



RISCOS



RECONSTRUÇÃO DE DADOS E DETECÇÃO DE ONDAS DE CALOR E DE FRIO NO PORTO E CONCELHOS VIZINHOS - PORTUGAL\*

RECONSTRUCTION OF DATA AND DETECTION OF HEAT AND COLD WAVES IN PORTO AND NEIGHBOURING MUNICIPALITIES - PORTUGAL

49

Maikon Passos Amilton Alves

Universidade Federal de Santa Catarina, LabClima, Departamento de Geociências (Brasil)

ORCID 0000-0002-3328-2265 [maiconpassos@gmail.com](mailto:maiconpassos@gmail.com)

Rafael Brito Silveira

Universidade Federal de Santa Catarina, LabClima, Departamento de Geociências (Brasil)

ORCID 0000-0002-7062-3540 [rafaelbsilveirageo@gmail.com](mailto:rafaelbsilveirageo@gmail.com)

Ana Monteiro

Universidade do Porto, IGUP, Departamento de Geografia (Portugal)

ORCID 0000-0002-3392-2664 [anamt@letras.up.pt](mailto:anamt@letras.up.pt)

Daniel Pires Bitencourt

Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Brasil)

ORCID 0000-0001-6727-4290 [daniel.bitencourt@fundacentro.gov.br](mailto:daniel.bitencourt@fundacentro.gov.br)

Carlos Miguel Sousa

Universidade do Porto, IGUP, Membro do grupo de investigação CHERG (Portugal)

ORCID 0000-0002-0924-0866 [miguelsousa83@gmail.com](mailto:miguelsousa83@gmail.com)

## RESUMO

Efetou-se a reconstrução das séries históricas por meio da análise de regressão linear simples (RLS) e, depois, transformaram-se os dados existentes das estações meteorológicas clássicas (EMC) e automáticas (EMA) de cada uma em séries únicas e contínuas. As ondas de calor (OdC) e as ondas de frio (OdF) foram detectadas a partir de dados diários de temperatura obtidos entre 1970 e 2017. A RLS para a temperatura máxima e para a temperatura mínima, entre as quatro estações, foram significativas ( $p < 0,0001$ ). As correlações ( $r_s$ ) entre as séries reconstruídas para as estações dos mesmos sítios foram muito fortes ( $p < 0,01$ ), variando entre 0,93 e 0,99. Com base no teste de Mann-Kendall ( $\alpha = 5\%$ ), as OdC em Pedras Rubras tendem a ser mais frequentes e mais duradouras. Já para as OdC na estação da Serra do Pilar, todos os parâmetros apresentaram tendência significativa de aumento. Quanto às OdF em Pedras Rubras, há tendência para eventos menos frequentes, menos duradouros e mais intensos. As OdF na Serra do Pilar apresentaram-se menos frequentes, menos duradouras e menos severas.

**Palavras-chave:** Reconstrução de séries climatológicas, onda de calor, onda de frio.

## ABSTRACT

Reconstruction of the historical series was performed using simple linear regression analysis (RLS), and then the existing data from the classic (EMC) and automatic (EMA) weather stations were transformed in single and continuous series. Heat waves (OdC) and cold waves (OdF) were detected from daily temperature data obtained between 1970 and 2017. The RLS for the maximum temperature and for the minimum temperature between the four stations were significant ( $p < 0.0001$ ). The correlations ( $r_s$ ) between the series reconstructed for the stations of the same sites were very strong ( $p < 0.01$ ), ranging from 0.93 to 0.99. Based on the Mann-Kendall test ( $\alpha = 5\%$ ), the OdC in Pedras Rubras tend to be more frequent and more durable. However, for the OdC in the Serra do Pilar station, all parameters showed a significant upward trend. As for the OdF in Pedras Rubras, there is a trend towards less frequent, shorter and more intense events. The OdF in Serra do Pilar were less frequent, shorter and less severe.

**Keywords:** Reconstruction of climatological series, heat wave, cold wave.

\* O texto deste artigo foi submetido em 28-10-2019, sujeito a revisão por pares a 15-11-2019 e aceite para publicação em 07-01-2020.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 27 (II), 2020, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

Os eventos climáticos extremos, nas suas mais diferentes maneiras de se manifestar, têm impactes severos nos seres humanos e nas suas atividades. As temperaturas extremas, aqui designadas de ondas de calor (OdC) e de ondas de frio (OdF), são cada vez mais frequentes e geram consequências igualmente graves para os seres humanos como testemunham diversos autores (e.g. Guerreiro, 2011; Cunha, 2012; Monteiro, Carvalho, 2013; Mateus, 2014; Geirinhas *et al.*, 2017; Geirinhas *et al.*, 2018; Silveira *et al.*, 2018).

Note-se que o critério para classificar uma OdC e uma OdF, foi instituído pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), que considera uma OdC ou uma OdF se num período de no mínimo seis dias consecutivos a  $T_{máx}$  ou  $T_{mín}$  esteja 5°C acima ou abaixo da média do período de referência (WMO, 2015). A partir da criação do termo pela OMM o mesmo banalizou-se e muitas classificações passaram a atribuir tal nomenclatura para estes eventos. Entretanto, o método estabelecido pela OMM é muito rigoroso (Alves *et al.*, 2017a) e, em diversos conjuntos de dados, praticamente não detecta OdC e OdF. Além disto, sabe-se que eventos extremos de temperatura com durações menores do que o recomendado pela OMM também podem ser prejudiciais em diversos setores da sociedade. Por isto, assim como outras (e.g. Theoharatos *et al.*, 2010; Firpo *et al.*, 2012; Geirinhas *et al.*, 2017), a presente investigação utiliza um método de deteção diferente e ainda assim atribui a nomenclatura OdC e OdF.

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) por meio do seu 6º relatório de avaliação indica, com alta confiabilidade, um aumento na temperatura média do ar ( $T_{méd}$ ) na maioria das regiões terrestres e oceânicas e também um incremento dos extremos de calor na maioria das áreas habitadas (IPCC, 2018, p. 7). Para o Mediterrâneo muitos autores alertam para o aumento dos extremos de calor (Frich *et al.*, 2002; Founda *et al.*, 2004) e para o decréscimo dos episódios de frio extremo (Meehl, Tebaldi, 2004; Díaz *et al.*, 2006). Monteiro *et al.* (2018), observando o padrão da  $T_{méd}$ , da temperatura mínima ( $T_{mín}$ ) e da temperatura máxima ( $T_{máx}$ ) ao longo do último século, demonstram que, similarmente ao que ocorre em outros lugares de mesma latitude, a área de Vila Nova de Gaia, em Portugal, tem registrado tendência de aumento nas temperaturas, principalmente a partir da década de 1980. Analisando as tendências seculares de eventos climáticos extremos de temperatura, Monteiro *et al.* (2012, 2018) exibem que os eventos de calor parecem estar aumentando nas últimas décadas, ao passo que os de frio aparentam estar diminuindo consideravelmente. Entretanto, Monteiro *et al.* (2012) lembram que o frio extremo também continua sendo um grave risco para a saúde humana na Área Metropolitana do Porto (AMP).

Cunha (2012) expõe que, em Portugal, todos os anos, os eventos de OdC e OdF afetam significativamente diversos setores importantes da economia, como a agricultura, a silvicultura, os transportes, o turismo e a pesca.

Monteiro *et al.* (2012, 2018) explicam que a Área Metropolitana do Porto possui quatro subtipos climáticos, sendo eles: 1) Atlântico, 2) Atlântico ameno, 3) Atlântico de transição fresco e, 4) de Altitude. Nos concelhos objetos deste estudo, o clima preponderante é o Atlântico e, somente em algumas áreas de altitudes mais elevadas, é o Atlântico ameno. Daveau (1995, p. 96) argumenta que a estação do Porto localizada no norte do país, em comparação com a estação de Faro, no Sul, ao longo de todo ano apresenta temperaturas do ar ligeiramente menores, evidenciando a importância do fator latitude diante do quadro térmico nacional. A autora demonstra como o fator oceanicidade condiciona a amplitude térmica em Portugal, propiciando diferenças menores entre  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  nas áreas mais costeiras.

Basicamente, os tipos de tempo que regem a dinâmica climática de Portugal diferenciam-se entre inverno e verão, consoante o posicionamento da superfície frontal polar e do Anticiclone dos Açores. No inverno, em geral, predominam os tipos de tempo associados às frentes polares. Ademais, no período invernal os ventos oceânicos ocidentais penetram largamente o país, uniformizando de maneira efetiva a temperatura no interior até encontrar obstáculos orográficos (Daveau, 1995, p. 47, 48). Já no verão, os tipos de tempo são controlados pelas situações anticiclônicas e pela presença de sistemas barométricos ciclônicos no interior da Península Ibérica e no norte da África. No litoral as águas costeiras do Atlântico são frias pela ascensão frequente da água profunda, desenvolvendo-se nestas áreas uma camada de ar fresco e húmido. O restante do país é influenciado por uma situação anticiclônica mais estável, a insolação proveniente desta condição aquece fortemente o solo e a camada de ar superficial sobreposta, dando origem a uma massa de ar conhecida como *ibérica*, de característica muito quente e seca, dominando as áreas mais interioranas (Daveau, 1995, p. 48).

Os concelhos de Porto, Maia, Matosinhos e Vila Nova de Gaia estão na parte setentrional do país, pertencentes à Área Metropolitana do Porto (AMP) (fig. 1). O Instituto Nacional de Estatística (INE) no Censo de 2011 indica que o concelho de Maia possuía uma população de 135.306 habitantes, Matosinhos de 175.478, Porto de 237.591 e Vila Nova de Gaia de 302.295. O montante dos quatro concelhos somados representa 8% do total da população do país, que para o mesmo ano era de 10.562.178 habitantes (INE, 2011).

Ao estudar o clima e suas aplicabilidades, o ideal é que se tenham dados de séries históricas longas, contínuas e isentas de falhas. Mas, na prática isto não é simples de

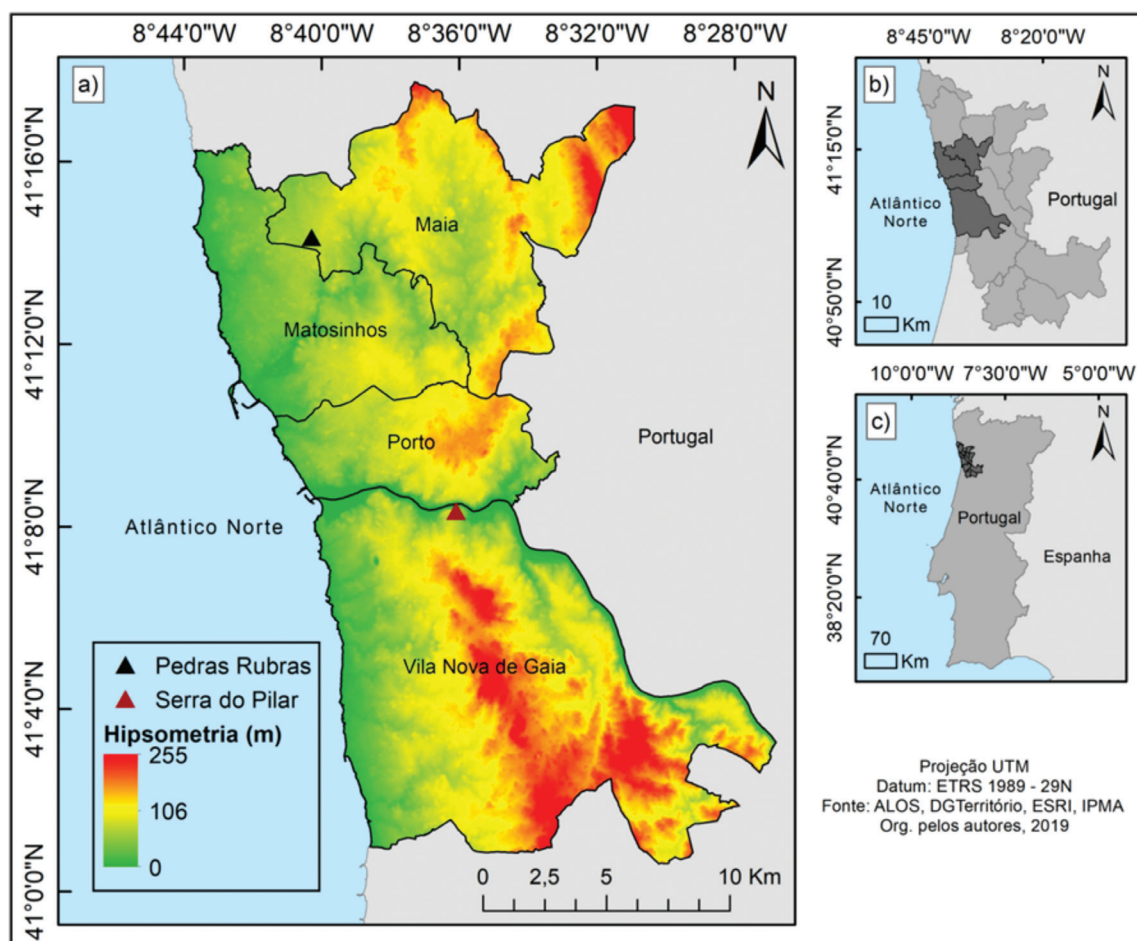


Fig. 1 - Localização da área de estudo: a) Município do Porto, concelhos vizinhos investigados e estações meteorológicas investigadas (▲|▲); b) Concelhos pertencentes à Área Metropolitana do Porto; (AMP); c) AMP em Portugal.

Fig. 1 - Location of the study area: a) Municipality of Porto, neighbouring municipalities and weather stations studied (▲|▲); b) Municipalities belonging to the Metropolitan Area of Porto; c) AMP in Portugal.

se obter. As séries geralmente são incompletas, devido aos dados faltantes que podem surgir pela exclusão de registos inconsistentes ou pelo mau funcionamento dos equipamentos medidores (Eischeid *et al.*, 1995; Yaguchi *et al.*, 2016). Tais problemas podem ocasionar perda de informações importantes, especialmente nos casos de eventos extremos, como as OdC e as OdF. Para sanar parcialmente o problema de dados inexistentes, uma das alternativas é o preenchimento das lacunas a partir de métodos estatísticos diversos (Kemp *et al.*, 1983; Tardivo, Berti, 2013; Yaguchi *et al.*, 2016). Segundo Yaguchi *et al.* (2016, p. 1420) e Bier *et al.* (2017), diversos métodos de preenchimento de falhas são utilizados ao longo do espaço-tempo, dentre eles a regressão linear simples (RLS).

Monteiro e Carvalho (2013) realizaram um estudo aplicando diversos métodos de detecção de extremos de temperatura a partir dos dados registados na estação meteorológica clássica da Serra do Pilar (EMCSP), entre os anos de 1901 e 2007. Contudo, as análises não puderam ser ampliadas

pela inativação em 2007 da estação clássica. Na AMP existiam duas estações meteorológicas clássicas (EMC), a EMC de Pedras Rubras (EMCPR) e a EMCSP, uma com o funcionamento interrompido em 1997 e a outra em 2007, respetivamente. Após a desativação das duas EMC, foram instaladas duas estações meteorológicas automáticas (EMA) nos mesmos locais, porém, sem períodos de interseção. A EMA da Serra do Pilar possui registos até junho de 2018 e a EMA de Pedras Rubras até abril de 2017. Pela descontinuidade de dados entre as EMC e as EMA em cada um dos seus respetivos sítios, houve a necessidade de se aplicar testes estatísticos visando a reconstrução, a estimativa e a possibilidade de se utilizar ambas de maneira contínua. Ressalta-se que os dados descritos são os de temperatura do ar ( $T_{max}$  e  $T_{min}$ ).

Embora Monteiro e Carvalho (2013) tenham testado cinco métodos de detecção de extremos de temperatura para a EMC da Serra do Pilar, conforme supracitado, os autores não incluíram a estação meteorológica de Pedras Rubras.

Portanto, a presente investigação objetiva detetar os extremos de temperatura, chamados aqui de OdC e OdF, para um período mais atual (1970-2017), comparando as duas estações.

As investigações envolvendo extremos de temperatura no mundo possuem distintas técnicas e métodos para classificá-los, tanto para o calor como para o frio. Além disto, quando identificados, os parâmetros também exibem distinções quanto às suas formas de caracterização (e.g. Unkašević, Tošić, 2015; Keevallik, Vint, 2015; Spinoni *et al.*, 2015; Bitencourt *et al.*, 2016; Basarin *et al.*, 2016; Ceccherini *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2017b; Pereira *et al.*, 2017; Capozzi, Budillon, 2017). Entretanto, na presente pesquisa optou-se por utilizar a metodologia adotada por Bitencourt *et al.* (2019), pois acredita-se que o método seja o mais adequado para detectar os eventos de OdC e OdF.

Neste sentido, o presente manuscrito tem como objetivo tornar contínuas as séries históricas dos dados de  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  das estações de Pedras Rubras e Serra do Pilar. Em posse das séries sequentes, aplicar um método de detecção de OdC e OdF em ambas as séries, além de seus parâmetros: frequência, duração, intensidade e severidade média, bem como as suas tendências.

## Material e métodos

Para este trabalho foram selecionados os registos de  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  entre 1970 e 2017 de duas estações climatológicas muito próximas entre si: Porto Serra do Pilar e Porto Pedras Rubras (fig. 1a).

Os dados de  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  estavam inicialmente organizados em quatro séries, uma vez que existem registos da EMC de Pedras Rubras, localizada no aeroporto Francisco Sá Carneiro, em Maia; e da EMC da Serra do Pilar, situada em Vila Nova de Gaia, nas dependências do Instituto Geofísico da Universidade do Porto (IGUP). Além destes, há os registos das EMA instaladas posteriormente nos mesmos sítios. As estações meteorológicas de Pedras

Rubras estão a uma altitude de 69 m e as da Serra do Pilar a 93,5 m, nesta ordem. Os dados são originalmente provenientes do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), consistidos pelo IGUP.

O período exato dos registos das estações meteorológicas, as suas respetivas interseções e também o percentual de falhas para as variáveis de temperatura apresentam algumas diferenças entre os dois pontos de observação (TABELA I).

## Método de preenchimento de falhas

Como apontado anteriormente, existem diversos métodos de preenchimento de falhas. Entretanto, as técnicas estatísticas na climatologia podem ser aplicadas de acordo com a variável investigada, com a disponibilidade de dados e ainda com o número de postos existentes capazes de serem incluídos nos testes (Baba *et al.*, 2014; Yaguchi *et al.*, 2016; Mello *et al.*, 2017). No caso específico desta investigação, não existia mais do que um posto de dado com registos concomitantes ao da EMC Serra do Pilar, estação meteorológica base/referência para as correções e estimativas. Sendo assim, optou-se por aplicar a regressão linear simples (RLS), que é uma das técnicas mais utilizadas em estudos que trabalham com dados de temperatura do ar. Segundo Mello *et al.* (2017, p. 119), por vezes, não existem dados disponíveis em momentos idênticos em mais de uma estação meteorológica de modo a efetuar o preenchimento de dados faltantes, sendo uma das alternativas mais empregadas, neste caso, a RLS.

Kemp *et al.* (1983), ao avaliarem sete métodos de preenchimento de falhas para a  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$  em Idaho (EUA), observaram que a técnica de regressão foi a que apresentou os menores erros quando comparada às demais. Os autores afirmam que não houve diferença significativa entre a RLS e a regressão linear múltipla (RLM). Tardivo e Berti (2013) descrevem um método baseado em regressão para preencher falhas em séries temporais diárias, os mesmos indicam que os erros são menores para temperatura

TABELA I - Período de dado para cada estação (EMC e EMA), n.º de registos e % de falhas -  $T_{máx}$  e  $T_{mín}$ .  
TABLE I - Data period for each station (EMC and EMA), number of records and % of failures -  $T_{máx}$  and  $T_{mín}$ .

Variável	Estação Meteorológica	Período de dados	Dias com dados	Falhas (%)
$T_{máx}$	EMC Serra do Pilar	01/01/1970 - 31/12/2007	13.879	0,00
$T_{máx}$	EMC Pedras Rubras	01/01/1970 - 30/12/1996	9.846	0,16
$T_{máx}$	EMA Serra do Pilar	03/02/2009 - 27/06/2018	2.524	26,40
$T_{máx}$	EMA Pedras Rubras	01/01/1997 - 02/04/2017	7.088	4,17
$T_{mín}$	EMC Serra do Pilar	01/01/1970 - 31/12/2007	13.874	0,03
$T_{mín}$	EMC Pedras Rubras	01/01/1970 - 31/12/1996	9.849	0,13
$T_{mín}$	EMA Serra do Pilar	03/02/2009 - 21/06/2018	2.523	26,48
$T_{mín}$	EMA Pedras Rubras	31/12/1996 - 01/04/2017	7.098	4,04

Fonte: IPMA, s/d. Organizado pelos autores, 2019. Source: IPMA, n.d. Organized by the authors, 2019.

mínima. Yaguchi *et al.* (2016) com o intuito de examinar o melhor método de preenchimento de falhas para estimar as  $T_{máx}$  e as  $T_{mín}$  num conjunto de EMC em Santa Catarina (Brasil), dentre os resultados, exibem que os métodos de Steurer na versão modificada (STMOD), o RLS e o RLM apresentaram os menores erros e não resultaram em diferenças significativas de erros médios absolutos. Todavia, no caso da investigação realizada por Yaguchi *et al.* (2016) existia a possibilidade de se testar métodos com mais de uma estação meteorológica independente, o que não ocorre no presente estudo, pois inicialmente só existia uma estação meteorológica representativa como variável independente. Fino (2018), para a região de Ribatejo (Portugal), entre os anos de 2006 e 2014, ao realizar a caracterização agroclimática das localidades de Ferreira do Zêre, Santarém e Almeirim, recorreu a RLS para preencher as falhas da variável temperatura em três estações meteorológicas utilizadas no seu estudo, obtendo resultados satisfatórios nos preenchimentos das lacunas.

### Análise de regressão linear simples e correlações

Rogerson (2012, p. 201) afirma que a regressão linear parte do princípio que existe um relacionamento linear entre a variável dependente ( $y$ ) e a variável independente ( $x$ ). Neste sentido, preencher as falhas das estações analisadas partindo da EMC Serra do Pilar como referência se demonstra pertinente e aplicável, pois conforme o IPMA (s/d) exibe, ambas as localidades estão no mesmo subtipo climático, portanto em áreas geográficas homogêneas do ponto de vista atmosférico.

O preenchimento das falhas de temperatura ( $T_{máx}$  e  $T_{mín}$ ), detetadas nas séries de dados das quatro estações meteorológicas supracitadas, foi feito recorrendo a RLS, de forma a determinar os coeficientes de determinação entre duas variáveis, realizando estimativas (Kazmier, 1982; Rogerson, 2012; Uyanik, Güler, 2013), conforme:

$$Yx = a + bx \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:  $Yx$  é o valor estimado da variável dependente (valor a preencher) dado um valor específico da variável independente;  $x$  é um valor específico da variável independente (valor da estação de referência);  $a$  é o ponto de interseção da reta de regressão linear com o eixo  $y$ ;  $b$  é o declive da reta de regressão.

Por se tratar de quatro estações meteorológicas com séries distintas, realizaram-se quatro testes de RLS, assim sequenciais: 1) EMC Serra do Pilar ( $x$ ) com a EMC Pedras Rubras ( $y$ ); 2) EMC Pedras Rubras ( $x$ ) com EMA Pedras Rubras ( $y$ ); 3) EMA Pedras Rubras ( $x$ ) com EMA Serra do Pilar ( $y$ ); 4) EMA Serra do Pilar ( $x$ ) com EMA Pedras Rubras ( $y$ ). A escolha da estação de referência ( $x$ ) em todos os casos teve em conta o número de dados registados, conforme utilizado por Fino (2018, p. 26). A significância das análises de RLS foi verificada ao nível de  $\alpha = 5\%$ .

Posteriormente ao preenchimento das falhas, com o intuito de transformar as estações convencionais e as automáticas de cada local em séries únicas e contínuas, aplicou-se a correlação de Spearman ( $r_s$ ), por se tratar de um teste não-paramétrico, uma vez que a partir do teste de Shapiro-Wilk ( $W$ ), nenhuma das oito séries de dados ( $T_{máx}$  e  $T_{mín}$ ) apresentou distribuição normal ( $p < 0,05$ ). A correlação de Spearman é um teste não-paramétrico que pode ser usado em condições de análises com variáveis quantitativas em que a distribuição conjunta seja diferente da normal. Este teste exige apenas que as variáveis  $x$  e  $y$  sejam medidas pelo menos em escala ordinal (Bauer, 2007; Rogerson, 2012). Todos os testes estatísticos foram realizados no *software* PAST 3.21 (Hammer *et al.*, 2001).

### Deteção das OdC e OdF

O método aplicado para detetar as OdC e as OdF foi o adotado por Bitencourt *et al.* (2019). A técnica identifica as OdC (OdF) com base em limites diários que consideram o percentil 90 (10) da  $T_{máx}$  ( $T_{mín}$ ), centrado numa janela de 15 dias (sete dias antes, o dia em questão e os sete dias posteriores). Esse procedimento proporciona uma amostragem de até 720 observações para o cálculo do limiar climatológico diário (P90 e P10), considerando o período 1970-2017 (48 anos). Para se considerar uma onda, a duração mínima deve ser de três dias consecutivos com  $T_{máx} > P90$  (OdC) e  $T_{mín} < P10$  (OdF) com base no limiar diário estabelecido. As ondas iniciadas num mês e finalizadas noutro foram contabilizadas para o mês da génese do evento. Ressalta-se que a deteção das ondas ocorreu até 2017, pois os dados contínuos ocorrem somente até junho de 2018.

Uma vez identificados os eventos de OdC (OdF), baseado nos seus respetivos limiares diários, para a estação de Pedras Rubras e para a estação de Serra do Pilar, foram extraídos os seguintes parâmetros: Frequência ( $Frq$ ); Duração ( $D$ ); Intensidade ( $Int$ ); Severidade média ( $Sm$ ) e as suas relativas tendências mensal e anual.

Frequência ( $Frq$ ) é a quantidade de ondas encontradas por mês e por ano. A duração ( $D$ ) refere-se ao número de dias em que a  $T_{máx} > P90$  ou em que a  $T_{mín} < P10$ , ocorrendo por, no mínimo, três dias consecutivos. A média da temperatura durante o evento é calculada e chamada de Intensidade ( $Int$ ), a intensidade da OdC é dada por:

$$Int(OdC) = 1/D \left( \sum_i^D (T_{máx})_i \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

e a da OdF é dada por:

$$Int(OdF) = 1/D \left( \sum_i^D (T_{mín})_i \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

Conforme apresentado por Unkašević e Tošić (2015), Spinoni *et al.* (2015) e Bitencourt *et al.* (2019), a severidade ( $S$ ) é determinada por:



$$S_{OdC} = \sum_i^D (|T_{máx} - P90|)_i \quad (Eq. 4)$$

e por:

$$S_{OdF} = \sum_i^D (|T_{mín} - P10|)_i \quad (Eq. 5)$$

Já a severidade média ( $Sm$ ) para OdC é dada por:

$$Sm(OdC) = S_{OdC}/D \quad (Eq. 6)$$

A severidade média ( $Sm$ ) para OdF é dada por:

$$Sm(OdF) = S_{OdF}/D \quad (Eq. 7)$$

Aqui, analisaremos a  $Sm$ , uma vez que este importante parâmetro permite a deteção de eventos relativamente mais quentes durante os meses mais frios, por exemplo.

Para o presente estudo consideraram-se como primavera os meses de março, abril e maio; verão: junho, julho e agosto; outono: setembro, outubro e novembro e; inverno: dezembro, janeiro e fevereiro.

### Análise das tendências

As análises estatísticas de tendência para  $Frq$ ;  $D$ ;  $Int$  e  $Sm$  das OdC e das OdF foram realizadas empregando-se o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), por meio do modelo linear, utilizando-se o *software* XLSTAT. O nível de significância adotado para o teste de Mann-Kendall foi  $\alpha = 5\%$ . A hipótese nula ( $H_0$ ) indica que não há tendência na série analisada e a hipótese alternativa ( $H_1$ ) implica que há tendência (Rogerson, 2012, p. 133). A utilização do *software* XLSTAT permitiu incluir na análise todos os 48 anos de forma contínua (1970-2017).

O teste de Mann-Kendall é um teste sequencial, robusto e não paramétrico aplicado em diversas pesquisas que analisam dados de elementos ambientais e suas possíveis tendências (e.g. Salviano *et al.*, 2016; Ely, Dubreuil, 2017). Utiliza-se este teste para verificar se certa série de dados demonstra tendência temporal de modificação estatisticamente significativa. Ademais, por ser um teste não paramétrico, não é necessário que os dados tenham distribuição normal (Von Storch, 1999; Yue *et al.*, 2002).

Mas, para a aplicação do teste de Mann-Kendall é importante averiguar a autocorrelação dos dados. Se os dados forem autocorrelacionados, a capacidade de avaliação correta do significado da tendência do mesmo é afetada; deste modo, pode existir aumento da

probabilidade de se encontrar tendências, quando, na verdade, não ocorreria ou vice-versa (Hamed, Rao, 1998; Salviano *et al.*, 2016).

A viabilidade de autocorrelação (correlação serial) para os parâmetros estudados nas duas estações meteorológicas foi examinada mediante a função de autocorrelação do Action Stat, utilizando o método de identificação de Análise Gráfica ( $\hat{e} \times t$ ). Previamente, é válido apontar que as análises mostraram que todos os parâmetros nas séries das duas estações apresentam ausência de autocorrelação, isto é, não há padrão qualquer evidente de relacionamento entre a variável analisada pelo tempo. Por isto, segundo Hirsch *et al.* (1982) tais verificações tornam o teste de Mann-Kendall aplicável e mais eficiente.

### Resultados e discussão

#### Reconstrução dos dados

As regressões para a  $T_{máx}$  foram significativas ( $p < 0,0001$ ), ou seja, além do nível estabelecido de  $\alpha = 5\%$  ( $p < 0,05$ ), com valores de  $r$  de 0,96 e 0,97. Segundo Rogerson (2012), quanto mais próximo de 1, maior a confiabilidade dos dados obtidos para o preenchimento de falhas. Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) variaram entre 0,93 e 0,96. O erro padrão estimado dos resíduos (EPER) não ultrapassou 1,3 em nenhuma das quatro análises (TABELA II).

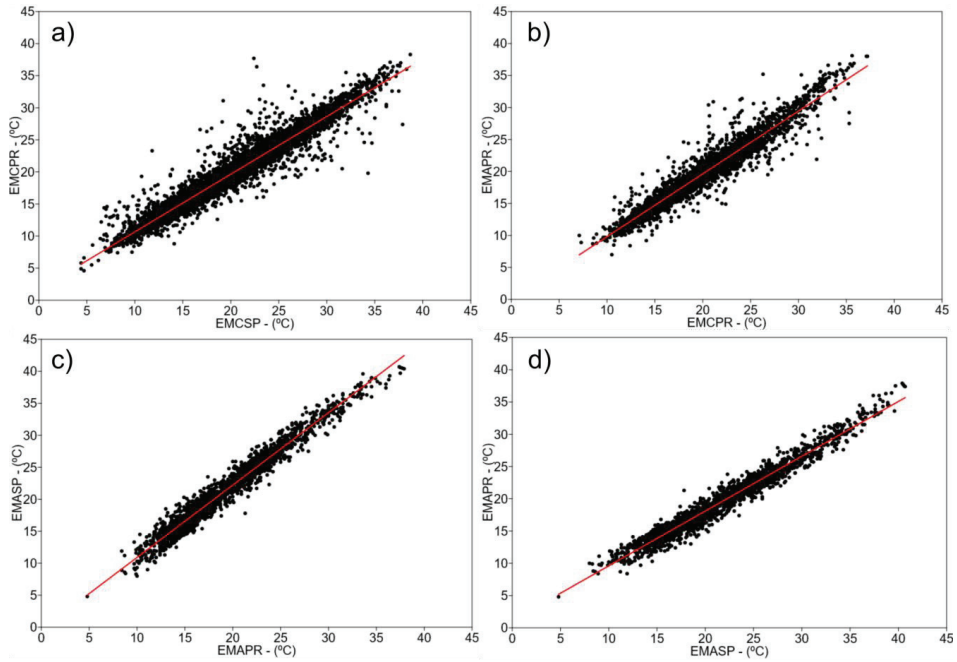
Para a análise estatística entre as convencionais (EMCSP x EMCPR) o  $r^2$  foi 0,94, significando que 94% da variação total na  $T_{máx}$  é explicada pelo modelo de regressão ajustado, o gráfico de dispersão do teste demonstra o referido (fig. 2a). Entre a EMCPR e a EMAPR o  $r^2$  também apresentou desempenho satisfatório similar, com 93% da variação total na  $T_{máx}$  sendo explicada (fig. 2b). As menores dispersões foram verificadas nas análises entre as duas EMA, com o  $r^2$  de 0,96, ou seja, com 96% da variação total explicada (fig. 2c e 2d).

Verifica-se que nos gráficos de dispersão, tanto para a  $T_{máx}$  quanto para a  $T_{mín}$ , existem *outliers*, isto é, pontos com grande disparidade na temperatura entre as duas estações meteorológicas analisadas nos testes (fig. 2 e 3), todavia, optou-se por não excluir tais registos. Acredita-se que tais *outliers* possam ser erros de observação e/ou erros de inserção dos dados.

TABELA II - Resultados da RLS para a  $T_{máx}$  entre as estações utilizadas no estudo.

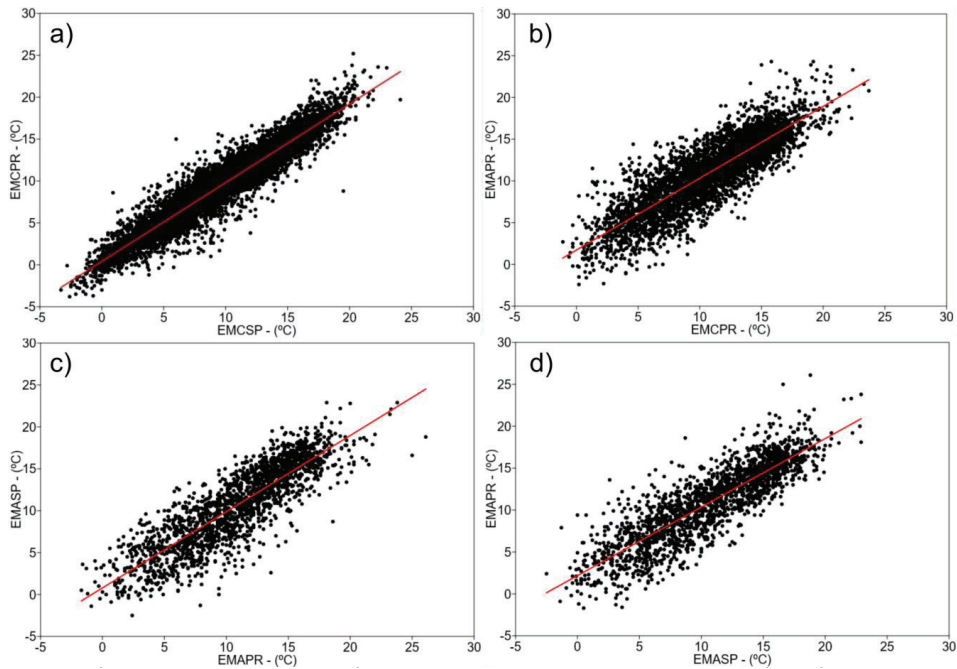
TABLE II - RLS results for  $T_{máx}$  between the stations used in the study.

Análise	Figura	n	a (intercepto)	b (slop)	$r^2$	r	p-valor	EPER
EMCSP x EMCPR	2a	9.846	1,6653	0,89907	0,94	0,97	<0,0001	1,2
EMCPR x EMAPR	2b	3.919	0,0024815	0,98107	0,93	0,96	<0,0001	1,3
EMAPR x EMASP	2c	1.966	-0,40496	1,1307	0,96	0,97	<0,0001	1,2
EMASP x EMAPR	2d	1.966	1,1176	0,849	0,96	0,97	<0,0001	1,1



**Fig. 2** - Gráficos de dispersão ( $T_{\max}$  - °C) das análises entre as estações investigadas. a) Estação meteorológica clássica da Serra do Pilar (EMCSP) versus Estação meteorológica clássica de Pedras Rubras (EMCPR). b) EMCPR versus Estação meteorológica automática de Pedras Rubras (EMAPR). c) EMAPR versus Estação meteorológica automática da Serra do Pilar (EMASP). d) EMASP versus EMAPR.

*Fig. 2 - Scatter plots ( $T_{\max}$  - °C) of the analyses between the stations investigated. a) Classic weather station in Serra do Pilar (EMCSP) versus Classic weather station of Pedras Rubras (EMCPR). b) EMCPR versus Automatic weather station of Pedras Rubras (EMAPR). c) EMAPR versus Automatic weather station of Serra do Pilar (EMASP). d) EMASP versus EMAPR.*



**Fig. 3** - Gráficos de dispersão ( $T_{\min}$  - °C) das análises entre as estações investigadas. a) Estação meteorológica clássica da Serra do Pilar (EMCSP) versus Estação meteorológica clássica de Pedras Rubras (EMCPR). b) EMCPR versus Estação meteorológica automática de Pedras Rubras (EMAPR). c) EMAPR versus Estação meteorológica automática da Serra do Pilar (EMASP). d) EMASP versus EMAPR.

*Fig. 3 - Scatter plots ( $T_{\min}$  - °C) of the analyses between the stations studied. a) Classic weather station of Serra do Pilar (EMCSP) versus Classic weather station of Pedras Rubras (EMCPR). b) EMCPR versus Automatic weather station of Pedras Rubras (EMAPR). c) EMAPR versus Automatic weather station of Serra do Pilar (EMASP). d) EMASP versus EMAPR.*

Diante da  $T_{min}$  a significância dos testes apresentou o mesmo padrão que a  $T_{max}$  ( $p < 0,0001$ ), com o  $r$  oscilando entre 0,85 e 0,95. Já o  $r^2$  nas quatro análises não foi menor do que 0,74 (TABELA III).

Para a  $T_{min}$  a menor dispersão entre as quatro análises ocorreu entre as duas EMC, com o  $r^2$  de 0,91, isto é, com 91% (TABELA III) da variação absoluta na  $T_{min}$  sendo explicado pelo modelo de regressão ajustado, o gráfico de dispersão do teste demonstra o descrito (fig. 3a). Enquanto os coeficientes de regressão para as três outras análises apresentaram o mesmo valor (0,74), ou seja, as maiores dispersões (fig. 3b, 3c e 3d). Todavia, o EPER foi, em geral, maior do que para a  $T_{max}$ , especificamente nos testes envolvendo as EMA.

Como as RLS apresentaram resultados satisfatórios para as duas variáveis estudadas ( $T_{max}$  e  $T_{min}$ ), antes de testar as correlações entre as duas séries reconstruídas para cada localidade, com o intuito de torná-las contínuas, aplicouse o teste de normalidade para verificar se os dados eram ou não paramétricos. Como nenhuma das séries confirmou a normalidade ( $p < 0,05$ ) (TABELA IV), por conta disto aplicou-se a correlação de Spearman ( $r_s$ ).

A correlação para a  $T_{max}$  foi realizada entre: EMCSP x EMASP, no período de 01/01/1970 a 31/12/2007 e; EMCPR x EMAPR, para o mesmo período. Para a  $T_{min}$  as mesmas correlações foram aplicadas entre as estações

meteorológicas, com o período idêntico, mas, o número de observações ( $n$ ) é ligeiramente menor por conta de algumas falhas no meio da série (TABELA V).

As correlações ( $r_s$ ) entre as séries reconstruídas para as estações meteorológicas dos mesmos sítios (Serra do Pilar e Pedras Rubras) apresentaram valores oscilando entre 0,93 e 0,99, para as duas variáveis. Estes valores, conforme Andriotti (2003) estão dentro da classe de correlação  *muito forte* . Além disto, os testes demonstraram nível de significância estatisticamente maior do que  $\alpha = 5\%$  (TABELA V). Por este motivo foi possível combinar e tornar as séries das EMC e das EMA, para cada sítio, contínuas. Portanto, passando a ter uma única série para as duas variáveis reconstruídas em cada uma das localidades, sendo assim: Serra do Pilar e Pedras Rubras (ambas para 1970-2018).

Para Portugal, Fino (2018, p. 33, 34), ao reconstruir as séries de dados mensais para Santarém e Ferreira do Zêzere a partir da estação de Almeirim, observou que, tanto para a  $T_{max}$  quanto para a  $T_{min}$ , os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) variaram entre 0,50 e 0,96, com melhores ajustes para a  $T_{max}$ , indo ao encontro do verificado aqui. Ribeiro *et al.* (2017), ao comparar dados de, entre outras variáveis,  $T_{max}$  e  $T_{min}$  das EMA com dados das EMC, em alguns municípios do Piauí (Brasil), encontraram menores dispersões na  $T_{max}$  quando comparados a  $T_{min}$ . Oliveira *et al.* (2010), assim

TABELA III - Resultados da RLS para a  $T_{min}$  entre as estações utilizadas no estudo.

TABLE III - RLS results for  $T_{min}$  between the stations used in the study.

Análise	Figura	n	a (intercepto)	b (slop)	$r^2$	r	p-valor	EPER
EMCSP x EMCPR	3a	9.849	0,40263	0,93972	0,91	0,95	<0,0001	1,3
EMCPR x EMAPR	3b	3.935	1,7171	0,86076	0,74	0,85	<0,0001	2,3
EMAPR x EMASP	3c	1.967	0,7798	0,90913	0,74	0,86	<0,0001	2,4
EMASP x EMAPR	3d	1.967	2,1705	0,81748	0,74	0,86	<0,0001	2,3

TABELA IV - Teste de normalidade - Shapiro-Wilk (W) -  $T_{max}$  e  $T_{min}$ .

TABLE IV - Normality test - Shapiro-Wilk (W) -  $T_{max}$  and  $T_{min}$ .

Variável	Estação	Período	n	p-valor	Variável	Período	n	p-valor
$T_{max}$	EMCSP	1970-2007	13.874	<0,0001	$T_{min}$	1970-2007	13.879	<0,0001
$T_{max}$	EMASP	1970-2007	13.874	<0,0001	$T_{min}$	1970-2007	13.879	<0,0001
$T_{max}$	EMCPR	1970-2007	13.874	<0,0001	$T_{min}$	1970-2007	13.879	<0,0001
$T_{max}$	EMAPR	1970-2007	13.874	<0,0001	$T_{min}$	1970-2007	13.879	<0,0001

TABELA V - Correlação de Spearman ( $r_s$ ) entre as séries de dados -  $T_{max}$  e  $T_{min}$ .

TABLE V - Spearman correlation ( $r_s$ ) between the data series -  $T_{max}$  and  $T_{min}$ .

$T_{max}$	n	$r_s$	p-valor	$T_{min}$	n	$r_s$	p-valor
EMCSP x EMASP	13.879	0,97	0,0001	EMCSP x EMASP	13.879	0,93	0,0001
EMCPR x EMAPR	13.874	0,99	0,0001	EMCPR x EMAPR	13.874	0,96	0,0001



como Ribeiro *et al.* (2017), para Jaboticabal (Brasil), verificaram que a  $T_{máx}$  também exibiu melhor ajuste ( $r^2 = 0,97$ ) na RLS quando comparada a  $T_{min}$ .

Supõe-se que as maiores dispersões observadas nas análises de RLS para a  $T_{min}$ , quando analisada no mesmo local, tenha relação com a diferença de sensores/equipamentos entre as estações clássicas e automáticas. Isto também ocorre na  $T_{máx}$ , sendo a análise entre EMCPR x EMAPR a maior dispersão verificada nesta variável (0,93) (TABELA II). Além disto, as maiores dispersões na  $T_{min}$  diante das análises envolvendo localidades distintas, quando comparadas a  $T_{máx}$ , podem ter resposta nos fatores geográficos. Por isso, pressupõe-se que a influência da oceanicidade, a diferença de altitude de poucos metros entre as estações, a cobertura do solo no entorno das estações e a pequena diferença latitudinal pode refletir nas diferenças ínfimas observadas diariamente.

Análise temporal das OdC e das OdF

Limiares para detecção

Os limiares P90 estabelecidos para a classificação de dia quente ( $T_{máx}$ ) na estação meteorológica de Pedras Rubras são, ao longo de todo ano, menores do que os da Serra do Pilar (fig. 4). Todavia, a variabilidade dos mesmos, entre as duas estações, apresenta padrão similar.

Além disto, na transição entre o verão e o inverno os limiares reduzem de maneira menos gradativa do que na

ascensão do inverno para o verão, como explica Monteiro (1993). Isto evidencia como a atmosfera na área de estudo arrefece de forma mais abrupta e aquece de modo irregular e mais lentamente. Comparativamente, entre meados da primavera até meados do outono, é o momento em que os limiares para classificação dos dias quentes que, possivelmente possam compor uma OdC, são mais distintos entre as duas estações meteorológicas. Supõe-se que a pequena diferença latitudinal existente entre os dois locais justifique a estreita amplitude entre os limiares baseados na  $T_{máx}$ . Serra do Pilar, mais ao sul (fig. 1), demonstra patamares mais rigorosos do que Pedras Rubras. Da mesma forma, presume-se que o fator geográfico da oceanicidade tenha impacto sobre os patamares, uma vez que a exposição ao Atlântico Norte da estação meteorológica de Pedras Rubras é mais evidente, fazendo com que o rigor de classificação seja ligeiramente mais baixo e esteja ligado à menor amplitude das temperaturas (fig. 4 e 5).

Quanto aos limiares P10 obtidos da  $T_{min}$  para detecção de dias frios, que possivelmente integrem uma OdF, nota-se que a diferença entre os patamares também é maior no verão, porém, com menor diferença entre as duas estações meteorológicas e, além disto, com o período reduzido se comparado a  $T_{máx}$ . Outra constatação é a de que, por vezes, os limiares diários de Pedras Rubras são praticamente idênticos aos da Serra do Pilar ou até o ultrapassam (fig. 5). Da mesma forma que para os patamares diários de  $T_{máx}$ , os fatores geográficos locais supracitados justificam as pequenas diferenças existentes.

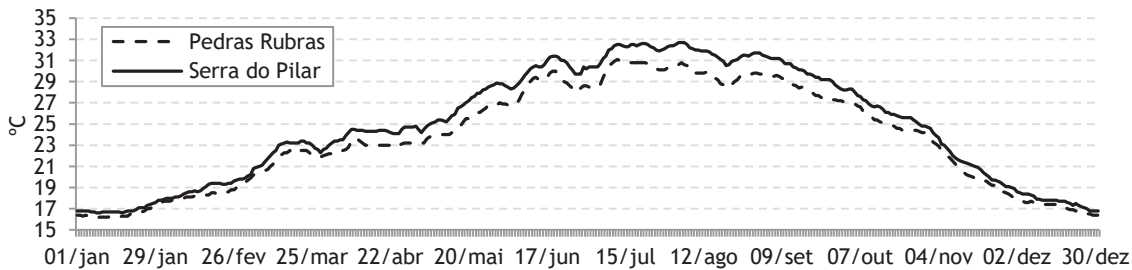


Fig. 4 - Limiares diários (366) para detecção de dia quente -  $T_{máx}$  - 1970-2017.  
Fig. 4 - Daily thresholds (366) for hot day detection -  $T_{máx}$  - 1970-2017.

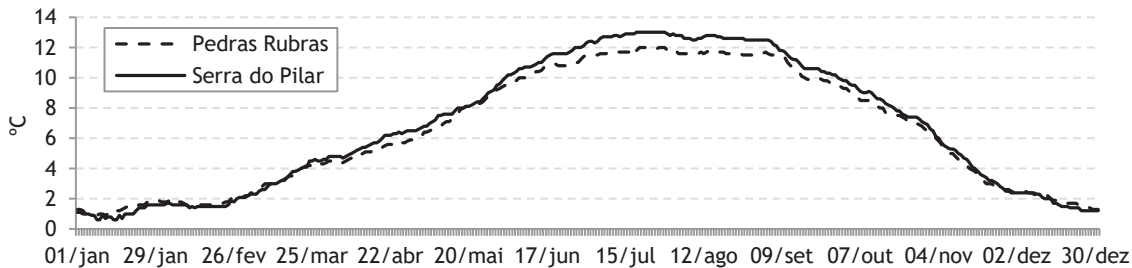


Fig. 5 - Limiares diários (366) para detecção de dia frio -  $T_{min}$  - 1970-2017.  
Fig. 5 - Daily thresholds (366) for cold day detection -  $T_{min}$  - 1970-2017.

### Frequência das OdC e OdF

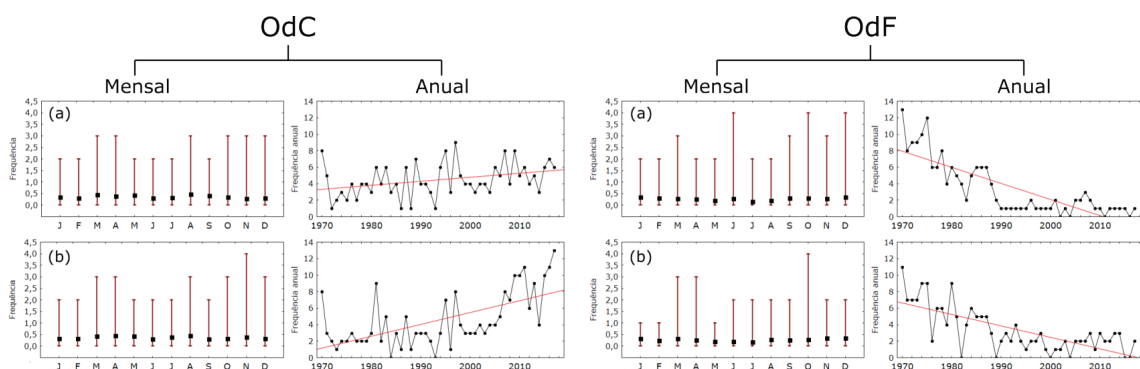
58

Ao analisar o parâmetro frequência (*Freq*) mensal para as OdC, comparando as duas estações, observa-se um padrão consideravelmente similar entre ambas (fig. 6). A frequência média ao longo dos meses demonstra como as OdC não ocorrem somente no verão, sendo distribuídas sazonalmente. As médias, em geral, não ultrapassam 0,5 OdC por mês ao longo dos 48 anos. As médias de frequência são ligeiramente maiores nos meses de verão e nas estações de transição. Cunha e Leal (2013, p. 86) expõem que as OdC em Portugal estão se tornando mais comuns e frequentes nas estações do ano para além do verão. Ao encontro dos referidos autores e dos resultados obtidos aqui, Santo *et al.* (2014), ao examinarem as tendências de temperatura do ar para 23 estações meteorológicas em Portugal, incluindo a de Serra do Pilar, no período 1941-2006, demonstram que há uma forte tendência de aquecimento ligada ao calor na primavera e no verão. Andrade *et al.* (2014) efetuando projeções para os extremos de temperatura em Portugal, a partir da calibração de modelos com dados observados, indicam que o verão e o outono tendem a apresentar temperaturas e extremos mais elevados. Nota-se, ademais, que, excetuando-se o mês de novembro na estação Serra do Pilar, em que o extremo de frequência de OdC foi quatro, os outros meses demonstram equilíbrio, variando entre duas e três OdC/mês (fig. 6).

Na análise anual, embora estejam aparentemente aumentando, o incremento da frequência das OdC na estação de Pedras Rubras não é tão evidente quanto na estação Serra do Pilar. Ao longo dos 48 anos estudados é possível constatar como tais eventos sempre existiram, mas, é a partir de meados da década de 1980 que a frequência se amplifica, em particular na estação de Serra do Pilar (fig. 6). O ano com maior frequência de OdC para Pedras Rubras foi 1997, com nove eventos.

Já para Serra do Pilar foi 2017 com 13 casos. Montero *et al.* (2010) ao estudarem as OdC na Espanha, país de clima mediterrânico, observaram que nas décadas mais recentes o número destes eventos aumentou claramente, tanto em valores absolutos, quanto no percentual. Monteiro e Carvalho (2013) para a região norte de Portugal constataram que, a partir da primeira década do Séc. XXI, o incremento na frequência de OdC foi mais evidente, entretanto, um dos índices analisados (*Heat Index*) indicou o aumento a partir da década de 1980. Santo *et al.* (2014) ao dividirem o período de estudo em dois subgrupos (1945-1975 e 1976-2006), evidenciam que o período mais recente é aquele que apresentou forte tendência de aquecimento. Ademais, desde que se tem registos, 16 dos 17 anos mais quentes da história do planeta Terra foram anotados no século em decurso (UE, 2016; Ferreira, 2017). Estas pesquisas corroboram com os resultados encontrados aqui e expostos na fig. 6.

Na fig. 6, ainda podemos observar a frequência (*Freq*) média das OdF mensais e totais anuais. Em relação às médias mensais, as OdF ocorrem ao percurso de todos as estações, porém, com menor frequência no verão e, de maneira um pouco mais elevada, com similaridade nas demais estações do ano. Os valores são inferiores a 0,5 OdF/mês (fig. 6). O extremo superior de frequência para a OdF em Pedras Rubras pode ser observado em outubro, dezembro e junho, atingindo aproximadamente quatro OdF/mês. O fato de um mês de verão registrar quatro eventos, assim como, em meses climatologicamente mais frios, não caracteriza o resfriamento do período mais quente, somente que aconteceram episódios esporádicos em que a  $T_{min}$  ficou abaixo do limiar durante três dias consecutivos ou mais. Já para a Serra do Pilar, destaca-se o mês de outubro com aproximadamente quatro OdF, assim como em Pedras Rubras. Outubro é o mês precedente ao inverno, contendo características de arrefecimento tal qual a estação sequencial.



**Fig. 6 -** Frequência mensal e anual das OdC e das OdF para Pedras Rubras (a) e Serra do Pilar (b). A análise mensal mostra a frequência média das ondas (•) e o Min-Máx (I). A análise anual mostra a frequência total de eventos e a tendência linear (---) - 1970-2017.

**Fig. 6 -** Monthly and annual frequency of OdC and OdF for Pedras Rubras (a) and Serra do Pilar (b). The monthly analysis shows the average frequency of the waves (•) and the Min-Máx (I). The annual analysis shows the total frequency of events and the linear trend (---) - 1970-2017.

Anualmente, fica evidente que os eventos de OdF estão a diminuir, tornando-se cada vez mais raros em ambas as estações. Ao final dos anos 1980 e início dos anos de 1990 esta constatação é mais clara (fig. 6). Monteiro e Carvalho (2013) também destacam que, até a década de 1970, as OdF eram mais frequentes, até mesmo se comparadas as OdC. Após este período as OdF entraram numa diminuição substancial até o presente. Concordando com estes autores, Santo *et al.* (2014) falam que entre 1945 e 1975 em Portugal existiu uma tendência parcial que revela ser esse um momento ainda com característica de arrefecimento da atmosfera, ingressando posteriormente numa fase de aquecimento.

#### Duração das OdC e OdF

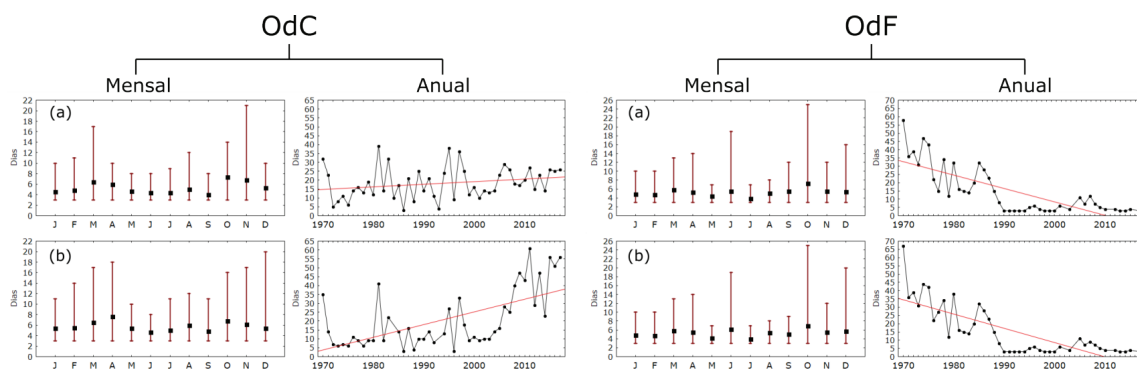
Para o parâmetro duração (*D*), em termos médios mensais, notam-se como as OdC nas duas estações meteorológicas são mais duradoras durante as estações de transição, com destaque para outubro na de Pedras Rubras e abril na da Serra do Pilar (fig. 7). Na estação de Pedras Rubras o extremo de duração mais elevado ocorreu em novembro de 1981, com 21 dias sob condição de OdC. O mês de dezembro para a estação de Serra do Pilar demonstra o extremo de duração mais elevado, ocorrendo no ano de 2015, com 20 dias classificados como OdC.

A duração anual para as OdC, segue o padrão observado na frequência para as duas estações. Ou seja, em Pedras Rubras o aumento da duração não é tão evidente ao longo dos anos, ao contrário da Serra do Pilar. O começo do Séc. XXI para Serra do Pilar marca nitidamente o incremento da duração das OdC. Ao encontro deste resultado, Kuglitsch *et al.* (2010) ao estudarem as OdC na porção oriental do Mediterrâneo desde 1960, notaram que a

duração, assim como outros parâmetros tem aumentado vultosamente nos períodos mais recentes. Monteiro e Carvalho (2013, p. 134) levantam a possibilidade de que nas últimas décadas a duração dos extremos de calor esteja aumentando.

Para as OdF, as médias mensais de duração (*D*), de maneira geral, também são mais duradouras durante as estações de transição, principalmente no mês de outubro nas duas estações meteorológicas (fig. 7). Também se observa uma média de duração um pouco mais elevada durante o mês de junho em Pedras Rubras e Serra do Pilar, considerado verão; porém, ainda com influência da estação precedente, pois do ponto de vista astronômico, o solstício de verão para o hemisfério norte só começa na segunda metade do mês. Diante dos extremos superiores, o mês de outubro também chama à atenção em ambas as estações, na de Pedras Rubras e na da Serra do Pilar o mês de outubro de 1974 foi o destaque, com 25 dias sob condição de OdF. O ano de 1972 teve junho como destaque dos extremos para ambas as estações, com 19 dias submetidos às OdF. O mês de dezembro (inverno) de 1970 para Pedras Rubras foi o extremo, com 16 dias. Ao passo que em Serra do Pilar também em 1970 foram 20 dias nesta condição.

Observa-se como todos os principais extremos estão na década de 1970, início do período investigado, concordando com os gráficos anuais (fig. 7), que demonstram claramente como a duração das OdF decrescem ao longo da série. Corroborando com os resultados obtidos aqui, Hoegh-Guldberg *et al.* (2018, p. 191) afirmam que, de modo geral, os extremos de frio tendem a ser menos duradouros no planeta. Outra constatação é a de que as duas estações apresentam padrão de duração anual das OdF praticamente idênticos.



**Fig. 7 - Duração mensal e anual das OdC e das OdF para Pedras Rubras (a) e Serra do Pilar (b). A análise mensal mostra a duração média das ondas (•) e o Min-Máx (I). A análise anual mostra a quantidade de dias pertencentes aos eventos e a tendência linear (—) - 1970-2017.**

**Fig. 7 - Monthly and annual duration of OdC and OdF for Pedras Rubras (a) and Serra do Pilar (b). The monthly analysis shows the average duration of the waves (•) and the Min-Máx (I). The annual analysis shows the number of days the events lasted and the linear trend (—) - 1970-2017.**

## Intensidade das OdC e OdF

60

A intensidade média das OdC em ambas as estações meteorológicas estudadas segue um padrão esperado para o clima local (Daveau, 1995; Monteiro *et al.*, 2018), ou seja, o verão é o trimestre que, sobretudo, exibe os maiores valores (fig. 8). Julho é o mês que, na média, resulta nas OdC mais intensas. Na estação de Pedras Rubras e na da Serra do Pilar a média é de, aproximadamente, 33°C e 35°C, respectivamente. As estações de transição também exibem valores médios intensos para as OdC, diminuindo nas proximidades do inverno. Este padrão segue, similarmente, o que Monteiro (1963) indica sobre tais períodos para o Brasil, isto é, a segunda metade da estação antecessora e a primeira metade da estação sucessora ao verão ou ao inverno denotam peculiaridades térmicas das estações ligadas aos solstícios. O maior extremo na estação de Pedras Rubras e na Serra do Pilar ocorreu no ano de 2013, com a intensidade média das ondas sendo 36,2°C e 37,9°C, nesta ordem. Monteiro e Carvalho (2013) observaram o mesmo, que as OdC são mais intensas de maio a setembro. Outra constatação é a de que os extremos na estação da Serra do Pilar expõem maior oscilação (fig. 8).

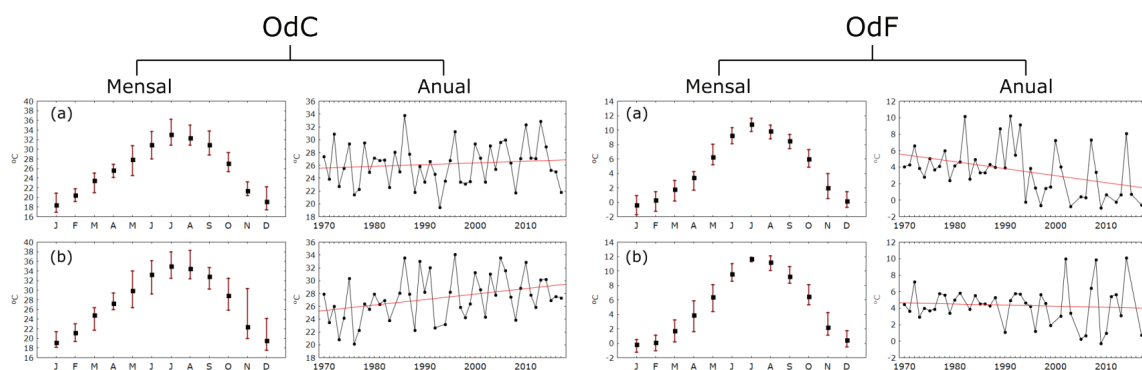
Meehl e Tebaldi (2004) para a Europa e América do Norte e Santo *et al.* (2014) para Portugal continental, argumentam que as OdC nestas áreas tendem a apresentar maior intensidade no decorrer dos anos. Na análise anual para as OdC, não há como observar um padrão claro de aumento da intensidade em Pedras Rubras, como citado por tais autores. Entretanto, na Serra do Pilar, há indícios de aumento com o passar dos anos, embora sem tanta clareza também (fig. 8). Hoegh-Guldberg *et al.* (2018) expõem que as OdC passarão por aumento da intensidade em grande parte do planeta, incluindo o Mediterrâneo, sendo esta região um hotspot neste quesito (Meehl, Tebaldi, 2004; Diffenbaugh, Giorgi, 2012).

Os eventos de OdF, da mesma forma que para as OdC, obedecem um padrão climatológico bem definido, ou seja, os meses de inverno apresentam as maiores intensidades, lembrando que para este caso, quanto mais baixa a temperatura mais intenso será o evento (fig. 8). O mês de janeiro para as duas estações é aquele com a menor média, Pedras Rubras exibe uma média de -0,35°C e Serra do Pilar -0,15°C. Isto demonstra como as OdF no Porto e concelhos vizinhos são rigorosas. Similarmente as OdC, as estações de transição expõem baixos valores médios de temperatura, deflagrando considerável intensidade (fig. 8).

O padrão anual de intensidade das OdF, quando comparado as OdC nas duas estações, se inverte (fig. 8). Percebe-se uma tendência de aumento da intensidade em Pedras Rubras, o que não é tão evidente na estação de Serra do Pilar. Todavia, deve se ressaltar que em Pedras Rubras, ao longo das últimas duas décadas, 60% das OdF (20) detectadas foram no inverno. Ou seja, isso demonstra que recentemente as OdF estão se concentrando mais nos períodos climatologicamente frios, por isso, a intensidade tende a ser mais rigorosa (menores temperaturas), contribuindo para que tendência seja negativa. Entretanto, Founda *et al.* (2004) para a Grécia e Monteiro e Carvalho (2013) para Portugal demonstram que a intensidade dos extremos de frio estão diminuindo, isto é, ficando menos frios. Possivelmente, a divergência se justifique pelo modo como a análise se procedeu, sem comparar os eventos sazonalmente na série.

## Severidade média das OdC e OdF

Na primavera, em ambas as estações meteorológicas, maio é o mês com maior severidade média nas OdC, com 2,9°C para Pedras Rubras e 3,3°C para Serra do Pilar.



**Fig. 8 - Intensidade mensal e anual das OdC e das OdF para Pedras Rubras (a) e Serra do Pilar (b). A análise mensal mostra a intensidade média das ondas (•) e o Min-Máx (I). A análise anual mostra a intensidade média dos eventos e a tendência linear (—) - 1970-2017.**

**Fig. 8 - Monthly and annual intensity of OdC and OdF for Pedras Rubras (a) and Serra do Pilar (b). The monthly analysis shows the average intensity of the waves (•) and the Min-Máx (I). The annual analysis shows the average intensity of events and the linear trend (—) - 1970-2017.**

No verão, os meses de julho e agosto em Pedras Rubras obtiveram o mesmo valor de  $S_m$  (2,8°C), ao passo que na Serra do Pilar foi o mês de junho com 3,2°C na média, seguido por julho com 3,0°C. No outono o mês com maior severidade média em Pedras Rubras é setembro, com 2,6°C de  $S_m$ ; já na Serra do Pilar o mês é o mesmo, mas, com o valor ligeiramente mais elevado, sendo 2,9°C. Na estação climatologicamente mais fria, em Pedras Rubras os meses com maiores  $S_m$  são os de dezembro e fevereiro com 2,1°C; na estação de Serra do Pilar, mais ao sul, o mês de inverno mais severo na média é o de janeiro com 2,3°C. Estes resultados demonstram no comparativo entre as estações meteorológicas e nas estações do ano, uma a uma, que na Serra do Pilar as OdC são na média mais severas, além disto, as mesmas oscilam mais entre os extremos. É possível observar que o maior extremo em ambas as estações meteorológicas ocorreu no mês de julho, as duas com 7,2°C de  $S_m$  (fig. 9).

Ano a ano, a estação de Serra do Pilar exibe OdC, na média, mais severas. Nesta estação meteorológica o ano com a maior  $S_m$  foi o de 2003 com 4,3°C, que em agosto registrou uma onda de 4,8°C de  $S_m$ . Diversas pesquisas mostram como esta OdC de 2003 foi um evento sem precedentes (e.g. Marto, 2005; Montero, 2010; Botelho, Ganho, 2012; Cunha e Leal, 2013; Mateus, 2014) coincidindo com o observado aqui. Esta OdC de agosto também foi detectada na estação de Pedras Rubras, com 4,9°C de  $S_m$ , ou seja, um pouco acima de Serra do Pilar, todavia, as  $S_m$  das outras ondas em 2003 levaram a média anual (3,4°C) para baixo (fig. 9).

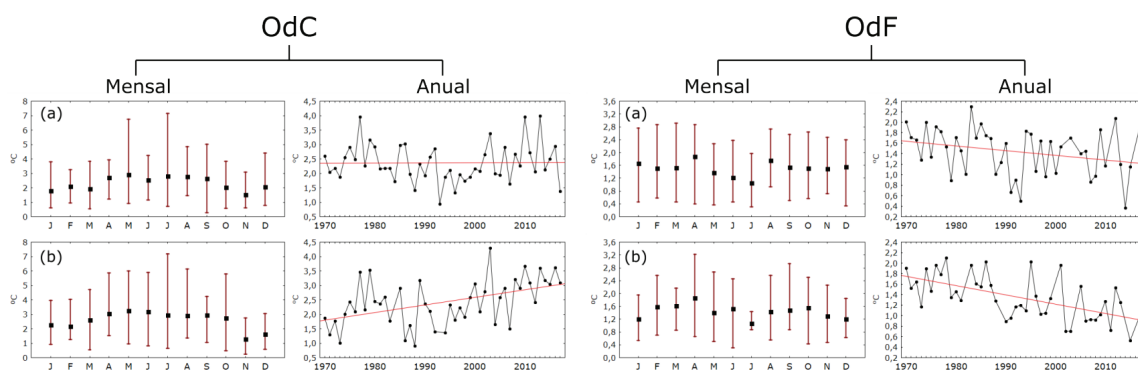
Na primavera, em ambas as estações meteorológicas, abril é o mês com maior severidade média ( $S_m$ ) nas OdF, com 1,9°C para Pedras Rubras e também para Serra do Pilar. No inverno a  $S_m$  de ambas as estações meteorológicas é similar, contudo, na de Pedras Rubras é o mês de janeiro que exibe a maior  $S_m$  (1,7°C), enquanto

na da Serra do Pilar foi fevereiro (1,6°C). No outono, com exceção do mês de novembro na Serra do Pilar, todos os meses em ambas as estações exibiram a mesma  $S_m$ , que foi de 1,5°C. Diante do verão, em Pedras Rubras a maior  $S_m$  ocorreu em agosto, com 1,7°C, ao passo que na Serra do Pilar foi em junho, com 1,5°C de  $S_m$ . Embora sejam semelhantes, a  $S_m$  entre as estações do ano comparadas entre as duas estações meteorológicas é ligeiramente superior em Pedras Rubras, ou seja, as OdF são um pouco mais severas, na média, nesta localidade. Outra constatação é a de que os extremos na de Pedras Rubras parecem oscilar mais ao longo do ano (fig. 9).

Anualmente, as OdF na estação Serra do Pilar estão ficando, na média, menos severas com o passar dos anos, quando comparada a Pedras Rubras. Na Serra do Pilar os anos de 1978, 1983 e 1995 demonstram uma  $S_m$  praticamente idênticas, sendo 2,1°C em 1978 e 2,0°C nos demais. A OdF marcante de fevereiro de 1983 em Portugal, referenciada em outras pesquisas (e.g. Cunha, Leal, 2013; Mateus, 2014) também foi detectada aqui, nota-se como em Pedras Rubras o ano de 1983 é aquele com a maior  $S_m$ , com 2,3°C (fig. 9). Na Serra do Pilar tal ano não aparece como o de maior  $S_m$ , pois outras OdF foram detectadas em meses distintos, fazendo com que a média anual ficasse menor do que em 1978, entretanto, analisando onda a onda, os eventos de fevereiro e maio de 1983, na Serra do Pilar, marcaram uma  $S_m$  de ~2,7°C, valor maior do que o verificado em Pedras Rubras (fig. 9).

#### Tendências dos parâmetros analisados

À frente das tendências lineares calculadas estatisticamente por meio do teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), ao nível de significância de  $\alpha = 5\%$ , para Pedras Rubras observa-se que, anualmente, as OdC estão ficando mais frequentes e mais duradouras.



**Fig. 9** - Severidade mensal e anual das OdC e das OdF para Pedras Rubras (a) e Serra do Pilar (b). A análise mensal mostra a severidade média das ondas (+) e o Mín-Máx (I). A análise anual mostra a severidade média dos eventos e a tendência linear (—) - 1970-2017. Obs.: os gráficos da análise da OdF estão em módulo.

**Fig. 9** - Monthly and annual severity of OdC and OdF for Pedras Rubras (a) and Serra do Pilar (b). The monthly analysis shows the average wave severity (+) and the Min-Max (I). The annual analysis shows the mean severity of events and the linear trend (—) - 1970-2017.

Note: the OdF analysis graphs are in module.



Porém, para a intensidade e para a severidade média não é possível tecer esta afirmação. Todavia, para as OdF há como assegurar que as mesmas estão com tendência de diminuição de frequência, de duração e de intensidade. A discussão sobre a tendência negativa das OdF foi melhor detalhada no item Intensidade das OdC e OdF. Já o parâmetro  $S_m$  para OdF em Pedras Rubras não tem tendência significativa, o que impossibilita afirmar que os eventos estão mais ou menos severos na média (TABELA VI).

Para Serra do Pilar, todos os parâmetros das OdC apresentam tendência positiva, indicando eventos mais frequentes, duradouros, intensos e severos. Com relação às OdF o único parâmetro que não mostra tendência significativa é a intensidade, isto é, as OdF na Serra do Pilar tendem a ser menos frequentes, duradouras e severas (TABELA VI).

Estes resultados estão de acordo com as projeções climáticas do IPCC, apresentadas no documento feito por Hoegh-Guldberg (2018). Além deste, Monteiro e Carvalho (2013) verificaram resultados semelhantes ao estudar os dados da Serra do Pilar entre 1901 e 2007. As tendências encontradas aqui coincidem, de forma geral, com estes estudos supracitados e também com outros que afirmam que o Mediterrâneo, incluindo obviamente Portugal, são áreas propensas à maior evidência dos extremos de calor, sem deixar de passar por episódios de frio de forma mais esporádica, com possibilidade de alta intensidade (Meehl, Tebaldi, 2004; Diffenbaugh, Giorgi, 2012; Cunha, Leal, 2013).

#### Casos notáveis

Dentro das 214 OdC e das 162 OdF encontradas na estação meteorológica de Pedras Rubras e das 218 OdC e das 161 OdF detetadas na Serra do Pilar, entre 1970 e 2017, alguns eventos são mais notáveis e por isso optou-se por apresentá-los em forma de ranking. Ademais, os resultados expostos anteriormente foram baseados em dados médios mensais e/ou anuais, por este motivo, detalhes de alguns eventos específicos não foram exibidos.

Com base nas três OdC mais duradouras, verifica-se que os eventos em Pedras Rubras possuem menor duração do que na Serra do Pilar. E depois, na Serra do Pilar, tais eventos aconteceram em anos mais próximos do presente (TABELA VII). No que diz respeito à intensidade média e à severidade média das OdC, nota-se que, de maneira geral, os eventos para esses dois parâmetros ocorreram nos anos mais recentes (2013 e 2016) em ambas as estações meteorológicas. Vale ressaltar a intensidade das OdC nas duas estações, em que, por exemplo, no episódio mais intenso na Serra do Pilar a  $T_{máx}$  média foi de 41,6°C e na estação Pedras Rubras de 37,1°C (TABELA VII).

Lourenço e Bernardino (2013, p. 129) concluem que, dentre outros fatores, as OdC contribuem para situações muito favoráveis à ignição e a propagação de incêndios

florestais em Portugal continental. A maior frequência e intensidade destes eventos nos anos mais recentes pode ter relação com o apontado por estes autores, que expõem que a década de 2001 a 2010 foi aquela com mais hectares de florestas queimados desde 1971, mas também pela intensificação dos processos de urbanização. Ademais, Monteiro *et al.* (2012), por exemplo, revelam que as OdC também impactam na sobremortalidade e na sobremorbidade dos seres humanos.

É possível notar no ranking para a duração das OdF existiu grande coincidência nos eventos detetados. Os episódios mais duradouros ocorreram, praticamente, nas mesmas datas. As três ondas mais intensas em cada uma das duas estações meteorológicas registraram temperaturas negativas, evidenciando o rigor do frio para o norte de Portugal e para a área estudada de forma mais específica. Nota-se que em Pedras Rubras, estação mais setentrional, as intensidades foram um pouco mais extremas. Já a severidade média nas duas estações são mais similares do que a intensidade, com valores oscilando entre 2,9°C e 3,5°C abaixo dos limiares estabelecidos (TABELA VIII).

#### Conclusões

A reconstrução das séries históricas e as estimativas para a  $T_{máx}$  e a  $T_{mín}$  utilizando as EMC e as EMA de Pedras Rubras e da Serra do Pilar, por meio da análise de RLS e das correlações, mostrou-se adequada ao objetivo proposto, tornando possível a obtenção de duas séries únicas e contínuas; além de proporcionar o estudo das OdC e as OdF entre 1970 e 2017. Todavia, nenhum método estatístico é tão eficiente quanto os dados reais observados e/ou registrados, por isso a importância de se ter o funcionamento ininterrupto das estações meteorológicas.

Embora existam diferenças nos parâmetros investigados e até mesmo nas tendências entre as duas estações meteorológicas analisadas, os resultados demonstram, de maneira geral, similaridade. Altas correlações encontradas apontam para homogeneidade dos sítios geográficos e para as condições climáticas em que as estações estão situadas. Para o Porto e para os concelhos vizinhos, observa-se que a porção mais setentrional da área de estudo, representada pela estação de Pedras Rubras, tende a apresentar maior intensidade nas condições de frio do que na porção austral, representada pela estação de Serra do Pilar.

Conclui-se que as OdC e as OdF detetadas aqui seguem a tônica daquilo que diversas investigações, organizações e instituições apontam, no que diz respeito aos extremos de temperatura, para o Mediterrâneo, ou seja, que os eventos de OdC tendem a ser mais evidentes do que os de OdF.

Estudos de extremos de temperatura, do ponto de vista da climatologia geográfica são essenciais em vários

TABELA VI - Resultados da análise de tendência anual - teste de Mann-Kendall - OdC e OdF.

TABLE VI - Results of the annual trend analysis - Mann-Kendall test - OdC and OdF.

Estação	Parâmetro	tau de Kendall		p-valor		Tendência	
		OdC	OdF	OdC	OdF	OdC	OdF
Pedras Rubras	Frequência	0,264	-0,658	0,013	<0,0001	positiva	negativa
	Duração	0,226	-0,580	0,025	<0,0001	positiva	negativa
	Intensidade	0,066	-0,285	0,510	0,006	ST	negativa
	Sev. méd.	-0,028	-0,197	0,784	0,061	ST	ST
Serra do Pilar	Frequência	0,497	-0,510	<0,0001	<0,0001	positiva	negativa
	Duração	0,479	-0,585	<0,0001	<0,0001	positiva	negativa
	Intensidade	0,231	-0,055	0,024	0,620	positiva	ST
	Sev. méd.	0,353	-0,409	0,0004	0,00014	positiva	negativa

TABELA VII - Ranking das OdC mais notáveis dentro dos parâmetros analisados (D, Int, Sm).

TABLE VII - Ranking of the most notable OdC within the analysed parameters (D, Int, Sm).

Estação	Ranking	Duração		Intensidade média		Severidade média	
		N.º de dias	Data de início	°C	Data de início	°C	Data de início
Pedras Rubras	1º	11	18/11/1981	37,1	06/08/2016	7,2	04/07/2013
	2º	11	07/02/1998	36,2	04/07/2013	7,0	06/08/2016
	3º	9	27/11/1979	35,5	26/07/1989	6,8	11/05/1979
Serra do Pilar	1º	13	19/10/2014	41,6	06/08/2016	9,3	06/08/2016
	2º	13	30/11/2016	37,9	03/07/2013	7,2	03/07/2013
	3º	11	27/09/2011	37,2	24/07/2010	6,6	05/04/2011

TABELA VIII - Ranking das OdF mais notáveis dentro dos parâmetros analisados (D, Int, Sm).

TABLE VIII - Ranking of the most notable OdF within the analysed parameters (D, Int, Sm).

Estação	Ranking	Duração		Intensidade média		Severidade média	
		N.º de dias	Data de início	°C	Data de início	°C	Data de início
Pedras Rubras	1º	12	30/10/1974	-2,0	26/12/1970	3,5	23/10/1974
	2º	12	27/11/1980	-1,7	07/01/1985	3,4	26/12/1970
	3º	10	08/02/1983	-1,5	25/01/1976	3,4	04/08/1986
Serra do Pilar	1º	13	30/10/1974	-1,2	14/01/1987	3,5	28/09/1974
	2º	10	27/11/1980	-1,1	26/12/1970	3,2	05/04/1975
	3º	10	10/02/1983	-1,1	15/01/1976	2,9	28/06/1972

setores da sociedade, entre eles: agricultura, pecuária, saúde, turismo e até mesmo para os incêndios florestais, principal desastre para Portugal continental. Assim, sugere-se que análises deste cunho sejam expandidas sob a ótica da dinâmica atmosférica e também na integração com dados dos setores supracitados.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) pelo fornecimento dos dados meteorológicos, ao Departamento de Geografia e ao Instituto Geofísico da Universidade do Porto (IGUP)

pela estrutura proporcionada para a realização da pesquisa. Ademais, o 1º e o 2º autor são gratos pela possibilidade de realização de intercâmbio de doutorado junto à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Monteiro na U.Porto, sem o qual o presente manuscrito não seria desenvolvido. O 2º autor agradece ainda à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por sua bolsa de doutorado (Processo n.º: 88882.438089/2019-01). Um agradecimento especial é feito ao *Acordo de Cooperação* existente entre a UFSC (Brasil) e a U.Porto (Portugal), concretizando o intercâmbio dos pesquisadores através do PPGG/UFSC e da FLUP.

## Referências bibliográficas

- Alves, M. P. A., Silveira, R. B., Bitencourt, D. P., Franke, A. E. (2017a). Onda de frio? Análise de diferentes métodos de identificação. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, p. 295-312.
- Alves, M. P. A., Silveira, R. B., Minuzzi, R. B., Franke, A. E. (2017b). The influence of the Antarctic Oscillation (AAO) on cold waves and occurrence of frosts in the State of Santa Catarina, Brazil. *Climate*, 5, 17, 13 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli5010017>
- Andrade, C., Fraga, H., Santos, J. A. (2014). Climate change multi-model projections for temperature extremes in Portugal. *Atmospheric Science Letters*, v. 15, n. 2, 149-156.
- Andriotti, J. L. S. (2003). *Fundamentos de Estatística e Geoestatística*. Ed. UNISINOS, São Leopoldo, 165 p.
- Baba, R. K., Vaz, M. S. M. G., Costa, J. (2014). Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 4, 515-526.
- Basarin, B., Lukić, T., Matzarakis, A. (2016). Quantification and assessment of heat and cold waves in Novi Sad, Northern Serbia. *International Journal of Biometeorology*, 60, 139-150. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1012-z>
- Bauer, L. (2007). *Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado* (Dissertação de Mestrado em Epidemiologia). Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 95 p.
- Bier, A. A., Ferraz, S. E. T. (2017). Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, 215-226.
- Bitencourt, D. P., Fuentes, M. V., Franke, A. E., Silveira, R. B., Alves, M. P. A. (2019). The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*. 40(4), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6345>
- Bitencourt, D. P., Fuentes, M. V., Maia, P. A., Amorim, F. T. (2016). Frequência, duração, abrangência espacial e intensidade das ondas de calor no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, 506-517.
- Botelho, F., Ganho, N. (2012). Episódios de frio extremo em Portugal Continental: análise comparativa de episódios de frio seco e de frio com neve e cotas baixas. *Revista Geonorte*, ed. especial, Manaus, v. 2, n. 4, 857-869.
- Capozzi, V., Budillon, G. (2017). Detection of heat and cold waves in Montevergine time series (1884-2015). *Advances in Geosciences*, 44, p. 35-51. DOI: <https://doi.org/10.5194/adgeo-44-35-2017>
- Ceccherini, G., Russo, S., Amezttoy, I., Romero, C. P., Carmona-Moreno, C. (2016). Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 16, 821-831. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-821-2016>
- Cunha, L. (2012). Riscos climáticos no centro de Portugal: uma leitura geográfica. *Revista Geonorte*, Ed. Esp., v. 4, n. 4, 105-115.
- Cunha, L., Leal, C. (2013). Ondas de calor e ondas de frio no município de Torres Novas. *Cadernos de Geografia Coimbra*, FLUC, n. 32, 1-93.
- Daveau, S. (1995). *Portugal Geográfico*. Edições João Sá da Costa, Lisboa, 223 p.
- Díaz, J., García-Herrera, R., Trigo, R. M., Linares, C., Valente, M.A., De Miguel, J. M., Hernández, E. (2006). The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it?. *International Journal of Biometeorology*, v. 50, n. 3, 159-166.
- Diffenbaugh, N. S., Giorgi, F. (2012). Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Climatic Change*, v. 114, n. 3-4, 813-822.
- Eischeid, J. K., Bruce Baker, C., Karl, T. R., Diaz, H. F. (1995). The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. *Journal of Applied Meteorology*, v. 34, n. 12, 2787-2795.
- Ely, D. F., Dubreuil, V. (2017). Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná - Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, 553-569.
- Ferreira, P. M. (2017). *Alterações climáticas e desenvolvimento*. Fundação Fé e Cooperação (FEC) - Instituto Marquês de Valle Flôr, Lisboa, 154 p. Disponível em: <https://www.imvf.org/wp-content/uploads/estudoAlteracoesClimaticas.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.
- Fino, A. R. F. (2018). *Avaliação de alguns elementos climáticos na região do Ribatejo*. Instituto Politécnico de Santarém (Dissertação de Mestrado em Agricultura Sustentável), Instituto Politécnico de Santarém, Santarém, 77 p. Disponível em: <https://repositorio.ipsantarem.pt/bitstream/10400.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2019.
- Firpo, M. Â. F., Sansigolo, C.A., De Assis, S.V. (2012). Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 1, p. 95-106.
- Founda, D., Papadopolous, K. H., Petrakis, M., Giannakopolous, C., Good, P. (2004). Analysis of mean, maximum, minimum temperature in Athens from 1897 to 2001 with emphasis on the last decade:

- trends, warm events, and cold events. *Global and Planetary Change*, v. 44, n. 1-4, 27-38.
- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P. M., Gleason, B., Haylock, M., Tank, A.K., Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, v. 19, n. 3, 193-212.
- Geirinhas, J. L., Trigo, R. M., Libonati, R., Castro, L. C. O., Peres, L. F. (2018). Caracterização climática de ondas de calor no Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 41(3), 333-350.
- Geirinhas, J. L., Trigo, R. M., Libonati, R., Coelho, C. A., Palmeira, A.C. (2017). Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. *International Journal of Climatology*, 38(4), 1760-1776.
- Guerreiro, V. I. V. (2011). *Mortalidade e conforto bioclimático em Coimbra: estudo da vulnerabilidade das populações ao frio*. (Dissertação de Mestrado em Geografia Humana). Universidade de Coimbra, Coimbra, 170 p.
- Hamed, K. H., Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 182-196.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9 p.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R., Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, v. 18, n. 1, 107-121.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.L., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R., Zhou, G. (2018). Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em: 06 jun. 2019.
- INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2011). Censos: Censo 2011. Disponível em: [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos2011\\_apresentacao&xpid=CENSOS](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos2011_apresentacao&xpid=CENSOS). Acesso em: 03 jun. 2019.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- IPMA - INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA (S/D). *Clima: Normais Climatológicas*. Disponível em: [www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/](http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/). Acesso em: 06 jun. 2019.
- Kazmier, L. J. (1982). *Estatística aplicada à economia e administração*. McGraw-Hill, 376 p.
- Keevallik, S., Vint, K. (2015). Temperature extremes and detection of heat and cold waves at three sites in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, v. 64, n. 4, 473-479.
- Kemp, W. P., Burnell, D. G., Everson, D. O., Thomson, A. J. (1983). Estimating missing daily maximum and minimum temperatures. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22(9), 1587-1593.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation measures*. Charles Griffin: London, U. K., 220 p.
- Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Zerefos, C. S., Türkeş, M., Luterbacher, J. (2010). Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, v. 37, n. 4, 5 p.
- Lourenço, L., Bernardino, S. (2013). Condições meteorológicas e ocorrência de incêndios florestais em Portugal Continental (1971-2010). *Cadernos de Geografia*, n. 32, 105-132.
- Mann, H. B. (1945). Econometrica. *The econometric society*, v.13, n.3, 245-259.
- Marto, N. (2005). Ondas de calor: impacto sobre a saúde. *Acta Medica Portuguesa*, v. 18, 467-474.
- Mateus, C. (2014). *Ondas de calor e ondas de frio em Coimbra: impactes na mortalidade da população* (Dissertação de Mestrado em Geografia Física). Universidade de Coimbra, 112 p.
- Meehl, G. A., Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21<sup>st</sup> Century. *Science*, 305, 994-997.
- Mello, Y. R., Kohls, W., Oliveira, T.M.N. (2017). Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. *Boletim de Geografia*, Maringá, v. 35, n. 1, 112-121.

- Monteiro, A. (1993). *O clima urbano do Porto. Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território (Tese de Doutoramento em Geografia Física)*. Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto, 436 p.
- Monteiro, A., Carvalho, V. (2013). Uma abordagem metodológica para avaliação de eventos climáticos extremos. In: Amorim, M. C. T. de., Sant'Anna Neto, J. L., Monteiro, A. (org). *Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso*. 1ª edição. São Paulo: Outras expressões - Geografia em Movimento, 117-142.
- Monteiro, A., Fonseca, L., Almeida, M., Sousa, C., Velho, S., Carvalho, V. (2012). *Atlas da saúde e da doença - vulnerabilidades climáticas e socioeconómicas na Grande Área Metropolitana do Porto e Concelho do Porto*. Volume I, 167 p. Disponível em: [https://www.academia.edu/10479376/ATLAS\\_DA\\_SA%C3%9ADEe\\_CLIMA\\_VOL1\\_e-book](https://www.academia.edu/10479376/ATLAS_DA_SA%C3%9ADEe_CLIMA_VOL1_e-book). Acesso em: 07 jun. 2018.
- Monteiro, A., Madureira, H., Fonseca, L., Gonçalves, P. (2018). *O(s) clima(s) de Gaia*. FLUP, Porto, 59 p.
- Monteiro, C. A. F. (1963). *O clima da Região Sul, Geografia do Brasil, Grande Região Sul*. Rio de Janeiro: IBGE, 114-166. Disponível em: <http://www.abclima.ggf.br/publicacoes.php>. Acesso em: 07 jun. 2019.
- Montero, J. C., Mirón, I. J., Criado, J. J., Linares, C., Díaz, J. (2010). Comparison between two methods of defining heat waves: a retrospective study in Castile - La Mancha (Spain). *Science of the Total Environment*, v. 408, n. 7, 1544-1550.
- Oliveira, A. D., Almeida, B. M., Cavalcante Jr., E. G., Sobrinho, J. E., Vieira, R. Y. M. (2010). Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal-SP. *Revista Caatinga*, v. 23, n. 4, 108-114.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5158>
- Ribeiro, A. A., Andrade Jr., A. S., Silva, E. M., Simeão, M., Bastos, E. A. (2017). Comparação entre dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas no estado do Piauí, Brasil. *IRRIGA*, v. 22, n. 2, 220-235.
- Rogerson, P. A. (2012). *Métodos estatísticos para geografia: um guia para o estudante*. Porto Alegre, 3ª ed.: Bookman, 348 p.
- Salviano, M. F., Groppo, J. D., Pellegrino, G. Q. (2016). Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, 64-73.
- Santo, F. E., Lima, M. I. P., Ramos, A. M., Trigo, R. M. (2014). Trends in seasonal surface air temperature in mainland Portugal, since 1941. *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 6, 1814-1837.
- Silveira, R. B., Mendonça, M., Franke, A. E., Bitencourt, D. P. (2018). Impactos das ondas de frio sobre a saúde pública no município de São Joaquim, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, 249-266.
- Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogt, J., Antofie, T. (2015). Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology*, 35, 4197-4209.
- Tardivo, G., Berti, A. (2013). A dynamic method for gap filling in daily temperature datasets. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(6), 1079-1086.
- Theoharatos, G., Pantavou, K., Mavarakis, A., Spanou, A., Katavoutas, G., Efstathiou, Mpekis, P., Asimakopoulos, D. (2010). Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects. *Environmental Research*, v. 110, n. 2, 152-161.
- UE - UNIÃO EUROPEIA (2016). *Sustainable development in the European Union: A statistical glance from the viewpoint of the UN Sustainable Development Goals*. Eurostat, Bruxelas, 168 p. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7745644/KS-02-16-996-EN-N.pdf/ae6b7f9-d06c-4c83-b16f-c72b0779ad03>. Acesso em: 05 jun. 2019.
- Unkašević, M., Tošić, I. (2015). Seasonal analysis of cold and heat waves in Serbia during the period 1949-2012. *Theoretical and Applied Climatology*, 120, 29-40.
- Uyanik, G. K., Güler, N. (2013). A study on multiple linear regression analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 106, 234-240.
- Von Storch, H. (1999). Misuses of statistical analysis in climate research. In: *Analysis of Climate Variability*. Springer, Berlin, Heidelberg, 11-26.
- WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2015). *Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events: draft version - first review by TT-DEWCE*. 62 p. Disponível em: <https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace2/documents/DraftversionoftheGuidelinesontheDefinitionandMonitoringofExtremeWeatherandClimateEvents.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2019.
- Yaguchi, S. M., Massignam, A. M., Ricce, W. S., Pandolfo, C. (2016). Preenchimento de falhas dos dados diários de temperatura máxima e mínima do ar. *Ciência e Natura*, v. 38, n. 3, 1419-1425.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259, 254-271.