

## EVENTOS EXTREMOS E VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA EM LONDRINA – PR: ESTUDO DE CASO DAS CHUVAS DE 11 DE JANEIRO DE 2016

### EXTREME EVENTS AND PLUVIOMETRIC VARIABILITY IN LONDRINA - PR: RAIN CASE STUDY ON JANUARY 11, 2016

Nathan Felipe da Silva CALDANA<sup>1</sup>  
Alan Carlos MARTELÓCIO<sup>2</sup>  
Anderson Paulo RUDKE<sup>3</sup>  
Pablo Ricardo NITSCHÉ<sup>4</sup>

**Resumo:** Os eventos extremos de precipitação causam severos danos tanto no espaço urbano quanto no rural. Ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações tornam-se cada vez mais frequentes e marcantes em todo o mundo. Esses atingem os espaços de maneira homogênea, no entanto a população está exposta a riscos distintos devido a vulnerabilidade socioambiental. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi analisar a ocorrência e variabilidade pluviométrica, gênese e frequência dos impactos dos eventos extremos de precipitação em Londrina – PR. Os impactos dos eventos extremos foram averiguados com base nas chuvas de 11 de janeiro de 2016, a maior registrada na série, com altura pluviométrica de 275mm no intervalo de 24 horas. Além disso, as séries pluviométricas da estação meteorológica de Londrina foram utilizadas para avaliar a associação entre os totais anuais, sazonais, mensais e diários de precipitação com os eventos de El Niño - Oscilação Sul (ENOS), com o recorte temporal de 1976-2018. Identificou-se que os meses de verão são os mais propícios as ocorrências de eventos extremos, com parte expressiva dos eventos extremos e maiores alturas de precipitação ocorrendo em períodos de El Niño, enquanto os períodos secos predominam em condições de La Niña.

**Palavras-chave:** Clima Urbano, Precipitação, El Niño-Oscilação Sul.

**Abstract:** Extreme precipitation events cause severe damage in both urban and rural areas. Flooding events become increasingly frequent and relevant all over the world. These events reach the spaces homogeneously, however, the population is exposed to different risks due to socio-environmental vulnerability. These events reach the spaces in a homogeneous way, but the risks to the populations are different, depending on the socio-environmental conditions. Therefore, the objective of this study was to analyze the occurrence and pluviometric variability, genesis and frequency of impacts of extreme precipitation events in Londrina - PR. The impacts of extreme events were studied based on rainfall on January 11, 2016, the highest recorded in the historical series, with a value of 275mm in 24 hours. In addition, the same historical series of rainfall was used to analyze the association between annual, seasonal, monthly and daily values with ENSO events, from 1976 to 2018. It was identified that the summer months are the most favorable occurrences of extreme events, with significant part of the extreme events and larger precipitation occurring in El Niño periods, while dry periods predominate in La Niña conditions.

**Keywords:** Urban Climate, Precipitation, El Niño-Southern Oscillation (ENSO).

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

<sup>2</sup> Mestrando em Agricultura Conservacionista do Instituto Agrônomo do Paraná.

<sup>3</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais.

<sup>4</sup> Mestre e Pesquisador associado Instituto Agrônomo do Paraná.

## Introdução

Eventos climáticos extremos atuam no âmbito das principais causas deflagradoras de catástrofes naturais que atingem o homem, uma vez que, o modo que as sociedades se organizam desconsidera o ritmo e a variabilidade do sistema atmosférico. Todos os anos, desastres vinculados a esses eventos resultam em altas taxas de mortalidade, feridos e onerosas perdas econômicas (MARCELINO, 2007; HUANG et al. 2018; TSAVDAROGLOU et al., 2018; WOSSEN et al., 2018). No que se refere as mudanças climáticas globais, as consequências futuras relacionadas ao impacto sobre o clima urbano são incertas e variáveis, podendo haver resultados contraditórios e regionalmente diferenciados (DIDOVETS et al., 2019; TSIGARIS e WOODS 2019). Neste sentido, estimativas frequentes da ocorrência de eventos extremos climáticos são fundamentais para atenuação dos efeitos adversos a sociedade e planejamento das atividades humanas.

Os espaços são atingidos pelos fenômenos naturais de maneira homogênea, porém a vulnerabilidade socioambiental expõe a população a riscos distintos (ALCÁNTARA-AYALA, 2002). “A condição de pobreza de uma determinada população está estreitamente vinculada à condição de formação de riscos e de vulnerabilidade socioambiental” (MENDONÇA, 2005, p. 151). A ocupação de áreas irregulares e de risco associadas às condições socioeconômicas aumenta as consequências dos desastres e os impactos nos grupos sociais. Dessa forma, um fenômeno pode afetar de maneira diferente a população que reside em uma determinada região (CIDADE et al., 2013; FREIRE et al., 2014; GRIGOLETTI et al. 2018).

Desastres naturais relacionados a episódios extremos de precipitação são definidos como fenômenos da natureza que transformam a paisagem e o espaço geográfico (MARCELINO, 2007; CALDANA et al., 2018). A intensificação destes no meio social pode gerar situações de perigo, ocasionando óbitos e danos materiais com prejuízos muitas vezes irreparáveis. Os casos de inundação, enxurradas e alagamentos são os mais comuns dentre os desastres naturais relacionados a eventos hidroclimatológicos e com potencial dano socioambiental (CASTRO, 1998; MARCELINO, 2007; CALDANA et al., 2018). Tais eventos ocorrem em mais de 80% das cidades brasileiras e estão associados às instabilidades atmosféricas severas.

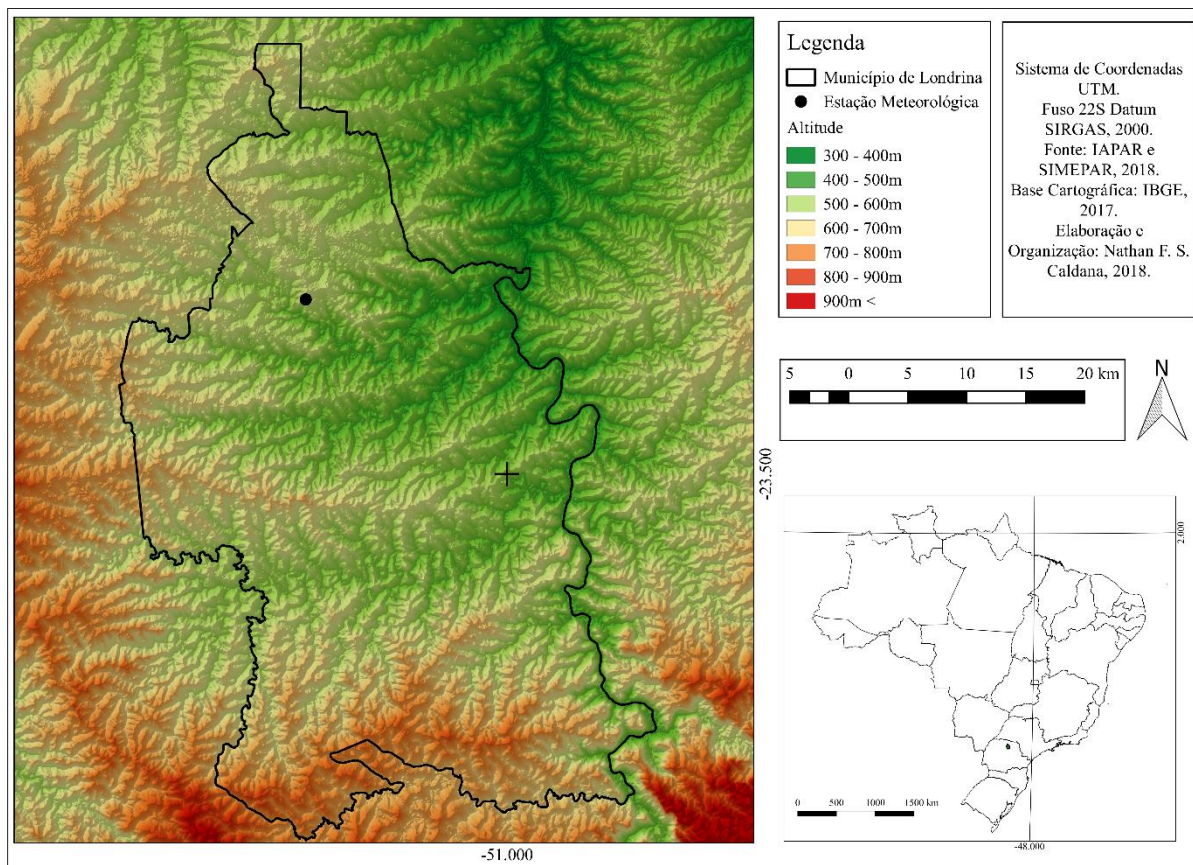
Neste contexto, estudos climáticos são fundamentais para o planejamento das atividades humanas, especialmente no Estado do Paraná, que se localiza em área de transição climática, com grandes oscilações de temperatura e precipitação devido aos fatores latitudinal, longitudinal e de altitude (CARAMORI et al., 2001; CARAMORI et al. 2016). Dessa forma, o objetivo desse estudo foi analisar a ocorrência e variabilidade pluviométrica, a gênese e frequência dos impactos dos eventos extremos de precipitação em Londrina – PR. Os impactos dos eventos extremos foram averiguados com base nos registros de 11 de janeiro de 2016, que foi maior altura pluviométrica registrada na série com 275mm de chuva no intervalo de 24 horas. Como objetivo secundário, avaliou-se a associação entre os totais anuais, mensais e diários de precipitação com os eventos de El Niño - Oscilação Sul (ENOS) por meio do *Oceanic Niño Index* (ONI).

## Material e Métodos

Para este estudo utilizou-se dados da estação agrometeorológica convencional do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR e da estação meteorológica automática do Sistema

Meteorológico do Paraná - SIMEPAR, ambas as estações localizadas em Londrina – PR (Figura 1) nas coordenadas -51°10' S, -23°22' W, com altitude de 585m.

**Figura 1** - Localização da estação meteorológica e relevo de Londrina (PR).



Fonte: IBGE (2018); organizado pelos autores.

Para a análise da variabilidade pluviométrica e detecção dos extremos, foram utilizados os gráficos de box plot (ou diagrama de caixa). O principal recurso obtido em sua utilização é a visualização rápida da distribuição dos dados. “Se a distribuição é simétrica a caixa encontra-se equilibrada com a mediana se posicionando no centro da mesma. Já para distribuições assimétricas, há um desequilíbrio na caixa, com relação à mediana” (SILVESTRE et al., 2013, p. 27; CALDANA, et al. 2018).

Os box plots são avaliados a partir de cinco classificações de valores. Os outliers, que são divididos em discrepantes (valores acima do considerado máximo, mas que não são extremos) e extremos, sendo considerados qualquer valor superior a  $Q3 + 1,5 (Q3 - Q1)$  ou inferior a  $Q1 - 1,5 (Q3 - Q1)$ . Os máximos e mínimos, que são considerados os maiores valores da série, mas que não são extremos ou discrepantes. Dentro da caixa são classificados três quartis com 25% dos dados cada, além do valor da mediana, equivalente ao segundo quartil, ou 50% dos dados (LEM et al., 2013; SCHNEIDER; DA SILVA, 2014; CALDANA, et al. 2018).

A identificação dos eventos extremos diários foi realizada utilizando o método de Dourte et al. (2015), que caracteriza os eventos extremos de precipitação diária como pelo menos a metade do acumulado médio mensal (68.3mm em Londrina) ocorrida no intervalo de 24 horas e sua frequência foi estimada por meio do número de dias por mês. Além disso,

foram selecionadas as dez maiores alturas pluviométricas registradas na série no intervalo de 24 horas. Os gráficos foram criados por meio do *software* Sigma Plot.

Para identificar danos econômicos relacionados a bens públicos, utilizou-se dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Londrina através do Sistema de Informação Geográfica de Londrina (SIGLON). Para danos relacionados a sociedade civil, os dados foram obtidos por meio dos Relatórios de Ocorrência de alagamento, enxurrada e inundação, que contém informações quanto ao número de ocorrências e de pessoas afetadas e são disponibilizados pela Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Paraná. A Proteção Civil Brasileira age de acordo com a necessidade da emergência e de serviço a ser prestado por assistência às populações afetadas. A ação é imediata após o desastre, e as equipes enviadas para o campo são responsáveis por realizar o preenchimento de um relatório descrevendo o fenômeno e os danos resultantes (MARTINS et al., 2017). A Defesa Civil do Paraná é estruturada por oito Coordenadorias Regionais de Defesa Civil, sendo que cada município possui sua Coordenadoria Municipal de Defesa Civil.

A gênese e identificação do sistema atuante no evento extremo de precipitação foi realizado por meio de imagens do satélite *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES-13), disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). As imagens foram coletadas nos horários 6h00, 12h00, 18h00 e 23h30, sendo georreferenciadas por meio do *software* Qgis.

Os dados de variabilidade climática ENOS foram obtidos na base de dados de *Oceanic Niño Index* (ONI), divulgados pelo *Climate Prediction Center* da *National Oceanic Atmosphere Administration* (NOAA, 2019). Esses foram utilizados com o intuito de comparar a ocorrência de eventos extremos e anos secos ou chuvosos com a incidência dos eventos de El Niño e La Niña no recorte temporal de 1976 a 2017. O ONI é classificado por meio da média móvel trimestral e serve para determinar a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico Equatorial, na região El Niño 3.4 para cada mês (TRENBERTH et al., 2019). Para caracterizar El Niño, é necessário que ocorram pelo menos cinco trimestres móveis com a TSM com desvio igual ou superior a 0,5°C acima da média histórica. O La Niña se estabelece quando as temperaturas médias permanecem inferiores a -0,5°C por pelo menos cinco trimestres móveis, enquanto os valores intermediários (-0,5°C > < 0.5°C) são classificados como neutros ou normalidade (Quadro 1).

**Quadro 1** - Anos e meses de ocorrência do ENOS (El Niño em vermelho, La Niña em azul, e Normalidade em preto) entre 1976-2018.

	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1976	-1,5	-1,1	-0,7	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8
1977	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,8
1978	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0
1979	0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6
1980	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0	0,1	0,1	0
1981	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	0
1982	0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	1,9	2,1	2,1
1983	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,7	0,3	0	-0,3	-0,6	-0,8	-0,8
1984	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3
1986	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,2	0,4	0,7	0,9	1,0	1,1
1987	1,1	1,2	1,1	1,0	0,9	1,1	1,4	1,6	1,6	1,4	1,2	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,8	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-1,4	-1,7	-1,8
1989	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	0,8	0,5	0,2	0	-0,1	-0,1	0
1993	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,9	1,0
1995	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,0	-0,9
1996	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,6	1,0	1,4	1,7	2,0	2,2	2,3	2,3
1998	2,1	1,8	1,4	1,0	0,5	-0,1	-0,7	-1,0	-1,2	-1,2	-1,3	-1,4
1999	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6
2000	-1,6	-1,4	-1,1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3
2002	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,2	1,1
2003	0,9	0,7	0,4	0	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
2004	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7
2005	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3	0,2	0	-0,1	0	-0,2	-0,5	-0,7
2006	-0,7	-0,6	-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9
2007	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-1,3
2008	-1,4	-1,3	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,7	-0,6	-0,4	-0,1	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3
2010	1,3	1,2	0,9	0,5	0,0	-0,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,4	-1,4
2011	-1,3	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-0,9
2012	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2014	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,4	0,5	0,6
2015	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,2	2,3
2016	2,5	2,2	1,7	1	0,5	0	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1
2018	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,9	1,0

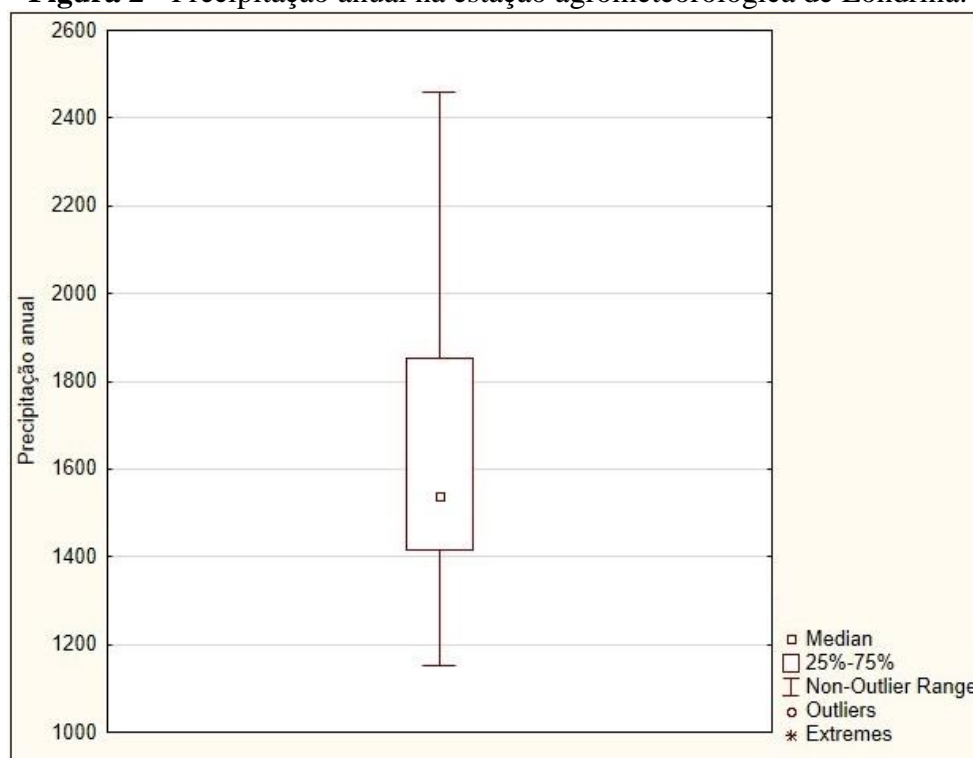
Fonte: NOAA/CPC (2019); adaptado pelos autores (2019).

## Resultados e Discussão

### Variabilidade Pluviométrica

O município de Londrina está localizado sob o trópico de capricórnio e está em uma área de transição climática (CARAMORI, 2007). Sua classificação climática conforme os parâmetros de Köppen é Cfa - Clima subtropical, com verão quente, atingindo temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente superior a 22°C, além de concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação seca definida (NITSCHKE, 2019). A variabilidade pluviométrica pode ser observada na figura 2.

**Figura 2** - Precipitação anual na estação agrometeorológica de Londrina.



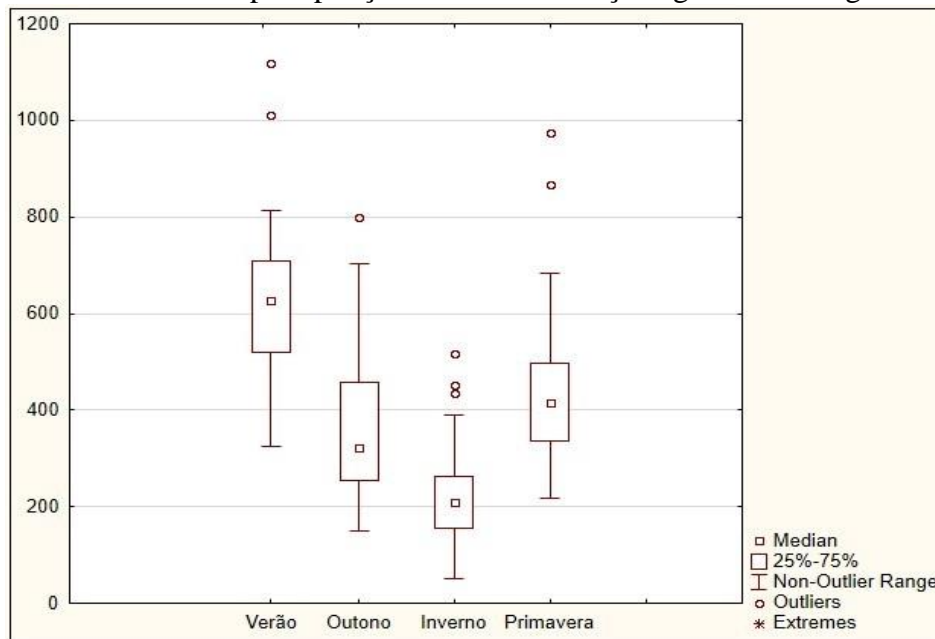
Fonte: IAPAR (2019); Org: autores (2019).

A precipitação anual em Londrina (Figura 2) apresenta grande variação e distribuição assimétrica a direita. O intervalo entre quartis (Q1 – 25% e Q3 – 75%) foi de 1.416 a 1.854mm e a mediana foi de 1.539,8mm. O valor máximo registrado ocorreu no ano de 2015, com altura pluviométrica de 2.460mm, sendo um ano identificado como El Niño de forte intensidade. Enquanto a menor precipitação anual ocorreu no ano de 1985, com 1.153mm, sendo identificado como Lã Niña (Quadro 1).

Sazonalmente (Figura 3) a estação de verão foi identificada como a estação mais chuvosa com a mediana superior a 600mm e assimetria deslocada para a esquerda. A menor altura pluviométrica observada nesta estação é maior que as medianas do outono e inverno. Observou-se ainda, dois valores discrepantes nesta estação, em 1997 com 1.011mm, e 2016 com 1.117mm, ambos identificados como El Niño. Enquanto a menor altura pluviométrica foi observada em 2012 com 352mm, período identificado como normalidade da TSM.



**Figura 3 - Variabilidade da precipitação sazonal na estação agrometeorológica de Londrina.**



Fonte: IAPAR; Org: autores (2018).

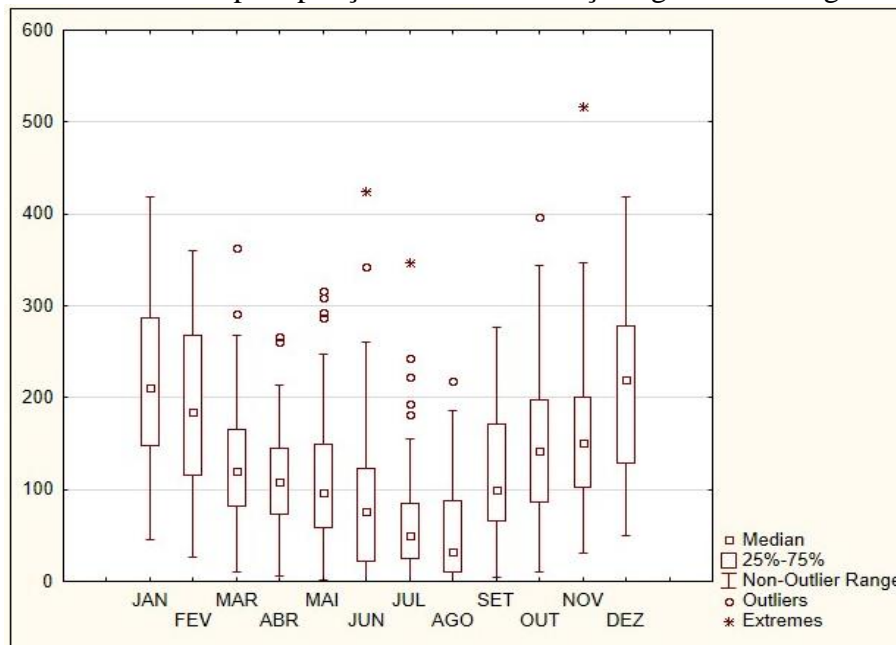
Na estação de outono, identificou-se assimetria deslocada a direita e mediana de 312mm. O intervalo entre quartis foi de 256 a 446mm. Foi identificado um valor discrepante de 798,8mm, no ano de 1992, caracterizado como El Niño. A menor altura pluviométrica nesta estação foi em 1997 com 148,4mm ocorrida em período de normalidade.

Já para a estação de inverno, constatou-se a estação menos chuvosa do município com mediana de 210mm e menor altura sazonal observada na série de 51,5mm no ano de 1985, identificado como influência de La Niña. Além disso, foram identificados três valores outliers com precipitação superior a 400mm, nos anos de 1982, 1997 e 2009, todos identificados como influência de El Niño (Quadro 1).

A estação da primavera foi classificada como a segunda mais chuvosa, com mediana de 411mm e intervalo entre quartis de 375 e 482mm. Foram constatados dois valores discrepantes, em 2009 com 866mm e 2015 com 974mm, ambos identificados como influência de El Niño. A menor altura pluviométrica nesta estação foi constatada em 1985 com 217mm, período de influência de La Niña.

Mensalmente, identificou-se grande variabilidade quanto ao o volume de chuva, principalmente em relação aos meses de verão. As maiores alturas pluviométricas observadas foram nos meses de dezembro - 419mm (1990), janeiro - 418mm (2016) e fevereiro - 359mm (1980), sendo estes, em período de normalidade (1980 e 1990) e de El Niño (2016).

**Figura 4 -** Variabilidade da precipitação mensal na estação agrometeorológica de Londrina.



Fonte: IAPAR; Org: autores (2018).

Através da análise da mediana observa-se grande redução na precipitação nos meses de outono em relação aos de verão, porém valores discrepantes podem acontecer, ao todo foram nove distribuídos entre os três meses. As maiores alturas foram registradas nos meses de outono foram: março - 362mm (1992), abril - 266mm (1985) e maio - 315mm (2002), sendo o primeiro e o terceiro em períodos de El Niño e o segundo em período de La Niña.

Na estação de inverno, destacam-se os meses mais secos no município, com medianas inferiores a 100mm e ocorrência de meses sem precipitação. Dois valores extremos e seis valores discrepantes foram identificados. Os extremos ocorrerem em junho de 1987 – 424mm e julho de 2015 – 346mm, ambos identificados como influência de El Niño (Quadro 1). Ao todo, foram detectados seis meses sem precipitação nessa estação, principalmente em agosto, no qual foram observadas cinco ocorrências.

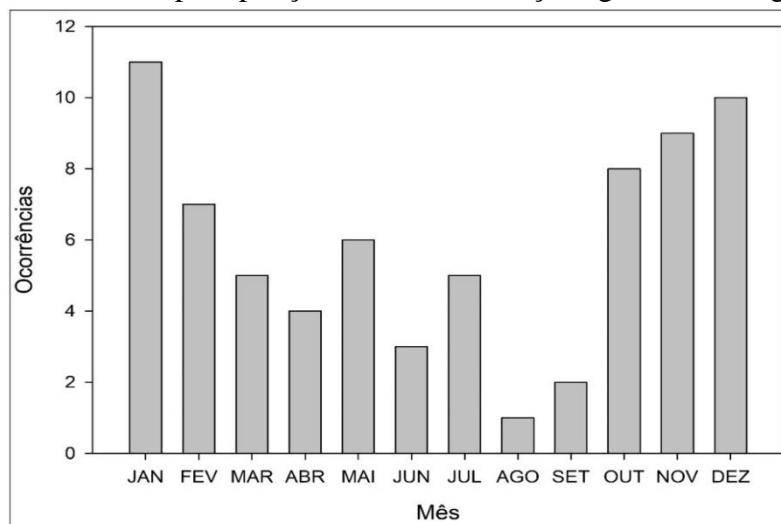
Nos meses da primavera, constatou-se aumento na precipitação em relação aos meses de outono e inverno. Identificou-se um valor discrepante e um extremo. As maiores alturas pluviométricas de cada mês foram: setembro – 277,2mm (1983), outubro – 396,3mm (2009) e novembro - 516,1 (2015), todos também identificados como influência de El Niño. A maior variação mensal foi nesta estação e no mês de novembro, variando de 30,7 no ano de 1987 (El Niño) à 516,1 no ano de 2015 (El Niño).



## Eventos extremos de precipitação

Para identificar as ocorrências de eventos extremos de precipitação na região utilizou-se como parâmetro as ocorrências com valor superior a metade da precipitação média mensal no intervalo de 24 horas (Figura 5).

**Figura 5** - Variabilidade da precipitação sazonal na estação agrometeorológica de Londrina.



Fonte: IAPAR (2018); organizado pelos autores (2019).

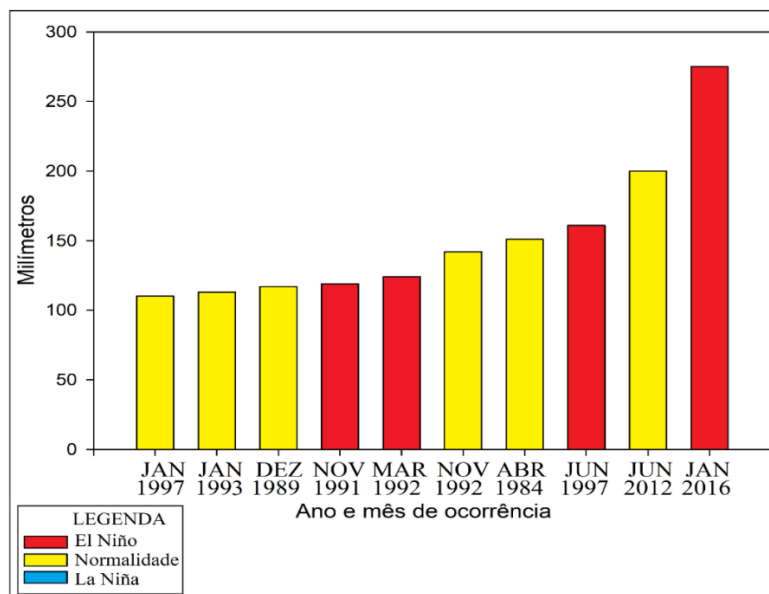
Assim como demonstrado na precipitação mensal e sazonal (Figuras 3 e 4) os meses da estação de verão foram os que registraram o maior número de dias com precipitação concentrada no intervalo de 24 horas, nos quais 11 ocorrências foram em janeiro e 10 em dezembro. Em seguida, aparece os meses da primavera, com destaque para outubro, com oito eventos. Nessas estações, predomina-se a formação de Sistemas Convectivos e Complexos Convectivos de Mesoescala – CCM na área de estudo.

Os sistemas convectivos possuem abrangência espacial, formando-se pelo processo de transferência intensa de calor por condução, que ocorre em grandes movimentos verticais, levando assim, ao processo rápido de condensação e a formação de Cumulonimbus (CALDANA; MARTELÓCIO, 2019). São caracterizados por eventos de curta duração e de forte intensidade, podendo vir acompanhada de descarga atmosférica, ventos fortes e granizo. Enquanto os CCM se diferenciam por possuir maior abrangência espacial (SCAGLIONI; SARAIVA, 2004; DAFIS et al., 2017; TREFAULT et al., 2018).

Quanto ao número de ocorrências nos meses de outono e inverno, destacam-se o mês de maio com maior número de ocorrências (6) e o mês de agosto com apenas uma. Nessas estações os eventos extremos em 24 horas se mostraram menos incidentes. Boa parte das chuvas destas estações se formam pela passagem de frente frias, em que as precipitações se formam com a entrada de Massas de Ar Polar que se chocam com o ar quente continental, gerando frentes frias e uma forte instabilidade atmosférica, podendo levar à formação de cumulonimbus e acarretar na formação de fortes tempestades, podendo vir acompanhadas de vendavais e na formação de granizo (PUNGE; KUNZ, 2016; CALDANA; MARTELÓCIO, 2019). Nestes casos, normalmente, a precipitação tem duração mais longa e menos intensa que na formação de Sistemas Convectivos e CCM formados nos meses de primavera e verão. Ainda podem ocorrer por frentes frias estacionárias com chuva fraca e contínua por vários dias (BEREZAUK; SANT'ANNA NETO, 2006; BEREZUK, 2017; PUNGE et al. 2017).

Para uma melhor identificação dos volumes de precipitação concentradas em 24 horas, averiguou-se as maiores dez alturas registradas na série histórica (Figura 6). Por meio deste processo, observou-se três ocorrências no mês de janeiro, que mais uma vez se destacou nas análises, seguido dos meses de junho e novembro, com duas ocorrências cada. Neste método de análise houve predomínio de eventos de normalidade, sob influência em seis ocorrências, e de El Niño, com quatro ocorrências.

**Figura 6** - Dez maiores alturas pluviométricas registradas no intervalo de 24 horas na estação agrometeorológica de Londrina.



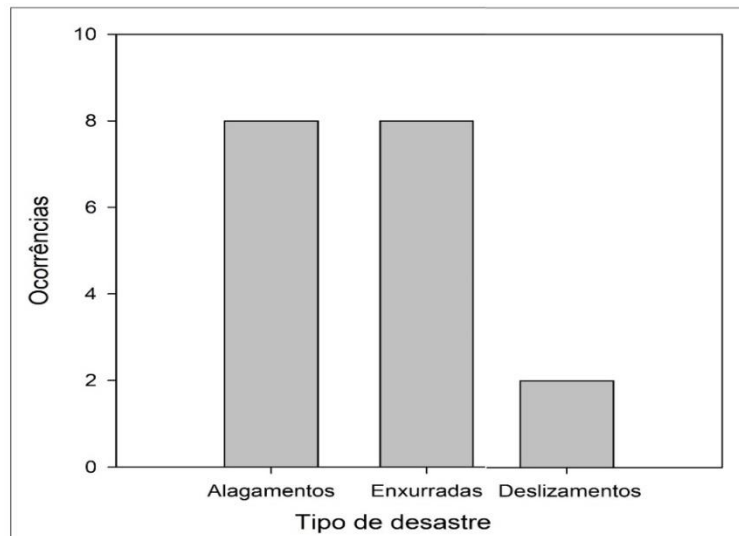
Fonte: IAPAR (2018); organizado pelos autores (2019).

Em condições de normalidade/neutralidade do ENOS podem ocorrer períodos de precipitação elevada na região Sul do Brasil, pois há redução nos bloqueios atmosféricos na faixa subtropical, enquanto na faixa tropical da América do Sul o ar que ascende a oeste (baixa pressão atmosférica) tende a descer sobre as águas frias a leste (alta pressão atmosférica). Em consequência, tem-se ausência de nuvens e de precipitação nesta região (RAO; HADA, 1990; FONTANA; BERLATO, 1997; PODESTÁ et al., 1999; BERLATO, 2005; BERLATO; FONTANA, 2011; ANDERSON et al., 2017). Fator que justifica as precipitações elevadas em todas as análises para o período de neutralidade na região.

Desastres naturais podem ocorrer em decorrência dos episódios extremos de precipitação, em especial cita-se alagamentos, inundações e enxurradas. Suas incidências em espaços ocupados e habitados pelo homem causam sérios danos, muitas vezes irreparáveis (MARCELINO, 2007; HAMMOND et al., 2015). Os alagamentos estão associados a processos de acúmulo de água em determinados locais, principalmente em baixadas, por ineficiência no sistema de drenagem. As inundações são causadas, principalmente, pela falta de drenagem e ocorrem com o transbordamento de um curso hídrico sobre sua área de várzea (muitas vezes ocupadas por construções humanas) (MARCELINO, 2007; CALDANA et al., 2018). Já as enxurradas ocorrem em processo similar a inundação, porém com maior área de abrangência e alto poder de transporte. Esses eventos podem se intensificar com os cenários de mudanças climáticas e serem ainda mais danosos em conjunto às constantes mudanças no uso e ocupação do solo sem planejamento (MARCELINO, 2007; HAMMOND et al., 2015; TANAKA et al. 2017; CHEN et al. 2018; HUANG et al. 2018; JAMALI et al. 2018). Dito

isso, a Figura 7 apresenta o tipo e o número de ocorrências de desastres para o município de Londrina.

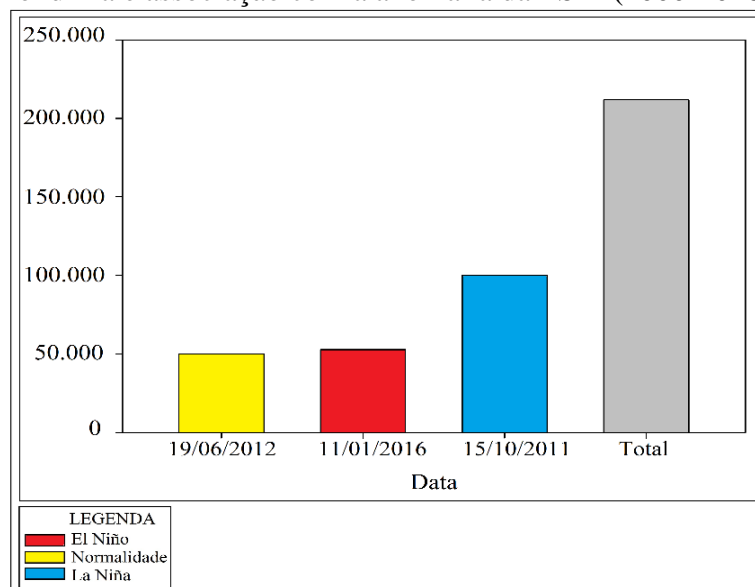
**Figura 7** - Tipos de desastres naturais vinculados a eventos de precipitação em Londrina (2000-2018).



**Fonte:** Defesa Civil do Paraná (2018), organizado pelos autores (2019).

Dentre os desastres naturais associados com precipitação em Londrina, destacaram-se os alagamentos e as enxurradas com oito eventos cada, cabe destacar, que para a Defesa Civil prestar assistência as ocorrências de desastres naturais, estes têm que ter trazido algum tipo de dano a sociedade (MARCELINO, 2007). No município de Londrina não houve nenhuma ocorrência de inundação, ao contrário da Região Metropolitana de Curitiba, que apresentou eventos frequentes (CALDANA, 2018). O número de pessoas afetadas por esses episódios pode observado na Figura 8.

**Figura 8** - Número de pessoas afetadas por desastres naturais vinculados a eventos de precipitação em Londrina e associação com a anomalia da TSM (2000-2018).



**Fonte:** Defesa Civil do Paraná (2018), organizado pelos autores (2019).

Ao todo, nos 17 anos analisados, 211.741 pessoas foram afetadas por alagamentos, enxurradas e deslizamentos em Londrina, ou seja, mais de 1/3 da população do município, que conta atualmente com 563.943 habitantes (IBGE, 2019). O evento com maior número de danos ocorreu no dia 15 de outubro de 2011, com mais de 100 mil pessoas afetadas. Nesse dia houve precipitação de 98,8mm em 24 horas.

#### Estudo de caso da precipitação do dia 11 de janeiro de 2016 em Londrina

A chuva de 11 de janeiro de 2016 foi a maior altura pluviométrica registrada em Londrina, totalizando 275,2mm no intervalo de 24 horas. Houve registro de precipitação em todas as horas do dia (Tabela 1). Destes, 41,8mm nas 12 primeiras horas e 88,6mm até às 18h00. A grande concentração ocorreu entre as 18h e as 00h, com 186,6mm. O pico por hora ocorreu entre 22h00 e 23h00, com 89,4mm.

**Tabela 1** - Precipitação em mm por hora na estação agrometeorológica de Londrina no dia 11 de janeiro de 2016.

Hora	mm	Hora	mm
1:00	1,4	13:00	6,2
2:00	5,8	14:00	8,8
3:00	0,2	15:00	12
4:00	0,4	16:00	5,6
5:00	0,4	17:00	6,8
6:00	1	18:00	7,4
7:00	0,2	19:00	9,2
8:00	1,2	20:00	8,6
9:00	2,6	21:00	26,6
10:00	11,8	22:00	32,8
11:00	8,6	23:00	89,4
12:00	8,2	00:00	20
Total: 275.2			

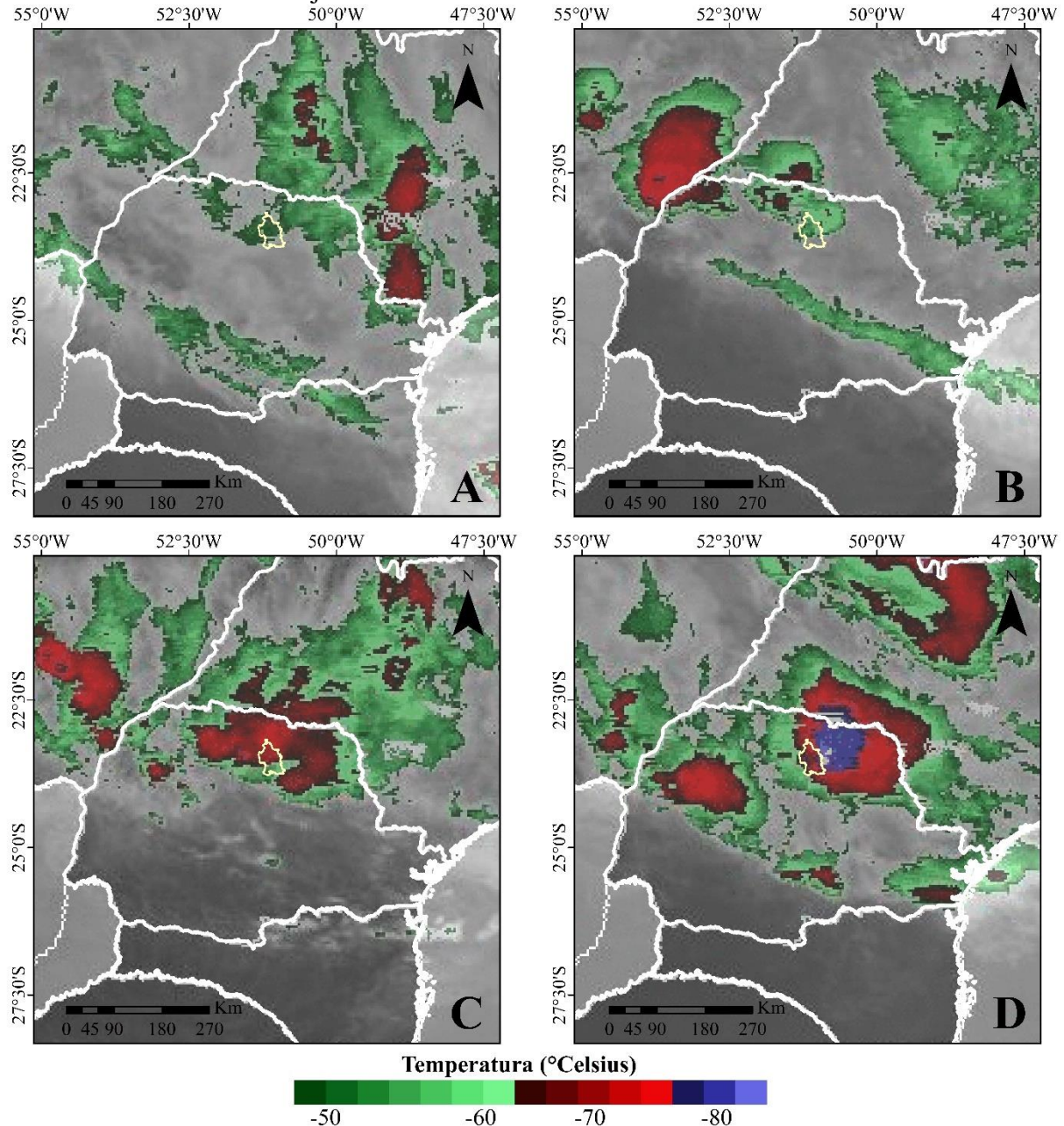
Fonte: SIMEPAR, 2019. Organizado pelos autores (2019).

O sistema atuante na precipitação do dia 11 foi um CCM. Este sistema é identificado em imagens de satélite pelo seu formato aproximadamente circular e por uma vasta área de abrangência de tempestades (CALDANA et al., 2018; CALDANA; MARTELÓCIO, 2019) (Figura 9). Sua incidência é principalmente na estação do verão, mas com ocorrências também nas estações de transição. São definidos como um aglomerado de cumulonimbus cobertos por uma densa camada de cirros, sendo ainda sistemas de nuvens convectivas, com rápido crescimento vertical e horizontal num intervalo de tempo de 6 a 12 horas (HOLLEMAN, 2001; SCAGLIONI; SARAIVA, 2004). Dependendo de sua intensidade, podem criar vários núcleos com formação e incidência de granizo (KUNZ, et al. 2009; PUNGE; KUNZ, 2016; DAFIS et al., 2017; PUNGE et al. 2017; CALDANA et al., 2018; TREFAULT et al., 2018; CALDANA et al., 2019). Este sistema tem grande atuação nas chuvas da região Sul, principalmente, nas estações de verão e primavera.

Como pode ser observado na Figura 9, o CCM começou a avançar do Paraguai em sentido ao Estado do Paraná às 12h00, no sentido oeste-leste. Na imagem das 18h00 já é possível identificar o sistema atuando sobre o município de Londrina, pela temperatura do topo das nuvens é possível identificar que a partir desse horário houve a maior incidência de

chuva no município, e por fim, na imagem das 23h30 já era menor e o sistema começou a perder força e avançar para o estado de São Paulo.

**Figura 9** - Formação e deslocamento do Complexo Convectivo de Mesoescala atuante no Estado do Paraná em 11 de janeiro de 2016.



Fonte: CPTEC (2019), organizado pelos autores (2019).

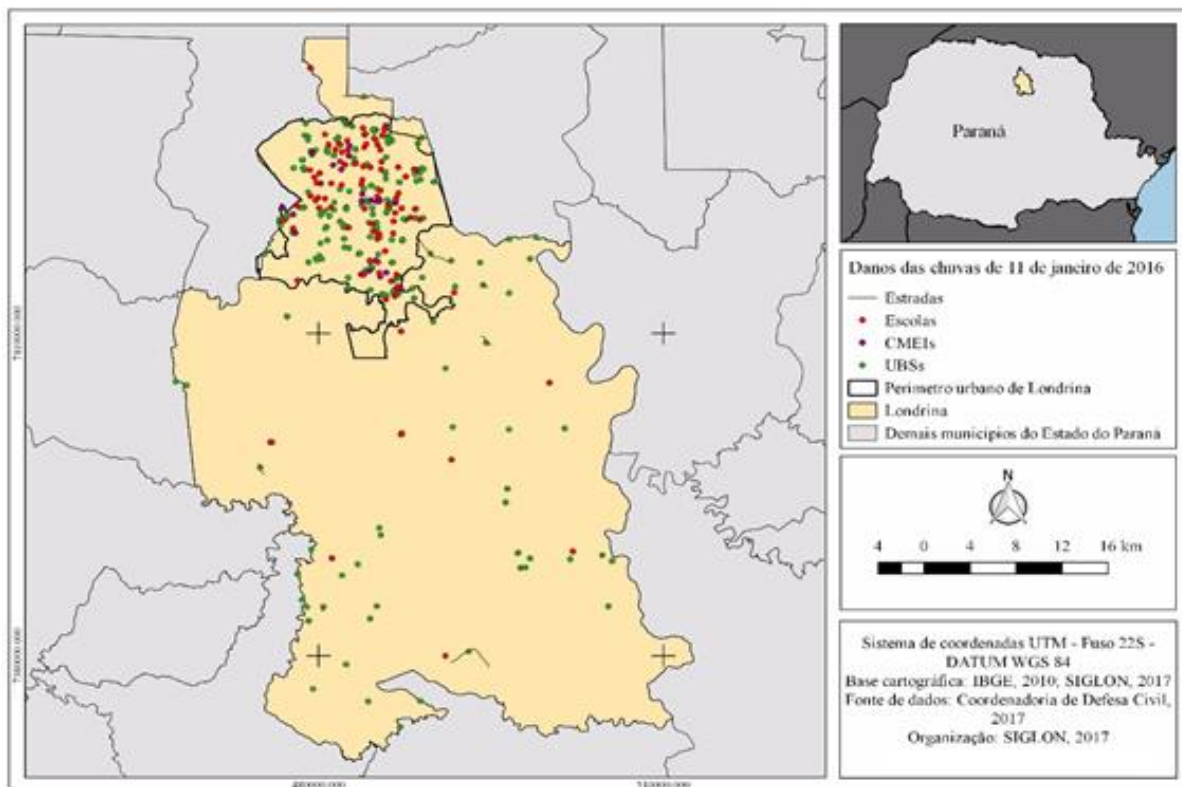
Considerando a mediana mensal do mês de janeiro (212,0 mm) é possível observar a magnitude da precipitação ocorrida no dia 11 de janeiro de 2016, que ultrapassou em mais de 60mm o mês mais chuvoso de Londrina no intervalo de 24 horas. Ressalta-se ainda o intervalo entre as 22 horas e às 23 horas, no qual choveu 89,4mm, ultrapassando a mediana de precipitação mensal dos meses de julho e agosto.

O acúmulo de precipitação provocou danos há aproximadamente 52.000 pessoas da região, a maioria desses foi registrado no perímetro urbano do município de Londrina (Figura



10). A quantia abarca pessoas que foram desabrigadas ou desalojadas, tiveram danos estruturais em suas residências ou foram afetadas devido a interdições nas rodovias e pontes, que impediram descolamento na zona rural (LONDRINA, 2016). Os dados especializados na Figura 10 consistem em danos causados a construções públicas, tais como: Centro Municipal de Educação Infantil - CMEIs, escolas, estradas e Unidades Básicas de Saúde – UBSs. Na figura, constata-se a dimensão dos estragos causados pela precipitação ocasionada no dia 11 de janeiro de 2016, uma vez que embora estejam registrados apenas danos causados a construções públicas, observa-se uma grande distribuição de áreas afetadas no município.

**Figura 10** - Localização e tipo de impactos causados devido as chuvas de 11 de janeiro de 2016.



**Fonte:** SIGLON (2017), organizado pelos autores (2019).

Segundo o levantamento realizado pela prefeitura de Londrina, houve grande concentração de danos na malha urbana, totalizando 258 danos a UBSs, estradas e pontes, 82 danos a escolas e 29 danos a CMEIs. Desses, vários problemas ainda não foram reparados (LONDRINA, 2016). Ainda conforme informações da prefeitura municipal de Londrina (LONDRINA, 2016), o prejuízo público foi de R\$ 95.123.975,44, incluindo danos em instalações públicas, unidades habitacionais e em obras de infraestrutura pública nas áreas urbana e rural.

Grande parte do Norte do Paraná teve urbanização rápida e acentuada no século XX (FRESCA, 2002). Esse processo acelerado pode ter ocasionado problemas no planejamento urbano em alguns municípios, causando vulnerabilidade socioambiental. Os principais fatores atribuídos aos riscos e vulnerabilidades socioambientais estão associados a urbanização rápida e acentuada de inúmeras cidades no Paraná, juntamente à grande população (em algumas cidades) e à pobreza urbana, que ocorre sobretudo periferias. Muitos são os exemplos de municípios com urbanização rápida e desordenada, e que com isso, ficam suscetíveis às



repercussões de desastres naturais, nos quais fica evidente a interação entre impactos e os riscos associados a áreas de concentração da pobreza/subabitações, que colocam em questão a veiculação de cidade, como exemplo de sucesso do planejamento urbano (MENDONÇA, 2004; ANDRADE, 2005; MENDONÇA 2016).

### Considerações Finais

Em Londrina, os meses de verão se destacaram em todos os métodos de análise como a estação mais propícia a grandes volumes pluviométricos em 24 horas, principalmente em janeiro. Observou-se grande variação na precipitação em todos os recortes analisados. Na precipitação anual a variação foi de 1.153mm em 1985 (La Niña) à 2.460 em 2015 (El Niño). Na precipitação sazonal, como a exemplo o verão, variando de 325,7mm em 2012 (La Niña) à 1.117,6mm em 2016 (El Niño). E ainda na mensal, como no mês de novembro, que variou de 30,7 no ano de 1987 (El Niño) à 516,1 no ano de 2015 (El Niño). Constatou-se que os eventos de maiores alturas pluviométricas na região ocorreram normalmente em períodos de El Niño ou, com menor frequência, em neutralidade, enquanto que períodos de La Niña ocorreram em boa parte dos períodos secos e sem nenhuma ocorrência em eventos chuvosos extremos.

Quanto aos danos e impactos dos eventos extremos, grandes alturas de precipitações pluviométricas foram identificadas em período de 24 horas neste município, sendo a maior em 11 de janeiro de 2016, com 275mm em 24 horas e 189mm das 18h00 às 00h00. Houveram mais de 50.000 pessoas afetadas e prejuízo estimado pelo município de R\$ 95.123.975,44. Ao longo do período analisado, 17 anos, mais de 200.000 pessoas foram afetadas por algum tipo de dano decorrente das chuvas em Londrina. Isto demonstra a necessidade de um planejamento urbano para criar estruturas que suportem os impactos de eventos extremos climáticos, pois, o prejuízo arcado posteriormente tanto pelos órgãos públicos, quanto para a sociedade, muitas vezes, chega a ser maior que o investimento para uma melhor infraestrutura urbana.

### Referências

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107 - 124, 2002.

ANDERSON, W. et al. Crop production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 151-165, 2017.

ANDRADE, H. O clima urbano-natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, v. 40, n. 80, p. 67-91, 2005.

BEREZUK, A. G.; SANT'ANNA NETO, J. M. Eventos climáticos extremos no oeste paulista e norte do Paraná, nos anos de 1997, 1998 e 2001. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, p. 9-22, 2006.

BEREZUK, A. G. Eventos Extremos: Estudo da Chuva de Granizo de 21 de Abril de 2008 na Cidade de Maringá-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 5, p. 153-164, 2017.

BERLATO, M. A. et al. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 423-432, 2005.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e a Agricultura da Região Sul do Brasil**. Embrapa Trigo. 2011.

CALDANA, N. F. S. et al. Ocorrências de Alagamentos, Enxurradas e Inundações e a Variabilidade Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 343-355, 2018.

\_\_\_\_\_. Gênese, Impacto e a Variabilidade das Precipitações de Granizo na Mesorregião Centro-Sul Paranaense, Brasil. **Caderno De Geografia**, v. 29, p. 61-80, 2019.

CALDANA, N. F. S.; MARTELÓCIO A. C. Gênese, frequência e intensidade das precipitações de granizo nas Mesorregiões Centro Oriental e Sudeste Paranaense, Brasil. **Geotextos**, v. 15, p. 205-229, 2019.

CARAMORI, P. H. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p.486-494, 2001.

\_\_\_\_\_. Sistema de alerta para geadas na cafeicultura do Paraná. **Informe Agropecuário (Belo Horizonte)**, v. 28, p. 66-71, 2007.

\_\_\_\_\_. Agrometeorologia operacional no estado do Paraná. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.24, n.1, p.65-70, 2016.

CHEN, W. et al. Urban inundation response to rainstorm patterns with a coupled hydrodynamic model: A case study in Haidian Island, China. **Journal of Hydrology**, v. 564, p. 1022-1035, 2018.

CIDADE, L. C. F. Urbanização, ambiente, risco e vulnerabilidade: em busca de uma construção interdisciplinar. **Cadernos Metrópole**, v. 15, n. 29, p. 171-191, 2013.

DAFIS, S. et al. Observational and modeling study of a mesoscale convective system during the HyMeX—SOP1. **Atmospheric Research**, v. 187, p. 1-15, 2017.

DIDOVETS, I. et al. Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 22, p. 100590, 2019.

DOURTE, D. R. et al. Exploring changes in rainfall intensity and seasonal variability in the Southeastern US: Stakeholder engagement, observations, and adaptation. **Climate Risk Management**, v. 7, p. 11-19, 2015.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.

FREIRE, N. B. C. et al. Vulnerabilidade socioambiental, inundações e repercussões na Saúde em regiões periféricas: o caso de Alagoas, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 3755-3762, 2014.

FRESCA, T. M. Industrialização no Norte do Paraná na década de 1990: transferência industrial e estratégias de crescimento. **Ciência Geográfica**, v. 10, p. 195-206, 2004.

GRIGOLETTI, G. de C. et al. Microclima urbano de áreas residenciais no período noturno: Estudo em Santa Maria, RS. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 2, p. 140-163, 2018.

HAMMOND, M. J. et al. Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 1, p. 14-29, 2015.

HOLLEMAN, I. **Hail Detection Using Single-Polarization Radar**. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2001.

HUANG, K. et al. Flood hydrograph coincidence analysis for mainstream and its tributaries. **Journal of Hydrology**, v. 65, p. 341-353, 2018.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), **Censo Demográfico: Brasil**, 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

JAMALI, B. et al. A rapid urban flood inundation and damage assessment model. **Journal of Hydrology**, v. 564, p. 1085-1098, 2018.

KUNZ, M. et al. Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 29, n. 15, p. 2283-2297, 2009.

LEM, S. et al. The heuristic interpretation of box plots. **Learning and Instruction**, v. 26, p. 22-35, 2013.

MARCELINO, E. V.; **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. INPE, Santa Maria, 2007.

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 10, n. 10, p. 139 - 148, 2005.

MENDONÇA, F. A. et al. Resiliência socioambiental-espacial urbana a inundações: possibilidades e limites no bairro Cajuru em Curitiba (PR). **Revista da ANPEGE**, v. 12, n. 19, p. 279-298, 2016.

NITSCHKE, P. R. et al. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Instituto Agrônomo do Paraná. Disponível em: < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677> > Acesso em: 23 de junho de 2019.

NOAA/CPC - National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center. **Oceanic Niño Index**. 2019. Disponível em:<

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml) >. Acesso em 14/01/2019.

PODESTÁ, G. P. et al. Associations between grain crop yields in central-eastern Argentina and El Niño–Southern Oscillation. **Journal of applied meteorology**, v. 38, n. 10, p. 1488-1498, 1999.

PREFEITURA DE LONDRINA. **Concluído o levantamento dos danos causados pelas chuvas em Londrina.** Disponível em: <  
[http://www1.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=23617:concluido-o-levantamento-dos-danos-causados-pelas-chuvas-em-londrina&catid=85:cidades&Itemid=972](http://www1.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=23617:concluido-o-levantamento-dos-danos-causados-pelas-chuvas-em-londrina&catid=85:cidades&Itemid=972) > Acesso em: 29 de janeiro de 2019.

PUNGE, H. J.; KUNZ, M. Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review. **Atmospheric Research**, v. 176, p. 159-184, 2016.

PUNGE H. J. et al. Hail frequency estimation across Europe based on a combination of overshooting top detections and the ERA-INTERIM reanalysis. **Atmospheric Research**, v. 198, p. 34-43, 2017.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

SCAGLIONI, T. P.; SARAIVA, J. M. B. Climatologia dos sistemas precipitantes para o período de fevereiro a dezembro de 2003, no Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro De Meteorologia**. 2004.

SCHNEIDER, H.; DA SILVA, C. A. O uso do modelo box plot na identificação de anos-padrão secos, chuvosos e habituais na microrregião de Dourados, Mato Grosso do Sul. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 27, p. 131-146, 2014.

SILVESTRE, M. R. et al. Critérios estatísticos para definir anos padrão: uma contribuição à climatologia geográfica. **Revista Formação**, v. 2, n. 20, p. 23-53, 2013.

TANAKA, T. et al. Impact assessment of upstream flooding on extreme flood frequency analysis by incorporating a flood-inundation model for flood risk assessment. **Journal of Hydrology**, v. 554, p. 370-382, 2017.

TREFALT, S. et al. A Severe Hail Storm in Complex Topography in Switzerland-Observations And Processes. **Atmospheric Research**, v. 209, p. 76-94, 2018.

TRENBERTH, K.; NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (Eds). Última alteração em 02 fev 2016. "*The Climate Data Guide: Niño SST Indices (Niño 1+2, 3, 3.4, 4; ONI and TNI)*." Disponível em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/Niño-sst-indices-Niño-12-3-34-4-oni-and-tni>. Acesso em 03 de janeiro de 2019.

TSAVDAROGLOU, M. et al. Proposed methodology for Risk analysis of interdependent Critical Infrastructures to Extreme weather events. **International Journal of Critical Infrastructure Protection**, v. 21, p. 57-71, 2018.

TSIGARIS, P.; WOOD, J.. The potential impacts of climate change on capital in the 21st century. **Ecological Economics**, v. 162, p. 74-86, 2019.

WOSSEN, T. et al. Impacts of climate variability and food price volatility on household income and food security of farm households in East and West Africa. **Agricultural Systems**, v. 163, p. 7-15, 2018.

Artigo recebido em 25-03-2019

Artigo aceito para publicação em 27-08-2019