

Jander Barbosa Monteiro

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará. Professor Adjunto do Curso de Geografia da Universidade Estadual Vale do Acaraú
jander_bm@hotmail.com

Maria Elisa Zanella

Doutora em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Organização do Espaço pela Universidade Estadual Paulista Rio Claro. Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará
elizav@terra.com.br

A metodologia dos máximos de precipitação aplicada ao estudo de eventos extremos diários nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral-CE

Resumo

No Brasil, eventos extremos máximos de precipitação são constantemente noticiados pela mídia devido ao grande poder deflagrador de impactos socioambientais que possuem. Como existem muitos fatores e variáveis que dificultam a identificação de um evento como extremo, este artigo objetiva identificar e avaliar eventos extremos máximos diários de chuva a partir da aplicação da metodologia estatística dos máximos de precipitação nos municípios cearenses de Crato, Fortaleza e Sobral (altamente urbanizados e localizados em contextos geoambientais diferentes). No período de janeiro de 1980 a junho de 2017 identificou-se eventos de grande intensidade, sistemas atmosféricos relacionados e impactos associados a estes. A maioria dos eventos ocorreu entre fevereiro e maio, geralmente associados à Zona de Convergência Intertropical - ZCIT. Dentre os impactos registrados destacam-se alagamentos, desabrigo, feridos e até mortes. Ainda que tais episódios ocorram, o planejamento e a gestão adequados podem contribuir para a adoção de estratégias de adaptação e prevenção.

Palavras-chave: Eventos extremos, Metodologias Estatísticas, Impactos Socioambientais.

Abstract

THE PRECIPITATION CAPITAL LEVEL METHODOLOGY ENFORCED TO DAILY EXTREME EVENT STUDIES IN CRATO, FORTALEZA AND SOBRAL CITY IN BRAZIL

In Brazil, capital extreme events of precipitation are often broadcasted by press due to their big exploder force of environmental impacts into society. This work has the goal of identify and assess the daily capital extreme events of rain from the application of the statistic methodology of precipitation capital levels in the cearence cities of Crato, Fortaleza and Sobral (highly urbanized and located into different geo-environmental contexts) facing factors and different situations which hinder the identification of an event as an extreme event. From January of 1980 to july of 2017 has been identified events of huge intensity, connected atmospheric systems and related impacts. Most of these events has occurred between february and may, usually connected to the intertropical convergence zone – ICZ. Among the registered impacts stand out floodings, homeless, injured people and dead ones. Even if these situations occur, planning and suitable management may contribute to implementation of adaptation and prevention strategies.

Key-words: extreme events, statistic methodologies, socio-environmental impacts.

1. Introdução

Os episódios climáticos extremos de precipitação são constantemente noticiados na mídia dados os prejuízos humanos, ambientais e econômicos vultosos que desencadeiam. Geralmente, tais eventos ganham maior visibilidade quando ocorrem em ambientes onde há um crescimento urbano intenso e desordenado (caso de muitas cidades brasileiras), uma vez que nestas áreas tais impactos são potencializados por diversos fatores relacionados a uma maior predisposição ao risco e à forte concentração de habitantes vivendo em condições de vulnerabilidade.

Existem muitos fatores e variáveis que levam à identificação de um determinado evento como extremo e, nesse sentido, não surpreende descobrir que não existe uma unanimidade na comunidade científica quanto à definição de evento extremo. A energia deles varia de acordo com sua ocorrência em diferentes localidades, assim como a própria interpretação de alguns pesquisadores para definir um determinado evento como extremo.

A partir desta problemática, surge a seguinte indagação: quando um determinado acumulado superior de chuva pode ser considerado como um

evento extremo? Ainda que o termo evento extremo envolva diferentes interpretações (desde um ponto de vista físico e/ou estatístico até um ponto de vista social), estes representam, em termos meteorológicos ou climatológicos, grandes desvios de um estado climático moderado (MARENGO, 2009), podendo ocorrer em escalas que podem variar de dias até milênios.

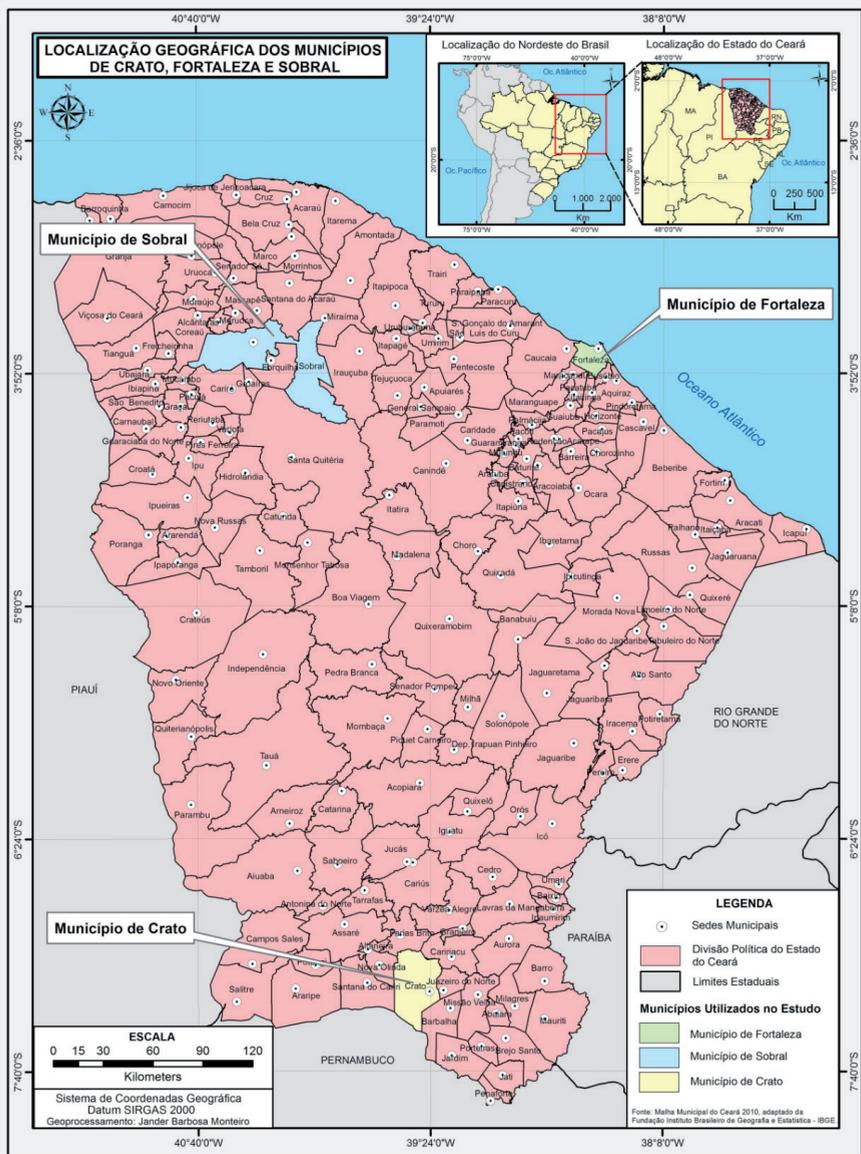
Assim, tal artigo objetiva identificar e avaliar eventos extremos máximos de chuva acumulada em 24 horas, a partir da utilização de uma metodologia estatística (metodologia dos máximos de precipitação), a qual foi aplicada, a título de exemplificação, nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral, localizados em diferentes porções do estado do Ceará (Figura 1) e que se encontram inseridos em um pequeno grupo de municípios do estado do Ceará com alto grau de urbanização (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2007).

As taxas de urbanização destes municípios apresentaram um crescimento considerável nas últimas décadas, chegando a 83% no Crato, 100% em Fortaleza e 88% em Sobral (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010).

Inclusive, Crato, Fortaleza e Sobral encontram-se assentados em diferentes Unidades Geoambientais. De acordo com a Compartimentação Geoambiental do estado do Ceará proposta por Souza (2007), enquanto que Fortaleza situa-se no litoral, nas Unidades Geoambientais da Planície Litorânea e do Tabuleiro Pré-litorâneo, Crato encontra-se no extremo Sul do estado, localizado em uma posição a barlavento da Chapada do Araripe e Sobral já figura nos Sertões do Centro-Norte, apresentando acumulados de chuva menos expressivos, já que a região encontra-se sob o domínio do clima semiárido.

A utilização de tal metodologia permitiu definir um limiar de chuva para caracterizar diferentes níveis de eventos extremos nas localidades supracitadas, além de permitir a identificação do número de episódios de grande magnitude, o dia em que ocorreram, os sistemas atmosféricos atuantes nos dias em que foram registrados volumes de chuva elevados, bem como impactos socioambientais relacionados aos eventos e que foram mencionados em jornais de circulação local e noticiários na mídia televisiva e digital.

Figura 1
LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS MUNICÍPIOS DE CRATO, FORTALEZA E SOBRAL



Fonte: autor.

Desta forma, tal pesquisa pode contribuir diretamente para estudos relacionados a eventos extremos máximos de chuva, uma vez que possibilita

o conhecimento de uma metodologia estatística bastante eficaz na definição de eventos extremos em diferentes níveis e intensidades, além de uma discussão conceitual e definição operacional em torno do que seria considerado como evento extremo.

2. Concepções teóricas e operacionais utilizadas na definição de eventos extremos

Devido aos muitos fatores e variáveis que levam à identificação dos eventos extremos, bem como os efeitos associados a estes, há inúmeras possibilidades de definição, do ponto de vista conceitual, do que poderia ser designado como evento extremo. Assim, não existe ainda uma unanimidade na comunidade científica quanto à sua definição.

No entanto, sabe-se que os mesmos são eventos raros, de aparição extraordinária (MONTEIRO, 2016) e que surpreendem por sua magnitude ou, como destaca a Defesa Civil, são caracterizados como eventos catastróficos, de difícil ocorrência e que geram consequências graves quando ocorrem (CASTRO, 2009).

Geralmente o termo é utilizado para designar fenômenos provenientes de episódios pluviométricos, desde aqueles que consideram acumulados mínimos de chuva (quando praticamente não ocorre a precipitação), até aqueles eventos máximos de precipitação (chuvas extremas), os quais ganham maior notoriedade na mídia eletrônica e impressa devido ao alto poder de deflagração de impactos diversos no meio em que ocorrem.

Assim, os eventos extremos de chuva são comumente analisados em estudos diversos que dão destaque aos fenômenos de secas e enchentes. Do ponto de vista temporal, enquanto que no primeiro consideram-se acumulados de chuva quase nulos ou ausentes em um longo período (meses), no outro consideram-se geralmente curtos períodos (horas ou dias) em que são registrados um grande acumulado de chuva que ocasionam fortes inundações.

Nestes estudos, o evento extremo pode possuir diferentes interpretações, desde aquelas que consideram aspectos que englobam um ponto de vista social, quando são consideradas variáveis como vulnerabilidade

e resiliência, até aquelas que consideram o ponto de vista físico/estatístico, quando geralmente é estudado a partir do acumulado em milímetros em uma determinada escala espaço-temporal (MONTEIRO, 2016).

Do ponto de vista social, os eventos extremos são considerados como aqueles episódios de chuva em que ocorrem danos materiais, humanos (morte ou desabrigo) e econômicos de grande importância, nos quais vulnerabilidade¹ e resiliência² assumem um importante papel na análise do evento extremo.

No que diz respeito aos episódios pluviométricos de grande intensidade, inúmeros fatores podem contribuir para potencializar tais eventos. A urbanização desordenada experimentada no Brasil é um fator que muito tem contribuído para potencializar os impactos provenientes de eventos extremos de chuva. Estas áreas têm recebido, cada vez mais, um contingente populacional vulnerável, o qual não possui recursos de qualquer natureza para responder positivamente às ameaças desencadeadas a partir da ocorrência de eventos extremos de chuva (DESCHAMPS, 2004; MENDONÇA, 2004; SANTOS, 2005).

Além da impermeabilização do solo, as inundações urbanas são potencializadas devido à deficiência na infraestrutura do sistema de drenagem e pelo lançamento indiscriminado de resíduos que obstruem canais e galerias pluviais.

Dessa forma, ainda que o excessivo volume acumulado de chuva esteja relacionado à atuação de sistemas atmosféricos de grande escala, os danos podem ser agravados devido a erros cometidos na exploração do meio ambiente, o que acaba por contribuir para uma intensificação dos impactos socioambientais no ambiente urbano (CONTI, 2011).

No entanto, ainda que tais variáveis relacionadas à vulnerabilidade socioambiental considerem aspectos relevantes para se avaliar o risco frente às ameaças naturais (no intuito de potencializar os efeitos de eventos máximos de precipitação), estas análises envolvem questões subjetivas que podem dificultar a identificação de um determinado episódio pluviométrico como evento extremo.

Visando a uma definição mais coerente e operacional para evento extremo, faz-se necessário considerar o comportamento da chuva em uma determinada localidade e em um determinado tempo (análise

espaço-temporal), a qual permite uma melhor interpretação dos eventos de chuva extrema.

Assim, considerar o evento extremo a partir de um ponto de vista físico/estatístico pode contribuir, tanto para uma melhor definição/identificação do evento do ponto de vista operacional, até mesmo para avaliar, à *posteriori*, outros fatores (econômicos, ambientais, sociais, estruturais etc.) que podem potencializar os efeitos desencadeados a partir da ocorrência de episódios pluviométricos de grande intensidade.

Do ponto de vista físico, um evento extremo poder ser definido como um evento raro em determinado/a lugar/época do ano, podendo variar de uma localidade para outra. As definições de raro podem até variar, mas um evento climático extremo, normalmente, é tão ou mais raro que a ocorrência de um valor acima do limite superior ou abaixo do limite inferior da gama de valores da variável observada (XAVIER; XAVIER; ALVES, 2007; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2012).

Claro que, ao analisar um determinado período, utilizando-se, por exemplo, uma longa série histórica (30 anos ou mais), os muitos valores “nulos” (dias em que não ocorre precipitação) ou aqueles de pequena expressão (2 milímetros, 5 milímetros ou pouco mais) poderiam mascarar os valores correspondentes aos eventos extremos superiores, os quais não desencadeariam, necessariamente, danos de grandes proporções.

Faz-se necessário estabelecer um limiar de chuva para que a partir deste possam ser considerados valores de precipitação que, dependendo de algumas variáveis (localização geográfica, intervalo de tempo em que ocorreu a precipitação, impermeabilização, vulnerabilidade etc.), apresentariam uma grande probabilidade de desencadear algum tipo de dano para a sociedade.

Alguns autores como Conti (2011) e Teixeira (2004), ao procurarem definir de forma mais operacional o que seria designado como um evento “superior” de chuva extrema, consideraram acumulados de precipitação que ultrapassam 50 mm em 24 horas, acreditando que a partir deste limiar de chuva já pode ser verificado algum tipo de impacto em áreas densamente urbanizadas.

Do ponto de vista operacional, o estabelecimento de tal limite inferior apresenta um tratamento coerente no que diz respeito à definição de determinados episódios de chuva como eventos máximos de precipitação.

Concordando com esta concepção operacional, Gao, Jeremy e Fillipo (2006), Frich, Alexander, Dellamarta et. al. (2002) e Silva (2012) respeitaram o limite inferior de 50 mm para definir eventos extremos de chuva, além de estabelecer quatro intervalos de intensidade entre os próprios eventos extremos a partir da adoção de uma metodologia estatística (metodologia dos máximos de precipitação).

Ao utilizar intervalos de intensidade entre eventos extremos, tal metodologia, além de desconsiderar acumulados de chuva que não são muito representativos, utiliza uma análise estatística mais coerente, principalmente quando se considera a ocorrência dos eventos situados na classe superior, considerados como eventos extremos de grande intensidade. Geralmente, tais eventos ultrapassam os 100 milímetros acumulados em 24 horas e tal acumulado de chuva varia de acordo com a localidade em estudo.

Afinal, quando consideramos o comportamento da chuva em países com grandes extensões (caso do Brasil), existem particularidades de cada localidade que influenciam na maior ou menor atuação de determinados sistemas atmosféricos que ocasionam chuvas de elevada intensidade.

Ou seja, considera-se o comportamento da chuva de cada localidade (localização geográfica) em um longo período (série histórica de 30 anos ou mais), caracterizando um tratamento mais compreensivo.

3. Materiais e métodos

No intuito de identificar eventos extremos máximos de precipitação acumulada em 24 horas nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral, os sistemas atmosféricos que podem ter influenciado diretamente para um acumulado de chuva expressivo, bem como avaliar os impactos desencadeados a partir da ocorrência de tais eventos, fez-se necessário o cumprimento de algumas etapas.

Inicialmente foram selecionados os acumulados diários de chuva de postos pluviométricos localizados na sede de cada município³ em uma série histórica de janeiro de 1980 a junho de 2017, de acordo com informações disponibilizadas pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME.

Em um segundo momento, foram utilizadas imagens de satélites (GOES e METEOSAT) disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e pela National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, as quais permitiram identificar o sistema atmosférico atuante na data de ocorrência dos respectivos eventos máximos de precipitação.

Por fim, levando-se em consideração a identificação dos eventos extremos de maior magnitude (Eventos Extremos de Nível IV), foram localizadas matérias nos bancos de dados de jornais de circulação local (O Povo e Diário do Nordeste), as quais geralmente apresentam informações sobre os possíveis impactos socioambientais verificados nas cidades de Crato, Fortaleza e Sobral.

3.1 *A metodologia dos máximos de precipitação*

A metodologia dos máximos de precipitação foi utilizada, a título de exemplificação, nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral, com o objetivo de estimar valores extremos de chuva nestes municípios cearenses, os quais apresentam um alto grau de urbanização e onde geralmente são verificados impactos socioambientais vultosos desencadeados a partir de episódios pluviométricos de grande intensidade.

Anteriormente utilizada por Gao, Jeremy e Fillipo (2006), Frich, Alexander, Dellamarta et. al. (2002) e Silva (2012), tal metodologia apresenta coerência no tratamento de eventos extremos diários de chuva, uma vez que trabalha com um limiar de precipitação e classes de intensidade de chuva, permitindo a identificação de eventos que, indiscutivelmente, podem ser considerados como de grande magnitude.

A partir da realização de cálculos estatísticos, da mesma forma que Silva (2012), foram definidas cinco faixas para caracterizar os eventos extremos de chuva. A primeira faixa corresponde à normalidade, na qual

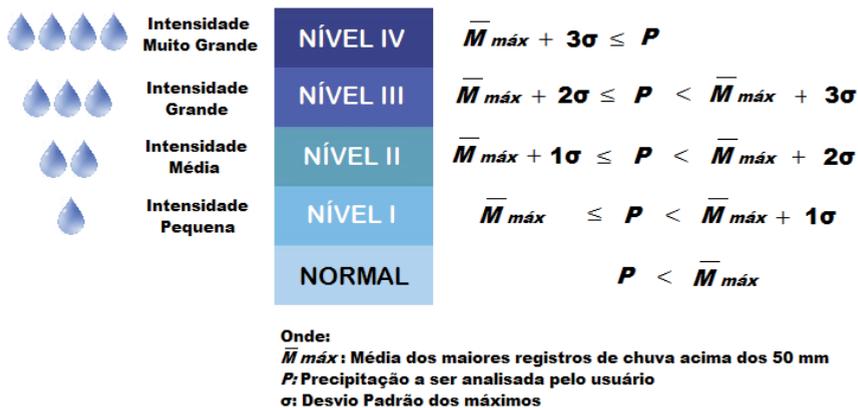
se encontram aqueles acumulados em torno de 50 milímetros (ou mais), enquanto que as demais faixas representam os diferentes níveis de intensidade dos eventos extremos (Níveis I a IV).

Para a realização do cálculo estatístico foi utilizado o procedimento inicial (para cada município) de seleção dos acumulados diários de chuva (24 horas) iguais ou superiores a 50 milímetros (limite inferior), no período de janeiro de 1980 a junho de 2017.

Em seguida, tais registros foram tabulados e dispostos em ordem crescente (do menor acumulado de chuva ao maior acumulado), no intuito de facilitar a análise dos episódios de chuva mais extremos.

Após esta disposição, prosseguiu-se com o cálculo da média dos máximos (média aritmética dos valores selecionados) e do desvio padrão dos máximos, os quais foram utilizados em uma fórmula para definição dos níveis de intensidade dos eventos extremos (Figura 2).

Figura 2
FÓRMULAS PARA DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE INTENSIDADE DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA



Fonte: Autor/Baseado em Silva (2012).

4. Resultados e discussão

A realização dos cálculos estatísticos e a aplicação da metodologia dos máximos de precipitação possibilitou identificar os valores de referência para cada nível de evento extremo nos três municípios em análise (Figura 3).

Figura 3
VALORES DE REFERÊNCIA PARA CADA NÍVEL DE EVENTO EXTREMO

	CRATO	FORTALEZA	SOBRAL	
 Intensidade Muito Grande	NÍVEL IV	137,0	161,0	115,8
 Intensidade Grande	NÍVEL III	115,3	132,7	99,1
 Intensidade Média	NÍVEL II	93,7	104,5	82,4
 Intensidade Pequena	NÍVEL I	72,0	76,2	65,7

Fonte: autor.

A partir de tais valores foi possível contabilizar os eventos extremos que ocorreram em cada município, os quais podem ser analisados por intensidade (Tabela 1).

Tabela 1
NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS POR MUNICÍPIO E DE ACORDO COM SUA INTENSIDADE

Município	Nível I	Nível II	Nível III	Nível IV	Total de Eventos
Crato	36	14	4	4	58
Fortaleza	51	14	5	5	75
Sobral	25	7	2	2	36

Fonte: autor.

O destaque fica para o município de Fortaleza, localizado na porção litorânea do estado do Ceará que, além do maior registro de eventos extremos (75 no total), foi o município que apresentou a maior ocorrência de eventos de Nível IV (5 eventos) e os maiores totais de pluviosidade acumulados em 24 horas.

Tais acumulados mais expressivos podem ser explicados, ao menos em parte, pela localização geográfica do município em uma porção litorânea, o que justifica a possibilidade de maior atuação de sistemas atmosféricos como Linhas de Instabilidade (que ocorrem paralelas à costa), Sistemas de Brisa (ocorrem em áreas litorâneas), Distúrbios Ondulatórios de Leste (mais frequentes no litoral) ou até mesmo da ZCIT, o principal sistema atmosférico que ocasiona chuvas no estado do Ceará e que realiza sua

incurção meridional geralmente nos primeiros meses do ano, desencadeando possíveis episódios de chuvas concentradas.

Os eventos extremos de Nível IV (de cada município) foram selecionados e analisados detalhadamente com o intuito de avaliar possíveis impactos e a gênese destes eventos de grande magnitude. Assim, além da data de ocorrência do evento (Tabela 2), foram verificadas as imagens de satélites no dia em que o evento ocorreu (objetivando identificar o sistema atmosférico atuante) e a repercussão dos mesmos em jornais de circulação local.

Tabela 2

TOTAL ACUMULADO, DATA DE OCORRÊNCIA DOS EVENTOS DE NÍVEL IV E SISTEMA ATMOSFÉRICO ATUANTE

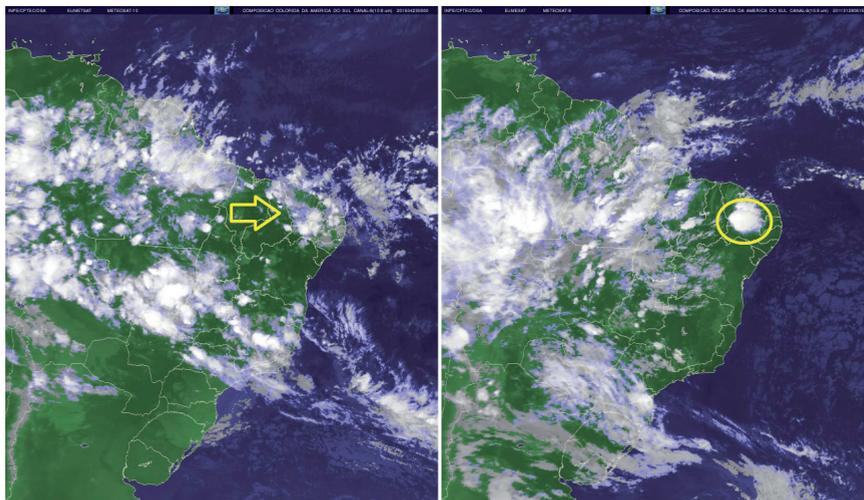
Município	Total Acumulado (milímetros)	Data de Ocorrência	Sistema atmosférico atuante
Crato	140,0 mm	06/01/1980	VCAN
	140,0 mm	23/04/2015	ZCIT
	156,0 mm	16/02/2004	ZCIT
	162,0 mm	28/01/2011	CCM
Fortaleza	161,6 mm	21/03/1981	VCAN + ZCIT
	162,0 mm	24/04/1997	CCM
	197,5 mm	27/03/2012	VCAN + ZCIT
	197,6 mm	23/06/2012	DOL
	250,0 mm	29/01/2004	VCAN + ZCIT
Sobral	135,0 mm	28/04/1994	LI + ZCIT
	141,0 mm	21/03/2003	ZCIT

Fonte: autor.

Foram identificados quatro eventos extremos de Nível IV no município de Crato, com destaque para os 162,0 mm registrados no dia 28 de janeiro de 2011, devido à atuação de um Complexo Convectivo de Mesoescala – CCM⁴. Outros dois eventos foram ocasionados pela atuação da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT⁵, o principal sistema atmosférico gerador de precipitação na porção setentrional do Nordeste brasileiro,

onde este município cearense encontra-se localizado. O mais recente ocorreu no dia 23 de abril de 2015, apresentando um acumulado expressivo de 140,0 mm (Figura 4).

Figura 4
ATUAÇÃO DA ZCIT NO DIA 23/04/2015 E DE UM CCM NO DIA 28/01/2011, RESPECTIVAMENTE



Fonte: CPTEC/INPE – Satélite METEOSAT.

O evento extremo de 140,0 mm do dia 23 de abril de 2015 foi destacado em matéria veiculada no *Jornal Diário do Nordeste*, onde foram mencionados impactos verificados no município de Crato. Além de uma Escola Pública, alguns imóveis localizados próximos ao canal do rio Granjeiro foram afetados e moradores tiveram móveis e eletrodomésticos danificados em suas residências. O comércio local foi prejudicado, além do tráfego de veículos que ficou inviável em alguns momentos (CHUVA, 2015).

O evento do dia 16 de fevereiro de 2004, também ocasionado pela atuação da ZCIT, foi mencionado em matéria intitulada “Tromba d’água desaba sobre o Cariri”, publicada no *Jornal Diário do Nordeste* no dia posterior ao evento (TROMBA-D’ÁGUA, 2004). A matéria também detalhou entrevistas realizadas com alguns moradores que tiveram prejuízos e alertou quanto ao número de desabrigados.

O evento do dia 28 de janeiro de 2011, com 162,0 mm acumulados em 24 horas e ocasionado por um CCM, obteve destaque de capa no *Jornal*

O Povo. Nas imagens, a estrutura do canal do rio Granjeiro e uma ponte ficaram parcialmente comprometidas (Figura 5).

Figura 5
CAPA DA EDIÇÃO DE 29 DE JANEIRO DE 2011 DO JORNAL O POVO



Fonte: Banco de dados O Povo.

Informações disponibilizadas na própria matéria indicam prejuízos estimados em 50 milhões de reais e impactos diversos, tais como pontes

destruídas (5 no total), pessoas desabrigadas (cerca de 50), desabamentos (12 no total), famílias sem energia (cerca de 600) e água (cerca de 400).

O município de Fortaleza apresentou os acumulados de chuvas mais expressivos quando comparados aos demais municípios em análise. Entre os eventos extremos de Nível IV identificados, chama-se atenção para o curioso fato de que os mesmos estão associados a sistemas atmosféricos diferentes, em alguns casos em atuação conjunta com a ZCIT. Os incríveis 250,0 mm acumulados de chuva em 29 de janeiro de 2004 ganham destaque, fruto da atuação conjunta da ZCIT e de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis - VCAN⁶. O evento foi tão expressivo que recebeu destaque de capa na edição de *O Povo* do dia 30 de abril de 2004 (Figura 6). Segundo informações da Defesa Civil disponibilizadas na matéria, cerca de 189 famílias ficaram desabrigadas. Inclusive, uma morte na capital foi relacionada ao evento extremo.

Figura 6

VCAN E ZCIT EM ATUAÇÃO NO DIA 29/01/2004 NA PORÇÃO SETENTRIONAL DO NORDESTE BRASILEIRO E DESTAQUE DE CAPA PARA O EVENTO EM JORNAL LOCAL, RESPECTIVAMENTE



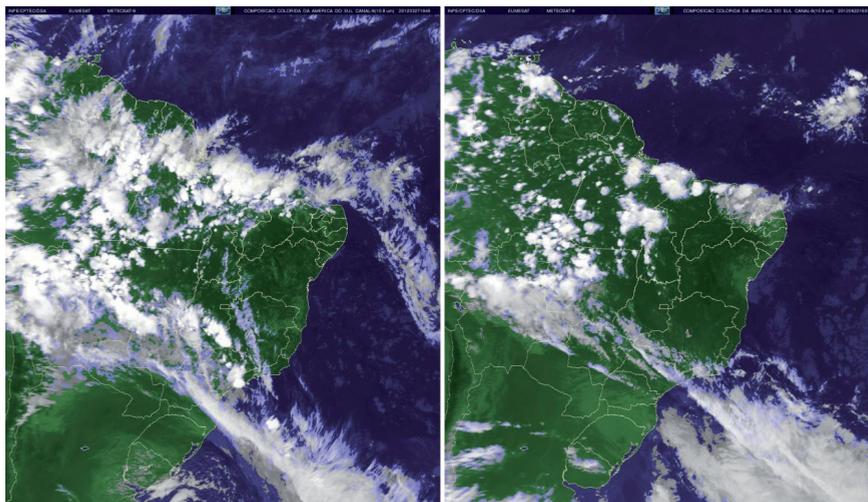
Fonte: CPTEC/INPE e Banco de dados do *Jornal O Povo*.

Outros dois eventos mais recentes também repercutiram em jornais de circulação local devido aos acumulados de chuva praticamente iguais (197,5 mm e 197,6 mm, respectivamente) e que foram registrados no

mesmo ano, com uma pequena diferença temporal de aproximadamente três meses. Enquanto que o evento do dia 27 de março de 2012 foi desencadeado pela atuação conjunta da ZCIT e de um VCAN, o evento que ocorreu entre 22 e 23 de junho de 2012 estava associado à atuação de um Distúrbio Ondulatório de Leste - DOL⁷ (Figura 7).

Figura 7

ZCIT E VCAN EM ATUAÇÃO NO DIA 27/03/2012 E DOL ATUANDO NO DIA 22/06/2012



Fonte: CPTEC/INPE – METEOSAT.

O acumulado de chuva registrado no dia 27 de março se estendeu até o dia posterior. Juntos, os acumulados de 27 e 28 de março totalizaram cerca de 260,0 mm na capital cearense. Certamente a cidade enfrentou transtornos diversos. Em notícia veiculada no *Jornal O Povo*, a Defesa Civil informou que atendeu 180 ocorrências, identificou 85 pontos de alagamento, 65 áreas inundadas, 13 desabamentos e 4 quedas de árvores (A MAIOR, 2012a).

No evento do dia 23 de junho de 2012 foram registradas, de acordo com informações da Defesa Civil do estado em matéria disponibilizada pelo *Jornal O Povo* (Figura 8), 287 ocorrências em Fortaleza, além de 194 pontos de alagamento, inundações em 37 áreas da cidade e 22 desabamentos (A MAIOR, 2012b).

Figura 8

TRECHO DE MATÉRIA DO *JORNAL O POVO* EM EDIÇÃO DO DIA 24 DE JUNHO DE 2012



Fonte: Banco de dados O Povo.

Em matéria recente, publicada na edição do dia 24 de abril de 2017 do *Jornal O Povo*, o evento de 162,0 mm do dia 24 de abril de 1997, que ocorreu devido à atuação de um CCM, foi lembrado devido a seu elevado acumulado de chuva e os inúmeros impactos registrados na cidade.

Na matéria, que fazia menção ao aniversário de vinte anos do referido evento, destacaram-se os danos em todos os bairros da cidade. No bairro Lagamar, o rio Cocó transbordou. No bairro Henrique Jorge, uma ponte desabou sobre o rio Maranguapinho, atingindo uma casa. No bairro Ellery, um homem foi encontrado morto em um açude. Duas crianças desapareceram em uma lagoa no bairro Serrinha. Apenas 40% das lojas do Centro da cidade abriram e o aeroporto da cidade ficou fechado até o meio-dia. Os números disponibilizados pela Defesa Civil informavam 535 pessoas desabrigadas e 95 desabamentos. Um homem veio a óbito ao ser arrastado pela correnteza (HÁ 20 ANOS, 2017).

No município de Sobral, dois eventos de chuva extrema de Nível IV foram identificados a partir da aplicação da Metodologia dos Máximos de Precipitação. São eles: o acumulado de chuva de 135,0 mm, registrados no dia 28 de abril de 1994, e o acumulado de chuva de 141,0 mm, no dia 21 de março de 2003.

Este último, com um acumulado mais expressivo, ocorreu a partir da atuação do principal sistema atmosférico que ocasiona chuvas no setor norte do Nordeste brasileiro, a ZCIT, muito comum neste período do ano.

Os dois eventos foram mencionados na mídia impressa. O primeiro, registrado no dia 28 de abril de 1994, destaca que 145 famílias ficaram desabrigadas no município de Sobral após a ocorrência do evento extremo (Figura 9). Na ocasião, um assessor da Prefeitura Municipal de Sobral informou que os bairros mais atingidos na cidade foram José Euclides, Padre José Palhano, Sumaré e Expectativa. Curiosamente, o evento de 1994 foi ocasionado por uma Linha de Instabilidade - LI^B associada à proximidade da ZCIT, comum neste período do ano.

Figura 9
TRECHO DE MATÉRIA PUBLICADA NO JORNAL O POVO DO DIA 29 DE ABRIL DE 1994



Fonte: Banco de dados *O Povo*.

O evento extremo de chuva registrado em março de 2003 também trouxe transtornos para os cidadãos sobralenses. Cerca de 400 famílias ficaram desabrigadas, de acordo com matéria publicada no *Jornal O Povo*. Ruas da cidade ficaram alagadas e algumas escolas tiveram que aguardar cerca de duas horas após o expediente normal para liberar alunos com tranquilidade. Lojas no centro da cidade serviram de abrigo para muitos habitantes, inclusive para os próprios funcionários que permaneceram mesmo após o término do expediente normal. Dez casas desabaram, além de um muro de uma escola e um teto de uma revenda de veículos automotivos. Famílias atingidas foram remanejadas para abrigos provisórios (CHUVA, 2003).

5. Conclusões

A repercussão espacial de episódios máximos de chuva extrema nas mídias eletrônica e impressa geralmente ganham muita notoriedade pelos impactos socioambientais deflagrados, os quais provocam inúmeros prejuízos econômicos, materiais e, em alguns casos, vítimas fatais.

Tais impactos são incrementados devido a uma série de fatores que os potencializam, dentre os quais podem ser destacados: ocorrência de populações vulneráveis habitando áreas consideradas de risco, problemas relacionados à drenagem urbana das cidades ou até mesmo carência de políticas públicas que possibilitem atitudes positivas de resposta frente à ocorrência de eventos de chuva extrema.

No Brasil, geralmente identifica-se uma forte relação da urbanização com a potencialização dos impactos associados a eventos máximos de precipitação, pois o crescimento urbano desordenado, as altas taxas de impermeabilização e a elevada concentração de populações vivendo em condições vulneráveis nestas cidades com altas taxas de urbanização acabam incrementando tais impactos.

No estado do Ceará, o cenário semelhante se configura em cidades como Crato, Fortaleza e Sobral que, quando registram eventos de precipitação de grande magnitude, geralmente não apresentam uma capacidade de resposta/resiliência frente à ocorrência do evento extremo. Tal fato foi verificado na pesquisa aqui desenvolvida. Afinal, inúmeros impactos socioambientais foram identificados nos dias em que ocorreram eventos extremos máximos de precipitação nos municípios em análise.

A utilização da metodologia estatística dos máximos de precipitação na identificação de tais eventos foi uma importante aliada nesta análise, uma vez que possibilitou, de forma objetiva e operacional, a definição do que poderia ser considerado extremo em uma determinada localidade.

Afinal, a identificação de eventos extremos a partir de doses subjetivas, sem considerar necessariamente o comportamento e os acumulados de chuva verificados em uma série histórica confiável de um município, por exemplo, apresentariam certa incoerência do ponto de vista temporal e espacial.

O município de Fortaleza, além de registrar um maior número de eventos extremos, apresentou os maiores acumulados diários. A posição geográfica, incluindo aí a maior proximidade da ZCIT e a localização em uma porção litorânea, pode ser um fator que contribui para os acumulados e registros mais expressivos.

Em contrapartida, o município de Sobral, localizado em uma porção continental mais interiorana, apresentou acumulados de menor expressão, além do menor número de registros. Tal cidade encontra-se inserida no domínio do clima semiárido, apresentando chuvas escassas e mal distribuídas ao longo do ano. Assim, a ocorrência de eventos extremos de grande magnitude, neste município, apresenta um caráter ainda mais raro do ponto de vista estatístico quando comparados aos outros dois municípios.

O município de Crato, ainda que esteja situado em uma porção mais interiorana, acaba possuindo acumulados de chuvas expressivos, os quais podem ser justificados, em grande parte, pelo fato da cidade estar situada em uma posição a barlavento da Chapada do Araripe, o que pode acabar contribuindo para um maior volume de chuvas.

De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, é possível identificar uma forte relação dos eventos extremos de Nível IV com a atuação da Zona de Convergência Intertropical entre os meses de fevereiro e maio, com destaque para os meses de março e abril, quando geralmente a ZCIT atinge sua máxima posição meridional.

Ainda assim é possível identificar eventos extremos de grande magnitude deflagrados a partir da atuação de outros sistemas atmosféricos como os Complexos Convectivos de Mesoescala - CCM's, os Distúrbios Ondulatórios de Leste - DOL's, as Linhas de Instabilidade - LI's e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis - VCAN's.

Inclusive, a atuação conjunta destes dois últimos com a ZCIT desencadeou grandes episódios de chuva no período em análise e que foram caracterizados como eventos extremos de Nível IV, os quais geralmente são identificados no meses de fevereiro, março, abril e maio.

No entanto, algumas exceções podem ser identificadas, uma vez que também ocorreram eventos de chuva extrema nos meses de janeiro e junho, por exemplo. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis geralmente ocorrem entre dezembro e fevereiro, sendo o mês de janeiro o de maior

ocorrência, enquanto que os Distúrbios Ondulatórios de Leste podem desencadear episódios de chuvas extremas nos meses de junho, julho e agosto, fato que também foi identificado na pesquisa aqui desenvolvida.

Ainda que eventos extremos de chuva ocorram no Ceará, estes acabam não sendo considerados tão extremos assim quando comparados com outras áreas do país e quicá do planeta. Além do mais, o binômio seca-enchente parece dificultar a adoção de medidas preventivas no Ceará. As preocupações mudam na proporção em que muda o comportamento da chuva do estado. Dessa forma, tais medidas acabam possuindo um caráter emergencial e assistencialista.

Não se trata de propor a fórmula perfeita para minimizar os efeitos provenientes de um episódio pluviométrico de grande magnitude. Afinal, cada localidade apresenta particularidades que envolvem questões referentes à produção/organização do espaço urbano, à vulnerabilidade das populações, à educação ambiental utilizada na adoção de medidas preventivas, a adoção de medidas/ações que possibilitem uma resposta positiva e estratégias de adaptação para lidar com estes episódios extremos de chuva, dentre outros fatores.

O planejamento eficiente e a gestão urbana das cidades estão, cada vez mais, sendo colocados no cerne deste debate, com o intuito de discutir e promover estratégias e ações que possibilitem cidades mais resilientes e adaptadas à ocorrência de eventos extremos de chuva com grandes proporções.

Notas

- ¹ A vulnerabilidade está “atrelada a uma série de contingências sociais, políticas, econômicas, culturais, tecnológicas etc.” (MENDONÇA, 2011, p. 114), ou seja, encontra-se relacionada à propensão ou à suscetibilidade de sofrer perdas, levando-se em consideração as condições objetivas e subjetivas de existência, historicamente determinadas, que originam ou potencializam os danos provenientes de uma ameaça (CAMPOS, 1999).
- ² Mendonça (2011) e UN-ISDR (2009) utilizam o termo resiliência para fazer referência a esta dificuldade de enfrentar/recuperar-se que determinadas populações possuem, frente a situações de ameaça, possuindo, dessa forma, forte relação com a vulnerabilidade.
- ³ Para o município de Fortaleza-CE, houve a necessidade de utilização de dados de dois postos pluviométricos (Posto FUNCEME e Posto PICI), pois o primeiro apresentava informações somente até o ano de 2007, enquanto que o segundo só apresentava dados consistentes a partir do ano de 1990. Tal complementação apoia-se no estudo de correlação realizado por Monteiro (2016), uma vez que a proximidade dos postos (localização geográfica) justifica

o fato dos mesmos não possuírem desvios consideráveis quanto ao acumulado de chuva, apresentando um elevado coeficiente de correlação (R_{xy}) de 93,5%.

- 4 Os Complexos Convectivos de Mesoescala – CCMs podem ser identificados em imagens de satélite por seu aspecto circular e com um crescimento explosivo num intervalo de tempo de 6 a 12 horas. São formados por conjuntos de cumulonimbus cobertos por densa camada de cirrus devido às condições locais favoráveis (temperatura associada à umidade, relevo, pressão etc.) e geralmente provocam fortes chuvas, isoladas e de curta duração (DIAS; ROZANTE; MACHADO, 2009).
- 5 A ZCIT é uma banda de nuvens convectivas que se estende em uma faixa ao longo da região equatorial e configura-se como um divisor entre as circulações atmosféricas celulares que se localizam nas proximidades do equador (células de Hadley do norte e do sul). O encontro dos ventos alísios provenientes de Nordeste com os Alísios de Sudeste nesta área provoca a ascendência das massas de ar, normalmente úmidas. Sua atuação no Nordeste brasileiro se dá principalmente nos meses de fevereiro, março, abril e maio, quando atinge uma posição mais meridional (MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009).
- 6 Os VCAN's são sistemas meteorológicos caracterizados por centros de pressão relativamente baixa que se originam na alta troposfera. São quase estacionários e atuam na vizinhança do Nordeste brasileiro. Apresentam tempo de vida de vários dias, um centro frio com movimentos subsidentes e movimentos ascendentes na periferia, onde apresentam nebulosidade mais acentuada (FERREIRA; RAMÍREZ; GAN, 2009).
- 7 Também denominado de Ondas de Leste, estes sistemas propagam-se desde o oeste africano até o Atlântico Tropical, com atuação que pode chegar de 3 a 6 dias, em média. Possui atividade máxima no inverno austral e se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical de influência dos ventos alísios e com deslocamento de leste para oeste. Geralmente ocasionam chuvas nos meses de junho, julho e agosto no estado do Ceará (FERREIRA; MELLO, 2005).
- 8 As linhas de Instabilidade são bandas de nuvens causadoras de chuva e que estão organizadas em forma de linha. Formam-se devido a grande quantidade de radiação solar, contribuindo para a formação de nuvens cumulus. A precipitação geralmente ocorre no final de tarde e início de noite (SILVA DIAS, 1987; FERREIRA; MELLO, 2005).

Referências

A MAIOR chuva dos últimos 15 anos. **O Povo Online**, Fortaleza, 28 mar, 2012a. Disponível em: <<http://www.opovo.com.br/app/opovo/fortaleza/2012/03/28/noticiasjornalfortaleza,2809984/a-maior-chuva-dos-ultimos-15-anos.shtml>>. Acesso em: 03 set. 2017.

A MAIOR chuva do ano: 197,6 milímetros e 287 ocorrências. **O Povo Online**, Fortaleza, 23 jun. 2012b. Disponível em: <<http://www.opovo.com.br/app/fortaleza/2012/06/23/noticiafortaleza,2865032/177-8-milimetros-de-chuva-em-24-horas.shtml>>. Acesso em: 03 set. 2017.

CAMPOS, Armando. **Educación y prevención de desastres**. [S.l]: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1999. Disponível em: <<http://www.desenrettidando.org/public/libros/index.html>> Acesso em: 08 set. 2014.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Glossário de defesa civil**: estudos de riscos e medicina de desastres. 3. Ed. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2009. 283 p.

CHUVA deixa 400 famílias desabrigadas. **O Povo Online**, Fortaleza, 21 mar. 2003. Disponível em: <<http://www.opovo.com.br/app/opovo/ceara/2003/03/21/noticiasjornalceara,235446/chuva-deixa-400-br-familias-desabrigadas.shtml>>. Acesso em: 03 set. 2017.

CHUVA forte causa transtornos no Crato e em outras cidades do Cariri. **Diário do Nordeste Online**, Fortaleza, 23 abr. 2015. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/online/chuva-forte-caoa-transtornos-no-crato-e-em-outras-cidades-do-cariri-1.1274889>> Acesso em 03 set. 2017.

CONTI, José Bueno. **Clima e meio ambiente**. 7. Ed. São Paulo: Atual, 2011. 96 p.

DESCHAMPS, Marley Vanice. **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba**. 2004. 192 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DIAS, Maria Assunção da Silva; ROZANTE, José Roberto; MACHADO, Luiz Augusto. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 181-194.

FERREIRA, Antônio Geraldo; MELLO, Namir Giovanni da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA; Nelson J.; RAMÍREZ, Maria Valverde; GAN, Manoel Alonso. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 181-194.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN-TANK, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**. Norwich, v. 19, p 193-212, 2002.

GAO, Xuejie.; JEREMY S. Pal; FILIPPO Giorgi. Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution Double nested RCM simulation. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 33, p. 1-4, 2006.

HÁ 20 ANOS, a cidade parou. **O Povo Online**, Fortaleza, 24 abr. 2017. Disponível em: <<http://www.opovo.com.br/jornal/cotidiano/2017/04/ha-20-anos-a-cidade-parou.html>> Acesso em: 03 set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico – 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 ago. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Classificação da taxa de urbanização do Estado do Ceará, 2000**. Fortaleza: IPECE, 2007. 1 mapa, color. Escala 1:25.000.000. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo2/21/2115x.htm>> Acesso em: 02 set. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático**: Resumen para responsables de políticas. [S.l.]: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2012.

MARENCO, José A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: MARENCO, José A.; SCHAEFFER, Roberto; PINTO, Hilton Silveira; ZEE, David Man Wai (Org.). **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Rio de Janeiro: FBDS, 2009. p. 4-19.

MELO, Anna Bárbara C. de; CAVALCANTI, Iracema F. de. A; SOUZA, Paula Pereira. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 25-41.

MENDONÇA, Francisco de Assis. Sistema ambiental urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In: MENDONÇA, Francisco de Assis (Org.). **Impactos Socioambientais Urbanos**. Curitiba: Editora UFPR, 2004. p. 185-207.

MENDONÇA, Francisco de Assis. Riscos, vulnerabilidades e resiliência socioambientais urbanas: inovações na análise geográfica. **Revista da Anpege**, [S.l.], v. 7, n. 1, número especial, p. 111-118, 2011.

MONTEIRO, Jander Barbosa. **Desastres Naturais no Estado do Ceará**: uma análise de episódios pluviométricos extremos. 2016. 256f. Tese (Doutorado em

Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. 5. ed. São Paulo, SP: EDUSP, 2005. 174p.

SILVA, Cristiano Alves da. **Os desastres Pluviométricos nas Grandes e Médias Cidades do Paraná**. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia do Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da. Sistemas de Mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.l.], v. 2, p. 133-150, 1987.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Compartimentação Geoambiental do Ceará. In: SILVA, José Borzacchiello; CAVALCANTE, Tércia Correia; DANTAS, Eustógio Wanderley Correia (Org.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p.127-140.

TEIXEIRA, M. S. **Atividade de ondas sinóticas relacionada a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil**. 2004. 94f. Dissertação de Mestrado (Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

TROMBA-D'ÁGUA desaba sobre o Cariri. **Diário do Nordeste Online**, Fortaleza, 17 fev. 2004. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/tromba-d-agua-desaba-sobre-o-cariri-1.155023>>. Acesso em: 03 set. 2017.

UN-ISDR. **Riesgo y pobreza en un clima cambiante: Invertir hoy para un mañana más seguro**. Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres 2009. [S.l.]: United Nations, 2009.

XAVIER, Teresinha de Maria Bezerra Sampaio; XAVIER, Airton Fontenele Sampaio; ALVES, José Maria Brabo. **Quantis e eventos extremos: aplicações em ciências da terra e ambientais**. Fortaleza: RDS, 2007. 278 p.

Recebido em: 17/09/2017

Aceito em: 23/10/2017

