



**Variabilidade dos Extremos de Precipitação Diária na
Cidade de Natal, Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**
Variability of the Extreme Daily Rainfall in the
City of Natal, Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil

Ana Cleide Bezerra Amorim¹; Ada Cristina Scudelari²;
Venerando Eustáquio Amaro² & Maria de Fátima Alves de Matos²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra,
Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas,
Campus Universitário Lagoa Nova, S/N, 59078-970, Natal, RN, Brasil

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Campus Universitário Lagoa Nova, S/N, 59078-970, Natal, RN, Brasil
E-mails: anacleide23@gmail.com; adaufrn@gmail.com; venerandoamaro@gmail.com; fatima.alves@ct.ufrn.br

Recebido em: 12/06/2019 Aprovado em: 20/08/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_284_295

Resumo

Há um interesse crescente na compreensão da dinâmica da ocorrência de precipitação no Nordeste do Brasil (NEB), especialmente, em regiões litorâneas, região que concentra grande parte da população. O objetivo principal deste estudo é avaliar a variabilidade dos eventos extremos de precipitação (EEP) diária na capital do Estado do Rio Grande do Norte (RN), bem como ressaltar o ambiente sinótico referente aos EEP. Utilizaram-se gráfico da função Média dos Excessos empírica e a técnica dos quantis na seleção do limiar (u) de um EEP. Consideraram-se EEP aqueles com precipitação acima do percentil 98 (EEP98). Campos da convergência de umidade foram utilizados para composição do ambiente sinótico. Utilizou-se para análise da tendência, os testes *Mann-Kendall* e *Pettitt*. Os registros de EEP98 são consistentes com a climatologia de precipitação, no qual 75% concentraram-se na quadra chuvosa. A composição dos eventos EEP98 apresentaram áreas de máxima convergência de umidade mostrando indícios à presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e de distúrbios ondulatórios de leste. Os EEP98 em Natal se apresentaram mais intensos nos últimos trinta anos, no entanto a frequência permanece a mesma.

Palavras-chave: Estação chuvosa; Análise de tendência, Zona costeira

Abstract

There is an increasing interest in understanding the dynamics of precipitation occurrence in Northeast Brazil (NEB), especially in coastal regions, once the significant population is concentrated in this region. The primary objective of this study is to evaluate the variability of extreme daily precipitation events (EEP) in the eastern region of Rio Grande do Norte State (RN), as well as to identify the synoptic environment related to EEP. Diagram of the mean excess function and quantiles technique were used in the selection of threshold (u) of an EEP. Those with precipitation above the 98th percentile (EEP98) were considered as EEP. *Mann-Kendall* and *Pettitt* tests were used for linear trend analysis. Fields of moisture convergence were used to compose the synoptic environment. The EEP98 records are consistent with the precipitation climatology, in which 75% were concentrated in the rainy season. The composition of the EEP98 events presented areas of maximum moisture convergence showing signs of the presence of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and easterly waves disturbances. The EEP98 at Natal presented more intense in the last thirty years; however, the frequency remains the same.

Keywords: Season Wet; Trend analysis; Coastal zone



1 Introdução

Existe cada vez mais interesse em entender a dinâmica da ocorrência de precipitação no Nordeste do Brasil (NEB), especialmente na faixa litorânea (Torres & Ferreira, 2011; Kouadio *et al.*, 2012; Amorim *et al.*, 2014), onde se concentra grande parte da população (IBGE, 2014), e onde a maioria dos eventos extremos de precipitação (EEP) da região ocorrem (Grimm & Tedeshi, 2009).

Aliados ao crescimento populacional e a urbanização cada vez mais marcante que, em geral, ocupa áreas de risco, os EEP provocam cada vez mais desastres nunca antes observados (Moreira *et al.*, 2014; Macedo *et al.*, 2016). Os últimos Relatórios Científicos do IPCC em 2007 e 2014, o AR4 e o AR5, respectivamente (IPCC, 2007 e 2014), apresentam evidências de mudanças de clima que podem afetar diversas regiões do globo, sobretudo nos extremos climáticos (Silva Dias, 2014). No Brasil, a região mais exposta aos riscos da variabilidade climática e a uma possível “aridização” e subsequente desertificação é o NEB (Marengo, 2014). Os EEP nos grandes centros urbanos podem ser relacionados diretamente ao conceito de desastre utilizado no AR5 (IPCC WGII, 2014), em função dos grandes transtornos causados a infraestrutura urbana como, por exemplo, alagamentos, deslizamentos de encostas, ruptura de estrutura viária, entre outros (Souza *et al.*, 2012).

O clima do NEB é influenciado por diversos mecanismos físicos que ocorrem na interface oceano-atmosfera, sendo fundamental a influência conjunta do Oceano Pacífico e Oceano Atlântico (Folland *et al.*, 2001), caracterizando os diferentes tipos de climas observados na região, com máximos anuais de precipitação variando de 300 mm, na região semiárida, a 2.000 mm, no litoral (Alvares *et al.*, 2013).

A variabilidade intrasazonal e interanual da precipitação no NEB é diretamente influenciada pelas variáveis oceano-atmosfera, nas quais se destacam as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico e Pacífico (Misra & Zhang, 2007; Hounsou-Gbo *et al.*, 2015).

No Oceano Pacífico Tropical, o modo de variabilidade climática interanual dominante é o El Niño – Oscilação Sul (ENOS). O ENOS é um dos principais fenômenos responsáveis pelas variações interanuais de precipitação no NEB. Walker (1928)

documentou a influência do aquecimento anômalo no leste do Oceano Pacífico e a seca no NEB, no outono austral. Em seguida, publicaram-se diversos trabalhos (Hastenrath & Heller, 1977; Moura & Shukla, 1981; Andreoli & Kayano, 2007; Lucena *et al.*, 2011; Amorim *et al.*, 2014) para compreender os mecanismos de secas no NEB. O ENOS é um dos padrões globais que levam a extremos, no entanto, não é o único.

No Atlântico, por exemplo, o Anticiclone Subtropical do Norte (ASAN) e o Anticiclone Subtropical do Sul (ASAS) definem as condições do clima da região. Entre os dois Anticiclones localiza-se o cavado equatorial que em seu eixo está a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT acompanha regiões com máximas TSM (Ferreira & Melo, 2005), deste modo em anos em que se observa um Gradiente de TSM inter-Hemisférico do Atlântico Tropical (GRAD), a posição mais ao sul da ZCIT é alterada (Nobre & Shukla, 1996; De Souza *et al.*, 2005; Amorim *et al.*, 2014). A ocorrência conjunta do ENOS e do GRAD tem sido investigada nos últimos anos para o NEB (De Souza *et al.*, 2005; Luceña *et al.*, 2011; Amorim, 2016).

O NEB é conhecido pela ocorrência de secas, no entanto, os estudos de EEP recentemente vêm ganhado destaques na literatura (Liebmann *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2013; 2014; 2016). No entanto, estudos a respeito de EEP, especificamente, durante o outono e inverno sobre a faixa oriental do NEB (estações com maiores concentrações de chuvas no litoral, especialmente, a cidade de Natal, no estado do Rio Grande do Norte), é um tema ainda pouco estudado. Recentemente, Oliveira *et al.* (2016) classificou cinco áreas climatologicamente homogêneas de precipitação no NEB: Litoral norte, Semiárido norte, Noroeste, Semiárido Sul e Litoral sul, e sobre as áreas homogêneas realizou-se estudo de análise de tendência de EEP para o período de 1972 a 2002. Apesar de Oliveira *et al.* (2016), em estudo realizado para o NEB, inicialmente reunir 349 pluviômetros, após controle de qualidade, seleção de estações com menor número de falhas, a estação meteorológica de Natal não pode ser incluída neste estudo durante o período analisado.

Quanto ao clima, meteorologicamente, os principais sistemas que favorecem a precipitação sobre o NEB que influenciam o RN são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Souza & Cavalcanti, 2009), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

(VCAN) (Kousky & Gan, 1981; Coutinho *et al.*, 2010), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (Gomes *et al.*, 2015), as Linhas de Instabilidade (LI) (Ferreira & Mello, 2005) e Complexos Convectivos de Meso-escala (CCM) (Souza *et al.*, 1998).

O estado do RN apresenta uma ampla faixa litorânea ao norte e a leste, sendo banhado por águas do Oceano Atlântico. A população do RN foi estimada em 3.474,998 habitantes (IBGE, 2014) e a maior população (877,662 habitantes) reside na capital Natal, que se situa na porção leste do estado e ocupa uma área de 167,264 km² com biomas que inclui a Caatinga e Mata Atlântica (IBGE, 2014) (Figura 1).

O RN, mais especificamente a sua capital, Natal, vem experimentando seguidos desastres causados pelos EEP, em função da existência de algumas áreas de conhecido alto risco natural, como por exemplo, a zona leste da cidade, onde se situa o bairro de mãe Luiza, que é historicamente conhecido por

exibir diversas condições de vulnerabilidade e exposição ao risco de desastres naturais (Moreira *et al.*, 2014; Macedo *et al.*, 2016). A população da cidade também está submetida a frequentes alagamentos e inundações decorrentes de obras paradas e/ou inacabadas do sistema de drenagem, que são potencializados quando da ocorrência dos EEP.

Sendo assim, estudos que venham a contribuir com a caracterização adequada da distribuição de EEP, são de grande valia, uma vez que se configuram como informações fundamentais a ações de adaptação dos sistemas urbanos às alterações climáticas e consequente redução dos riscos associados (BRASIL, 2013).

O objetivo principal deste estudo é analisar a tendência de eventos extremos de precipitação diária, na cidade de Natal e identificar o ambiente sinótico referente aos extremos.

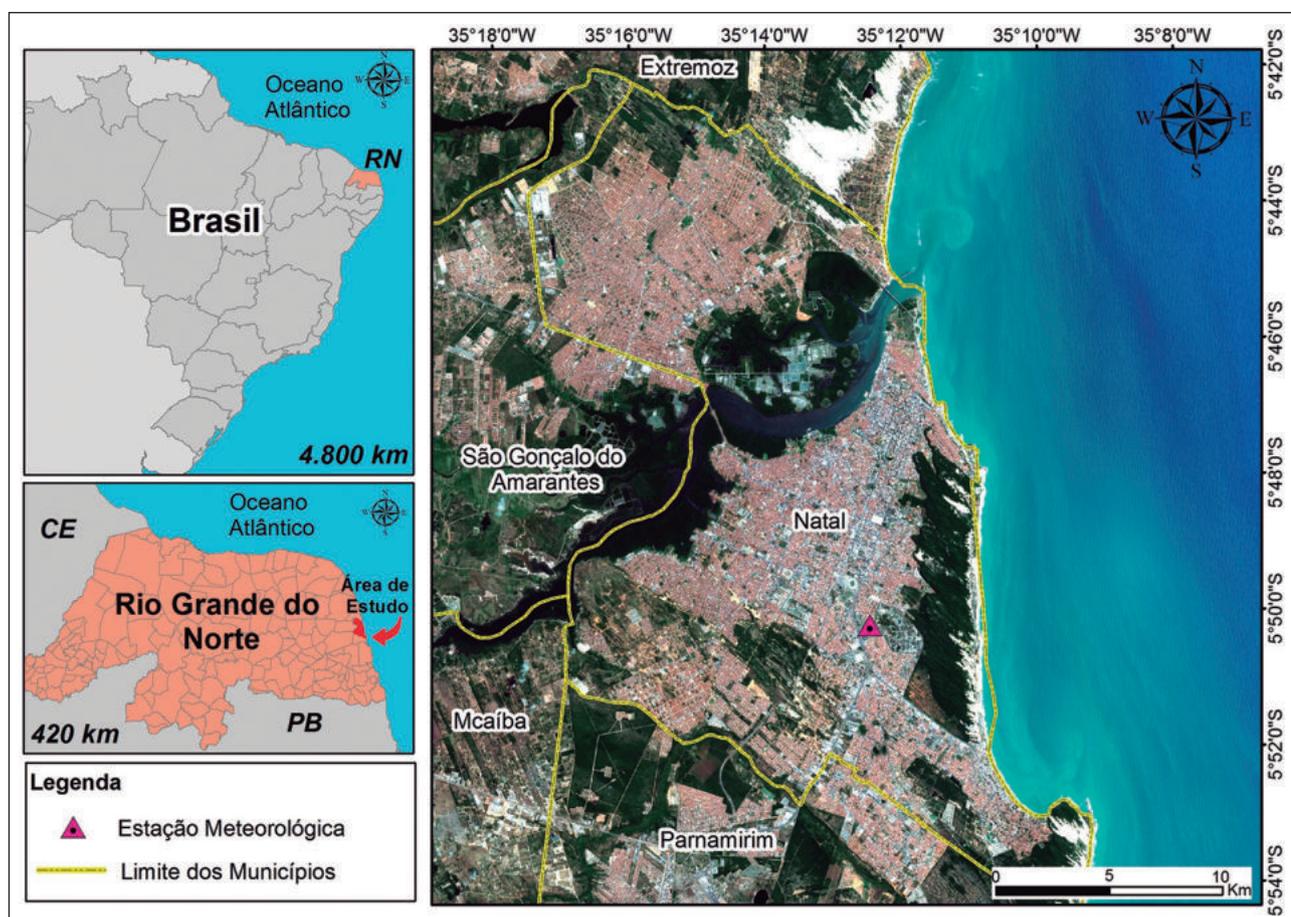


Figura 1 Localização do estado do Rio Grande do Norte e a cidade de Natal/RN, com a identificação da estação meteorológica usada para a base de dados. Fonte: Imagem de satélite Sentinel 2A de 31 de agosto de 2018 (USGS, 2018)

2 Material e Métodos

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do estudo foi baseada nas seguintes etapas: i) Aquisição da base de dados da Estação Meteorológica de Natal, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, referentes às informações de precipitação; e a divergência de fluxo de umidade de reanálises; ii) Aplicação de técnicas estatísticas para a escolha do limiar de um EEP, sendo destacado o percentil 98 e seleção dos dias de EEP; iii) determinação da climatologia de precipitação; iv) Análise de tendência por meio do teste Mann-Kendall; v) Composição do campo de divergência de umidade dos dias de EEP.

2.1 Dados

Utilizaram-se 31 anos de dados de precipitação nas escalas diária e mensal (1986 a 2016) oriundos da estação meteorológica da cidade de Natal, localizada na latitude 5,91°S e longitude 35,2°W, com altitude de 48,60 m. Os dados observados de precipitação são disponibilizados pelo Órgão oficial de Meteorologia do Brasil, o (INMET), representante brasileiro junto à Organização Mundial de Meteorologia (OMM). A OMM define médias de dados climatológicos calculadas para um período no mínimo de 30 anos, sendo assim a climatologia de precipitação foi obtida para o período de 1986 a 2016.

Os campos da divergência do fluxo de umidade integrada na vertical foram obtidos nas reanálises do modelo global do *European Centre for Medium Range Forecasting* (ECMWF). Especificamente, usou-se informações do produto ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011), também para o período de 1986 a 2016, numa grade de 1,5°X 1,5° de latitude por longitude. A divergência do fluxo de umidade foi calculada entre a superfície e 300 hPa. Destacaram-se apenas valores negativos da divergência da umidade nos resultados, que representam a convergência, uma vez que a convergência de umidade é uma das características da presença de máxima cobertura de nuvens convectivas (nuvens associadas às tempestades).

2.2 A Seleção do Limiar ao EEP

Antes de identificar o limiar para um EEP diário da estação meteorológica de Natal, verificou-se ausência de 1,7% de dados, no entanto não foi feito procedimento para completar as séries temporais. Resultados satisfatórios a respeito de EEP tanto para

o Sul e Sudeste do Brasil (Texeira & Satyamurty, 2011) quanto para o NEB (Oliveira *et al.*, 2016) têm considerado ausência de dados abaixo de 10%.

A técnica dos quantis (Wilks, 2006) é comumente usada para estudos de EEP (Costa *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2016), e em geral são identificados a partir dos percentis 90, 95 ou 99. Os eventos de chuva (precipitação diária acima de 0,1 mm) foram organizados em ordem crescente, e com base no percentil da distribuição da precipitação da estação meteorológica de Natal se consideraram EEP *aqueles com precipitação acima do percentil que exibiu um ajuste adequado a uma Distribuição Generalizada de Pareto (GPD) durante 1986 a 2016.*

O presente estudo identificou o percentil 98 adequado ao ajuste de uma GPD por meio do gráfico das médias residuais (Gosh & Resnick, 2010; Santos *et al.*, 2015). A função do extremo médio (FME) é uma ferramenta usada para ajudar na seleção de limiares (u) para modelagem de extremos.

A FME, isto é, a esperança condicional dos excessos acima do limiar é definida pela Equação 1:

$$e(u) = E[EEP] = E[X > u] \quad (1)$$

Titula-se por Nu o número de observações que excedem o limiar u , no qual:

sendo $1(X_i > u) = 1$ se $X_i > u$ e 0 caso contrário.

$$Nu = \sum_{i=1}^n 1(X_i > u) \quad (2)$$

Para uma amostra, X_1, X_2, \dots, X_n , a função média dos excessos empírica, $e_{Nu}(u)$ é dada pela Equação 3:

O gráfico da média dos excessos serve como

$$e_{Nu}(u) = \frac{1}{Nu} \sum_{i=1}^{Nu} EEP_i \quad (3)$$

uma técnica exploratória para a fixação do limite de u , para o intervalo em que o gráfico cobre desempenho linear, neste ponto existe uma indicação de que o modelo GPD se ajusta bem para aqueles valores de u .

Além disso, a média de um EEP98 foi obtida utilizando a metodologia de Trenberth *et al.* (2017) que apresenta a taxa de precipitação média horária (mm.h⁻¹). No entanto, aqui a equação foi adaptada para a escala diária (mm.dia⁻¹). Seja P a taxa de precipitação no dia $n = 1, 2, \dots, N$, no qual N é o número de EEP98 do período de 1986 a 2016. A média de todos os EEP98 é calculada através da Equação 4:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P \quad (4)$$

A Equação 4 foi contabilizada para o período de janeiro a setembro e quadra chuvosa AMJJ.

2.3 Análise de Tendências

Utilizou-se para análise da tendência linear o teste não-paramétrico Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Aplicou-se o teste para a frequência e intensidades dos EEP anual e quadra chuvosa. O uso do teste *Mann-Kendall* (MK) é comum para determinar as tendências hidrológicas (Costa *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2016), além de ser considerado um método apropriado no uso de análises de mudanças climáticas (Goossens & Berger, 1986). O teste de MK é apresentado a seguir pela Equação 5:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{ sinal}(x_i - x_j) \quad (5)$$

O valor do S é obtido através da soma de todas as contagens da série de dados, onde x_i e x_j correspondem aos valores da série (anual ou sazonal) nos anos i e j , respectivamente. O sinal é obtido através do sistema mostrado na Equação 6:

$$\text{ sinal} = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Quando n é alto, S tende a normalidade e variância definida através da Equação 7:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (7)$$

Onde t_p representa o número de dados com valores iguais em certo grupo e q a quantidade de grupos que valores iguais na série de dados em um grupo p . O teste estatístico de *Mann Kendall* é dado pela Equação 8:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A partir do valor Z_{MK} , determinou-se a tendência com significância estatística de 1% sobre a série de EEP.

Utilizou-se o teste *Pettit* (Pettit, 1979) para identificar possíveis quebras ao longo da série de EEP. O nível significância foi de 1%. O teste de *Pettit* é comumente usado para detectar um ponto único de mudança em séries climáticas. A série de EEP apresentando quebra, o teste de tendência também será conduzido em cada série sugerida.

2.4 Composição dos Eventos de Extremos

Após a triagem dos EEP, construíram-se composições dos dias dos EEP para identificar a distribuição espacial dos sistemas meteorológicos associadas aos extremos. A composição de uma variável é obtida por meio da Equação 9:

$$\bar{\emptyset}(x, y, p, D) = \frac{1}{N_u} \sum_{j=1}^{N_u} \emptyset(x, y, p, j, D) \quad (9)$$

Em que \emptyset é a variável da composição; (x, y, p) representa as coordenadas espaciais da variável; N_u é número de eventos EEP; D é o dia do evento EEP; e o índice j é o j -ésimo evento EEP.

3 Resultados e Discussões

Os resultados partiram dos dados observados de precipitação oficiais, no qual se verificou o percentual de dados ausentes e a climatologia da cidade de Natal. Em seguida, a seleção dos dias com EEP

permitiu realizar a análise da tendência da frequência e intensidade, e a composição do ambiente sinótico referente aos EEP.

3.1 Climatologia de Precipitação

A climatologia de precipitação é ilustrada na Figura 2, onde é possível verificar os maiores valores médios da cidade de Natal, os meses da estação de outono e inverno austral, isto é, entre os meses de março a agosto, com médias acima de 200 mm.mês⁻¹ durante o período chuvoso principal (abril a julho). O período de setembro a fevereiro, são os meses considerados menos chuvoso para a cidade de Natal, com médias de precipitação abaixo de 60 mm.mês⁻¹. De acordo com Moura *et al.* (2009); Amorim *et al.* (2014) o período chuvoso principal da região litorânea leste do NEB (LNEB) compreende exatamente o período de abril a julho (AMJJ), assim, optou-se pelo uso desta quadra chuvosa para as análises.

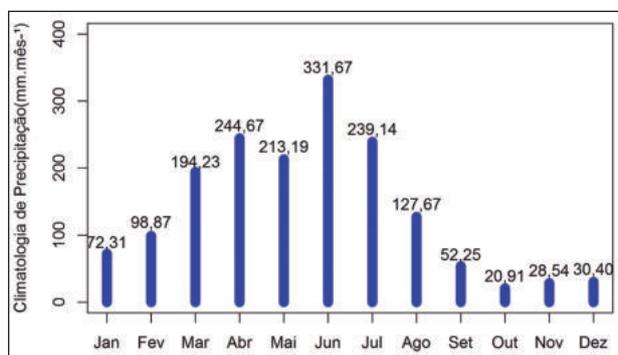


Figura 2 Climatologia da precipitação da cidade de Natal-RN. Os valores representam a média mensal em mm.mês⁻¹.

3.2 Eventos Extremos de Precipitação

A Figura 3 exibe o gráfico de médias residuais dos dados de precipitação diária de 1986 a 2016. Percebe-se que a partir do limiar u igual a 70 (linha azul), há indícios de bom valor para extremos de precipitação. A técnica dos *quantis* aplicada aos dados de precipitação diária do período de 1986 a 2016 destacou o percentil 98 como valor aproximado ao u selecionado. Deste modo, valores observados iguais ou acima de 70 mm.dia⁻¹ serão denominados aqui de EEP98.

A Figura 4 apresenta a distribuição mensal do acumulado de precipitação diária em Natal de 1986

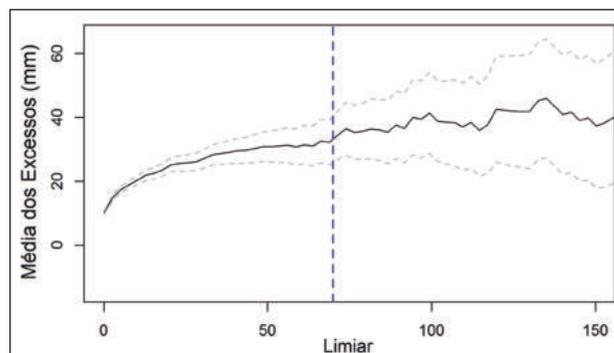


Figura 3 Média residual dos dados de precipitação diária em mm.dia⁻¹ para o período de 1986 a 2016. A linha vertical azul representa o limiar selecionado para EEP diário na cidade de Natal-RN. As linhas pontilhadas cinza representam o intervalo de confiança.

a 2016. Os EEP98 encontram-se destacados acima da linha azul e, ocorreram EEP98 apenas nos meses de janeiro a setembro. O período que abrange esses meses será tratado como período anual nas análises.

A amostra efetiva de EEP98 apresentou N_u igual a 99, no qual 74 dos episódios ocorreram durante os meses de abril a julho. Os registros de EEP98 são consistentes com a climatologia de precipitação, no qual o maior número de eventos concentrou-se na quadra chuvosa AMJJ (Figura 4). A média dos extremos de precipitação diário obtida pela Equação 4 é 102,6 mm para o período anual (janeiro a setembro) e 105,6 mm na quadra chuvosa.

Verificou-se EEP98 com intensidade próxima e/ou superior à média mensal (Figura 2) nos meses da quadra chuvosa (Figura 4). O EEP98 com maior intensidade do mês de junho refere-se ao episódio de movimento de massa que ocorreu na zona leste de Natal, no dia 14 de junho de 2014. No entanto, registrou-se o maior acumulado de precipitação de intensidade de 253,2 mm.dia⁻¹ no mês de julho de 1998. Outros dois episódios semelhantes em intensidade ocorreram em 2008 com valores de 210,4 e 216,8 mm.dia⁻¹, ambos nos meses mais chuvosos, junho e julho, respectivamente (Figura 4).

A Figura 5 apresenta a variabilidade anual (barras cinzas) e quadra chuvosa (círculos pretos) dos EEP98. Os anos de 2004 e 2008 se destacaram com maior frequência de EEP98. Na quadra chuvosa

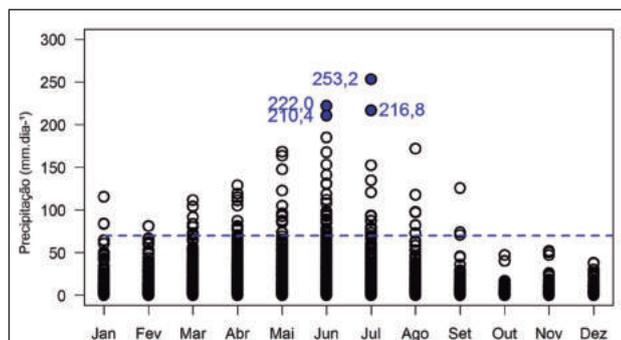


Figura 4 Distribuição mensal do acumulado de precipitação diária (mm.dia⁻¹) na cidade de Natal-RN (círculos pretos), a linha azul representa o valor limiar para EEP98. Os valores azuis representam os maiores acumulados diários de precipitação durante o período de estudo (círculos preenchidos azuis).

sa, os anos de 1988, 1998, 2004 e 2008 apresentaram as maiores frequências de extremos. No ano 1998, todos os EEP98 concentraram-se no mês de julho, e em 2004 e 2008, três ocorreram no mês de junho de cada ano. Em contrapartida, anos com apenas um EEP98 na quadra chuvosa, tais como 1987, 1989, 1990, 1993, 1999, 2012 e 2016 variam bastante com relação às condições globais dominantes. Por exemplo, os anos de 1988/89, 2007/08 foram temporadas de fenômenos *La Niña* intensos, assim como anomalias negativas de TSM na bacia do Atlântico tropical Norte e anomalias positivas de TSM na bacia do Atlântico tropical Sul. Este padrão de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico sugere o favorecimento de anomalias positivas de precipitação em grande parte do Norte do NEB (De Souza *et al.*, 2005). Portanto, em dois anos com ambientes climáticos semelhantes, a frequência de EEP98 apresentou-se diferente na cidade de Natal.

Outro exemplo que se destaca é o ano 1997/98, no qual ocorreu um dos anos de *El Niño* mais intensos do século (Oliveira & Satyamurty, 2005). Além do Atlântico tropical que também se apresentava desfavorável a ocorrência de chuva em grande parte do Nordeste. Ocorreram déficits de chuva sobre o NEB, no entanto, na sua quadra chuvosa principal (nos meses de fevereiro a maio de 98). Outras regiões do Brasil também sofreram com este episódio oceano-atmosférico. Porém, como mencionado, especificamente na cidade Natal observou-se os EEP98 no mês de julho. Amorim (2016) destacou que em anos com a presença de *El Niño* e Atlântico

tropical desfavorável à ocorrência de precipitação em grande parte do NEB, a quadra chuvosa do leste do NEB não sofre déficit de precipitação, mas sim, a quadra chuvosa sofre um atraso, concentrando-se nos meses de junho e julho. Apesar de Oliveira *et al.* (2014) encontrarem os anos de máxima ocorrência de EEP no NEB em anos de *La Niña* (especificamente os anos de 1989, 1999 e 2000) e mínimos em anos de *El Niño* (anos de 1987 e 1993), para Natal este comportamento não se observou em todos os anos.

Os ambientes climáticos conhecidos por Favoráveis e Desfavoráveis às anomalias positivas de precipitação no norte do Nordeste afetam diretamente o posicionamento da ZCIT (De Souza *et al.*, 2005). Este sistema meteorológico nos meses mais chuvosos de Natal (junho e julho) encontra-se deslocado para o hemisfério norte, mesmo em anos em que a ZCIT permanece mais tempo sobre o norte do NEB. Portanto, são necessários outros estudos específicos para se caracterizar a influência em anos de ambientes climáticos em relação a EEP diária para região LNEB. Sobretudo, na cidade de Natal os resultados mostraram que em ambientes climáticos semelhantes, a variabilidade de janeiro a setembro nos números de EEP98 é acentuada.

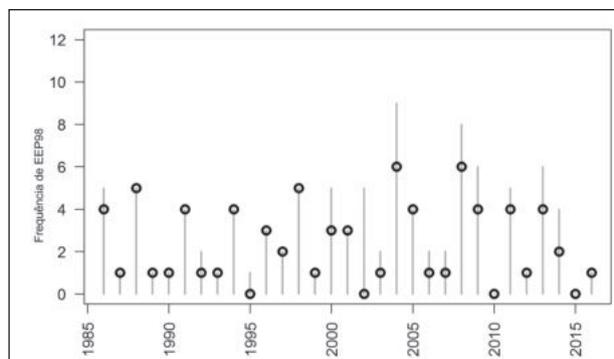


Figura 5 Frequência de EEP98 na cidade de Natal-RN para o período de janeiro a setembro (barras cinzas) e quadra chuvosa AMJJ (círculos pretos).

A Figura 6 exibe a série de intensidade dos EEP98 anual e quadra chuvosa. Primeiramente, os EEP98 dos meses de janeiro a setembro e quadra chuvosa apresentaram tendência positiva significativa com nível de significância de 1%. A análise da tendência para a frequência de EEP98 da cidade de Natal (janeiro a setembro e quadra chuvosa)

ilustrado anteriormente (Figura 5) não apresentou resultados significativos. Os resultados da tendência ressaltam que os EEP98 em Natal se apresentaram mais intensos, no entanto, a frequência permaneceu a mesma.

O teste de *Pettit* sugeriu um possível ponto de quebra (linha tracejada) nas amostras de EEP98, tanto anual quanto na quadra chuvosa com nível significância de 1% (ver Figura 6A e 6B). Observou-se eventos menos intensos no início das séries de EEP98. A série do EEP98 antes da quebra estrutural apresenta média de 95,7 mm, após o ponto de mudança a média passa a apresentar valor de 111,5 mm no período anual. Na quadra chuvosa, o comportamento foi semelhante apresentando diferença de 27 mm (médias de 87,2 e 114,9 mm). O teste estatístico de *Mann-Kendall* em cada amostra sugerida (ambos os períodos) não mostrou significância estatística. Este comportamento nas séries de EEP98 encontram-se dentro das perspectivas de estudos que observaram

tendência positiva em áreas isoladas do NEB em relação às chuvas (Trenberth *et al.*, 2007).

A Figura 7 ilustra exclusivamente a composição da divergência do fluxo de umidade. A convergência em baixos níveis produz movimentos verticais ascendentes, favorece o desenvolvimento de nuvens e, portanto, precipitação dada à disponibilidade de umidade durante a estação chuvosa AMJJ (Figura 6E). No mês de abril (Figura 7A), percebe-se uma extensa faixa de valores negativos referente a convergência de umidade em torno do equador (especificamente entre 2°S e 5°N), com máxima atividade sobre o equador e 40°W (a norte do estado do Ceará), e outra sobre o litoral norte e oriental do RN. Estas regiões de convergências estão associadas à presença da ZCIT (Hastenrath & Lamb, 1977).

No mês de maio, a faixa de convergência associada à ZCIT torna-se mais evidente na posição a Norte (Figura 7B), mas ainda pode influenciar a

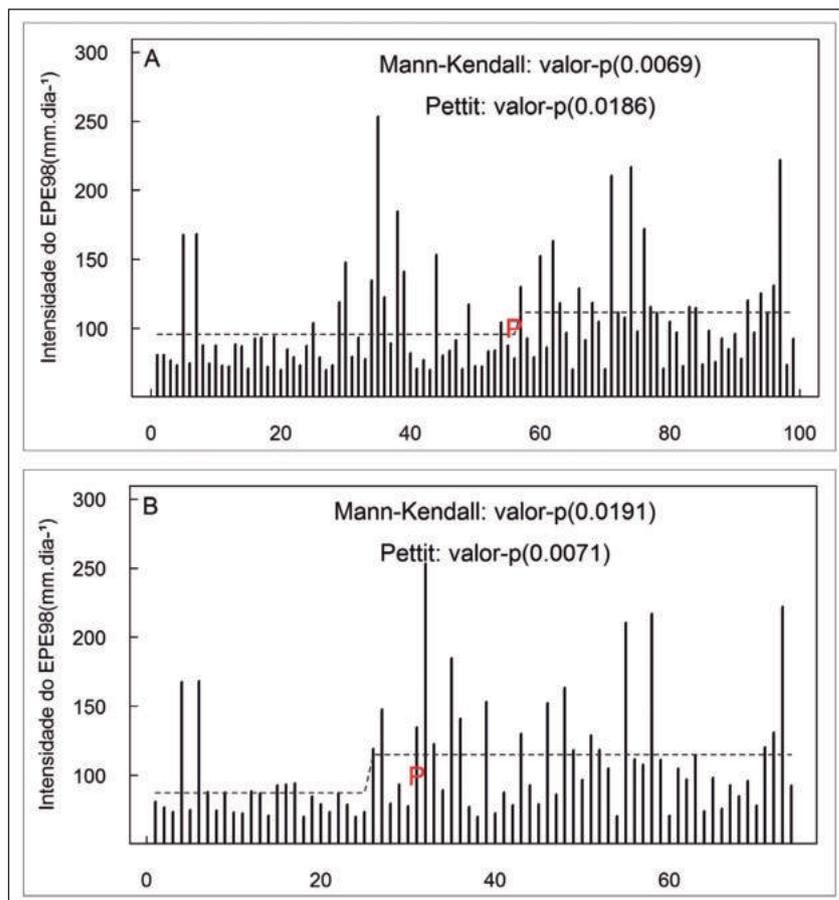


Figura 6 Amostras de EEP98 diário na cidade de Natal-RN; A. Anual; B. Quadra chuvosa. A linha tracejada (em A e B) representa o ponto de quebra sugerido no teste de *Pettitt* (nível de significância de 1%).

formação de EEP98. Nos meses de junho e julho, os ambientes de EEP98 em Natal não se associam a presença da ZCIT. A região de máxima convergência da ZCIT encontra-se próximo a 5°N (Figura 7C e 7D). No entanto, da costa norte do RN ao leste de Pernambuco, uma extensa área de convergência de umidade é observada. Este fato nessa região deve-se a presença, principalmente, de DOL que se deslocam do Atlântico para o interior do continente. Uma característica dos DOL são exatamente regiões de escoamento convergente e fortes movimentos ascendentes do ar (Coutinho & Fish, 2007) e estes sistemas meteorológicos, em geral, são de fato os responsáveis pelos EEP no LNEB durante o inverno austral (Souza *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2012).

4 Conclusões

No período decorrente entre os anos de 1986 a 2016, quanto aos dados de precipitação diária para a cidade de Natal, percebe-se que 75% dos meses são suscetíveis à ocorrência de EEP98. Essa característica da precipitação do NEB deve-se a alta variabilidade espacial e temporal dos sistemas meteorológicos atuantes nesta região do Atlântico Sul. A quadra chuvosa concentra cerca de 75% desses extremos de precipitação, pois nos meses em que há formação de DOL são os mais comuns de se observar os maiores acumulados de precipitação. Portanto, os registros dos EEP98 foram consistentes com a climatologia de precipitação em que a maior quantidade de eventos tende a se concentrarem na quadra chuvosa AMJJ.

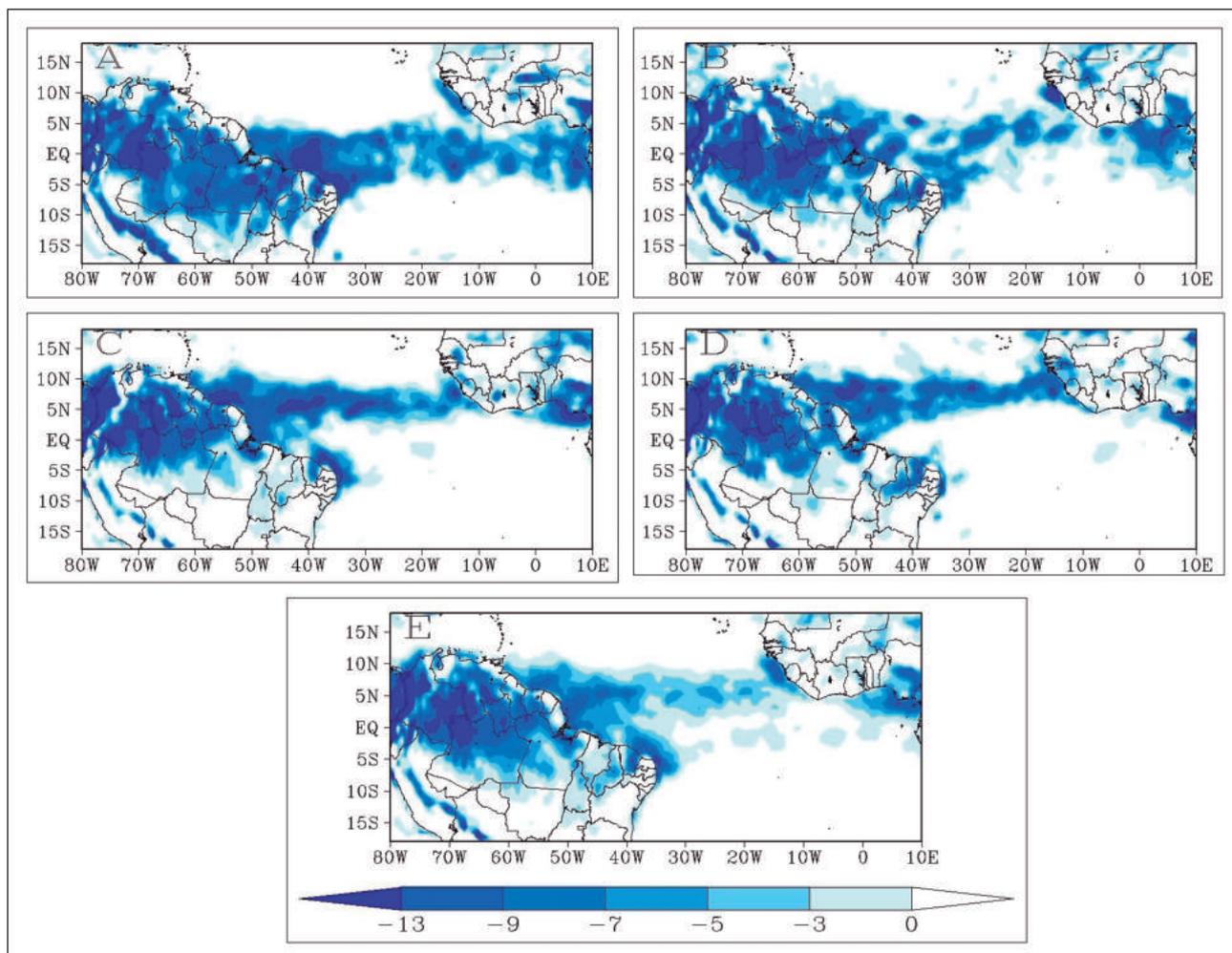


Figura 7 Composição da divergência de umidade ($10^{-5} \text{ kg.s}^{-1}$) dos EEP98 da cidade de Natal-RN; A. Abril; B. Maio; C. Junho; D. Julho; E. Quadra chuvosa AMJJ, cobrindo o período de 1986 a 2016.

Quanto à variabilidade anual do EEP98, os ambientes climáticos conhecidos por Favoráveis e Desfavoráveis às anomalias positivas de precipitação no norte do NEB (De Souza *et al.*, 2005) afetam diretamente o posicionamento da ZCIT. Apesar disso, o clima nessa região oriental do RN é afetado por outros sistemas meteorológicos ao longo do ano, também responsáveis pelo acumulado de precipitação observada para essa região. Outros estudos específicos são necessários para caracterizar a influência, em anos de ambientes climáticos em relação à EEP diária nessa região do litoral RN.

Para a cidade de Natal, os resultados mostraram que em ambientes climáticos semelhantes, tais como anos de El Niños, a variabilidade anual na frequência de EEP98 apresentou-se diferente. O ambiente sinótico da convergência de umidade dos EEP98 destaca, claramente, os dois principais sistemas meteorológicos responsáveis pela precipitação intensa na cidade de Natal: (i) as áreas de máxima convergência de umidade, que caracterizam a presença da ZCIT; e (ii) na região litorânea indicativa aos DOL durante o inverno austral.

Os resultados da análise da tendência dos EEP98 referente ao período de 31 anos, entre os anos de 1986 a 2016, mostraram evidências que os EEP98 em Natal se apresentaram mais intensos, a mudança no acumulado médio diário de EEP98 passou de 95,7 para 111,5 mm no período anual e de 87,2 para 114,9 mm na quadra chuvosa.

O relatório AR5 do IPCC (2014) destacou diversos impactos decorrentes dos extremos climáticos, que tem servido como subsídios aos gestores na definição de vulnerabilidades e no desenvolvimento de mecanismos e atividades de adaptação e mitigação desses impactos. Como fato relevante, se destaca que os EEP em grandes centros urbanos, como confirma este estudo sobre os EEP na cidade de Natal, podem ser relacionados diretamente aos conceitos de vulnerabilidade, risco, perigo e desastre natural utilizado no AR5 (IPCC, 2014), em função dos grandes transtornos causados ao sistema social e à infraestrutura urbana, além dos danos que, frequentemente, excedem a capacidade daqueles que foram afetados em coexistirem com o impacto causado pelo fenômeno natural extremo, como os EEP.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica-PROCAD 2013, no Projeto nº 88881.068511/2014-01 do Edital 071/2013, pela concessão de Bolsa de Pós-doutorado à primeira autora.

6 Referências

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, C.; Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil, *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6):711-728. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Amorim, A.C.B. 2016. *Influência de sub-regiões do Atlântico tropical na precipitação no leste do Nordeste brasileiro*. Programa de Pós-graduação em ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Tese de Doutorado, 144 p.
- Amorim, A.C.B.; Chaves, R.R. & Silva, C.M.S. 2014. Influence of the Tropical Atlantic Ocean's Sea Surface Temperature in the Eastern Northeast Brazil Precipitation. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4: 874-883. DOI 10.4236/acs.2014.45077.
- Andreoli, R.V. & Kayano, M.T. 2007. A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(1):63-74. DOI 10.1590/S0102-77862007000100007.
- Brasil. 2013. *Ministério do Meio Ambiente*. Secretaria de Assuntos Estratégicos. Projeto Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima.
- Costa, M.S.; Lima, K.C.; Andrade, M.M. & Gonçalves, W.A. 2015. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(5): 1321-1334.
- Coutinho, E.C. & Fish, G. Distúrbios ondulatórios de leste (EWDs) na região do centro de lançamento de Alcântara – MA. 2007. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(2): 193 -203.
- Coutinho, M.D.L.; Gan, M.A. & Rao, V.B. 2010. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região Tropical Sul: validação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(3): 311-323.
- De Souza, E.B.; Kayano M.T. & Ambrizzi, J.N. 2005. Intraseasonal and sub-monthly variability over the Eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology*, 81: 177-191.
- Dee, D.P.; Uppala, S.M.; Simmons, A.J.; Berrisford, P.; Poli, P.; Kobayashi, S.; Andrae, U.; Balmaseda, M.A.; Balsamo, G.; Bauer, P.; Bechtold, P.; Beljaars, A.C.M.; Van De Berg, L.; Bidlot, J.; Bormann, N.; Delsol, C.; Dragani, R.; Fuentes, M.; Geer, A.J.; Haimberger, L.; Healy, S.B.; Hersbach, H.; H'Olme, E.V.; Isaksen, I.; Kallberg, P.; Köhler, M.; Matricardi, M.; McNally, A.P.; Monge-Sanz, B.M.; Morcrette, J.J.; Park, B.K.; Peubey, C.; De Rosnay, P.; Tavolato, C.; Thépaut, J.N. & Vitart, F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137: 553-597.

- Ferreira, A.G. & Mello, N.G.S. 2005. 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*, 1(1): 15-28.
- Ferreira, N.S. 1996. Zona de Convergência Intertropical. In: *Climanálise especial. Edição Comemorativa de 10 anos. FUNCEME*, p. 136-139.
- Folland, C. K. *et al.* Predictability of northeast Brazil rainfall and real-time forecast skill, 1987 – 98. *Journal of Climate*, v. 14, p. 1937–1958, 2001.
- Gomes, H.B.; Ambrizzi, T.; Herdies, D.L.; Hodges, K. & Silva, B.F.P. 2015. “Easterly Wave Disturbances over Northeast Brazil: An Observational Analysis”. *Advances in Meteorology*, 2014 (ID176238). DOI 10.1155/2015/176238.
- Goossens, C. & Berger, A. 1986. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, Berlin, 4(B4): 385-400.
- Gosh, S. & Resnick, S. 2010. A discussion on mean excess plots. *Stochastics processes and their application*, 120: 1492-1517.
- Grimm, A.M. & Tedeschi, R.G. 2009. Enso and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, 22: 1589-1609.
- Hastenrath, S. & Heller, L. 1977. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103: 77–92.
- Hastenrath, S. & Lamb, P. 1977. Some Aspects of Circulation and Climate over the Eastern Equatorial Atlantic. *Monthly Weather Review*, 105: 1019–1023.
- Hounsou-Gbo, G.A.; Araújo, M.; Bourlés, B.; Veleda, D. & Servain, J. 2015. Tropical Atlantic Contributions to Strong Rainfall Variability Along the Northeast Brazilian Coast. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology*, 2015(ID 902084): 1-13. DOI 10.1155/2015/902084.
- IBGE. 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 2018.
- IPCC. 2007. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Disponível em <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 2018.
- IPCC. 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Fifth Assessment Report (AR5). Disponível em <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 2018.
- Kendall, M.G. 1975. *Rank correlation methods*. London, Charles Griffin, 120p.
- Kouadio, Y.K.; Servain, J.; Machado, L.A.T. & Lentini, C.A.D. 2012. Heavy Rainfall Episodes in Eastern Northeast Brazil Linked to Large-Scale Ocean-Atmosphere Conditions in the Tropical Atlantic. *Advances in Meteorology*, 2012(ID 369567): 1 – 16. DOI 10.1155/2012/369567.
- Kousky, V.E. & Gan, M.A. 1981. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 36(6): 538-551.
- Liebmann, B.; Kiladiz, G.N.; Allured, D.; Vera, C.; Jones, C.; Carvalho, L.M.V.; Blade, I.B. & Gonzales, P.L.M. 2011. Mechanisms Associated with Large Daily Rainfall Events in Northeast Brazil. *Journal of Climate*, 24: 376-396. DOI: 10.1175/2010JCLI3457.1
- Lucena, D.B.; Servain, J. & Gomes Filho, M.F. 2011. Rainfall Response in Northeast Brazil from Ocean Climate Variability during the Second Half of the Twentieth Century. *Journal of Climate*, 24: 6174-6184. DOI 10.1175/2011JCLI4194.1.
- Marengo, J. 2014. O futuro clima do Brasil. *Revista USP*, 103: 25-32. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32>
- Macedo, Y.M.; Almeida, L.Q.; Troleis, A.L. & Maciel, A.B.C. 2016. Vulnerabilidade socioambiental em escala de detalhe: o caso de Mãe Luiza, Natal, RN, Brasil. *Geosaberes*, 6(3): 230 – 244.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13: 245–259.
- Misra, V. & Zhang, Y. 2007. The Fidelity of NCEP CFS Seasonal Hindcasts over Nordeste. *Monthly Weather Review*, 135: 618–627.
- Moreira, M.M.; Souza, N.M.; Cuellar, M.D.Z. & Arraes, K.A. 2014. Carta Geotécnica do Município de Natal-RN: Áreas de Risco de Deslizamentos e Inundações. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA / VII CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA / VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS / VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOVENS GEOTÉCNICOS, 9, Goiânia, 2014. Anais XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia.
- Moura, A.D. & Shukla, J. 1981. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38: 3653–2675.
- Moura, B.A.G.; Aragão, J.O.R.; Melo, J.S.P.; Silva, A.P.N.; Giongo, R.; Lacerda, F.F.Z.O. 2009. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(4): 462 – 469.
- Nobre, P. & Shukla, J. 1996. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, 9: 2464–2479.
- Oliveira, G.S. & Satyamurty, P. 2005. O El Niño de 1997/98: Evolução e impactos no Brasil. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.21.18.30/doc/Oliveira_O%20El%20nino%20de%201997_98.pdf. Acesso em: 05 nov. 2018)
- Oliveira, P.T.; Lima, K.C. & Silva, C.M.S. 2013. Synoptic environment associated with heavy rainfall events on the coastland of Northeast Brazil. *Advances in Geosciences*, 35: 73–78.
- Oliveira, T.; Santos e Silva, C.M. & Lima, K.C. 2016. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 130: 1-2. DOI: 10.1007/s00704-016-1865-z
- Oliveira, T.; Silva, C.M.S. & Lima, K.C. 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, 15: 172-177.
- Pettitt, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, London, 28(2): 126-135.
- Santos, A.H.M.; Aragão, M.R.S.; Correia, M.F. Araújo, H.A. & Silva, A.B. 2012. Distúrbio Ondulatório de Leste e seus

- impactos na cidade de Salvador. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27 (3): 355-364.
- Santos, E.B.; Lucio, S. & Santos e Silva, C.M. 2015. Seasonal Analysis of Return Periods for Maximum Daily Precipitation in the Brazilian Amazon. *Journal of Hydrometeorology*, 16: 973-984. DOI: 10.1175/JHM-D-14-0201.1
- Silva Dias, M.A.F. 2014. Dossiê: Clima (Eventos climáticos extremos). *Revista USP*, 103: 33-40.
- Souza, E.B. & Nobre, P. 1998. Uma revisão do Padrão Dipolo no Atlântico Tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 13(1): 31-44.
- Souza, E.B.; Alves, J.M.B. & Repelli, C.A. 1998. Um complexo convectivo de mesoescala associado à precipitação intensa sobre Fortaleza-CE. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 13(2): 01-14.
- Souza, P. & Cavalcanti, I.F.A. 2009. Atmospheric centers of action associated with the Atlantic ITCZ position. *International Journal of Climatology*, 29: 2091-2105. DOI: 10.1002/joc.1823.
- Souza, W.M; Azevedo: V. & Araújo, L.E. 2012. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 02: 250-268.
- Teixeira, M., S. & Satyamurty, P. 2011. Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and South-eastern Brazil during 1960–2004. *Journal of Climate*, 24: 1913-1921.
- Torres, R.R. & Ferreira, N.J. 2011. “Case studies of easterly wave disturbances over Northeast Brazil using the Eta Model”. *Weather and Forecasting*, 26(2): 225 – 235.
- Trenberth, K. E.; Zhang, Y. & Gehne, M. 2017. Intermittency in Precipitation: Duration, Frequency, Intensity, and Amounts Using Hourly Data. *Journal of Hydrometeorology*, 18: 1393-1412. DOI: 10.1175/JHM-D-16-0263.1
- Trenberth, K.E.; Jones, P.D. ; Ambenje, P.; Bojariu, R.; Easterling, D.; Klein Tank, A.; Parker, D.; Rahimzadeh, F.; Renwick, J.A.; Rusticucci, M.; B. Soden & P. Zhai. 2007. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. *In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S.; D. Qin; M. Manning; Z. Chen; M. Marquis; K.B. Averyt; M. Tignor & H.L. Miller (Ed.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 235-336.
- U.S. Geological Survey. 2018. United States Geological Survey. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- Walker, G.T. 1928. Ceará (Brazil) famines and the general air movement. *Beitrag zur hysik der freien Atmosphere*, 14: 88-93.
- Wilks, D.S. 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. London, Academic Press. 648 p.