novos ao nível das trocas de energia e massa nos *subsistemas climáticos regionais e locais*, que têm reflexos nos contextos climáticos vivenciados localmente e nos balanços energéticos regionais, zonais e planetários. É legítimo, portanto, concluir que em algumas circunstâncias o *sítio* e a *posição geográfica* ou a reformulação profunda das formas, dos materiais e do metabolismo local, podem esbater ou até silenciar totalmente o impacto das condições atmosféricas sobre o contexto climático vivido num determinado lugar. E, por isso, tem-se revelado muito avisado adicionar às análises planetárias e zonais uma observação criteriosa do contexto geográfico específico de cada lugar (Madureira, H. e Monteiro, A., 2021).

Neste contributo propomo-nos analisar o peso de cada um dos elementos deste intrincado e *novo normal do sistema climático* para compreender a intensidade e a frequência de even-

tos extremos de calor em duas áreas geograficamente muito próximas - o Porto (41,1°N; 8,6°W; 93m) e a Corunha (43,4°N; 8,4°W; 67m) - inscritas no mesmo quadrante sinóptico (Figura 1), ambas costeiras e na fachada leste do oceano Atlântico, com núcleos centrais bastante compactos, com mais de dez séculos de história, com áreas muito semelhantes (Porto com 41,42km<sup>2</sup> e a Corunha com 37,8km<sup>2</sup>) e com uma dimensão populacional muito idêntica se nos restringirmos aos limites administrativos e se considerarmos apenas os residentes (em 2021 Porto 231962 habitantes e na Corunha 245488). Mas, para o nosso objetivo, importa relevar que as duas áreas urbanas são bastante distintas se contemplarmos a população utilizadora e fazedora do território (no Porto 1302734 e na Corunha 422796)<sup>2</sup>. De facto, como estimou Oke (1973)<sup>3</sup>, a dimensão populacional de uma área urbanizada, ao contribuir quotidianamente para o seu metabolismo dá, de uma forma muito simples, mas fiável, um sinal da magnitude dos balanços energéticos positivos.

Assim, ainda que os sinais planetários e zonais sejam perentórios quanto ao padrão de comportamento da temperatura ao longo do último século, destacando a Península Ibérica como um *hotspot* nas evidências de mudança climática e como uma das áreas que mais contribui para o aquecimento global (Diffenbaugh, N. S. e Giorgi, F., 2012; Lionello, P. e Scarascia, L., 2018; Tuel, A. e Eltahir, E. A. B., 2020), parece-nos necessário, até para nos podermos adaptar melhor às ameaças futuras, avaliar os impactos positivos concretos das especificidades geográficas locais que neste exercício, restringiremos às que decorrem do *sítio* e *posição* e do metabolismo urbano.

Figura 1 – Quadrante sinóptico do Porto e da Corunha



- 2 Utilizamos dados das Áreas Urbanas Funcionais (FUA), que resultaram da definição pela Eurostat de um complemento à nomenclatura de unidades territoriais para fins estatísticos, sendo definidas pelo conjunto definido pelo núcleo central da cidade (“core city”) e a sua respetiva área envolvente, delimitada com base nos movimentos pendulares (“commuting zone”). Para mais detalhes sobre a delimitação das áreas geográficas de referência, consultar Dijkstra, L. and Poelman, H. (2012). Cities in Europe, the new OECD-EC definition, European Commission, Brussels, [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/focus/2012\\_01\\_city.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/focus/2012_01_city.pdf)
- 3 Oke (1973) demonstrou que para as cidades europeias onde à época já existia investigação aplicada em climatologia urbana, a intensidade média das ilhas de calor podia ser estimada a partir da equação  $2,01 \log \text{Pop} - 4,06$ . Aplicando esta equação a estimativa para o Porto é de 8,2°C e para a Corunha é de 7,2°C

## 2. Dados e Métodos

A procura do peso relativo das especificidades locais e das condições zonais e globais para explicar a magnitude e frequência de eventos extremos de calor no Porto e na Corunha foi efetuada seguindo quatro principais grupos de procedimentos metodológicos.

Num primeiro momento, começamos por identificar o *sítio* e a *posição geográfica* de cada uma das cidades através da realização de um modelo digital de terreno para as duas áreas urbanas.

Num segundo momento foram coligidos e organizados os registos diários seculares, entre 1901 e 2022, de temperatura e precipitação das estações Porto-Serra do Pilar - 546 (IPMA) e Corunha - 1387 (AEMET). Os dados foram representados graficamente de forma a sintetizar tendências relativas às médias anuais e decenais da temperatura média, máxima e mínima e aos totais de precipitação, anuais e acumulados durante o período seco e durante o período húmido.

Num terceiro momento procedeu-se à identificação dos episódios de temperatura extrema para as duas estações e para o mesmo período de análise, seguindo-se três procedimentos metodológicos: primeiro, para averiguar a tendência secular do número de dias de calor e frio extremos, foram calculados os percentis 97 e 99 das temperaturas máximas e os percentis 1 e 3 das temperaturas mínimas, sendo posteriormente os dados sintetizados graficamente em totais anuais; segundo, identificaram-se as “ondas de calor” seguindo os critérios da AEMET<sup>4</sup> mas adaptando-os à extensão da série analisada ( $\geq 3$  dias consecutivos com temperatura máxima superior ao percentil 95 da série secular nos meses de julho e agosto), sendo os dados sintetizados graficamente através do total anual de dias com temperatura máxima superior ao percentil 95 e através frequência anual e intensidade (média das temperaturas máximas) de episódios de calor extremo; por último, para procurar ajuizar sobre o peso relativo do quadro sinóptico na ocorrência dos episódios extremos, avaliou-se a sincronicidade dos momentos paroxismáticos e comparou-se a magnitude, frequência e coincidência temporal dos eventos extremos de temperatura para procurar entender a importância do contexto zonal relativamente ao contexto local tanto na magnitude como na frequência dos episódios térmicos extremos.

Num quarto momento, e de forma a avaliarmos o potencial efeito do metabolismo urbano na amplificação dos impactes dos episódios de calor extremo no *canopy layer*, foram elaboradas imagens térmicas das duas áreas urbanas. Recorreu-se ao arquivo Landsat, e mais especificamente ao satélite Landsat 8 OLI (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), e averiguou-se a disponibilidade de imagens para momentos simultâneos de calor extremo no Porto e na Corunha. Como não se verificou nenhuma coincidência entre a passagem do satélite e as datas em que se registaram episódios de calor extremo simultaneamente nas duas estações, optou-se por

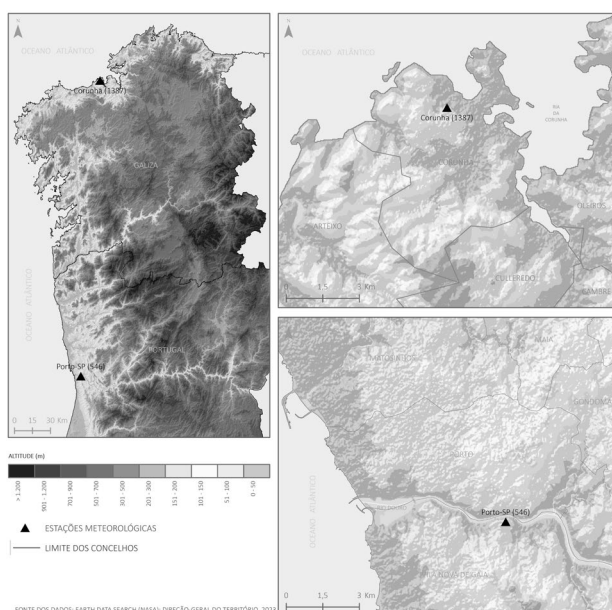
4 A Agência Estatal de Meteorologia (AEMET) considera como onda de calor um episódio de pelo menos três dias consecutivos em que pelo menos 10% das estações consideradas registam temperaturas máximas superiores ao percentil 95 da respetiva série de temperaturas máxima diárias dos meses de julho e agosto do período 1971-2000.

selecionar os dias 14 de julho de 2016<sup>5</sup> e 31 de julho de 2022<sup>6</sup>. Na ‘Coleção 2 - Nível 2’, os produtos Landsat já se encontram pré-processados, pelo que a banda térmica (ST10), disponibilizada no formato GeoTIFF e com uma resolução de 30m (à semelhança das outras bandas), inclui as necessárias correções radiométricas e atmosféricas (USGS, 2022). A temperatura de superfície ( $T_s$ ) é obtida por meio da aplicação de um fator de conversão fornecido pelo USGS (2022), sendo que em simultâneo se converteram os valores de graus Kelvin para graus Celsius:  $T_s = (ST10 * 0,00341802 + 149) - 273,15$  em que,  $T_s$  = Temperatura de superfície (oC); ST10 = Banda 10 do Landsat 8.

### 3. Resultados

Tanto o Porto como a Corunha têm climas oceânicos do subtipo atlântico (Artín Cortinas, A. e Pérez Alberti, A., 1999; Martin-Vide, J. e Olcina-Cantos, J., 2001; Monteiro, A., 1997), com um período húmido no inverno e um período seco no verão com temperaturas médias entre os 11°C e os 15°C, amplitudes térmicas diárias entre os 8°C e os 12°C, humidade relativa elevada persistente e nebulosidade muito frequente. A precipitação total anual oscila, em média entre os 400mm e os 2000mm. Morfológicamente, o município do Porto estende-se por uma plataforma ligeiramente inclinada para o mar cujas altitudes variam entre 0m e os 160m enquanto a Corunha tem altitudes muito semelhantes ao Porto (0m a 289m) mas assenta numa península e num istmo bastante expostos aos fluxos de ar oceânicos. Estes são, contudo, muito diversificados devido à configuração extremamente recortada da linha de costa – *as rias em leque* - e à presença próxima, a oeste, de relevos com uma orientação NNW-SSW, o que favorece a presença constante de nebulosidade, nevoeiros e uma humidade relativa sempre muito elevada (Figura 2).

**Figura 2 – Contexto geográfico das cidades do Porto e da Corunha.**

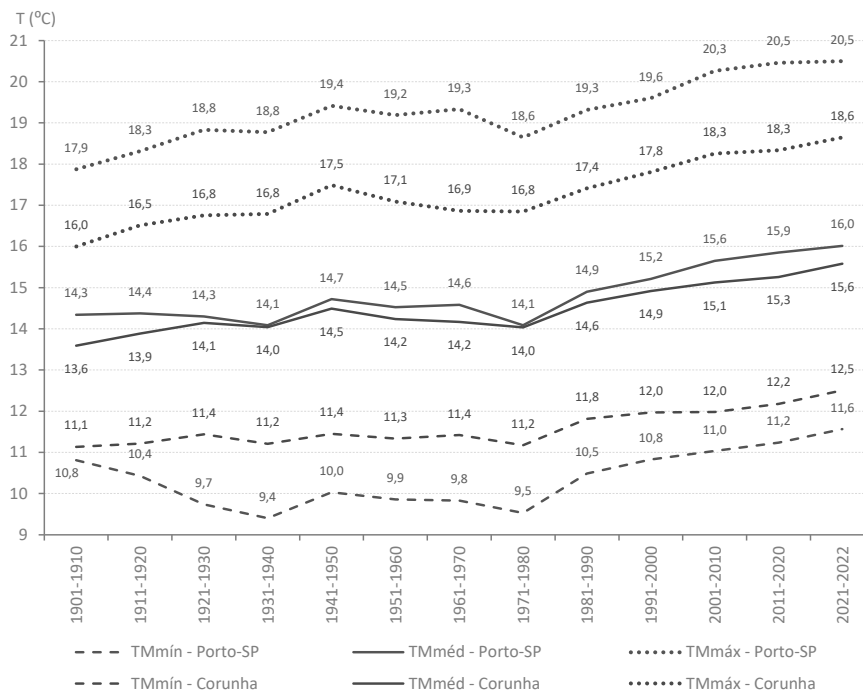


- 5 Julho de 2016 registou, segundo o NOAA, 0,87°C acima da média do século 20 e segundo o Copernicus a temperatura do ar em Julho de 2016 foi, na Europa em geral, e particularmente no SW Europeu acima das normais 1981-2010 Fonte: COPERNICUS: *Average surface air temperatures for July 2016*, 2016, <https://climate.copernicus.eu/average-surface-air-temperatures-july-2016>
- 6 Segundo o Copernicus, Julho de 2022 foi um dos três Julhos mais quentes à escala global (mais 0,4°C do que a normal 1991-2020) e um dos seis mais quentes na Europa. Fonte: COPERNICUS: *Surface Air Temperature Anomaly for July 2022*, 2022, <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-july-2022>

A análise das médias decenais dos registos diários de temperatura entre 1901 e 2022 nas estações de Porto Serra do Pilar e da Corunha evidencia, desde logo, diferenças muito interessantes tendo em conta a proximidade latitudinal entre as duas estações: i) a temperatura mínima é sempre mais baixa no Porto do que na Corunha; ii) a temperatura máxima é sempre mais elevada no Porto do que na Corunha; iii) a amplitude térmica é sempre muito superior no Porto. E mostra, por outro lado, e para as duas estações, uma tendência positiva contínua particularmente acentuada a partir da década 1981-1990 (Figura 3)

Este padrão de comportamento reafirma-se na análise dos registos médios anuais onde apesar do ajuste da reta de regressão à nuvem de pontos seja fraco ( $r^2$  entre 0,15 e 0,57) a inclinação positiva transcreve a ocorrência de valores progressiva e continuamente superiores a partir dos anos 80 do século passado (Figura 4a). Este comportamento é particularmente relevante no caso das temperaturas mínimas, onde as diferenças persistentes entre o Porto, mais frio, e a Corunha, mais quente, parecem ter-se esbatido substantivamente neste milénio (Figura 4c). Acrescente-se ainda que a modificação do comportamento das temperaturas mínimas, sendo particularmente notória no Porto (Figura 4c), é agravada, em termos de riscos climáticos, com uma ligeira diminuição e uma maior irregularidade tanto dos totais anuais de precipitação no Porto como dos totais acumulados no período seco e no período húmido do ano. Factos que parecem não estar a acontecer na Corunha (Figura 5).

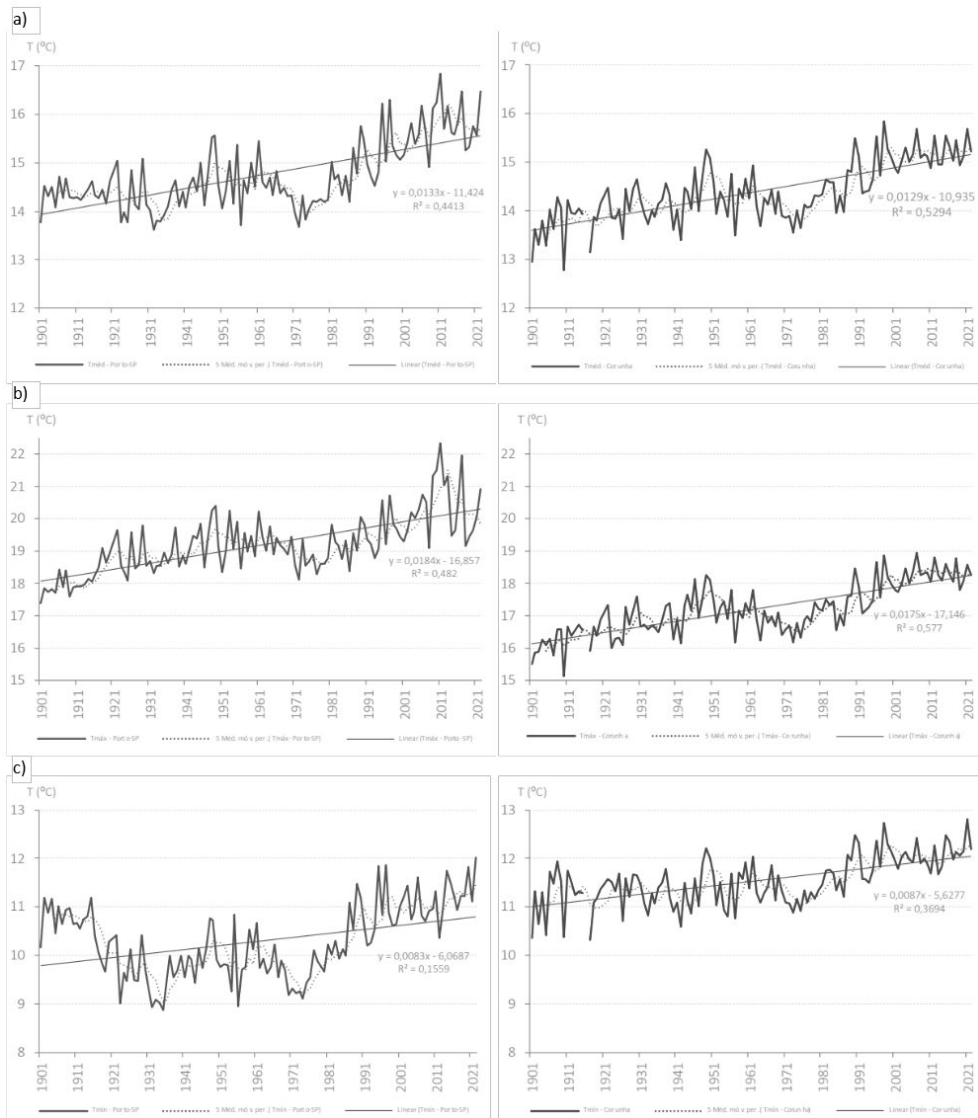
Figura 3 – Médias, por década, das temperaturas média, mínima e máxima no Porto e na Corunha entre 1901 e 2022.



Fonte dos dados: IPMA e AEMET

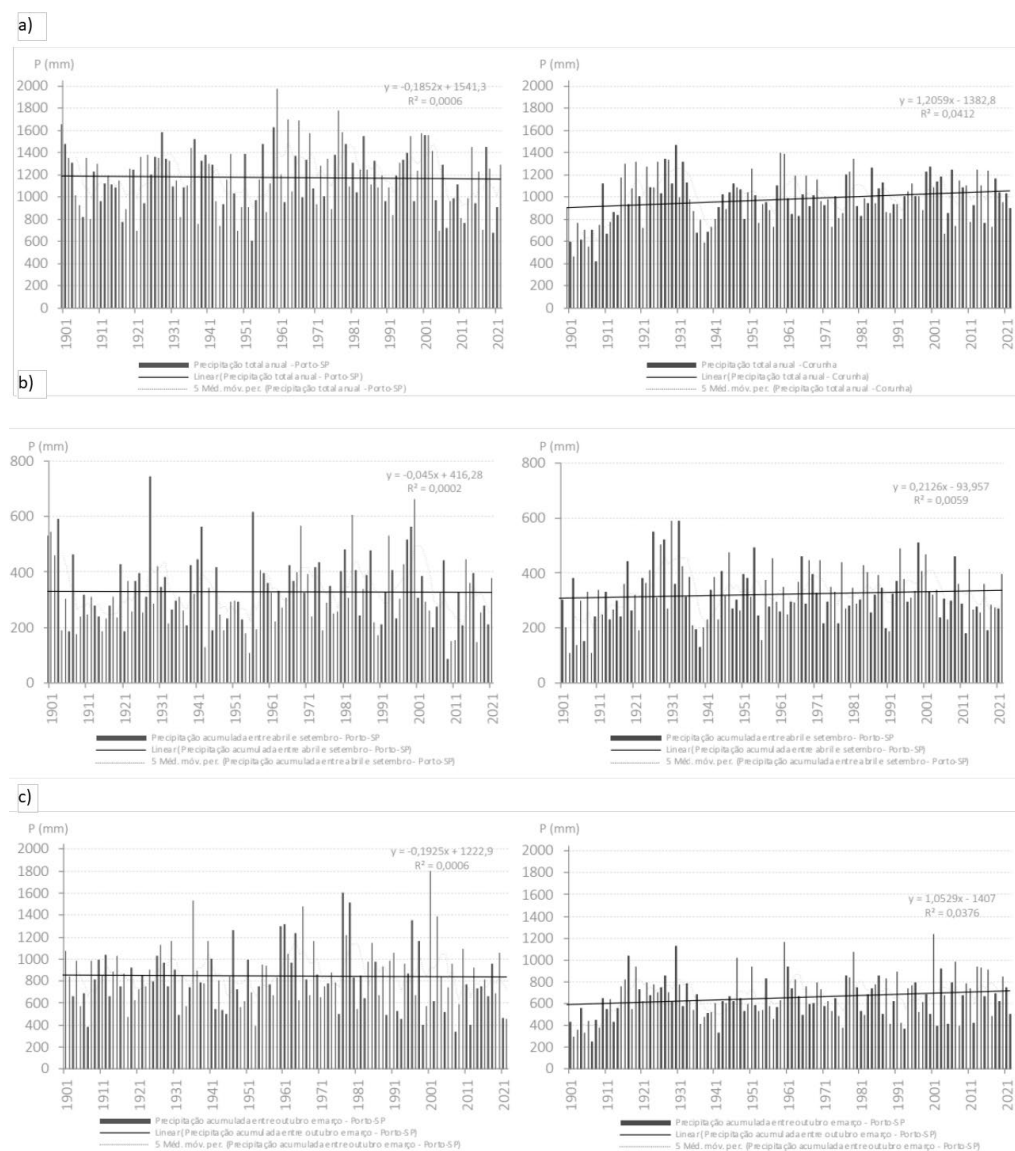


**Figura 4 - Temperatura média anual (a), Temperatura média máxima anual (b) e Temperatura média mínima anual (c) no Porto (à esquerda) e na Corunha (à direita) entre 1901 e 2022 – registos, médias móveis de 5 anos e regressão linear.**



Fonte dos dados: IPMA e AEMET

**Figura 5 - Precipitação total anual (a) durante o período seco (b) e durante o período húmido do ano (c) no Porto (à esquerda) e na Corunha (à direita) entre 1901 e 2022 – registos, médias móveis de 5 anos e regressão linear.**

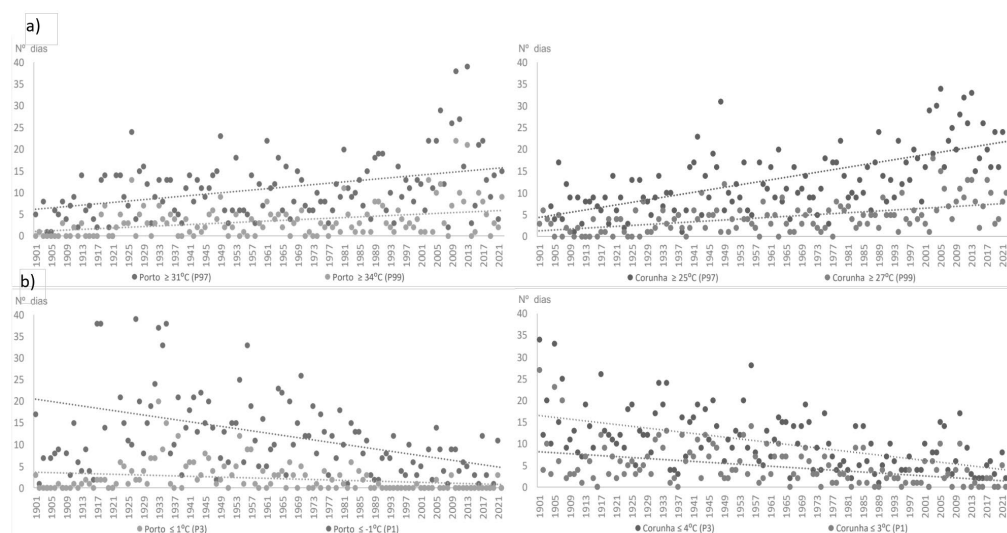


Fonte dos dados: IPMA e AEMET

Centramo-nos agora nos resultados relativos aos episódios de temperatura extrema. A avaliação comparada da distribuição temporal do número de dias com temperatura máxima excepcionalmente elevada (Figura 6a) revela, desde logo, que estes episódios se têm vindo a tornar mais frequentes nas últimas décadas quer no Porto quer na Corunha. Deve-se, no entanto, destacar que esta tendência parece ser mais marcada na Corunha do que no Porto. De facto, considerando o comportamento das temperaturas excecionais a partir do percentil 99, as duas estações têm comportamentos semelhantes (p.e. com ambas as estações a registarem 35% dos registos a partir de 2001) mas se atendermos ao comportamento das temperaturas excecionais a partir do percentil 97, deteta-se uma tendência de maior intensificação na Corunha (33% dos registos a partir de 2001) do que no Porto (28% dos registos a partir de 2001).

Considerando a avaliação comparada da distribuição temporal do número de dias com temperatura mínima excepcionalmente baixa (Figura 6b), destaca-se que tanto o Porto como a Corunha têm vindo a registar uma tendência clara de diminuição de dias de frio extremo nas últimas décadas. Esta tendência é, no entanto, mais expressiva no Porto, que desde 2001 registou apenas 3% dos registos totais da série secular abaixo do percentil 1, valor consideravelmente inferior aos 10% correspondentes à Corunha.

**Figura 6 - Número de dias com TMax ≥ P97 e P99 (a) e com Tmin ≤ P3 e P1 (b) no Porto (à esquerda) e na Corunha (à direita) entre 1901 e 2022.**

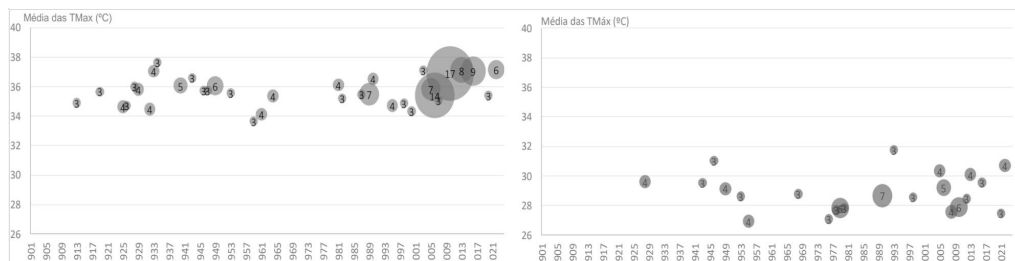


Fonte dos dados: IPMA e AEMET

A análise da frequência e intensidade das ondas de calor revela que este fenómeno se tem vindo a tornar mais frequente nas últimas décadas, com cerca de 42% do total de dias em ondas de calor a ocorrerem desde 2001. No entanto, existem alguns padrões distintivos entre as duas estações que merecem ser destacados: i) considerando a globalidade da série, o número de dias com ondas de calor é muito maior no Porto (n=166) do que na Corunha (n=88); ii) a ocorrência dos primeiros eventos de ondas de calor foi mais precoce no Porto (ano de 1913) do que

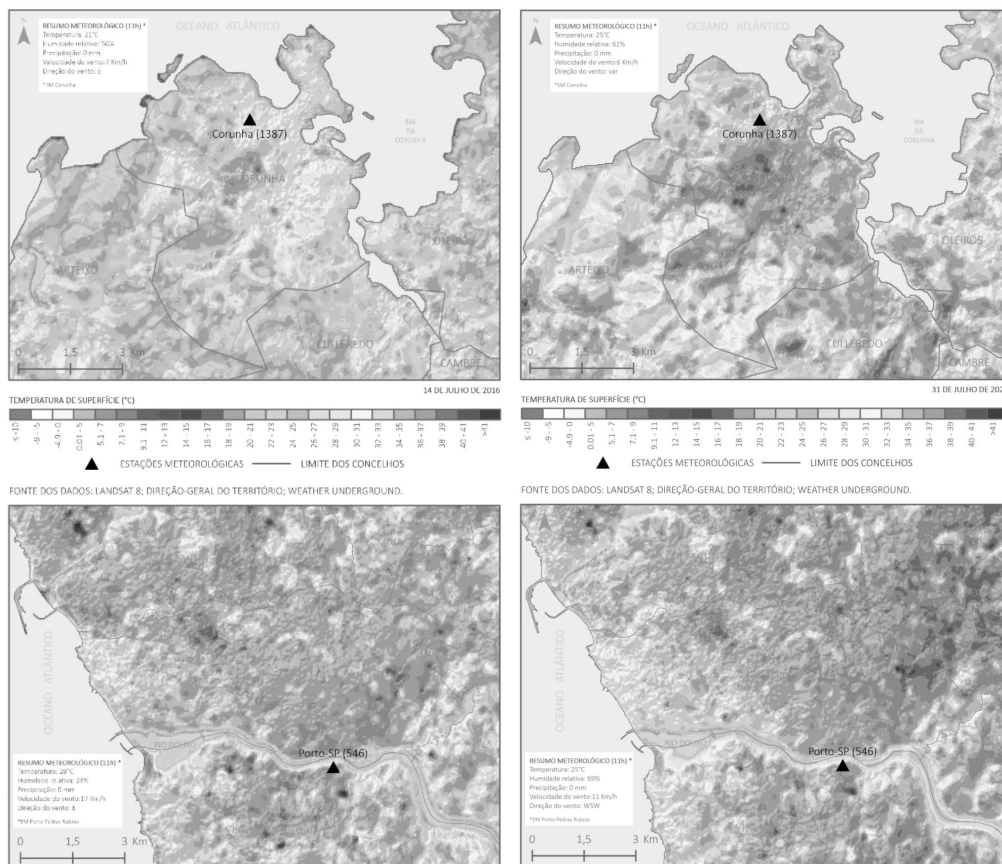
na Corunha (ano de 1928); iii) a regularidade na ocorrência de ondas de calor é muito maior no Porto do que na Corunha.

Figura 7- Frequência e intensidade das ondas de calor no Porto (à esquerda) e na Corunha (à direita) entre 1901 e 2022.



Fonte dos dados: IPMA e AEMET

Figura 8 – Cartas térmicas do Porto e da Corunha nos dias 14 de julho de 2016 e 31 de julho de 2022.



Fonte dos dados: Landsat 8, Direção-Geral do Território, Weather Underground

Finalmente, as imagens térmicas das duas áreas urbanas permitem-nos tecer algumas considerações sobre o efeito potencial das características dos dois territórios urbanos na amplificação ou atenuação dos episódios de calor extremo atrás identificados. De facto, as imagens térmicas traduzem a “carga térmica” da área que representam, a qual depende essencialmente do contraste e da estrutura e composição dos materiais das superfícies (naturais e artificiais) e das características das atividades que aí ocorrem. As áreas sobreaquecidas (com temperaturas de superfície mais elevadas) são aquelas em que os impactes dos eventos de calor extremo serão potencialmente muito amplificados, com os consequentes efeitos adversos no conforto térmico e, direta e indiretamente, na qualidade de vida e bem-estar dos seres humanos .

Avaliando de forma comparada as imagens térmicas das duas áreas urbanas, verifica-se a esperada diferenciação térmica induzida, por exemplo, pela maior ou menor proximidade ao mar, pela maior ou menor compacidade do tecido urbanizado ou pela maior ou menor presença de áreas com vegetação (Figura 8). Contudo, e ainda que a amplitude dos valores de temperatura de superfície seja semelhante para as duas áreas urbanas, as áreas sobreaquecidas têm uma expressão espacial significativamente maior no Porto, testemunhando a maior intensidade do seu metabolismo urbano. Isto é particularmente visível no dia 31 de julho de 2022, quando as condições climatológicas registadas nas estações de referência foram idênticas em todos os parâmetros, até mesmo naqueles que mais as distinguem – a humidade relativa e a temperatura.

#### 4. Discussão

---

Neste artigo propusemo-nos a avaliar o peso relativo das especificidades locais e das condições zonais e globais na explicação da magnitude e frequência dos fenómenos térmicos extremos no Porto e na Corunha, tendo para tal sido avaliadas as tendências seculares do comportamento da temperatura e da precipitação, a frequência e magnitude dos episódios de calor extremo e, finalmente, o efeito local potencial do metabolismo urbano na amplificação dos efeitos de episódios de calor extremo. Alguns dos resultados obtidos merecem uma discussão dedicada.

Primeiro, este trabalho confirma a tendência geral para o aumento das temperaturas média, mínima e máxima nas últimas décadas, e especialmente a partir dos anos oitenta, corroborando assim os resultados de investigações anteriores (Castro, M. et al., 2005; González, A. et al., 2020; Monteiro, A. et al., 2017; Serrano-Notivoli, R. et al., 2022).

Segundo, neste estudo pudemos mostrar que nas últimas décadas têm vindo a ocorrer mais frequentemente dias com temperatura máxima excepcionalmente elevada, acompanhando resultados anteriores (Espín-Sánchez, D. e Conesa-García, C., 2021; Peña-Angulo, D. et al., 2021; Perkins-Kirkpatrick, S. E. e Lewis, S. C., 2020) , e acrescentando que tal comportamento é mais expressivo na Corunha. Por outro lado, tanto o Porto como a Corunha têm vindo a registar uma tendência de diminuição de dias de frio extremo nas últimas décadas, mas é no Porto que esta tendência é bastante mais eloquente.

Terceiro, a análise da frequência e intensidade das ondas de calor revelou que este fenómeno se tem vindo a tornar mais frequente nas últimas décadas em ambas as cidades. No entanto, o número de dias com ondas de calor é muito maior e mais regular no Porto e do que na Corunha.

Para além de raramente serem coincidentes no tempo, há uma diferença substantiva no modo como estes fenómenos excepcionais se distribuem ao longo do tempo no Porto e na Corunha. Estes são muito menos frequentes na Corunha, porque ocorrem frequentemente em dias isolados e mais raramente em sequências que lhes permitam atribuir a condição de *ondas de calor*.

Quarto, este exercício comparativo do comportamento do *sistema climático* de dois espaços urbanos geograficamente muito próximos, e localizados numa das áreas do globo citadas como das mais ameaçadas pelas manifestações de mudança climática (Copernicus Climate Change Service (C3S), 2023; Diffenbaugh, N. S. e Giorgi, F., 2012) tanto nas análises retrospectivas como nas prospetivas, ilustra com grande clareza que, em matéria de riscos climáticos, o “todo é muito diverso da soma das partes”. Isto é, os sintomas diagnosticados para o Planeta não podem ser tratados com a prescrição de terapêuticas idênticas à escala local ou regional (Madureira, H., Monteiro, A. e Cruz, S., 2021; Madureira, H., Pacheco, M. et al., 2021).

Concluindo, o Porto e a Corunha são, do ponto de vista climático, exemplos paradigmáticos do modo como o *sítio* e a *posição geográfica* combinados com a vitalidade do metabolismo urbano geram uma cascata de respostas diversas perante estímulos – condições sinópticas - semelhantes. E são, portanto, bons argumentos para incentivar a inclusão de uma maior elasticidade espacial nas múltiplas reflexões em curso sobre a forma mais eficaz e eficiente de implementar medidas de adaptação à ameaça climática.

---

**Helena Madureira.** *É geógrafa e doutorada em arquitetura paisagista pela Universidade do Porto. É professora associada no Departamento de Geogra/a da Universidade do Porto. É membro integrado do CEGOT - Centro de Estudos de Geogra/a e Ordenamento do Território. Desenvolve investigação em temas relacionados com sustentabilidade urbana ambiental e a climatologia urbana. Mail: hmadureira@letras.up.pt*

---

**Ana Monteiro.** *É geógrafa e doutorada em geogra/a física pela Universidade do Porto. É professora catedrática no Departamento de Geogra/a da Universidade do Porto. É membro integrado do CEGOT - Centro de Estudos de Geogra/a e Ordenamento do Território. Desenvolve investigação em temas relacionados com a climatologia urbana. Mail: anamt@letras.up.pt*

---

**Maria Pacheco.** *É geógrafa, mestre em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território e doutoranda no Curso de Doutoramento em Geogra/a da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. É membro do CEGOT – Centro de Estudos de Geogra/a e Ordenamento do Território. Desenvolve investigação em temas relacionados com a bioclimatologia. Mail: pachecomariaoliveira@gmail.com*

## Referências Bibliográficas

- ARTÍN CORTINAS, A. e PÉREZ ALBERTI, A.: *Atlas Climático de Galicia*, Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, 1999, 207 p.
- CASTRO, M., MARTIN-VIDE, J. e ALONSO, S.: “El clima de España: Pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI”. In J.M. MORENO (ed.), *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2005, p. 1-64.
- COPERNICUS: *Average surface air temperatures for July 2016*, 2016, <https://climate.copernicus.eu/average-surface-air-temperatures-july-2016>
- COPERNICUS: *Surface Air Temperature Anomaly for July 2022*, 2022, <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-july-2022>
- COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S): *European State of the Climate 2022, 2023*, <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022>
- DIFFENBAUGH, N. S. e GIORGI, F.: “Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble”, *Climatic Change*, 114(3), 2012, 813-822.
- ESPÍN-SÁNCHEZ, D. e CONESA-GARCÍA, C.: “Spatio-temporal changes in the heatwaves and coldwaves in Spain (1950-2018): Influence of the East Atlantic pattern”, *Geographica Pannonica*, 25(3), 2021, 168-183.
- EUROPEAN COMMISSION: *A climate resilient Europe – Prepare Europe for climate disruptions and accelerate the transformation to a climate resilient and just Europe by 2030*, Publications Office, 2020.
- EUROPEAN COMMISSION e JOINT RESEARCH CENTRE: *Climate impacts in Europe – Final report of the JRC PESETA III project*, Publications Office, 2018.
- FERNÁNDEZ-MONTES, S., RODRIGO, F. S., SEUBERT, S. e SOUSA, P. M.: “Spring and summer extreme temperatures in Iberia during last century in relation to circulation types”, *Atmospheric Research*, 127, 2013, 154-177.
- GARCÍA-HERRERA, R., DÍAZ, J., TRIGO, R. M. e HERNÁNDEZ, E.: “Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions”, *Ann. Geophys.*, 23(2), 2005, 239-251.
- GARCÍA-HERRERA, R., DÍAZ, J., TRIGO, R. M., LUTERBACHER, J. e FISCHER, E. M.: “A Review of the European Summer Heat Wave of 2003”, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40(4), 2010, 267-306.
- GONZÁLEZ, A., PÉREZ, D., HERNÁNDEZ, J. C. e MONTALVO, J.: *Cambio climático reciente en la provincia de A Coruña*, 2020, <https://fundacionmatrix.es/cambio-climatico-reciente-en-la-provincia-de-a-coruna/>
- JEREZ, S., MONTAVEZ, J. P., GÓMEZ NAVARRO, J. J., JIMÉNEZ GUERRERO, P., et al.: “Temperature sensitivity to the land-surface model in MM5 climate simulations over the Iberian Peninsula”, *Meteorologische Zeitschrift*, 19(6), 2010, 363-374.
- JEREZ, S., MONTAVEZ, J. P., GOMEZ-NAVARRO, J. J., JIMENEZ, P. A., et al.: “The role of the land-surface model for climate change projections over the Iberian Peninsula”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117, 2012, D01109.

- LIONELLO, P. e SCARASCIA, L.: “The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming”, *Regional Environmental Change*, 18(5), 2018, 1481-1493.
- MADUREIRA, H. e MONTEIRO, A.: “Going Green and Going Dense: A Systematic Review of Compatibilities and Conflicts in Urban Research”, *Sustainability*, 13(19), 2021, 10643.
- MADUREIRA, H., MONTEIRO, A. e CRUZ, S.: “Where to Go or Where Not to Go—A Method for Advising Communities during Extreme Temperatures”, *Climate*, 9(3), 2021, 49-51.
- MADUREIRA, H., PACHECO, M., SOUSA, C., MONTEIRO, A., et al.: “Evidences on adaptive mechanisms for cardiorespiratory diseases regarding extreme temperatures and air pollution: A comparative systematic review”, *Geography and Sustainability*, 2(3), 2021, 182-194.
- MARTIN-VIDE, J. e OLCINA-CANTOS, J.: *Climas y tiempos de España*, Alianza, 2001.
- MASELOT, P., MISTRY, M., VANOLI, J., SCHNEIDER, R., et al.: “Excess mortality attributed to heat and cold: a health impact assessment study in 854 cities in Europe”, *Lancet Planet Health*, 7(4), 2023, e271-e281.
- MONTEIRO, A.: “O clima urbano do Porto”. In *contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*, Fundação Calouste Gulbenkian, 1997, p. 201-215.
- MONTEIRO, A.: “Morbidity during cold spells in mild winter contexts like Portugal are mainly due to climate or to vulnerability?”. In *Riscos climáticos*, 2014, p. 319-342.
- MONTEIRO, A., CARVALHO, V., OLIVEIRA, T. e SOUSA, C.: “Excess mortality and morbidity during the July 2006 heat wave in Porto, Portugal”, *Int J Biometeorol*, 57(1), 2013, 155-167.
- MONTEIRO, A., CARVALHO, V., VELHO, S. e SOUSA, C.: “The accuracy of heat index to explain the excess of mortality and morbidity during heat waves : a case study in a Mediterranean climate”, *Bulletin of Geography: socio-economic series*, 2012, 71-84.
- MONTEIRO, A. e MADUREIRA, H.: “Ventos fortes e temperaturas excecionais: riscos para a sociedade”. In L. LOURENÇO e A. VIEIRA (ed.), *Catástrofes Naturais: Uma abordagem global*, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020, p. 13-42.
- MONTEIRO, A., MADUREIRA, H., FONSECA, L. e VELHO, S.: *2.ª Revisão do PDM do Porto - Suporte Biofísico e Ambiente/ Clima e Ambiente Urbano: Relatório de Caracterização e Diagnóstico*, Direção Municipal de Urbanismo, Câmara Municipal do Porto, Porto, 2017.
- OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION: *Regulation (EU) 2021/1119 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')*, 2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119>
- OKE, T. R.: “City size and the urban heat island”, *Atmospheric Environment (1967)*, 7(8), 1973, 769-779.



- PEÑA-ANGULO, D., GONZALEZ-HIDALGO, J. C., SANDONÍS, L., BEGUERÍA, S., et al.: “Seasonal temperature trends on the Spanish mainland: A secular study (1916–2015)”, *International Journal of Climatology*, 41(5), 2021, 3071-3084.
- PERKINS-KIRKPATRICK, S. E. e LEWIS, S. C.: “Increasing trends in regional heatwaves”, *Nat Commun*, 11(1), 2020, 3357.
- ROBINE, J. M., CHEUNG, S. L., LE ROY, S., VAN OYEN, H., et al.: “Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003”, *C R Biol*, 331(2), 2008, 171-178.
- RUSSO, S., SILLMANN, J. e FISCHER, E. M.: “Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades”, *Environmental Research Letters*, 10(12), 2015, 124003.
- SERRANO-NOTIVOLI, R., LEMUS-CANOVAS, M., BARRAO, S., SARRICOLEA, P., et al.: “Heat and cold waves in mainland Spain: Origins, characteristics, and trends”, *Weather and Climate Extremes*, 37, 2022,
- TOBIAS, A., ROYE, D. e INIGUEZ, C.: “Heat-attributable Mortality in the Summer of 2022 in Spain”, *Epidemiology*, 34(2), 2023, e5-e6.
- TUEL, A. e ELTAHIR, E. A. B.: “Why Is the Mediterranean a Climate Change Hot Spot?”, *Journal of Climate*, 33(14), 2020, 5829-5843.
- USGS: *Landsat 8-9 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide (Version 4.0)*, 2022, <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-9-collection-2-level-2-science-product-guide>
- ZHAO, L., OPPENHEIMER, M., ZHU, Q., BALDWIN, J. W., et al.: “Interactions between urban heat islands and heat waves”, *Environmental Research Letters*, 13(3), 2018, 034003.