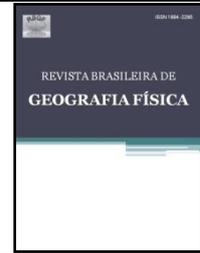




# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Ondas de calor nas capitais do Sul do Brasil e Montevidéu - Uruguai

Rafael Brito Silveira<sup>1,\*</sup>, Maikon P. A. Alves<sup>1</sup>, Marcelo Barreiro<sup>2</sup>, Daniel P. Bitencourt<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Climatologia Aplicada, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, Brasil, [rafael.brito@posgrad.ufsc.br](mailto:rafael.brito@posgrad.ufsc.br) - [maiconpassos@gmail.com](mailto:maiconpassos@gmail.com); <sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, [barreiro@fisica.edu.uy](mailto:barreiro@fisica.edu.uy); <sup>3</sup>Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, Centro Estadual de Santa Catarina, Florianópolis - SC, Brasil, [daniel.bitencourt@fundacentro.gov.br](mailto:daniel.bitencourt@fundacentro.gov.br).

Artigo recebido em 01/11/2018 e aceite em 29/01/2019

### RESUMO

Múltiplas partes do globo, possivelmente, passarão a ter dias e noites mais quentes e, com a elevação das temperaturas globais, há tendências de acréscimo do risco de eventos atmosféricos extremos, tais como as ondas de calor. O objetivo principal desse estudo foi verificar as características gerais das ondas de calor nas três capitais da região Sul do Brasil (Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre) e também em Montevidéu, capital do Uruguai. Esta análise baseou-se nos parâmetros: frequência, intensidade, duração e suas respectivas tendências. As ondas de calor foram identificadas em uma série de 30 anos de dados diários de temperatura média do ar. As análises de tendência foram averiguadas por meio do teste de Mann-Kendall a um nível de significância de  $\alpha = 5\%$ . Os resultados mostraram que todos os parâmetros nas quatro cidades apresentam tendências estatisticamente significativas e, com exceção da duração em Montevidéu, todas as demais são positivas. Para além do âmbito das tendências, analisando os parâmetros, comparativamente, conclui-se que Porto Alegre apresenta maior destaque nas médias. Além disto, afirma-se que o inverno é a estação com maior frequência de ondas de calor para todas as cidades.

Palavras-chave: onda de calor, subtropical, capitais, tendências, parâmetros.

## Heat waves in the capitals of southern Brazil and Montevideo - Uruguay

### ABSTRACT

Multiple parts of the globe are likely to have warmer days and nights, and with rising global temperatures, there is a tendency to increase the risk of extreme weather events, such as heat waves. The main objective of this study was to verify the general characteristics of heat waves in the three capitals of southern Brazil (Curitiba, Florianópolis and Porto Alegre) and also in Montevideo, capital of Uruguay. This analysis was based on the parameters: frequency, intensity, duration and their respective trends. Heat waves were identified in a series of 30 years of daily average air temperature data. Trend analyzes were performed using the Mann-Kendall test at a significance level of  $\alpha = 5\%$ . The results showed that all the parameters in the four cities present statistically significant trends and, except for the duration in Montevideo, all the others are positive. In addition to the scope of the trends, analyzing the parameters, comparatively, it is concluded that Porto Alegre presents greater prominence in the averages. In addition, it is claimed that winter is the season with the highest frequency of heat waves for all cities.

Keywords: heat wave, subtropical, capitals, trends, parameters.

### Introdução

As ondas de calor (OdC) e/ou os extremos de temperatura são objetos de estudo de diversos pesquisadores ao redor do planeta. Muitas análises integram aspectos atmosféricos e socioeconômicos, relacionando-os com impactos em distintos setores da sociedade, como, por exemplo, na saúde humana e na agropecuária (e.g., Wreford e Adger, 2010; Saravia et al., 2011;

Gronlund et al., 2014; Nascimento et al., 2014; Son et al., 2014; Åström et al. 2015; Ma et al., 2015; Teskey et al., 2015; Bitencourt et al., 2016; Mitchell et al., 2016; Geirinhas et al., 2018). O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), em seu último relatório, indica que múltiplas partes do globo, possivelmente, passarão a ter dias e noites mais quentes. Esta condição de

aumento dos eventos de calor extremo nos distintos continentes, durante o século XXI, é tida como provável (IPCC, 2013, p. 7, 20). A gradativa elevação das temperaturas globais acurada nas últimas cinco décadas (WMO, 2018) favorece o acréscimo dos riscos ligados aos eventos atmosféricos extremos, tais como as OdC (IPCC, 2014).

Conforme Marengo (2014), para todo o Brasil, as projeções sugerem aumento da temperatura e dos extremos de calor, bem como diminuição na frequência de geadas por conta do aumento da temperatura mínima, especialmente nos estados do Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Bidegain et al. (2015, p. 182) incluíram, junto com outras extensões territoriais, o Uruguai e áreas adjacentes do Sul do Brasil dentro do que chamaram de Sul da América do Sul. Os autores apontaram que quase todas as porções desta área, em 2014, apresentaram anomalias positivas consideráveis de temperatura do ar; vale ressaltar que as temperaturas foram comparadas com o período de 1981 a 2010. Blunden e Arndt (2015) mostraram para o Uruguai que o ano de 2014, na média, foi o segundo ano mais quente registrado desde 1961. O primeiro foi 2002, com uma anomalia positiva média de 0,6°C. Rusticucci e Renom (2008), a partir de dados observados no Uruguai e se utilizando de técnicas estatísticas, além do emprego de índices diversos, observaram que o país apresentou forte aumento das temperaturas noturnas (noites quentes), com mais significância no período de 1961 a 2002. Rusticucci et al. (2010), analisando dados observados e simulados entre 1961 e 2000 para toda América do Sul, também apontam as mesmas constatações, ou seja, de que as noites quentes estão mais evidentes. Estes resultados corroboram com as informações supracitadas do IPCC e também com a tônica de diversas outras pesquisas.

Selmo et al. (2016), utilizando dados do *International Disaster Database* (EM-DAT), apontaram que ocorreram 174 OdC em todo o mundo, vitimando 160.650 pessoas, entre os anos de 1900 e 2016. Silveira et al. (2017, p. 50) sugerem que, provavelmente, o EM-DAT tenha seus registros de extremos de temperaturas subnotificados, pois existem divergentes metodologias de identificação dos eventos e distintas escalas de notificação nos mais diferentes países, ou seja, tais números podem ser ainda mais expressivos a partir do momento em que se tem uma ótica mais detalhada. O estudo de Silveira et al. (2017) não teve como objetivo investigar se, de

fato, os eventos de temperaturas extremas são subnotificados, porém, questiona-se a divergência de informações publicadas por instituições de caráter mais local, como a Defesa Civil, e bancos de informações internacionais como o EM-DAT, por exemplo. Ademais, as OdC não obedecem uma mesma classificação, existem diversas; genericamente, são episódios de forte calor que ocorrem por uma sequência de dias consecutivos.

As localidades aqui avaliadas estão inseridas em uma janela de, aproximadamente, 10° de latitude (Figura 1a). Todavia, toda área está ao sul do Trópico de Capricórnio (~23,5°S), em condição subtropical que, de maneira geral, se estende entre 20° e 35° de latitude nos dois hemisférios. Florianópolis, Porto Alegre e Montevideu são capitais com clima Cfa, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, ou seja, clima mesotérmico úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (Köppen e Geiger, 1936; INUMET, 2018). Griffin (1973, p. 507) indica que, devido ao pequeno território do Uruguai e a semelhança das particularidades do relevo, o clima no país é essencialmente uniforme e que as temperaturas médias mensais aumentam de sudeste para noroeste, com pequenas diferenças ao longo da área. O autor ainda aponta que o país e, por consequência Montevideu, pode ser classificado como clima subtropical úmido (Cfa). Já Curitiba apresenta clima Cfb, ou seja, mesotérmico com verões frescos e com invernos tipicamente secos (Danni-Oliveira, 1999). Monteiro (1963, p. 114, 115) mostrou que a região Sul brasileira e, por conseguinte, o Uruguai, por suas posições subtropicais vinculadas às características geográficas, possuem aspectos mesotérmicos e forte amplitude anual. A porção subtropical do Brasil, assim como o Uruguai, está submetida também a sistemas atmosféricos de origem tropical, no caso do calor, as massas de ar quente.

Além da influência dos sistemas atmosféricos, as condições de tempo e clima de um determinado local são influenciadas por fatores geográficos. Esses fatores exercem papel importante na configuração climática, por vezes justificando e/ou explicando diferenças ou similaridades entre distintas áreas. Nas quatro localidades aqui analisadas isto não é diferente e estas inter-relações existem, ressaltando-se a importância dos fatores como: latitude, altitude, continentalidade, maritimidade e relevo (Monteiro e Mendonça, 2014; Monteiro e Silva, 2017).

Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre são, respectivamente, capitais dos estados do Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS). No último Censo Demográfico, estas cidades apresentavam uma população de, aproximadamente, 1,7 milhão, 421.000 e 1,4 milhão de habitantes, nesta ordem (IBGE, 2010). Já Montevidéu, capital federal do Uruguai e também do departamento homônimo, em 2011 continha uma população de, aproximadamente, 1,3 milhão de hab. (~40% de todo país) (INE, 2011). As quatro localidades são as mais populosas em seus contextos, excetuando-se de forma parcial Florianópolis, pois é o segundo município mais populoso de SC, pouco atrás de Joinville. Todavia, as quatro cidades possuem populações consideráveis, as quais podem apresentar impactos importantes em consequência de eventos extremos, tais como os extremos de calor.

Analisar as OdC nas capitais sul-brasileiras e na capital uruguaia justifica-se pelo fato de todas estarem inseridas na faixa subtropical da América do Sul; por possuírem estações meteorológicas com, relativamente, boa série de dados (Figura 1b) e; por serem cidades populosas em seus contextos regionais, fato de suma importância, pois as OdC podem representar impactos diretos para a saúde das populações e atividades diversas (e.g., Son et al., 2015; Guo et al., 2016; Kassebaum et al., 2016; Mazdiyasi et al., 2017).

O objetivo principal do estudo foi verificar as características gerais das OdC nas três capitais da região Sul do Brasil e também em Montevidéu no Uruguai (Figura 1a), analisando os seguintes parâmetros: frequência, intensidade, duração e suas respectivas tendências.

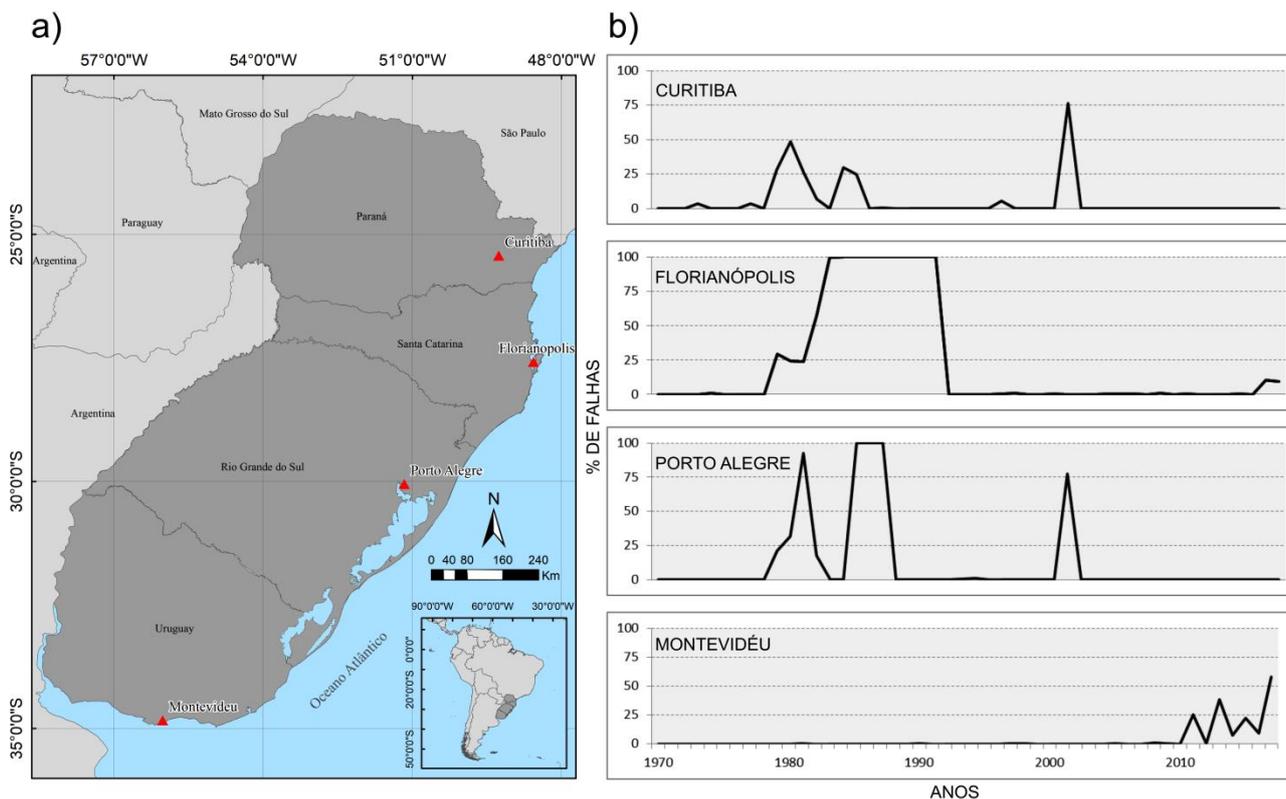


Figura 1. a) Localização das estações meteorológicas (▲ utilizadas nas capitais sul-brasileiras e em Montevidéu. b) Percentual de falhas anuais nas respectivas estações para a  $T_{méd}$ , entre 1970 e 2016.

## Material e métodos

As OdC foram identificadas por meio da média diária da temperatura do ar ( $T_{méd}$ ). Considerou-se OdC quando durante dois ou mais dias consecutivos a  $T_{méd}$  foi superior ou igual ao valor da temperatura climatológica diária ( $\overline{T_{cli}}$ )

somada a dois desvios padrões ( $\overline{S}$ ), ou seja, quando  $T_{méd} \geq (\overline{T_{cli}} + 2\overline{S})$ . Este método foi desenvolvido por Vavrus et al. (2006), originalmente, para identificar episódios de frio intenso durante a estação de inverno e, para tal, a fórmula se dá com sinais distintos:  $T_{méd} \leq (\overline{T_{cli}} - 2\overline{S})$ , também por dois

dias consecutivos ou mais. Outros estudos utilizaram o mesmo método para verificar as ondas de frio (OdF) no sul do Brasil (e.g., Alves et al., 2017; Silveira et al., 2018). O desvio padrão,  $\bar{S}$ , é dado pelo valor médio anual dos 366 (1º de janeiro a 31 de dezembro, considerando o dia 29 de fevereiro) desvios padrões diário. Assim, o desvio padrão encontrado para Curitiba (CWB) foi  $\bar{S} = 2,74^\circ\text{C}$ , Florianópolis (FLN) foi  $\bar{S} = 2,14^\circ\text{C}$ , Porto Alegre (POA) foi  $\bar{S} = 2,87^\circ\text{C}$  e Montevidéu (MVD) foi  $\bar{S} = 3,05^\circ\text{C}$ .

Os dados diários de temperatura média do ar ( $T_{méd}$ ) das localidades brasileiras foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Tabela 1). Já os dados de Montevidéu foram fornecidos pelo *Instituto Uruguayo de Meteorología* (INUMET) por meio de solicitação (CLIM 156/2018 - Exp. 2018-32-1-698). Todas as estações meteorológicas utilizadas no estudo são convencionais.

Tabela 1. Dados das estações meteorológicas utilizadas

Estação/Localidade	Coordenadas Geográficas		Altitude (m)	Base de dados
	Latitude (S)	Longitude (W)		
Curitiba (83842)	-25,430000	-49,260000	923,5	INMET
Florianópolis (83897)	-27,580000	-48,560000	1,8	INMET
Porto Alegre (83967)	-30,050000	-51,160000	47,0	INMET
Montevidéu - <i>Aeropuerto Carrasco</i>	-34,833333	-56,016667	32,8	INUMET

Inicialmente foram analisados os dados de  $T_{méd}$  diária entre os anos de 1970 e 2016, totalizando 47 anos de dados, porém, excluíram-se os anos que apresentaram 15% ou mais de falhas. Tais falhas podem ser visualizadas na Figura 1b. Após a exclusão dos anos com falhas, ainda assim, o conjunto de dados permaneceu com 30 anos, homogêneos, nas quatro localidades, sendo o período de: 1970-1978, 1992-2000, 2002-2010, 2012, 2014 e 2016. Ressalta-se também que, diariamente, nenhuma das estações teve mais do que três dias (10%) de falhas. Ou seja, por exemplo, dos trinta dias '1º de janeiro' analisados para verificar o limiar deste dia hipotético, nenhuma das estações teve mais do que três dias '1º de janeiro' faltantes.

A intensidade das OdC foi obtida a partir da temperatura média observada durante os dias do evento. As intensidades médias mensais das OdC representam os eventos encontrados no período e, conseqüentemente, as médias sazonais são referentes aos trimestres de cada estação do ano. Consideraram-se verão os meses de dezembro (do ano precedente), janeiro e fevereiro; outono: março, abril e maio; inverno: junho, julho e agosto e; primavera: setembro, outubro e novembro.

As análises estatísticas de tendência para frequência, intensidade e duração das OdC foram realizadas utilizando-se o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), através do modelo

linear, por meio do *software* XLSTAT (versão *trial*). A significância ( $\alpha$ ) para considerar uma hipótese nula ( $H_0$ ) ou uma hipótese alternativa ( $H_1$ ) foi estabelecida em 5% (p-valor). A hipótese nula ( $H_0$ ) indica que não há tendência na série analisada e a hipótese alternativa ( $H_1$ ) sugere que há tendência (Rogerson, 2012, p. 133). A utilização do *software* XLSTAT permitiu incluir na análise todos os 47 anos de forma constante (1970-2016), sendo assim a sequência temporal não foi negligenciada, mesmo existindo anos sem dados.

O teste de Mann-Kendall é um teste sequencial, robusto e não paramétrico utilizado em muitos estudos que analisam dados de elementos ambientais e suas possíveis tendências (e.g., Luiz et al., 2012; Ávila et al., 2014; Da Silva et al., 2015; Fathian et al., 2016; Salviano et al., 2016; Ely e Dubreuil, 2017). Tal teste é aplicado para verificar se certa série de dados apresenta tendência temporal de modificação estatisticamente significativa. Além disto, por ser um teste não paramétrico, não é necessário que os dados tenham distribuição normal (Von Storch, 1999; Yue et al., 2002).

Entretanto, para uma aplicação mais efetiva do teste de Mann-Kendall é importante verificar a autocorrelação dos dados da série. Se os dados forem autocorrelacionados ou serialmente correlacionados, a capacidade de avaliação correta do significado da tendência do mesmo é

comprometida; deste modo, pode existir aumento da probabilidade de se encontrar tendências, quando, deveras, não ocorreria ou vice-versa (Hamed e Rao, 1998; Luiz et al., 2012; Cera e Ferraz, 2015; Salviano et al., 2016).

A viabilidade de autocorrelação (correlação serial) para os parâmetros estudados nas diferentes cidades foi examinada mediante a função de autocorrelação do Action Stat (versão *trial*), por meio do método de identificação de Análise Gráfica ( $\hat{\rho} \times t$ ). De antemão é válido apontar que as análises mostraram que todos os parâmetros (frequência, intensidade e duração) para as quatro localidades possuem ausência de autocorrelação, ou seja, que não há padrão algum evidente de relacionamento entre a variável analisada pelo tempo. Sendo assim, segundo

Hirsch et al., (1982) tais verificações tornam o teste de Mann-Kendall aplicável e mais efetivo.

## Resultados e discussão

### Limiaries

Os limiaries diários para que um dia seja considerado quente e, talvez, integre uma OdC podem ser visualizados na Figura 2. Com base nesses limiaries, é possível verificar que as quatro cidades exibem variabilidade intrasazonal, destacando-se os meses de verão e inverno. As estações de transição, de maneira geral, apresentam em sua primeira metade características da estação antecessora e no segundo período da estação sucessora (Monteiro, 1963).

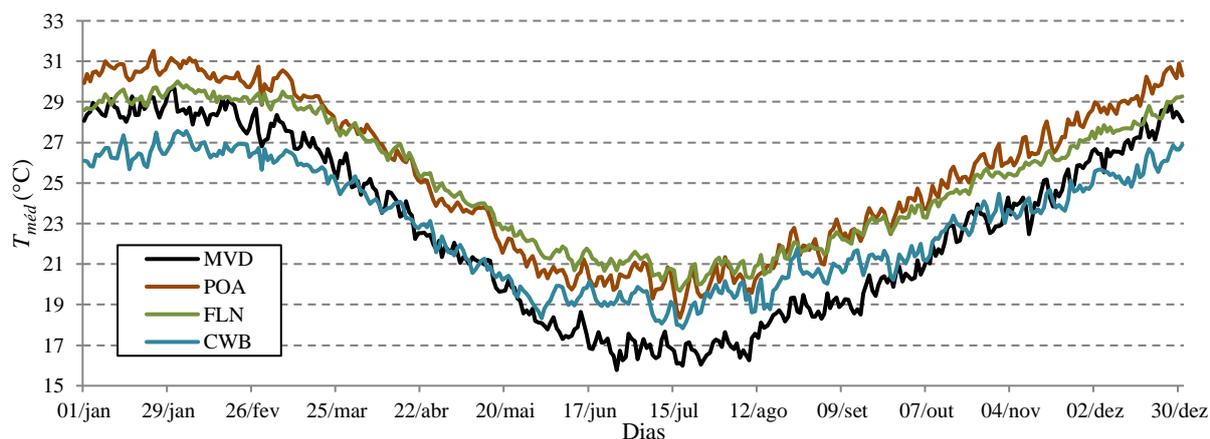


Figura 2. Limiaries diários de  $T_{méd}$  (°C) para classificação de dia quente (366 dias/valores).

MVD, dentre as quatro localidades, do final do outono até meados da primavera, exibe os menores limites, com o dia 26 de junho apresentando o limiar de 15,8°C. Ou seja, para ser considerado um dia quente, a  $T_{méd}$  deve ser igual ou superior a este valor. Este é o menor limiar de toda série entre os quatro locais. Isto se deve a cidade estar em maior latitude ( $\sim 35^{\circ}\text{S}$ ), sendo atingida de maneira mais intensa e frequente pelos sistemas polares transientes (Cavalcanti e Kousky, 2009). Por outro lado, CWB nos meses de verão é a localidade com os menores patamares. Nesse caso, o fator altitude contribui para que o período estival na capital paranaense tenha temperaturas mais amenas em relação às demais, pois está a aproximadamente 1000 m acima do nível do mar, típico de clima tropical de altitude (Danni-Oliveira, 1999).

FLN não apresenta limiaries mais rigorosos que POA, pois é um município costeiro, sendo assim, a maritimidade é o principal fator responsável pela ação reguladora da temperatura (Monteiro e Mendonça, 2014), contribuindo para que os verões e os invernos, de maneira geral, sejam menos intensos que em POA. Entre os quatro locais analisados, POA em grande parte dos dias apresenta os limiaries mais elevados, sendo o dia 23 de janeiro o mais rigoroso de toda série entre as quatro localidades. Para que seja considerado um dia quente e, possivelmente, integre uma OdC, a  $T_{méd}$  do dia em questão deve ser igual ou superior a 31,2°C. O fator continentalidade justifica esta característica (Gobo et al., 2015), além disto, POA não exibe as mesmas particularidades das outras três localidades, ou seja, não está numa altitude elevada; não é costeira, mesmo estando nas

cercanias da Lagoa dos Patos (Figura 1a) e; está em menor latitude que MVD (Tabela 1).

*Frequência*

Observa-se que o número de OdC vem aumentando ao longo dos anos em todas as localidades (Figura 3). MVD e POA são as cidades que apresentam com mais evidência a ocorrência de OdC desde o início da série, a partir dos anos de 1970, as duas cidades inclusive se assemelham quanto ao padrão de distribuição das OdC ao longo dos anos. Na capital uruguaia foram registradas 77

OdC no decurso dos 30 anos, o que estabelece uma média de 2,6 OdC/ano; todavia, observando o gráfico, com relação a linha de tendência, Montevidéu é a que exhibe a menor ascensão ao longo dos anos, passando de pouco mais de duas para três OdC (Figura 3). POA, tal como CWB, é a cidade que, visualmente, registra a tendência mais evidente de aumento de casos de OdC ao longo da série, passando de, quase 1,5 para quatro OdC. Ao total, POA registrou 78 OdC nos 30 anos, configurando uma média de 2,6 OdC/ano, assim como Montevidéu (Figura 3).

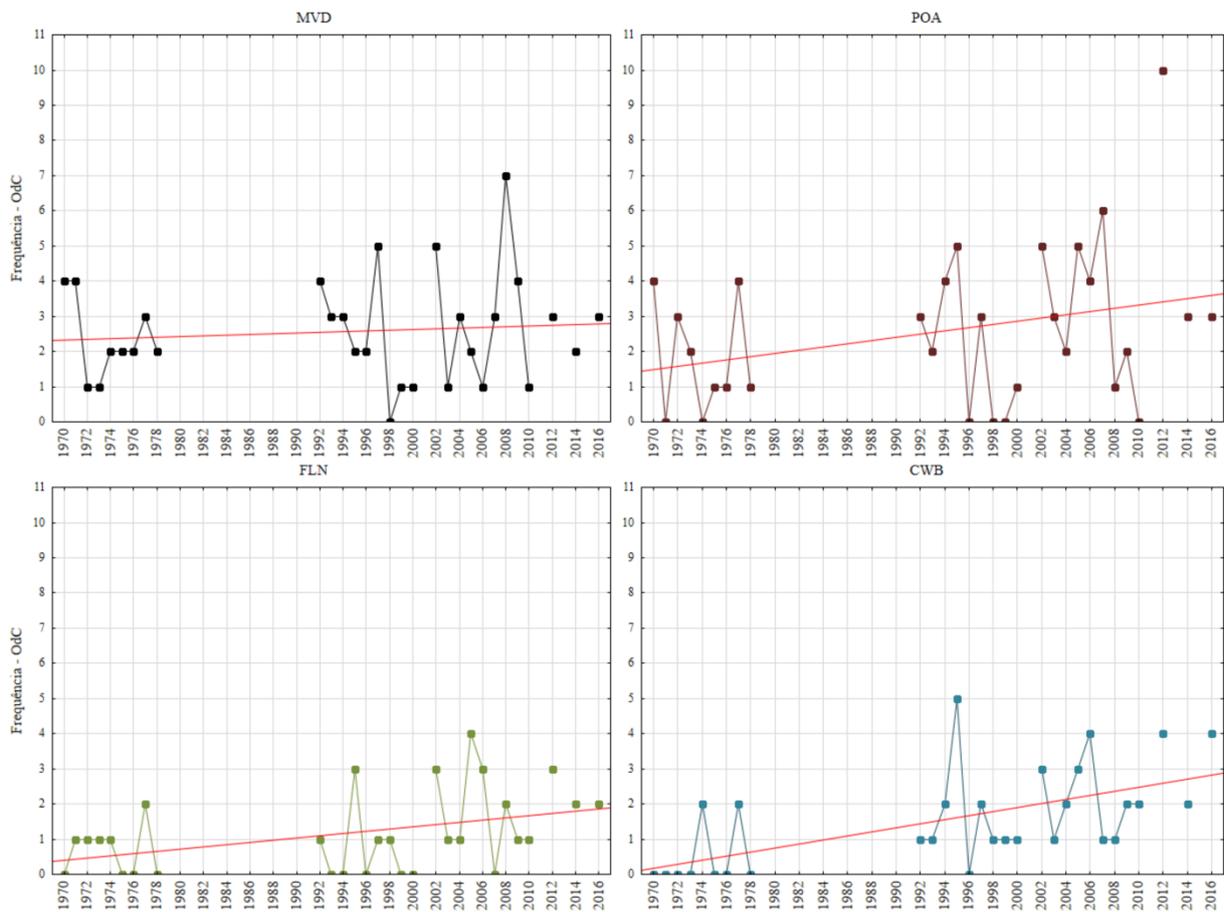


Figura 3. Frequência anual das OdC por localidade e suas respectivas linhas de tendência (—) linear ao longo da série. Obs.: os anos de 1979-1991, 2001, 2011, 2013 e 2015 embora estejam nos gráficos, são anos que foram excluídos para a análise por conta das falhas com base no critério adotado.

FLN e CWB são semelhantes quanto ao padrão de ocorrência das OdC ao longo da série. Nos anos iniciais o registro destes eventos foi pouco notável, porém, já com característica de aumento de frequência. A segunda metade dos anos noventa, nas quatro cidades, registrou uma leve

diminuição no número de OdC, passando a aumentar novamente a partir do início dos anos 2000 (Figura 3).

FLN exhibe uma tendência gráfica de ocorrência de OdC partindo de, aproximadamente, 0,3 para duas OdC/ano, incremento superior a

MVD, por exemplo; por outro lado, o total de OdC ao longo da série foi de 35 eventos, ou seja, uma média de, quase, 1,2 OdC/ano, número notavelmente menor que MVD e POA. CWB, município de menor latitude entre os quatro, registrou em toda série um total de 47 OdC, cerca de 1,6 OdC/ano. Acerca da tendência gráfica das OdC, a capital do PR é o local que exibe maior aumento, passando de ~0,1 OdC no começo da série para quase três OdC/ano (Figura 3).

Corroborando com as linhas de tendências plotadas nos gráficos acima (Figura 3), por meio do teste de Mann-Kendall, é possível observar que nas quatro cidades as respectivas tendências são significativas, todas elas positivamente (Tabela 2). Ou seja, nas quatro capitais as hipóteses são alternativas ( $H_1$ ), indicando que as OdC tendem a ser mais frequentes.

Tabela 2. Resultados da análise de tendência a partir do teste de Mann-Kendall para frequência das OdC, ao nível de significância de  $\alpha = 5\%$

Local	nSD		tau de Kendall	p-valor	Hipótes e
	n	F			
MV	4			<0,000	
D	7	30	0,651	1	$H_1$
	4			<0,000	
POA	7	30	0,629	1	$H_1$
	4				
FLN	7	30	0,439	0,004	$H_1$
	4				
CWB	7	30	0,535	0,0003	$H_1$

nSDF = observações sem dados faltantes.

Ressalta-se que, para a aplicação do teste de Mann-Kendall nos três parâmetros examinados, os anos com dados faltantes não foram excluídos, com a finalidade de considerar a importância da sequência temporal nos resultados.

Marengo e Camargo (2007) averiguaram que na região Sul do Brasil a ocorrência de episódios de El Niño mais intensos e mais frequentes durante as décadas de 1980 e 1990 colaboraram para o aumento da temperatura do ar nestes 20 anos, promovendo a maior ocorrência de OdC. Embora não seja possível verificar a frequência de OdC na década de 1980 nesta pesquisa, há como notar que nos anos de 1990 tais episódios foram mais frequentes, de maneira geral, quando comparados aos anos anteriores, indo ao encontro daquilo apresentado por Marengo e Camargo (2007). Rosso et al. (2015), ao estudarem as tendências e as mudanças na temperatura do ar no Sul do Brasil de forma decadal entre os anos de 1961 e 2011, apontaram que a maior parte da região

apresentou aumentos estatisticamente significativos nas temperaturas mínimas e máximas. O maior aumento na temperatura máxima ocorreu de 1990 para 2000. Conforme supracitado, buscando a homogeneidade da série aqui analisada, excluam-se alguns anos de dados por conta das falhas, por isto a década de 1980 não aparece nas análises gráficas. Nas estações meteorológicas brasileiras estudadas, tais anos estavam comprometidos (Figura 1b). Mesmo sem a década de 1980, ainda assim, os resultados mostram tendência crescente do número de OdC nas cidades estudadas. Corroborando com os estudos citados acima, Ceccherini et al. (2016) também apontam que a partir de 1995 ocorreram mais OdC na América do Sul, especialmente entre 2010 e 2014. Os autores ainda destacaram o período de 2013/2014 para o Uruguai e o Sul e Sudeste do Brasil, citando que nesta ocasião tais localidades foram atingidas por OdC intensas.

Firpo et al. (2012), similarmente ao estudo de Marengo e Camargo (2007), observaram que em anos de El Niño ocorre aumento na frequência das OdC no RS. Bitencourt et al. (2016) também observaram maior ocorrência de OdC durante as fases de El Niño na área 3 do Brasil (ao sul de 15°S), seguido pela fase de neutralidade e posteriormente durante os anos de La Niña; embora exista esta constatação, ela não fica tão evidente quanto nos estudos de Marengo e Camargo (2007) e Firpo et al. (2012). Bitencourt et al. (2016) estudaram as OdC entre 1961 e 2014 no Brasil e verificaram claramente maior frequência das OdC nos últimos anos. Os autores ainda indicam que o aumento foi claro durante a fase quente da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), assim como observado por Streck et al. (2011) para o RS. Todavia, nos últimos anos, mesmo em uma fase fria da ODP, tem aumentado significativamente a frequência das OdC.

#### *Frequência sazonal e intensidade média*

No que diz respeito à ocorrência das OdC por estação do ano, fica evidente que o inverno é a estação com maiores registros nas quatro cidades (Figura 4). Percentualmente, o destaque fica para POA, com 53,8% (42) das OdC ao longo da série ocorrendo no inverno, seguido por FLN com 42,8% (15), posteriormente CWB com 42,5% (20) e, por último, MVD com 41,5% (32). Evidentemente que as OdC no inverno não são os eventos mais intensos, ou seja, eventos com temperaturas altas extremas. Exclusivamente nos

meses de inverno, POA possui uma intensidade média de 22°C, FLN de 21,7°C, CWB de 20,1°C e MVD de 19,6°C (Figura 4). Ainda que as diferenças médias de intensidade entre as cidades sejam pequenas, as mesmas podem ser explicadas também pelos fatores geográficos, com MVD expondo a menor média devido à maior latitude; seguido por CWB, que dentre as quatro é a de maior altitude; posteriormente FLN, com influência termorreguladora da maritimidade e;

com a média mais elevada, POA, que não apresenta as três características dos fatores citados de forma tão evidente. É importante ressaltar que as OdC no inverno são, efetivamente, “períodos” ou “eventos” de maior calor em relação às condições climáticas da época, mesmo com toda subjetividade intrínseca à sensação de calor. Esse aspecto também foi abordado por Alves et al. (2017b, p. 308), porém para as ondas de frio estivais em SC.

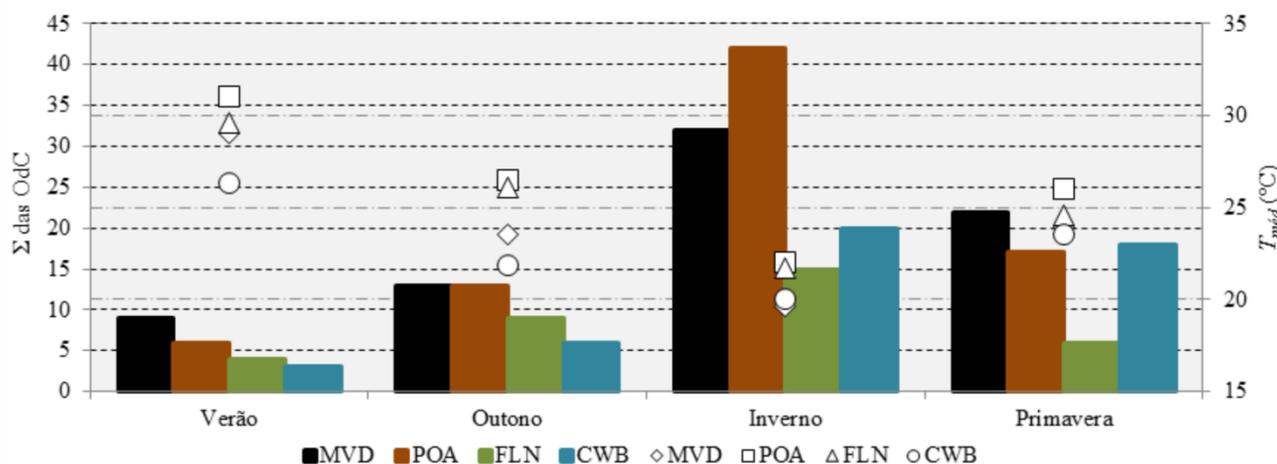


Figura 4. Soma ( $\Sigma$ ) das OdC por estação do ano ao longo dos 30 anos analisados para cada localidade (eixo principal) e intensidade média das OdC por estação do ano (eixo secundário).

De maneira geral, as estações de transição são as que apresentam as somas de OdC e também as intensidades intermediárias. As intensidades durante o outono entre as quatro cidades apresentam variações mais significativas comparadas entre si. Na primavera as intensidades médias são mais semelhantes. Em termos de ocorrência sazonal, a primavera anota mais registros, excetuando-se FLN que no outono contém mais eventos comparativamente. MVD e POA registraram o mesmo número de OdC (13) no outono durante os 30 anos de dados (Figura 4) e, percentualmente, são praticamente iguais (16,9% - MVD e 16,7% - POA). Embora sejam semelhantes em ocorrência, são distintas em intensidade. As OdC em POA durante o outono têm uma intensidade média de 26,5°C e em MVD de 23,6°C. As seis OdC ocorridas em CWB durante o outono representam 12,8% dos registros nesta localidade, com uma intensidade média de 21,9°C, a mais baixa entre as quatro cidades.

FLN exibiu mais OdC no outono do que na primavera, correspondendo a 25,7% dos eventos encontrados na capital catarinense; a intensidade média destas ondas é de 26,1°C, apenas 0,4°C abaixo de POA. Chama a atenção na

primavera o fato de em CWB o número de OdC ser próximo ao registrado no inverno, com 18 OdC ou 38,3% dos eventos. A intensidade média das OdC em CWB nesta estação é de 23,5°C, ou seja, tais eventos são 1,6°C mais quentes do que no outono. MVD, em geral, é a localidade que apresenta maior quantidade de OdC na primavera, com 28,6% de seus casos ocorrendo nesta estação, com intensidade média de 24°C. POA exhibe 17 eventos anotados ao longo dos anos em sua série ou 21,8% e, com 26°C de intensidade, a maior entre os quatro locais. FLN na primavera apresenta o menor percentual de OdC, com apenas 17,1% do total de registros e uma intensidade média de 24,6°C.

O verão é a estação com menos registros de OdC em todas as localidades, acompanhando coincidentemente a ordem latitudinal no que diz respeito ao número geral de casos. Ou seja, a cidade de maior latitude foi também aquela que exibiu mais OdC e vice-versa. Contudo, percentualmente (para os dados de cada cidade individualmente) a ordem latitudinal não obedece ao mesmo padrão em números gerais. MVD foi aquela com mais OdC, nove no total, representando 13% do total; depois POA com seis

OdC (7,7% do total); posteriormente FLN com quatro OdC (14,4% do total) e; por último, CWB com três OdC (5,9% do total). Mesmo sendo a estação com menor número de OdC encontradas nas quatro localidades, tais casos chamam a atenção pelo rigor na intensidade média. As três cidades situadas dentro da classificação climática Cfa, apresentam intensidades médias elevadas: POA: 31,1°C; FLN: 29,6°C e MVD: 29,1°C. CWB é a que apresenta a menor intensidade média entre todas, com 26,3°C, menor que POA no outono, por exemplo, que tem intensidade média de 26,5°C (Figura 4). Isto se deve ao fato da altitude em que CWB está inserida e, conseqüentemente, na classificação climática Cfb, típica de verões frescos.

Como supracitado, notavelmente, a estação de inverno foi a que teve o maior registro de OdC em todas as cidades. Firpo et al. (2012), para o Rio Grande do Sul, também verificaram que a estação invernal é aquela com maior ocorrência de OdC. Os autores justificam tal ocorrência assinalando que durante esta estação a atmosfera está mais instável e sujeita a mudanças de temperatura. Reis (2017, p. 28) também encontrou os mesmos resultados para a área subtropical do Brasil. Outras pesquisas, ao analisarem os extremos de temperatura para áreas da América do Sul, revelam aquecimento no sudeste sul-americano, em particular para áreas que abrangem as quatro cidades aqui analisadas (Rusticucci e Barrucand, 2004; Marengo e Camargo, 2007; Rusticucci e Renom, 2008). Estas pesquisas apontam que os aquecimentos ocorrem tanto no verão quanto no inverno, com aquecimento mais agudo durante a estação invernal do que a estival. Por outro lado, Bitencourt et al. (2016), por terem estipulado a intensidade como um fator determinante à identificação dos eventos, averiguaram que as maiores frequências das OdC ocorrem na primavera, onde as condições de tempo são dominadas por sistemas meteorológicos transientes.

Reis et al. (2017), ao estudarem os mecanismos físicos relacionados às OdC na região subtropical do Brasil entre 1983 e 2013, assinalam que quando há o estabelecimento de um bloqueio atmosférico, os sistemas transientes tendem a se propagar mais lentamente do que o habitual, podendo ficar estacionários e, por conseqüência, prolongar as condições meteorológicas sobre determinada região, incluindo as de massa de ar quente. Durante os 31

anos estudados por Reis et al. (2017) foram encontradas 54 OdC na área similar a da presente análise. Utilizando a técnica de análise de composto para tais casos, as autoras verificaram que as situações de bloqueios atmosféricos sobre a região sudeste do Oceano Pacífico e também no Atlântico sul, impedem o avanço das frentes frias e a atuação da massa polar durante as estações de transição e especialmente no inverno, favorecendo, portanto, a ocorrência de OdC nestas estações do ano. Atrelado a isto, a interação de tal situação com a Alta Subtropical do Atlântico Sul é o que mantém as temperaturas do ar em ascensão na região subtropical do Brasil e no Uruguai. As condições de bloqueio atmosférico ao sudeste do Pacífico são apontadas também em outros estudos (e.g., Rusticucci e Vargas, 1995; Fuentes, 1997; Damião et al., 2005; Ambrizzi et al., 2009), justificando os resultados sazonais aqui verificados.

Alves et al. (2016) também observaram que, a OdC estudada por eles, foi condicionada por uma situação de bloqueio atmosférico, porém, tal evento se configurou durante o verão de 2014, mantendo a região Sul vinculada a uma massa de ar quente e seco. Selmo et al. (2016) analisaram a OdC ocorrida entre 14 e 21 de abril de 2016 e, por meio de outras fontes, também constataram que uma condição de bloqueio atmosférico foi responsável por manter a área sob uma forte massa de ar quente e seco, impedindo a passagem de sistemas instáveis. Como visto, as situações de bloqueio atmosférico são destacadamente responsáveis em grande parte pela ocorrência das OdC no Brasil e na presente área de estudo dentro do subtropical da América do Sul. Neste sentido, uma importante constatação feita por Marques e Rao (1996), aponta que a frequência de bloqueios na América do Sul é maior durante os meses de inverno e primavera. Fuentes (1997), também para as cercanias da América do Sul, indicou frequências maiores nos meses de outono e inverno. Ou seja, ambos os estudos indicam o período invernal e uma estação de transição (primavera ou outono) como as que mais ocorrem bloqueios, o que também fornece maiores subsídios para explicar os resultados aqui exibidos, denotando o inverno como a estação com mais casos de OdC, seguida, de forma geral, pela primavera e posteriormente pelo outono (Figura 4).

Além dos bloqueios atmosféricos, outras situações podem contribuir para a ocorrência de altas temperaturas. Cerne e Vera (2011)

constataram que, de 1979 a 2003, 73% das OdC sucedidas na América do Sul subtropical durante o verão austral se desenvolveram em associação com uma conjuntura de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ativa. Nery (2005) fala da importância que essa banda de nebulosidade (ZCAS) tem na transferência de calor para latitudes mais altas, além da conexão com veranicos no Sul e Sudeste do Brasil, dependendo da posição da mesma. Mas, como já citado, neste estudo o verão foi a estação com menos registros de OdC. Supomos ainda que a verificação do maior número de OdC no inverno em relação ao verão seja devido ao fato das temperaturas estarem mais altas nas últimas décadas. O método aqui adotado define um limiar com base na temperatura climatológica diária, calculada com dados de toda a série histórica. E, como em média tem ocorrido mais calor, a temperatura diária tem superado mais facilmente o limiar nos meses de

inverno em relação aos meses de verão. Com isso, podemos supor que o aquecimento verificado nas últimas décadas tem favorecido invernos menos frios do que propriamente verões mais quentes.

### Intensidade

Quanto à intensidade média anual das OdC (Figura 5), observa-se que, de maneira geral, as quatro localidades apresentam OdC mais intensas, nos anos mais próximos do presente. Partindo da análise de tendência linear, graficamente, em MVD as OdC se intensificaram em, aproximadamente, 2°C (Figura 5). Além disto, em MVD há grande variabilidade anual nas intensidades, característico de climas com estações bem definidas.

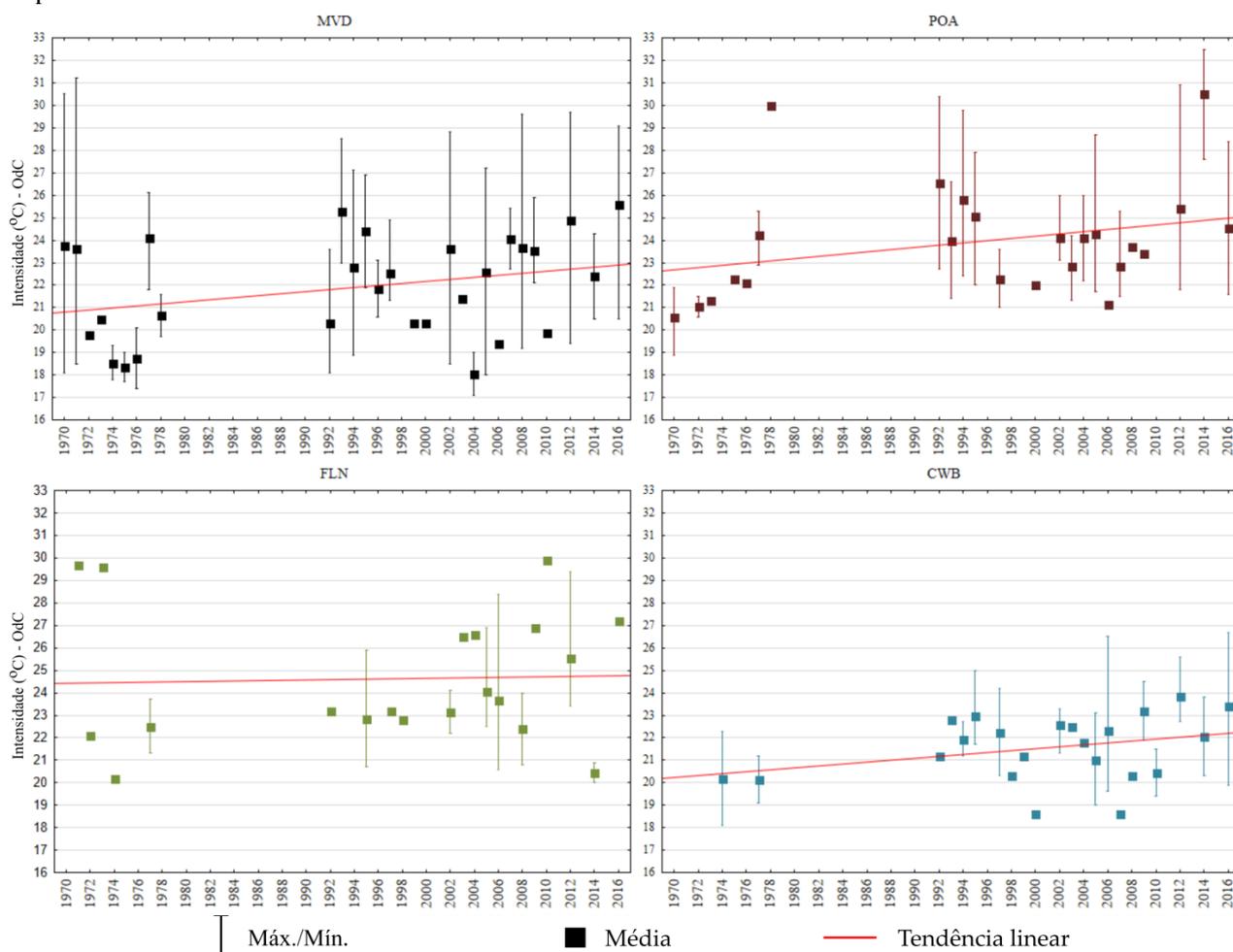


Figura 5. Intensidade média e extremos anuais das OdC por localidade e suas respectivas tendências lineares. Obs.: a ausência dos marcadores são anos sem ocorrência de OdC e não falha nos dados, exceto para: 1979-1991, 2001, 2011, 2013 e 2015.

Da mesma forma que nas ocorrências anuais de OdC (Figura 3), o período correspondente a segunda metade da década de 1990 até início dos anos 2000 também apresentou um decréscimo nas intensidades médias em todos os locais, ou seja, coincidentemente neste pequeno período as ondas foram menos frequentes e menos intensas (Figura 5).

POA, de forma geral, registra a maior intensidade média anual ao longo da série. A tendência gráfica de aumento das intensidades, aparentemente, aponta um incremento de, aproximadamente, 3°C. Ligeiramente menos que em MVD, a intensidade média anual das OdC e também os extremos deflagram certa variabilidade. Utilizando a temperatura máxima diária, Bitencourt et al. (2016), para a área 3, encontraram uma intensidade média de 34,7°C nas OdC, sendo a mais intensa da série com 35,9°C em outubro de 2012. Aqui, utilizando-se a temperatura média diária, verificou-se que POA durante o verão é a cidade que mais se aproxima da média encontrada por Bitencourt et al. (2016), com média de 31,1°C nas OdC; a onda mais intensa de POA ao longo da série foi registrada em fevereiro de 2014, com uma intensidade média de 32,5°C durante três dias (Figura 5).

FLN e CWB apresentam menor variabilidade nas intensidades anuais dos extremos quando comparadas aos outros dois locais. Entretanto, nas médias anuais FLN tem padrão similar a MVD e POA. No que diz respeito à tendência da intensidade média das OdC em FLN, é possível verificar que este é o local com menor ganho de intensidade, com menos de 1°C (Figura 5). CWB é o local que apresenta a menor variabilidade na intensidade média anual e também nos extremos das OdC. A tendência gráfica de aumento da intensidade média das OdC demonstra que ocorreu um aumento de, quase, 2°C e, notavelmente, é a cidade com as OdC menos intensas (Figura 5).

Assim como o parâmetro frequência, para a intensidade, as quatro cidades expõem tendência positiva estatisticamente significativa, pois, para todos os locais a hipótese alternativa ( $H_1$ ) (Tabela 3). Ou seja, as OdC tendem a ser mais intensas.

Tabela 3. Estatísticas da análise de tendência a partir do teste de Mann-Kendall para intensidade das OdC, ao nível de significância de  $\alpha = 5\%$

Loca	nSD		tau de		Hipótes
l	n	F	Kendall	p-valor	e

MV	4			<0,000	
D	7	29	0,657	1	$H_1$
	4			<0,000	
POA	7	24	0,739	1	$H_1$
	4			<0,000	
FLN	7	20	0,597	1	$H_1$
CW	4			<0,000	
B	7	22	0,730	1	$H_1$

nSDF = observações sem dados faltantes.

Para os parâmetros intensidade e duração é válido informar que o número de amostras ( $nSDF$ ) nas localidades não é igual a 30, isto ocorre porque existiram anos sem a ocorrência de OdC e, em caso de se atribuir o número 0 nestes anos, as análises poderiam ser enviesadas.

Perkins et al. (2012), estudando as OdC e os períodos quentes no mundo entre 1950 e 2011, a partir de métodos distintos, também concluem que há aumento na intensidade dos eventos, bem como na frequência e duração. Além deste, Sillmann et al. (2014), comparando dados do período de 1971-2010 com 1996-2010 para todo o planeta, consideram que as tendências observadas nos extremos de calor estão bem representadas nas simulações realizadas no estudo e, a partir disto, afirmam que há tendência de aquecimento em ambos os períodos na maioria das regiões do globo.

Focando novamente na região Sul brasileira e no Uruguai, os resultados aqui verificados concordam com os também encontrados por Reis (2017), que assinala um aumento na intensidade e na persistência das OdC na área subtropical do Brasil, com base na média anual de tais eventos. Estes resultados concordam com as informações que analisam o incremento da intensidade das OdC ao longo do conjunto de dados analisado. Reis (2017) também informa que as maiores anomalias de temperatura durante as OdC ocorreram na região 1, que em seu estudo é praticamente toda porção brasileira ao sul do Trópico de Capricórnio, quando comparada com a região 2 (~ entre 24,7°S e 20,2°S).

### Duração

Com relação à duração média anual das OdC ao longo da série, MVD é a única que apresenta uma ligeira tendência gráfica de decréscimo. Na capital uruguaia, as OdC estão ficando menos duradouras, passando de, aproximadamente, 2,6 para 2,5 dias. Com base nos gráficos, as demais indicam ascensão e, dentre todas, POA é a que demonstra maior incremento, saltando de dois para três dias (Figura 6).

CWB exibe uma tendência gráfica de ampliação na duração de pouco mais de dois dias para, aproximadamente, 3,1; enquanto que FLN passa da duração mínima estabelecida pelo presente método (dois dias) para quase 2,7 dias (Figura 6).

Conforme pode ser visto na Tabela 4, por meio do teste de Mann-Kendall, assim como os demais parâmetros, todas as localidades demonstram tendência, para além da gráfica, estatisticamente significativa. Isto é, todas as hipóteses são alternativas ( $H_1$ ). Tais resultados exibem que as OdC em POA, FLN e CWB tendem a ser mais duradouras, por outro lado, em MVD menos.

Tabela 4. Estatísticas da análise de tendência a partir do teste de Mann-Kendall para duração das OdC, ao nível de significância de  $\alpha = 5\%$

Loca	nSD		tau de		Hipótes
I	n	F	Kendall	p-valor	e
MV	4			<0,000	
D	7	29	-0,627	1	$H_1$
	4			<0,000	
POA	7	24	0,689	1	$H_1$
	4			<0,000	
FLN	7	20	0,697	1	$H_1$
CW	4			<0,000	
B	7	22	0,689	1	$H_1$

nSDF = observações sem dados faltantes.

Verifica-se ainda que nas quatro localidades os picos de duração média anual ocorrem todos a partir de 2000: MVD em 2004 (3,8 dias); POA em 2008 (5 dias); FLN em 2016 (4,5 dias) e; CWB em 2006 (4,8 dias). Concordando com os resultados encontrados aqui para as capitais brasileiras, Perkins et al. (2012) também

constataram um aumento na duração média das OdC; da mesma forma, Tomczyk e Bednorz (2016), entre 1971 e 2010, averiguaram uma intensificação das OdC na Europa Central ao longo dos anos, assim como um aumento na frequência e na duração. Bitencourt et al. (2016), para o Brasil, perceberam que, de maneira geral, a duração das OdC passou a ser maior a partir dos anos 2000, similarmente ao encontrado na presente pesquisa.

Nota-se novamente que POA chama atenção pelo aumento da duração das OdC, outra vez mais as diferenças podem ser justificadas pelos fatores geográficos e, conseqüentemente, pelos outros parâmetros investigados: frequência e intensidade. Com o aumento da frequência e da intensidade das OdC, os limiares diários estabelecidos são mais facilmente ultrapassados, refletindo na ampliação da persistência dos eventos. O mesmo ocorre para as demais localidades, porém, de maneira menos evidente para CWB, possivelmente por relação com a altitude e; para FLN conexo à ação termorreguladora do oceano. Conforme supracitado, MVD é a única em ligeiro decréscimo (praticamente estável) no que diz respeito à duração, isto pode estar atrelado ao fato de que a capital uruguaia é a com mais baixa ascensão da frequência de OdC (~1) entre as quatro localidades.

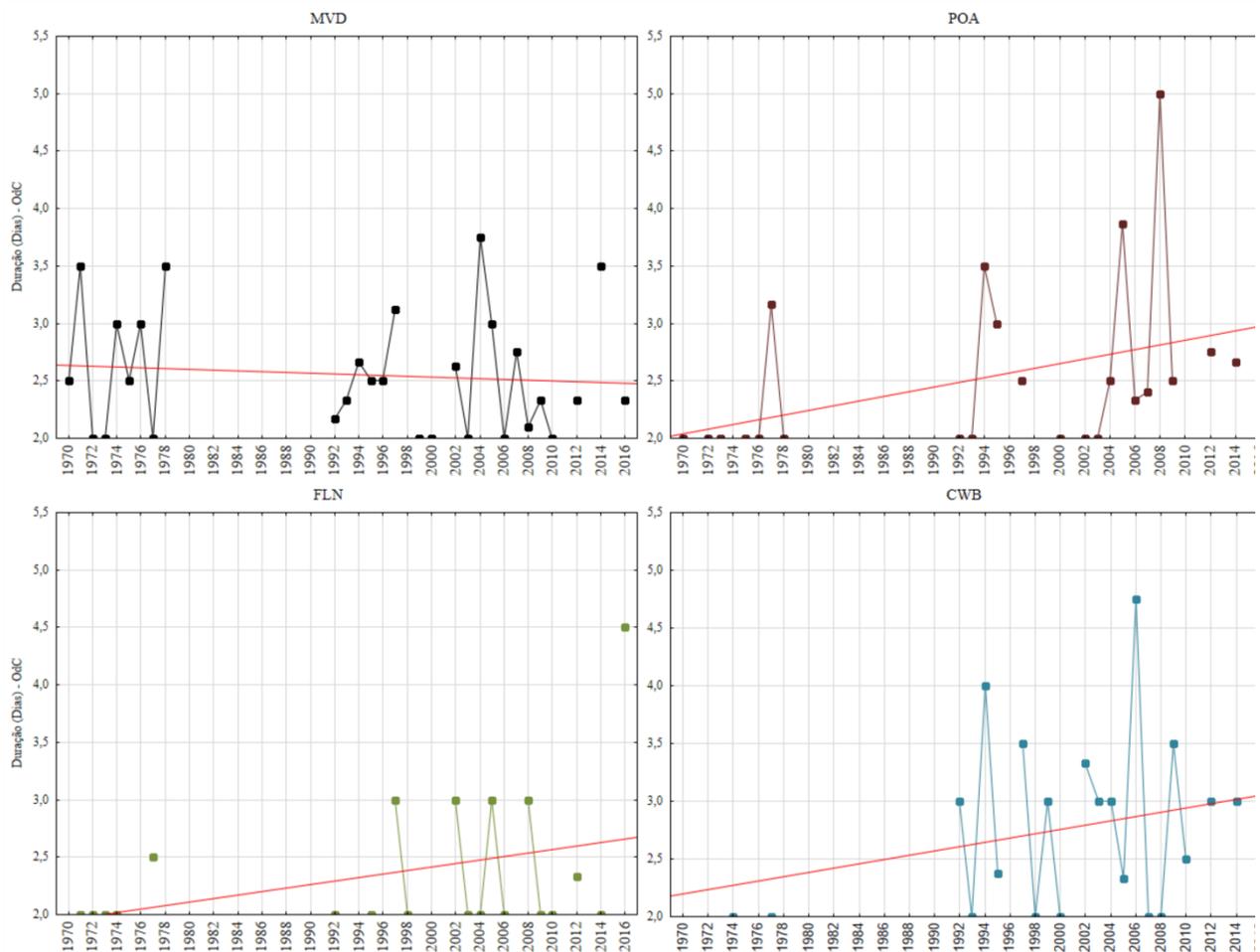


Figura 6. Duração média anual das OdC por localidade e suas respectivas linhas de tendência (—) linear ao longo da série. Obs.: a ausência dos marcadores são anos sem ocorrência de OdC e não falha nos dados, exceto para: 1979-1991, 2001, 2011, 2013 e 2015.

## Conclusões

Os resultados para POA se destacam em relação às demais cidades no que diz respeito às tendências gráficas e nas médias anuais. O teste de Mann-Kendall revelou que, para as quatro cidades, os três parâmetros investigados exibem tendências estatisticamente significativas ao nível de  $\alpha = 5\%$  e, somente a duração em MVD é decrescente. Supõe-se que a ausência de dados, especialmente na década de 1980, tenha influenciado na análise de tendência, potencializando a significância dos testes.

O fato das maiores frequências de eventos terem sido aferidas na estação de inverno encontra respaldo em outras pesquisas, tanto do ponto de vista numérico, quanto do ponto de vista climático, destacando-se as situações de bloqueios atmosféricos como principais gêneses para a

ocorrência de tais eventos (Reis et al., 2017). Sobre o maior número de casos de OdC no inverno, sugere-se que estes possam ser chamados de períodos quentes ou episódios de calor anômalos/excepcionais.

Conclui-se ainda que as OdC em MVD, em POA, em FLN e em CWB, no que diz respeito ao conjunto de dados analisados, estão indo ao encontro do apontado pelo IPCC (2013) e outras pesquisas já referenciadas. Estes estudos indicam, de forma geral, um aumento no número de eventos de calor extremo.

Dentro de suas características individuais, os fatores geográficos de cada cidade respondem e justificam boa parte das peculiaridades encontradas nos parâmetros analisados para cada local comparativamente. Tais fatores muitas vezes justificam as diferenças de forma mais direta do

que a própria análise dos sistemas meteorológicos baseados em outras pesquisas citadas.

A análise nas quatro cidades do setor subtropical oriental da América do Sul, quase que costeiro, apresenta-se aqui como importante subsídio para debates e caminhos em futuras pesquisas, uma vez que são cidades populosas e similares quanto à importância em seus contextos regionais. Além disso, essas quatro cidades estão submetidas a condições e sistemas atmosféricos semelhantes ao longo do ciclo anual.

Sugere-se que sejam feitas avaliações futuras quanto à relação das OdC com índices de variabilidades climáticas, como: El Niño-Oscilação Sul, Oscilação Decadal do Pacífico, Oscilação Antártica, Oscilação Multidecadal do Atlântico, entre outras. É possível também, a partir dos resultados aqui apresentados, integrar e cruzar dados de saúde pública e/ou de algumas culturas agrícolas para analisar possíveis impactos, até mesmo com dados de turismo. Ressalta-se ainda que a ausência de dados na década de 1980 nas estações meteorológicas brasileiras, tomando por base outros estudos citados que abordam extremos de calor, pode ter enviesado possíveis resultados ainda mais evidentes que apontassem incremento na frequência, na intensidade, na duração e, por conseguinte, nas tendências destes parâmetros para as OdC.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao *Instituto Uruguayo de Meteorología* (INUMET) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo fornecimento dos dados meteorológicos. O 1º autor agradece ainda à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por sua bolsa de doutorado (Processo nº: 1696632) e a *Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM) - Escala Posgrado* por sua bolsa de mobilidade, tornando possível seu estágio junto ao Prof. Dr. Marcelo Barreiro no *Departamento de Ciencias de la Atmósfera da Universidad de la República (UdelaR)* - Uruguai, o qual permitiu a conclusão da presente pesquisa.

### Referências

- Alves, M.P.A., Brito Silveira, R., Boligon Minuzzi, R., Elvino Franke, A., 2017. The influence of the Antarctic Oscillation (AAO) on cold waves and occurrence of frosts in the state of Santa Catarina, Brazil. *Climate*, 5, 17. doi:10.3390/cli5010017
- Alves, M.P.A., Silveira, R.B., Bitencourt, D.P., Franke, A., 2017b. Onda de frio? Análise de diferentes métodos de identificação. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 21, 295-312. doi:10.5380/abclima.v21i0.54821
- Alves, M.P.A., Vanz, A., Cruz, G.S., Martarello, K.C.B.K., Monteiro, A.N., Miszinski, J., 2016. Caracterização da forte onda de calor de 2014 em Santa Catarina. *Ciência e Natura*, v. 38, n. 1, 309-325. doi:10.5902/2179-460X15017
- Ambrizzi, T., Marques, R., Nascimento, E., 2009. Bloqueios Atmosféricos. In: Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, J.F., Justi da Silva, M.G.A., Silva Dias, M.A.F. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, cap.18, 279-296.
- Åström, D.O., Schifano, P., Asta, F., Lallo, A., Michelozzi, P., Rocklöv, J., Forsberg, B., 2015. The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: a cohort study of a mediterranean and a northern European City. *Environmental Health*, v. 14, n. 1, 8. doi:10.1186/s12940-015-0012-0
- Ávila, L.F., Mello, C.R., Yanagi, S.D.N.M., Neto, O.B.S., 2014. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 4, 247-256. doi:10.1590/S0100-204X2014000400002
- Bidegain, M., Stella, J.L., Bettolli, M.L., Quintana, J., 2015. Southern South America. In: *State of the Climate in 2014*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 96 (7), p. 182-184, Eds..
- 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. doi:10.1590/0102-778631231420150077
- Blunden, J., Arndt, D.S., 2015. State of the climate in 2014. Bull. Amer. Meteor. Soc., 96 (7), p. 1-267, Eds..
- Cavalcanti, I.F.A., Kousky, V.E., 2009. Frentes frias sobre o Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A., Ferreira, J.F., Justi da Silva, M.G.A., Silva Dias, M.A.F. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, cap. 9, 135-147.
- 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 and Earth System Sciences*, v. 16, n. 3, 821-831. doi:10.5194/nhess-16-821-2016

- Cera, J.C., Ferraz, S.E.T., 2015. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n. 1, 81-88. doi: 10.1590/0102-778620130588
- Cerne, S.B., Vera, C.S., 2011. Influence of the intraseasonal variability on heat waves in subtropical South America. *Climate Dynamics*, v. 36, n. 11-12, 2265-2277. doi:10.1007/s00382-010-0812-4
- Da Silva, R.M., Santos, C.A., Moreira, M., Corte-Real, J., Silva, V.C., Medeiros, I.C., 2015. Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Natural Hazards*, v. 77, n. 2, 1205-1221. doi:10.1007/s11069-015-1644-7
- Damião, M.C.M., Trigo, R.M., Cavalcanti, I.F., DaCamara, C.C., 2005. Bloqueios atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o oceano Pacífico Sul: impactos climáticos e mecanismos físicos associados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, 175-190.
- Danni-Oliveira, I.M., 1999. Aspectos climáticos de Curitiba, PR. *Ra'ega, Curitiba*, v. 3, 229-253. doi:10.5380/raega.v3i0.18233
- 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. doi:10.5380/abclima.v21i0.48643
- Fathian, F., Dehghan, Z., Bazrkar, M.H., Eslamian, S., 2016. Trends in hydrological and climatic variables affected by four variations of the Mann-Kendall approach in Urmia Lake basin, Iran. *Hydrological Sciences Journal*, v. 61, n. 5, 892-904. doi:10.1080/02626667.2014.932911
- Firpo, M.Â.F., Sansigolo, C.A., 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, 95-106. doi:10.1590/S0102-77862012000100010
- Fuentes, M.V., 1997. Climatologia de bloqueios próximos à América do Sul e seus efeitos. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia)*, São José dos Campos, INPE, 70 p..
- Geirinhas, J.L., Trigo, R.M., Libonati, R., Coelho, C.A., Palmeira, A.C., 2018. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 38, n. 4, 1760-1776. doi:10.1002/joc.5294
- Gobo, J.P.A., Galvani, E., Wollmann, C.A., Celuppi, M.C., 2015. Estudo de zoneamento do conforto térmico humano para o Rio Grande do Sul: a inserção de anos-padrão como proposta metodológica. *Ciência e Natura*, v. 37, n. 3, 452-470. doi:10.5902/2179460X16772
- Griffin, E., 1973. Testing the Von Thunen Theory in Uruguay. *Geographical Review*, 500-516. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/213918>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- Gronlund, C.J., Zanobetti, A., Schwartz, J.D., Wellenius, G.A., O'Neill, M.S., 2014. Heat, heat waves, and hospital admissions among the elderly in the United States, 1992-2006. *Environmental Health Perspectives*, v. 122, n. 11, 1187-1192. doi:10.1289/ehp.1206132
- Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B.G., Tawatsupa, B., Tobias, A., Lavigne, E., Coelho, M.S.Z.S., Pan, X., Kim, H., Hashizume, M., Honda, Y., Guo, Y.L., Wu, C-F., Zanobetti, A., Schwartz, J.D., Bell, M.L., Overcenco, A., Punnasiri, K., Li, S., Tian, L., Saldiva, P., Williams, G., Tong, S., 2016. Temperature variability and mortality: a multi-country study. *Environmental Health Perspectives*, v. 124, n. 10, p. 1554. doi:10.1289/EHP149
- Hamed, K.H., Rao, A.R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 182-196. doi:10.1016/S0022-1694(97)00125-X
- 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. doi:10.1029/WR018i001p00107
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. População no último censo: Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 14 ago. 2018.
- INE. Instituto Nacional de Estadística. 2011. Censos 2011: Montevideo. Disponível em: <<http://www5.ine.gub.uy/censos2011/index.html>>. Acesso em: 14 ago. 2018.
- INUMET. Instituto Uruguayo de Meteorología. 2018. Estadísticas Climatológicas: Clasif. climática. Disponível em: <<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas>>. Acesso em: 09 ago. 2018.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Summary for policymakers, technical summary and frequently asked questions. (Org) T.F., Stocker, D., Qin., G.K., Plattner, M., Tignor, S.K., Allen, J., Boschung, P.M., Midgley. Working group I

- contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Cambridge Univ. Press, New York. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge, Cambridge University.
- Kassebaum, N.J., Arora, M., Barber, R.M., Bhutta, Z.A., Brown, J., Carter, A., and GBD 2015 DALYs and HALE Collaborators., 2016. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 315 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE), 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The Lancet*, v. 388, n. 10053, 1603-1658. doi:10.1016/S0140-6736(16)31460-X
- Kendall, M.G., 1975. Rank correlation measures. Charles Griffin: London, U.K., 220 p.
- Köppen, W., Geiger, R., 1936. *Handbuch der klimatologie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Luiz, G.C., Cardoso, H.C., Ribeiro, L.L., 2012. Aplicação do teste sazonal de Mann-Kendall na análise de tendência da temperatura e umidade relativa do ar - Goiânia - GO: série histórica 1961 a 2008. *Revista Geonorte*, e.e. 2, v. 1, n. 5, 414-427.
- Ma, W., Zeng, W., Zhou, M., Wang, L., Rutherford, S., Lin, H., Liu, T., Zhang, Y., Xiao, J., Zhang, Y., Wang, X., Gu, X., Chu, C., 2015. The short-term effect of heat waves on mortality and its modifiers in China: an analysis from 66 communities. *Environment international*, v. 75, 103-109. doi:10.1016/j.envint.2014.11.004
- Mann, H.B., 1945. *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3, 245-259.
- Marengo, J.A., 2014. O futuro clima do Brasil. *Revista USP*, n. 103, 25-32. doi:10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32
- Marengo, J.A., Camargo, C.C., 2007. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. *International Journal of Climatology*, v. 28, n. 7, 893-904. doi:10.1002/joc.1584
- Marques, R.F.C., Rao, V.B., 1996. Bloqueio Atmosférico no Hemisfério Sul durante o período de 1980 a 1993. *Climanálise Especial*, Cap. 8, s.p.. Disponível em: <[http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/bol\\_etim/cliesp10a/bloqueio.html](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/bol_etim/cliesp10a/bloqueio.html)>. Acesso em: 16 out. 2018.
- Mazdiyasi, O., AghaKouchak, A., Davis, S.J., Madadgar, S., Mehran, A., Ragno, E., Sadegh, M., Sengupta, A., Ghosh, S., Dhanya, C.T., Niknejad, M., 2017. Increasing probability of mortality during Indian heat waves. *Science Advances*, v. 3, n. 6, p. e1700066. doi:10.1126/sciadv.1700066
- Mitchell, D., Heaviside, C., Vardoulakis, S., Huntingford, C., Masato, G., Guillod, B.P., Frumhoff, P., Bowery, A., Wallom, D., Allen, M., 2016. Attributing human mortality during extreme heat waves to anthropogenic climate change. *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 7, p. 074006. doi:10.1088/1748-9326/11/7/074006
- Monteiro, C.A.F., 1963. O clima da Região Sul, *Geografia do Brasil, Grande Região Sul*. Rio de Janeiro: IBGE, 114-166, 1963. Disponível em: <<http://www.abclima.ggf.br/publicacoes.php>>. Acesso em: 23 out. 201.
- Monteiro, M.A., Mendonça, M., 2014. Dinâmica atmosférica no estado de Santa Catarina. In: *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010*. Herrmann, M.L.P. (Org.), 2. ed. atual. e rev. - Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 219 p..
- Monteiro, M.A., Silva, P.V., 2017. Fatores estáticos e dinâmicos na formação do clima de Santa Catarina. *Cadernos Geográficos, UFSC*, v. 36, 27-36.
- Nascimento, C.C.N., Nascimento, M.R.B.M., Silva, N.A.M., 2014. Ocorrência de ondas de calor no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e seu efeito na produção leiteira e consumo alimentar em bovinos. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 5., 1488-1495. doi:10.1981-3163
- Nery, J.T., 2005. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, 61-75. doi:10.5380/abclima.v1i1.25233
- Perkins, S.E., Alexander, L.V., Nairn, J.R., 2012. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophysical Research Letters*, v. 39, n. 20, 5. doi:10.1029/2012GL053361
- Reis, N.C.S., 2017. Variabilidade das ondas de calor na região subtropical na região subtropical do Brasil. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria*. Santa Maria, 47 p..
- Reis, N.C.S., Boiaski, N.T., Ferraz, S.E.T., Pelissaro, E.D., 2017. Mecanismos físicos relacionados às ondas de calor na região

- subtropical do Brasil. In: X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, Santa Maria - RS, 6 p.. Disponível em: <[http://anaismicrometeorologiaUFSC\\_Reis\\_et\\_al](http://anaismicrometeorologiaUFSC_Reis_et_al)>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- Rogerson, P.A., 2012. Métodos estatísticos para geografia: um guia para o estudante. Tradução: Carvalho, P.F.B., Rigotti, J.I.R. – 3 ed.. – Porto Alegre: Bookman, 348 p.
- Rosso, F.V., Boiaski, N.T., Ferraz, S.E.T., Dewes, C.F., Tatsch, J.D., 2015. Trends and decadal variability in air temperature over Southern Brazil. *American Journal of Environmental Engineering*, 5, 85-95. doi:10.5923/s.ajee.201501.12
- Rusticucci, M., Barrucand, M., 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, v. 17, n. 20, 4099-4107. doi:10.1175/1520-0442
- Rusticucci, M., Marengo, J., Penalba, O., Renom, M., 2010. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 1: mean values and variability. *Climatic Change*, v. 98, n. 3-4, 493-508. doi:10.1007/s10584-009-9742-8
- Rusticucci, M., Renom, M., 2008. Variability and trends in indices of quality-controlled daily temperature extremes in Uruguay. *International Journal of Climatology*, v. 28, n. 8, 1083-1095. doi:10.1002/joc.1607
- Rusticucci, M., Vargas, W., 1995. Synoptic situations related to spells of extreme temperatures over Argentina. *Meteorological Applications*, v. 2, n. 4, 291-300. doi:10.1002/met.5060020401
- 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. doi:10.1590/0102-778620150003
- Saravia, C., Astigarraga, L., Van Lier, E., Bentancur, O., 2011. Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay). *Agrociencia Uruguay*, v. 15, n. 1, 93-102.
- Selmo, L., Franke, A.E., Alves, M.P.A., Silveira, R.B., 2016. Análise das temperaturas máximas do ar em Florianópolis/SC em abril de 2016: onda de calor? In: Anais do I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres, Curitiba, p. 48-56. Disponível em: <[http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/ICBRRD\\_SelmoEtAl](http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/ICBRRD_SelmoEtAl)>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- Sillmann, J., Donat, M.G., Fyfe, J.C., Zwiers, F.W., 2014. Observed and simulated temperature extremes during the recent warming hiatus. *Environmental Research Letters*, v. 9, n. 6, 064023. doi:10.1088/1748-9326/9/6/064023
- Silveira, R.B., Alves, M.P.A., Bitencourt, D.P., 2017. Extremos de temperatura e saúde pública: uma proposta para sistema de alerta de ondas de frio e calor. *Cadernos Geográficos*, v. 36, 49-62. Disponível em: <<http://cadernosgeograficos.ufsc.br/files/2017/09/>>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- 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. doi:10.5380/abclima.v22i0.57776
- Son, J.Y., Bell, M.L., Lee, J.T., 2014. The impact of heat, cold, and heat waves on hospital admissions in eight cities in Korea. *International Journal of Biometeorology*, v. 58, n. 9, 1893-1903. doi:10.1007/s00484-014-0791-y
- Son, J.Y., Gouveia, N., Bravo, M.A., de Freitas, C.U., Bell, M.L., 2015. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, n. 1, 113-121. doi:10.1007/s00484-015-1009-7
- Streck, N.A., Gabriel, L.F., Buriol, G.A., Heldwein, A.B., De Paula, G.M., 2011. Variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria, RS. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 8, 781-790. doi:10.1590/S0100-204X2011000800001
- Teskey, R., Wertin, T., Bauweraerts, I., Ameye, M., McGuire, M.A., Steppe, K., 2015. Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. *Plant, cell & environment*, v. 38, n. 9, 1699-1712. doi:10.1111/pce.12417
- Tomczyk, A.M., Bednorz, E., 2016. Heat waves in Central Europe and their circulation conditions. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 2, 770-782. doi:10.1002/joc.4381
- Vavrus, S., Walsh, J.E., Chapman, W.L., Portis, D., 2006. The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming. *International Journal of Climatology*, n. 26, 1133-1147. doi:10.1002/joc.1301
- 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. 2018. Hotter: Heat Waves. Disponível em: <<http://www.wmo.int/worldmetday/content/hotter>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

Wreford, A., Adger, W.N., 2010. Adaptation in agriculture: historic effects of heat waves and droughts on UK agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, v. 8, n. 4,

278-289. doi:10.3763/ijas.2010.0482

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. doi:10.1016/S0022-1694(01)00594-7