

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



TESE DE DOUTORADO

Maria Monalisa Mayara Silva Melo

**Eventos extremos de precipitação diária e desastres
socioambientais nas capitais dos estados da costa leste do
Nordeste do Brasil**

Campina Grande, dezembro de 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

TESE DE DOUTORADO

**EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA E DESASTRES SOCIOAMBIENTAIS NAS
CAPITAIS DOS ESTADOS DA COSTA LESTE DO NORDESTE DO BRASIL**

MARIA MONALISA MAYARA SILVA MELO

Campina Grande – PB

Dezembro/2021

MARIA MONALISA MAYARA SILVA MELO

**EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA E DESASTRES SOCIOAMBIENTAIS NAS
CAPITAIS DOS ESTADOS DA COSTA LESTE DO NORDESTE DO BRASIL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutora em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Madson Tavares Silva

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Subárea: Climatologia

Campina Grande – PB

Dezembro/2021

M528e Melo, Maria Monalisa Mayara Silva.
Eventos extremos de precipitação diária e desastres socioambientais nas capitais dos estados da costa leste do Nordeste do Brasil / Maria Monalisa Mayara Silva Melo. - Campina Grande, 2022.
132 f. il. color.

Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.
"Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos, Prof. Dr. Madson Tavares Silva."

Referências.

1. Climatologia. 2. Desastres Sociambientais. 3. Eventos Extremos. 4. Teoria de Valores Extremos. I. Santos, Carlos Antonio Costa dos. II. Silva, Madson Tavares Silva. III. Título.

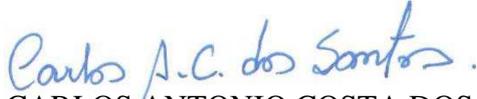
CDU 551.582(043)

MARIA MONALISA MAYARA SILVA MELO

EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA E DESASTRES
SOCIOAMBIENTAIS NAS CAPITAIS DOS ESTADOS DA COSTA LESTE DO
NORDESTE DO BRASIL

TESE APROVADA EM 20/12/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



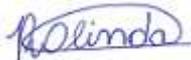
Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. RICARDO ALVES DE OLINDA
Centro de Ciências e tecnologia
Universidade Estadual da Paraíba



Prof. Dr. MARCOS BARRETO DE MENDONÇA
Escola Politécnica
Universidade Federal do Rio de Janeiro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por absolutamente tudo, pois sem Ele, sozinha, eu nada teria feito, nem nada seria! Agradeço por Ele ter me sustentado nos dias bons e nos dias ruins!

Agradeço o apoio de minha família, principalmente de minha mãe, Maria do Socorro Silva, por ter se dedicado, sozinha e por completo, à educação de suas filhas. Agradeço todo o esforço e energia dispensados em minha criação e educação, pois sei que não foi fácil! E não existem palavras que expressem o tamanho do meu agradecimento e amor!

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos, por ter aceitado minha orientação desde a Graduação até o Doutorado. Agradeço por toda a paciência, compreensão, conselhos, todo o apoio e ajuda ao longo desses anos, principalmente durante o período de meu Doutorado. Agradeço a confiança e agradeço por ter sido um pai!

Agradeço ao meu coorientador, prof. Dr. Madson Tavares Silva, por ter aceito minha orientação de Doutorado, quando o professor Carlos precisou se ausentar para realizar seu Pós-Doutorado, e por ter continuado como coorientador, em seguida ao seu retorno. Sou muito grata por sua paciência, compreensão, conselhos, e todo o apoio e ajuda durante o desenvolvimento de meu Doutorado. Posso dizer que tive dois pais durante o Doutorado, e sou muito grata por isso!

Agradeço a profa. Dra. Maria Regina da Silva Aragão, do Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA), da UFCG, por todos os seus ensinamentos, e por toda a sua compreensão durante o desenvolvimento de meu Estágio em Docência, durante o curso de Doutorado.

Agradeço a Maria Marle Bandeira, Meteorologista da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), por todo apoio, ajuda, incentivo e conselhos, desde da Graduação, e principalmente durante o período do Doutorado.

Agradeço a Gabrielle Bezerra Oliveira e Izana Oliveira Carneiro, amigas que o curso de Meteorologia da UFCG me proporcionou, por me ajudarem no que eu precisei, na hora que eu precisei, por me incentivarem e me apoiarem. Agradeço a Rosaria Rodrigues Ferreira, amiga que o Mestrado em Meteorologia da UFCG me proporcionou, e que mesmo distante fisicamente, durante o Doutorado, se fez presente em diversas etapas. Obrigada por todo seu incentivo, sua ajuda, apoio e conselhos.

Agradeço a Arilene de Almeida Lucena, técnica administrativa do (DCA) por sua cordialidade, agilidade e disponibilidade todas as vezes que precisei de algo.

Agradeço ao professor Balduino Sonildo da Nóbrega, da Unidade Acadêmica de Matemática, do Instituto Federal da Paraíba, pelo apoio, ajuda e conselhos, durante a fase final de meu Doutorado.

Agradeço as contribuições dos membros da banca examinadora de minha Tese. Agradeço ao prof. Dr. Ricardo Alves de Olinda, do Departamento de Estatística, da Universidade Estadual da Paraíba, por toda a sua colaboração, e principalmente toda a sua paciência durante o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço aos professores Dr. Bernardo Barbosa da Silva e Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti, do DCA, por suas contribuições em meu documento de Tese, bem como a disponibilidade em me ajudar com o que fosse necessário para o bom andamento de minha pesquisa. Agradeço, ainda, ao professor Dr. Marcos Barreto de Mendonça, do Departamento de Construção Civil, da Escola Politécnica Universidade Federal do Rio de Janeiro, por toda a sua contribuição e comentários extremamente pertinentes que proporcionaram a melhoria deste documento.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo, através do Projeto Pró-Alertas.

Agradeço a todos os professores do DCA pelos seus ensinamentos.

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização desta pesquisa!

Muito obrigada!!!

A Deus toda honra e glória!!!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da localização da área de estudo na América do Sul com destaque para os locais de coleta de dados	30
Figura 2. Representação dos eventos extremos para distribuição GVE	34
Figura 3. Precipitação mensal das normais climatológicas, para os períodos de 1961 a 1990 e, 1981 a 2010, para as cidades de: Aracaju – SE, João Pessoa – PB, Maceió – AL, Natal – RN, Recife – PE e, Salvador – BA	44
Figura 4. Diferença mensal entre as Normais Climatológicas, para os períodos de 1961 à 1990 e, 1981 à 2010, para as cidades de Natal - RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju - SE, e, Salvador – BA	46
Figura 5. Variabilidade mensal da precipitação pluvial diária para: a) Natal – RN, b) João Pessoa – JP, c) Recife – PE, d) Maceió – AL, e) Aracaju – SE, e) Salvador – BA para o período de 1986 a 2020	49
Figura 6. Variabilidade anual da precipitação pluvial diária para: Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período de 1986 a 2020	50
Figura 7. Distribuição temporal dos valores máximos da precipitação diária anual para: Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE, e Salvador – BA, para o período entre 1986 e 2020.....	52
Figura 8. Variabilidade da máxima precipitação diária anual para: Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE, e Salvador – BA, para o período entre 1986 e 2020	53

Figura 9. Frequência absoluta da precipitação diária máxima anual para: Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE, e Salvador – BA, para o período entre 1986 e 2020	54
Figura 10. Função de autocorrelação (FAC) da precipitação para para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020	57
Figura 11. Gráfico dos quantis estimados pela distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020	60
Figura 12. Gráficos da função densidade estimados pela distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020	61
Figura 13. Período de retorno da precipitação máxima diária para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020. As linhas tracejadas representam os intervalos de confiança ano nível de 95% para o modelo estimado	65
Figura 14. Registros de notícias ocorridos em João Pessoa - PB, para o dia 14 de junho de 2019. Fonte: G1; Jornal da Paraíba	73
Figura 15. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 1000 hPa, para 14 de junho de 2019, às 00 UTC	75
Figura 16. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de	

latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 850 hPa, para 14 de junho de 2019, às 00 UTC 77

Figura 17. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 500 hPa, para 14 de junho de 2019, às 00 UTC 79

Figura 18. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 250 hPa, para 14 de junho de 2019, às 00 UTC 81

Figura 19. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 1000 hPa, para 13 de junho de 2019, às 00 UTC 83

Figura 20. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 850 hPa, para 13 de junho de 2019, às 00 UTC 85

Figura 21. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 500 hPa, para 13 de junho de 2019, às 00 UTC 87

Figura 22. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de

latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 250 hPa, para 13 de junho de 2019, às 00 UTC	89
Figura 23. Imagens do satélite METEOSAT nos horários das 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 UTC, no canal infravermelho, com destaque para a América do Sul, para 14 de junho de 2019	91
Figura 24. Anomalia de precipitação para o Brasil, para o mês de junho de 2019	92
Figura 25. Registros de notícias ocorridos em Maceió - AL, para o dia 27 de maio de 2017	94
Figura 26. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 1000 hPa, para 27 de maio de 2017, às 00 UTC	96
Figura 27. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 850 hPa, para 27 de maio de 2017, às 00 UTC	98
Figura 28. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 500 hPa, para 27 de maio de 2017, às 00 UTC	100
Figura 29. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de	

latITUDE e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 250 hPa, para 27 de maio de 2017, às 00 UTC	102
Figura 30. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 1000 hPa, para 26 de maio de 2017, às 00 UTC	104
Figura 31. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 850 hPa, para 26 de maio de 2017, às 00 UTC	106
Figura 32. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 500 hPa, para 26 de maio de 2017, às 00 UTC	108
Figura 33. Campos de vento (linhas de corrente) (m/s), umidade específica (g/kg) e velocidade vertical (Pa/s) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 250 hPa, para 26 de maio de 2017, às 00 UTC	110
Figura 34. Imagens do satélite GOES-13 nos horários das 00, 09, 12, 15 e 21 UTC, no canal infravermelho, com destaque para o Nordeste do Brasil, para 27 de maio de 2017	111
Figura 35. Anomalia de precipitação para o Brasil, para o mês de maio de 2017	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coordenadas geográficas, população, precipitação pluvial média, temperaturas médias máxima e mínima para a região de estudo	29
Tabela 2. Estatística descritiva da precipitação diária máxima anual para as capitais da costa Leste do Nordeste, para o período de 1986 a 2020	55
Tabela 3. Teste de Chorrilho para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020	56
Tabela 4. Parâmetros da distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020	58
Tabela 5. Intervalo de confiança, ao nível de 95%, para os parâmetros da distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020	59
Tabela 6. Teste Kolmogorov-Smirnov (KS) para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020.	62
Tabela 7. Período de retorno estimado (mm/dia), para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020	63
Tabela 8. Probabilidade obtida a partir do percentil 90, para as precipitações diárias extremas, para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió –	

AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020	66
Tabela 9. Total de alertas emitidos e quantidade e tipologias de eventos ocorridos, para o período compreendido entre 2016 e 2020, para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA	68
Tabela 10. Quantidade de alertas registrados mensalmente, para o período compreendido entre 2016 e 2020, para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA	69
Tabela 11. Tipologia de eventos ocorridos associados a precipitações extremas, para o período compreendido entre 2016 e 2020, para as cidades de: João Pessoa – PB, Maceió – AL	70

LISTA DE SIGLAS

SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

AL – Alagoas

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul

BA – Bahia

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

BM – *Block Maxima* (Bloco Máximo)

CCM – Complexos Convectivos de Mesoescala

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres

COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

C.A – Coeficiente de Assimetria

C.V – Coeficiente de Variação

DOLs – Distúrbios Ondulatórios de Leste

DGP – Generalizadas de Pareto

DP – Desvio Padrão

ECMWF – *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo)

EM-DAT – *Emergency Events Database* (Banco de dados de eventos de emergência)

ENOS – El Niño – Oscilação Sul

EUMETSAT – *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (Organização Europeia para Exploração de Satélites Meteorológicos)

FAC – Função de autocorrelação

GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellite* (Satélite Operacional Geoestacionário Ambiental)

GrADS – *Grid Analysis and Display System* (Sistema de exibição e análise em grade)

GVE – Generalizada de Valor Extremo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

KS – Kolmogorov-Smirnov

LI – Linhas de Instabilidade

METEOSAT – *Meteorological Satellite* (Satélite meteorológico)

MLE – Máxima Verossimilhança

NEB – Nordeste Brasileiro

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Agência Nacional Oceânica e Atmosférica)

PB – Paraíba

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PE – Pernambuco

POT – *Picks Over Threshold* (Picos acima de um limiar)

RN – Rio Grande do Norte

SE – Sergipe

SEDEC – Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

TSM – Temperatura da superfície do mar

TVE – Teoria dos Valores Extremos

UNDRR – *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres)

UTC – *Coordinated Universal Time* (Tempo Universal Coordenado)

VCANs – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi analisar os eventos extremos de precipitação pluvial diária, bem como sua possível contribuição na ocorrência de desastres socioambientais para as capitais dos estados da costa leste do Nordeste do Brasil. Para isto, foram utilizados dados de precipitação diária, para o período de 1986 a 2020, disponibilizados pelo INMET, bem como dados de alertas emitidos pelo CEMADEN, para o período de 2016 a 2020, cedidos pelo CEMADEN. Foram utilizadas Normais Climatológicas, disponibilizadas pelo INMET, para os períodos de 1961 a 1990 e 1981 a 2010, para verificar o comportamento da precipitação na área de estudo. Dados de reanálise, do ECMWF, e imagens dos satélites GOES e METEOSAT foram utilizados para analisar as condições atmosféricas associadas a ocorrência de precipitações extremas. A Teoria de Valores Extremos foi utilizada para modelar a máxima precipitação, a partir da distribuição Generalizada de Valores Extremos, bem como para se obter o período de retorno para as precipitações extremas na costa leste do NEB. A partir dos resultados obtidos verificou-se que precipitações ≥ 200 mm/dia ocorreram em Natal – RN, Recife – PE e Salvador – BA. Natal – RN é a localidade que apresenta mais registros de precipitação ≥ 200 mm/dia, e a localidade que apresenta a máxima precipitação diária, de toda a série temporal. São esperados que pelo menos uma vez a cada dois anos, ocorram eventos extremos precipitação diária, entre 90,62 e 123,61 mm, para a região de estudo. Para 5, 10 e 25 anos, espera-se ao menos um evento ocorrendo entre 118,59 e 155,49 mm; 133,31 e 184,68 mm; 148,47 e 237,32 mm, respectivamente, nas capitais da costa leste do NEB. Salvador – BA e Aracaju – SE apresentam a maior e menor quantidade de ocorrências de desastres socioambientais. Deslizamentos de terra e alagamentos são as tipologias mais registradas para a área de estudo. Os eventos extremos analisados foram influenciados pela posição da Alta Subtropical do Atlântico Sul, bem como pela presença de sistemas de alta e baixa pressão em áreas sobre continente e/ou oceano Atlântico adjacente, contribuindo assim com o transporte de umidade do Oceano Atlântico para o litoral do Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: eventos extremos; teoria de valores extremos; desastres socioambientais; precipitação.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the extreme events of daily rainfall, as well as its possible contribution to the occurrence of socio-environmental disasters in the state capitals of the east coast of northeastern Brazil. For this, daily precipitation data were used, for the period 1986 to 2020, provided by INMET, as well as data from alerts issued by CEMADEN, for the period 2016 to 2020, provided by CEMADEN. Climatological Standards, provided by INMET, for the periods 1961 to 1990 and 1981 to 2010 were used to verify the behavior of precipitation in the study area. Reanalysis data, from ECMWF, and images from the GOES and METEOSAT satellites were used to analyze the atmospheric conditions associated with the occurrence of extreme precipitation. The Extreme Value Theory was used to model the maximum precipitation, from the Generalized Extreme Value distribution, as well as to obtain the return period for the extreme precipitation in the NEB east coast. From the results obtained, it was verified that precipitation ≥ 200 mm/day occurred in Natal – RN, Recife – PE and Salvador – BA. Natal – RN is the location that presents the most records of precipitation ≥ 200 mm/day, and the location that presents the maximum daily precipitation, of the entire time series. It is expected that at least once every two years, extreme daily precipitation events, between 90.62 and 123.61 mm, will occur for the study region. For 5, 10 and 25 years, at least one event is expected to occur between 118.59 and 155.49 mm; 133.31 and 184.68 mm; 148.47 and 237.32 mm, respectively, in NEB's east coast capitals. Salvador – BA and Aracaju – SE have the highest and lowest number of occurrences of socio-environmental disasters. Landslides and floods are the most recorded typologies for the study area. The extreme events analyzed were influenced by the position of the South Atlantic Subtropical High, as well as by the presence of high and low pressure systems in areas over the continent and/or adjacent Atlantic Ocean, thus contributing to the transport of moisture from the Atlantic Ocean to the coast of the Brazilian Northeast.

Keywords: extreme events; extreme value theory; socio-environmental disasters; precipitation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1. Objetivo Geral	6
1.2. Objetivo específicos	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Sistemas atmosféricos atuantes e Climatologia da precipitação pluvial na costa leste do nordeste do Brasil	7
2.2. Eventos extremos de precipitação pluvial	15
2.3. Desastres socioambientais.....	19
2.4. Teoria de valores extremos aplicada a dados ambientais	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1. Área de estudo	29
3.2. Dados	31
3.3. Metodologia	33
3.3.1. Análise climatológica e descritiva da precipitação pluvial.....	33
3.3.2. Modelagem estatística para a ocorrência de precipitação extrema a partir da Teoria de Valores Extremos	34
3.3.3. Análise de eventos extremos associados à desastres socioambientais	39
3.3.4. Análise das condições atmosféricas associadas a ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Análise climatológica da precipitação pluvial nas capitais da costa leste do Nordeste	42
4.2. Análise descritiva da precipitação pluvial na costa leste do Nordeste para o período de 1986 à 2020	47
4.3. Modelagem estatística da máxima precipitação pluvial para as capitais da costa leste do Nordeste utilizando a Teoria de Valores Extremos	56
4.4. Obtenção do período de retorno e probabilidades de ocorrência de precipitação extrema nas capitais da costa leste do NEB	63
4.5. Análise da ocorrência de desastres socioambientais nas capitais da costa leste do NEB	67
4.6. Análise das condições atmosféricas associadas a ocorrência de eventos extremos de precipitação e desastres socioambientais nas capitais da costa leste do NEB	71
5. CONCLUSÕES	114
6. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	117
7. REFERÊNCIAS	118
8. ANEXO	132

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial, componente essencial do ciclo hidrológico, afeta diretamente e, de várias formas, os mais diversos setores da sociedade. Grandes acumulados de precipitação podem apresentar benefícios e malefícios para a população, podendo beneficiar como fonte de água, como também representar riscos quando associados a desastres socioambientais. Em regiões tropicais, a variação espaço-temporal das variáveis meteorológicas, especialmente a precipitação, está relacionada com a atuação de sistemas meteorológicos em diferentes escalas, modulados por mecanismos oceano-atmosfera, que produzem precipitação acima e/ou abaixo do média climatológica (SANTOS et al., 2019a).

Para Reboita et al. (2012), a precipitação na região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta grande variabilidade espacial e temporal, que tanto pode estar associada a fatores ligados à circulação geral da atmosfera quanto a sistemas atmosféricos de meso escala que interagem com as características locais do continente. Eventos extremos de precipitação, bem como alterações ambientais (desmatamento e/ou urbanização), podem frequentemente desencadear a incidência de riscos hidrológicos, como inundações, enchentes e deslizamentos de terra, especialmente nas áreas tropicais (ÁVILA et al., 2019).

Muitos eventos extremos relacionados ao clima estão aumentando em frequência e/ou magnitude e, há um aumento potencial de impactos devido à expansão e infraestrutura dos centros urbanos (UNDRR, 2019). Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2012), que possui registros de 1991 a 2012, as enxurradas e as inundações são duas das três ameaças que mais afetam a população brasileira, com 21% e 12% do total de registros, respectivamente. A enxurrada é também o tipo de

ameaça que causou o maior número de mortes, no período citado, com 58,15% do total de registros.

De modo geral, o Brasil está submetido a precipitações extremas e períodos secos, expondo as cidades a ameaças, sendo que o grau de vulnerabilidade de cada cidade dependerá de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais são específicos para cada lugar (PBMC, 2016). Segundo Almeida et al. (2016), apesar das regiões Sudeste e Sul do Brasil deterem os maiores números de mortes, pessoas afetadas e perdas econômicas em decorrência de desastres socioambientais, o NEB tem apresentado o maior número de desastres reportados oficialmente pela defesa civil nacional.

Em um levantamento feito para áreas de risco associados a inundações, enxurradas e movimentos de massa, constatou-se que o NEB é a segunda região com o maior número de moradores em áreas de risco, aproximadamente 3 milhões de habitantes, o que representa 11,4% da população total dos 294 municípios monitorados da região. Bahia e Pernambuco destacam-se como os estados com maiores quantidades e percentual de população em áreas de risco com 26,7% e 14,1% do total dos municípios monitorados no estado, respectivamente. Por sua vez, os estados da Paraíba e Sergipe possuem respectivamente os menores quantitativos de população exposta em áreas de risco, com 2,2% e 1% do total dos municípios monitorados no estado, respectivamente. (IBGE, 2018).

A ocorrência de eventos extremos de precipitação maximiza os episódios de desastres socioambientais, como inundações e deslizamentos de terra. Essas situações de desastre envolvem simultaneamente processos sociais e naturais que impactam a sociedade, sendo as ações antrópicas um dos fatores determinantes, combinados com as condições meteorológicas (RIBEIRO et al., 2021).

Desastres socioambientais relacionados a fatores geológicos e hidrológicos (incluindo deslizamentos de terra e inundações) mataram 1,3 milhão de pessoas em todo o mundo, afetaram outras 4,4 bilhões de pessoas e causaram perdas econômicas avaliadas em 2,2 bilhões de dólares entre os anos de 1998 e 2017. No Brasil, foram registrados quase 39 mil desastres relacionados às condições hidrometeorológicas entre 1991 a 2010. Padrões de precipitação caracterizados por precipitações muito intensas durante os meses de verão, agravam o nível de risco causados por eventos extremos de precipitação (DIAS et al., 2020).

A motivação para a realização desta pesquisa está na busca pela compreensão do comportamento da precipitação diária, seus extremos, período de retorno, além da compreensão sobre a ocorrência de desastres socioambientais associados a precipitações extremas, bem como as condições atmosféricas que possam ter desencadeado tais extremos é de vital importância para o planejamento de atividades dos mais diversos setores das localidades aqui estudadas, bem como de suas regiões metropolitanas.

As hipóteses para a problemática aqui levantada são:

- Sabe-se que as precipitações extremas estão cada vez mais frequentes, e uma vez que seja possível utilizar a modelagem estatística aqui proposta, espera-se identificar períodos de retorno mais curtos para a máxima precipitação diária;

- A ocorrência de eventos extremos de precipitação maximiza os episódios de desastres socioambientais, logo espera-se identificar eventos extremos de precipitação que tenham causado e/ou contribuído para a ocorrência de registros de desastres socioambientais para as capitais da costa leste do NEB;

- A variabilidade espaço-temporal da precipitação pode ser explicada pelos padrões de circulação, bem como interações oceano-atmosfera, assim sendo espera-se

que esses padrões e interações expliquem os eventos extremos identificados nesta pesquisa.

É de grande importância o conhecimento a respeito de mudanças na frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação pluvial, principalmente devido aos impactos econômicos e sociais. Portanto, foi com base na problemática aqui apresentada que se procurou desenvolver este estudo. Sendo assim, a presente pesquisa propõe-se investigar a ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial e desastres socioambientais para as capitais da costa leste do NEB.

Neste contexto, tem-se como:

1.1. Objetivo Geral

Analisar os eventos extremos de precipitação pluvial diária associados aos desastres socioambientais para as capitais dos estados da costa leste do Nordeste do Brasil.

1.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram alcançados:

- Analisar o comportamento da precipitação a partir das Normais Climatológicas;
- Descrever a precipitação para a região de estudo;
- Obter o período de retorno e a probabilidade de ocorrência de valores extremos de precipitação diária por meio da Teoria de Valores Extremos;
- Analisar a ocorrência de desastres socioambientais nas capitais da costa leste do NEB;
- Analisar as condições atmosféricas associadas a ocorrência de eventos extremos de precipitação e desastres socioambientais nas capitais da costa leste do NEB.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistemas atmosféricos atuantes e Climatologia da precipitação pluvial na costa leste do Nordeste do Brasil

O clima em qualquer região do planeta é determinado em grande parte pela circulação geral da atmosfera, sendo essa considerada uma circulação média da atmosfera. A influência da circulação geral se dá desde a macroescala até a microescala, e está diretamente ligada a distribuição global da precipitação pluvial. Sabe-se que a região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta regimes de precipitação variados, e isso também se explica pelos diferentes sistemas de circulação atmosférica, em várias escalas.

A região NEB não somente apresenta uma grande variabilidade na quantidade total de precipitação interanual (KOUSKY, 1979), como também uma alta variabilidade espacial e temporal da precipitação dentro de sua estação chuvosa (UVO, 1998). Essas características podem ser justificadas devido ao sistema atmosférico que atua em cada região. Para Kousky (1979), a costa leste do NEB apresenta precipitação média anual de 2000 mm ou mais enquanto que em algumas regiões do interior, a precipitação média pode ser igual ou inferior a 400 mm. Reboita et al. (2010) citam que a precipitação média para a costa leste Nordestina é de 1500 mm/ano. Oliveira et al. (2016) indicam que a precipitação anual é inferior a 500 mm nas áreas semiáridas, e mais de 1500 mm no litoral e NEB.

De acordo com Ferreira e Souza (2019), o norte da região NEB apresenta precipitação anual de 1000 mm com chuvas concentradas entre os meses de fevereiro e maio, para o setor leste observa-se um padrão de precipitação acima de 1500 mm/ano ocorrendo nos meses de maio a agosto e, precipitação abaixo de 500 mm/ano com ocorrências de chuvas nos meses de março a junho são verificadas no Semiárido

brasileiro. Sendo, essa característica climática dependendo, em parte, do tipo de sistema meteorológico que poderá estar atuando sobre a região.

Segundo Molion e Bernardo (2002), no NEB podem identificar-se três regimes quanto à distribuição da precipitação pluvial:

- O norte do NEB abrange o Ceará e partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão e oeste da Paraíba e de Pernambuco possuindo o máximo de precipitação no mês de março. Os índices pluviométricos variam de 400 mm/ano (interior) a mais de 2000 mm/ano (litoral), e os quatro meses mais chuvosos ocorrem de fevereiro a maio. Os principais mecanismos de produção de chuva são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), brisas, Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), convecção local, e muito raramente a influência das frentes frias.
- O sul do NEB cobre praticamente toda a Bahia, partes sul do Maranhão e do Piauí, e extremo sudoeste de Pernambuco. Os índices pluviométricos variam de 600 mm/ano (interior) a mais de 2000 mm/ano (litoral), sendo seu período mais chuvoso compreendido entre os meses de novembro a fevereiro. Tem como mecanismos de precipitação, a estacionaridade dos sistemas frontais, convecção local, e brisas terrestre e marítima.
- A faixa costeira do leste do NEB estende-se do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, e apresenta clima quente e úmido com totais pluviométricos anuais variando entre 600 e 2000 mm. O período mais chuvoso vai de abril a julho. Segundo Reboita et al. (2012) os mecanismos associados a estação chuvosa estariam relacionados à passagem de sistemas frontais, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e Distúrbios Ondulatórios de Leste.

Para Valadão et al. (2016), os regimes de precipitação no NEB têm uma natureza complexa, com quase toda a precipitação ocorrendo em uma estação chuvosa relativamente curta, com a variabilidade da precipitação sobre o NEB dependendo de

muitos fatores climáticos. Uvo et al. (1998) citam que a precipitação no NEB pode estar relacionada com: 1) Eventos El Niño – Oscilação Sul (ENOS); 2) Temperatura da superfície do mar (TSM) do Oceano Atlântico; 3) posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, e 4) Frentes Frias. Além desses, pode-se citar a atuação das Linhas de Instabilidade (LI), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e, circulação de brisas marítima e terrestre.

Os sistemas atmosféricos que modulam a precipitação no setor leste do Nordeste do Brasil são descritos brevemente a seguir:

- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é considerada o sistema gerador de precipitação mais importante na região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, bem como sobre áreas continentais adjacentes. Esse sistema é definido como uma banda de nuvens convectivas que se estende em uma faixa ao longo da região Equatorial. Considerando a região do Atlântico Equatorial, a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte (em torno de 14°N), durante agosto e setembro, para sua posição mais ao sul (em torno de 2°S) durante março e abril (CAVALCANTI et al., 2009).

A migração sazonal da ZCIT associada a fatores possam causar o enfraquecimento dos alísios de nordeste e sudeste, tem papel fundamental na estação chuvosa no NEB, principalmente no norte da região. Em anos chuvosos, a ZCIT pode atingir até 5°S, perto da costa nordestina, proporcionando elevados totais de precipitação (CAVALCANTI et al., 2009). A permanência mais ao norte ou ao sul do Equador é o que determina a qualidade da estação chuvosa no norte do NEB. Quando a ZCIT inicia sua migração para o norte no fim de fevereiro ou início de março, a precipitação é, em geral, deficiente,

porém se a ZCIT iniciar sua migração para o norte no fim de abril ou início de maio, a precipitação tende a ser abundante (UVO, 1989).

De acordo com Reboita et al. (2010), a ZCIT é o sistema de tempo mais importante para a precipitação das regiões norte e litoral do NEB, sendo os máximos pluviométricos registrados no primeiro semestre do ano devido à migração da ZCIT para o Hemisfério Sul. A ZCIT é, por consenso, o mecanismo mais importante na produção de precipitação, chegando a sua posição extrema nos meses de março e abril, quando ocorre o máximo de precipitação para essa região (MOLION e BERNARDO, 2002).

- Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs)

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) são sistemas meteorológicos de grande importância para a distribuição de precipitação na região NEB. Sendo definido como um sistema de baixa pressão formado na alta troposfera, com circulação ciclônica, possuindo o centro mais frio que sua periferia. Por serem centros de baixa pressão, há convergência no centro desses sistemas, em altos níveis, favorecendo movimentos subsidentes, e divergência em superfície, favorecendo movimentos ascendentes na periferia do vórtice. A ocorrência de VCANs se dá nos meses de verão, principalmente em janeiro, possuindo uma duração de vida em torno de 4 a 10 dias (Kousky e Gan, 1981).

Segundo Reboita et al. (2012), os VCANs são sistemas meteorológicos de baixa pressão com núcleo frio formados em altos níveis da atmosfera (entre 5000 e 11000 m de altura acima da superfície), mas que em algum estágio do seu ciclo de vida podem se estender até a superfície e influenciar a formação de ciclones também em superfície. O centro do VCAN geralmente não tem nuvens, já sua periferia (especialmente a norte) apresenta atividade convectiva, o que significa que o ar subside no centro e se eleva na periferia do vórtice. Essa configuração afeta o tempo, pois sob o centro do sistema, em geral, o tempo é de céu claro enquanto que na periferia há nebulosidade e chuva, o que

pode ocasionar déficit ou abundância de precipitação, respectivamente. (REBOITA et al., 2017).

Na América do Sul, há ocorrência de VCANs de origem Subtropical e Tropical. Os VCANs de origem Tropical ocorrem sobre o oceano Atlântico Sul Tropical e NEB, principalmente no verão. Nessa estação do ano, o desenvolvimento da Alta da Bolívia (AB) juntamente com um Cavado (região de baixa pressão atmosférica) a sua jusante favorece um ambiente propício para a formação dos VCANs (REBOITA et al., 2017). A AB é um sistema de alta pressão atmosférica, sendo um dos sistemas meteorológicos típicos de verão sobre América do Sul, responsável pelo estímulo de muitas áreas de instabilidade sobre o Brasil.

Como citado anteriormente, a presença da AB juntamente com um Cavado favorece a formação de um VCAN, porém, os mecanismos responsáveis pela gênese dos VCANs Tropicais ainda não são totalmente conhecidos. Além dos mencionados, Kousky e Gan (1981) sugeriram a presença de uma frente fria que se desloca das latitudes médias para os trópicos pode ser outro mecanismo que favoreça a formação de VCANs.

Para Ferreira e Souza (2019), na região NEB, as precipitações que ocorrem na área que se encontra sob a periferia de um VCAN têm grande importância, principalmente para as localidades que são atingidas por eventos extremos de seca, a exemplo, o Semiárido Nordestino, pois após um longo período de estiagem, as chuvas associadas a um VCAN podem contribuir para a recarga de mananciais e açudes que abastecem a população.

- Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs)

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), ou Ondas de Leste, é um dos principais sistemas precipitantes nas regiões tropicais do globo, podendo ser definidos como sendo distúrbios que se propagam desde o oeste da África até o Atlântico Tropical,

se deslocando, ainda sobre o Litoral e Zona da Mata nordestina, apresentando configuração ondulatória nos campos de vento e pressão, e período médio de vida de 5,5 dias. Essas perturbações são muito importantes pois modulam a convecção, e conseqüentemente, a precipitação. Sua atividade máxima no Hemisfério Sul ocorre nos meses de inverno (CAVALCANTI et al., 2009; SANTOS et al., 2012; GOMES et al., 2015).

Para Neves et al. (2016), DOLs são sistemas atmosféricos presentes na região tropical, preferencialmente sobre áreas dos oceanos Atlântico e Pacífico. Sendo, sobre o Atlântico identificados, inicialmente, próximos à costa oeste do continente Africano, e se propagando em forma de ondas que se deslocam de leste para oeste. No Atlântico tropical sul, atuam preferencialmente sobre o leste do NEB, contribuindo significativamente para os totais anuais de precipitação. Geralmente, se intensificam quando chegam à costa, devido ao aumento da convergência de umidade e ao contraste térmico entre continente e oceano (MOLION e BERNARDO, 2002).

De acordo com Gomes et al. (2015), os DOLs são importantes pois transportam grandes quantidades de umidade para áreas que são tipicamente secas. Além disso, quando os DOLs interagem com as circulações locais, pode haver um aumento na convergência em baixos níveis, podendo resultar em um o aumento na precipitação nas costas leste e norte do NEB.

A estrutura, bem como os mecanismos de formação e manutenção associados a estas ondas, ainda não estão claros (CHOU, 1990). Porém, segundo Neves et al. (2016), o estudo deste sistema atmosférico se mostra mais avançado para os eventos que ocorrem no Atlântico Norte, pois estes são precursores de tempestades tropicais e furacões que atingem, sobretudo, a América Central, o Caribe e a América do Norte.

- Sistemas Frontais

Sistemas frontais são importantes fenômenos atmosféricos em escala sinótica que ocorrem em regiões com características atmosféricas peculiares, a exemplo de elevados valores de gradientes horizontais de temperatura, cisalhamento vertical e horizontal, umidade, sendo ainda uma região de relativa baixa pressão em que ocorre movimento vertical) e que podem ser responsáveis pela ocorrência de nuvens com grande desenvolvimento vertical e precipitação (PAMPUCH e AMBRIZZI, 2015).

Um sistema frontal clássico é composto por uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone, sendo as frentes podendo ser classificadas como frente fria, quente, estacionária e oclusa (ANDRADE, 2005).

Os sistemas frontais afetam o clima na América do Sul durante todas as estações do ano. Eles são facilmente visualizados em imagens de satélite à medida que avançam de sudoeste a nordeste sobre o continente e oceano adjacente (CAVALCANTI e KOUSKY, 2003). Algumas vezes, as frentes frias alcançam latitudes muito baixas sobre o oeste da Amazônia e também ao longo da costa do NEB (CAVALCANTI et al., 2009). Para Kousky (1979), sistemas frontais e seus restos penetram na parte sul do NEB ao longo do ano, desempenhando um papel importante no máximo de precipitação entre os meses de dezembro e janeiro, com chuvas mensais ocorridas na parte sul do Nordeste (Bahia), e ainda estão associados ao aumento da precipitação ao longo da costa, da Bahia ao Rio Grande do Norte, durante os meses de outono e inverno.

Sabe-se que a atuação de um ou mais sistemas pode intensificar a precipitação sobre a costa leste do NEB, e sabe-se, ainda que a circulação geral da atmosfera sobre a região tropical é fortemente modulada pelos oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais, sendo a variabilidade interanual da distribuição de chuvas sobre o NEB, tanto nas escalas espacial quanto temporal, intimamente relacionada com as mudanças nas configurações

de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera. O impacto causado pelo fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), um exemplo de perturbação climática de escala global, pode ser sentido principalmente pela modificação no regime e no total de precipitação que, dependendo da intensidade do evento, pode resultar em secas severas, interferindo de forma expressiva, nas atividades humanas (MOLION e BERNARDO, 2002).

A convecção Tropical é essencialmente controlada – intensificada ou inibida – pela circulação geral da atmosfera, fenômenos de escala global, resultantes da interação complexa entre a superfície do planeta, particularmente a distribuição de continentes e oceanos com fornecimento desigual de energia solar, topografia e cobertura vegetal. A precipitação na região de estudo está, também, diretamente relacionada com a convecção local. Esta é caracterizada por movimentos ascendentes de ar úmido, resultantes da ocorrência de pressões atmosféricas mais baixas junto à superfície terrestre, seja em consequência do aquecimento do ar em contato com essa superfície, seja pela ação de fenômenos transientes, de caráter puramente dinâmico, como sistemas frontais (MOLION e BERNARDO, 2002).

De acordo com Ferreira et al. (2019), a observação espacial e temporal do regime de chuvas do NEB torna-se um desafio devido sua grande variabilidade espaço-temporal, contudo há um grau de importância ao se estudar essa variável por conta de sua interferência nas diversas atividades humanas e na organização social. Para os autores, a heterogeneidade da precipitação sobre o NEB deve-se em grande parte ao fato de que alguns sistemas atmosféricos são responsáveis pela modulação do tempo e clima na região.

2.2. Eventos extremos de precipitação pluvial

Um evento extremo climático pode ser definido como um evento raro que ocorre em um determinado local e época do ano. A definição de “raro” varia, porém, um evento climático extremo seria normalmente considerado tão raro quanto ou mais raro do que o percentil 10 ou 90 da função densidade de probabilidade. Por definição, as características do que é chamado de tempo extremo pode variar de local para local (IPCC, 2007).

Eventos extremos isolados não podem ser diretamente atribuídos à mudança climática antropogênica, pois o evento em questão pode ter ocorrido naturalmente. Quando um padrão de evento de tempo extremo persiste por algum tempo, como por exemplo, ao longo de uma estação do ano, esta pode ser classificada como evento climático extremo, principalmente se o evento produzir uma média ou total que é o próprio extremo, como secas ou chuvas intensas durante a estação (IPCC, 2007).

Em todo o mundo pesquisas sobre a variabilidade do clima e eventos extremos de precipitação pluvial têm sido desenvolvidas por Agel et al. (2015), Shimizu et al. (2016), Lewis and King (2017), e Agel (2018). Considerando pesquisas desenvolvidas para o Brasil, pode-se citar: Dias et al. (2013), Ávila et al. (2016), Zilli et al. (2016), Grimm (2019). Dias et al. (2013) investigaram os extremos diários de precipitação para a cidade de São Paulo – SP, e observaram tendências positivas significativas na evolução dos extremos diários para o período entre 1933 e 2010, bem como a explicação de 85% de aumento na frequência de extremos durante a estação seca associados a índices climáticos como El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

Com o intuito de compreender as tendências de precipitação extrema sobre a costa do Sudeste do Brasil, Zilli et al. (2016), utilizaram dados de precipitação pluvial para um período de 70 anos, para analisar a região mais densamente povoada do Brasil. Seus

resultados apontaram um aumento na precipitação diária e sazonal no estado de São Paulo, sugerindo um aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação, e nos dias chuvosos. No entanto, a precipitação tornou-se mais concentrada nos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo, onde os dados indicaram uma diminuição no número de dias chuvosos, com precipitação concentrada em poucos eventos, porém eventos mais intensos.

Na região NEB, a variabilidade espacial e temporal contribui para ocasionar longos períodos de estiagens ou precipitações intensas, sendo essa problemática tema de diversas pesquisas. Liebmann et al. (2011), Oliveira et al. (2014), Nobrega et al. (2015), Oliveira et al. (2016), Silva et al. (2017), Silva et al. (2018), Silva et al. (2019a). Para Vale et al. (2020), a ocorrência desses eventos geralmente está associada à variabilidade dos padrões da circulação atmosférica.

Nóbrega et al. (2015) analisaram as tendências espacial e temporal da precipitação pluvial para Pernambuco utilizando índices de extremos climáticos e a técnica dos quantis. A partir de seus resultados foi possível observar uma predominância de aumento no volume da precipitação anual em grande parte do Estado, bem como que as chuvas estão cada vez mais concentradas em poucos dias ao longo do ano nas regiões do sertão e agreste. Ainda sobre o sertão, foram encontrados a maior quantidade de ocorrência de eventos extremamente chuvosos, concentrados nos meses dezembro, janeiro e fevereiro, período chuvoso do Sertão de Pernambuco.

Oliveira et al. (2014) utilizaram dados de precipitação pluvial de 1972 a 2002 para estudar a climatologia e a tendência de ocorrência de eventos intensos, normais e fracos de precipitação no NEB. Esse estudo utilizou-se da técnica de quantis, e a tendência da série foi identificada utilizando-se o método não paramétrico de Mann-Kendall. De acordo com os resultados encontrados, verificou-se uma tendência negativa no número

de ocorrências de precipitações normais e intensas durante a primavera, e uma tendência positiva nas ocorrências de precipitações intensas durante o outono. Para os autores, esses resultados sugerem alterações na distribuição temporal das chuvas sobre o NEB.

Souza et al. (2012) utilizaram a técnica dos quantis para classificar a precipitação pluvial para a cidade de Recife-PE, bem como analisar os desastres associados às precipitações extremas. Seus resultados mostraram que precipitações classificadas como muito forte, forte, e moderada estavam relacionadas a muitos pontos de alagamento na cidade. Já em relação as precipitações consideradas fracas não houve ocorrência de danos associados, porém, os autores observam que a ocorrência de dias consecutivos de precipitação anterior a um evento de precipitação muito forte, forte ou moderada contribuem ainda mais para ocorrência de desastres.

Para Silva et al. (2019a), a quantificação da variabilidade e/ou mudanças climáticas são realizadas através de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, sendo assim as tendências destas variáveis para um determinado local podem ser indicadores para verificar a ocorrência de mudanças no clima local. Segundo os autores, as enchentes ou inundações e secas afetam a qualidade e acesso à água, que por sua vez podem agravar a saúde da população, além dos aspectos sociais e econômicos. Em seu estudo que consistiu em uma análise de índices de extremos climáticos para o Nordeste e Amazônia Brasileira, observou-se que, de maneira geral, o NEB apresenta as maiores reduções para os índices de precipitação e o maior aumento para a temperatura e dias e noites quentes.

O aumento de eventos extremos tornou a sociedade mais vulnerável à variabilidade de extremos de tempo e clima, resultando em grandes perdas socioeconômicas. Esses extremos estão relacionados aos vários fatores ambientais que favorecem o aumento de sua frequência e intensidade: 1) relações entre as variáveis

oceano-atmosféricas, tais como: temperatura do ar, precipitação, velocidade do vento e temperatura da superfície do mar (TSM); 2) mudanças microclimáticas regionais devido à rápida urbanização das cidades sem planejamento urbano adequado; e 3) efeitos orográficos. Esses fatores, quando combinados na circulação atmosférica ou nos sistemas meteorológicos em várias escalas espaço-temporais, podem favorecer a ocorrência de extremos (FILHO et al., 2014).

Marengo et al. (2020) citam que alterações no volume total de precipitação na estação chuvosa podem ocorrer por diferentes motivos. Pode haver variações no número de dias úmidos ou fortes chuvas, ou ambos. Mudanças nos extremos são preocupantes pois os efeitos de desastres relacionados ao clima são frequentemente exacerbados nas cidades, devido a interações com sistemas de infraestrutura urbana, crescimento da população e certas atividades econômicas.

Segundo Rodrigues et al. (2021), a análise dos eventos extremos de precipitação que ocorrem em áreas urbanas é de extrema importância, principalmente devido aos seus impactos, já que causam graves prejuízos à sociedade, tanto em termos econômicos quanto na saúde e segurança. Sendo os resultados dessas análises úteis para subsidiar a formulação de políticas públicas em termos de planejamento, adaptação e mitigação dos riscos urbanos causados por eventos extremos de precipitação.

Para Ávila (2019), é crucial entender as causas das mudanças de precipitação nas escalas global e regional e identificar a ligação entre esses eventos hidrológicos e os fenômenos climáticos e / ou variabilidade climática. Segundo o PBMC (2016), o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de chuva aumenta o risco de deslizamentos de terra, enchentes e enxurradas. Tabari (2019) afirma que a análise de tendências de extremos hidrológicos fornece informações essenciais para o planejamento

dos recursos hídricos, avaliação de risco de perigos hidrológicos e estratégias de adaptação e mitigação para mudanças no clima.

2.3. Desastres socioambientais

Desastre pode ser definido como situação ou evento que sobrecarrega a capacidade local, exigindo uma solicitação a nível nacional ou internacional de assistência externa (EM-DAT, 2020). Segundo a UNISDR (2009), desastre pode ser uma séria interrupção do funcionamento de uma comunidade ou uma sociedade que envolve perdas e impactos humano, material, econômico ou ambiental, ao qual excede a capacidade da comunidade ou sociedade afetada para lidar usando recursos próprios. Sendo, os desastres frequentemente descritos como resultado da combinação da exposição a um perigo, as condições de vulnerabilidade presentes, e capacidade ou medidas insuficientes para reduzir ou lidar com as potenciais consequências negativas.

Os impactos de um desastre podem incluir perda de vidas, ferimentos, doenças e outros efeitos negativos sobre o ser humano, seja no aspecto físico, mental e/ou bem-estar social, juntamente com danos à propriedade, destruição de bens, perda de serviços, interrupção econômica e degradação ambiental (UNISDR, 2009).

Ainda segundo a UNISDR (2009), pode-se definir perigo como sendo um fenômeno, substância e/ou atividade humana perigosa, ou ainda, uma condição que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos à saúde, danos materiais, perda de meios de subsistência e serviços, perturbação social e econômica, ou dano ambiental. Os perigos podem ser de origem natural e relacionados a perigos e riscos ambientais e tecnológicos. Esses perigos surgem de uma variedade de fontes geológicas,

meteorológicas, hidrológicas, oceânicas, biológicas e tecnológicas, às vezes agindo em combinação.

Risco é a combinação da probabilidade de um evento e suas consequências negativas (UNISDR, 2009). Risco pode ser conceituado também como sendo perdas esperadas (de vidas, pessoas feridas, bens danificados e atividade econômica interrompida) devido a um perigo específico para uma determinada área e período de referência (EM-DAT, 2020).

Vulnerabilidade pode ser definida como sendo as características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou ativo que a faz suscetível aos efeitos prejudiciais de um perigo (UNISDR, 2009). Vulnerabilidade, também, pode ser definida como as condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade de um indivíduo, comunidade, ativos ou sistemas aos impactos de perigos (UNDRR, 2020).

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) aponta que os desastres podem ser de origem natural ou tecnológica. Entre os desastres socioambientais, têm-se os tipos: geológicos, meteorológicos, hidrológicos, climatológicos e biológicos. Por sua vez, os desastres tecnológicos estão relacionados às substâncias radioativas, a produtos perigosos, a incêndios urbanos, a obras civis e ao transporte de passageiros e cargas não perigosas (BRASIL, 2020).

O perigo hidrológico é causado pela ocorrência, movimento e distribuição de água superficial e subterrânea. Um perigo meteorológico pode ser definido como sendo causado por condições climáticas e atmosféricas extremas de micro e meso escalas que duram de minutos a dias. Enquanto um perigo climatológico é caracterizado como sendo causado por processos atmosféricos de meso e grande escala, variando de escala intrasazonal a multidecadal (EM-DAT, 2020).

Para que um desastre seja inserido no Banco de Dados Internacional de Desastres (The International Disaster Database: EM – DAT), pelo menos um dos seguintes critérios deve ser atendido: 10 ou mais óbitos; 100 ou mais pessoas afetadas; declaração de estado de emergência; pedido de auxílio internacional (EM-DAT, 2020).

Nesta pesquisa foram estudados a ocorrência de desastres socioambientais associados eventos deflagrados a precipitações pluviais extremas, cujos conceitos são apresentados a seguir:

Inundação: submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água e zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície (COBRADE, 2020).

Enxurrada: escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo (COBRADE, 2020).

Alagamento: Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas (COBRADE, 2020).

Movimento de massa é o movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos (TOMINAGA, 2015).

Um evento de precipitação extrema não é um desastre socionatural por si só. Um desastre pode estar associado a perigos que podem ser naturais, como geológicos,

hidrometeorológicos e biológicos, ou induzidos por processos humanos, como degradação ambiental e riscos tecnológicos (MARENGO et al., 2020). Eventos de precipitação intensa, bem como alterações ambientais (desmatamento e / ou urbanização), podem frequentemente desencadear a incidência de perigos geohidrológicos, como inundações, e deslizamentos de terra, especialmente nas áreas tropicais (ÁVILA, 2019).

Segundo Debortoli et al. (2017) os desastres causados por fenômenos hidrometeorológicos no Brasil estão relacionados tanto por características naturais quanto antrópicas. Do lado natural, pode-se citar os seguintes fatores: relevo, rede de drenagem de bacias hidrográficas, intensidade, distribuição e frequência de chuvas, dentre outros aspectos. Alguns dos principais fatores antrópicos são: desflorestamento de matas ciliares, assentamentos irregulares nas várzeas e margens de cursos d'água, pavimentação excessiva em áreas urbanas, mudanças no uso da terra em bacias hidrográficas, erosão do solo.

Ávila et al. (2016) realizaram um estudo utilizando dados diários de precipitação para o período de 1978 à 2014, para entender o crescente número de inundações e deslizamentos de terra na região Sudeste do Brasil. Foi utilizado o *software* RCLimindex (Zhang e Yang, 2004) para obtenção dos índices de extremos de precipitação, e com base nos resultados obtidos, foi verificado que a maioria dos índices relacionados à precipitação apresenta tendências positivas, ou seja, uma tendência de aumento na precipitação. Verificou-se, ainda, correlações positivas estatisticamente significativas entre eventos de deslizamentos de terra/inundações repentinas e índices de extremos de precipitação de 1 e 5 dias consecutivos, indicando que deslizamentos de terra e/ou inundações repentinas foram registrados quando choveu apenas 1 dia e/ou em 5 dias consecutivos.

Para Almeida et al. (2016) e Hummell et al. (2016), as cidades brasileiras mais vulneráveis estão localizadas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Hummell et al. (2016) destacam que as questões climáticas no NEB também são responsáveis pelo baixo desenvolvimento e maior vulnerabilidade social. Moreira et al. (2017) analisaram os impactos decorrentes de um evento climático ocorrido em Recife - PE a partir da compreensão da vulnerabilidade urbana face aos eventos climáticos. Para isto, os autores fizeram o uso da análise de dados meteorológicos observados, índices de instabilidade atmosférica, imagens de satélite, e mapas do campo de vento. Foram observados elevado acumulado de precipitação, fortes rajadas de vento e descargas elétricas, que atingiram setores fundamentais à dinâmica da cidade de Recife - PE, como as redes de transporte, de abastecimento de água e fornecimento de energia elétrica, além de provocar acidentes e uma morte.

No Brasil, percebe-se a incidência de duas categorias fundamentais de desastres, associados principalmente ao excesso e falta de água, ou seja, as estiagens e secas, e as inundações e enxurradas, que por sua vez apresentam sazonalidade e recorrência. No NEB a grande maioria dos registros é relativa a episódios de estiagens e secas, correspondente a 78,4% do total. Os percentuais restantes correspondem aos desastres por enxurrada e inundação com 11,6% e 7,9%, respectivamente, e por outras tipologias menos expressivas (CEPED, 2012). Vale destacar que existem a ocorrência de eventos que não são cadastrados corretamente, a exemplo de movimentos de massa sendo cadastrados como inundações ou enxurrada, como ocorrido no desastre na região serrana do Rio de Janeiro em 2011.

De acordo com o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (2014), o total de afetados por desastres socioambientais, no ano de 2013, em sua maioria, 64,41%, foi resultado da seca/estiagem. Este tipo de desastre, porém, não causa tantos óbitos como os

desastres associados a perigos hidrológicos e geológicos, notadamente deslizamentos, enxurradas e inundações.

O Brasil é considerado o país da região Latino-americana e Caribe mais propenso a ocorrência de inundação, em função de seu histórico e enorme malha hidrológica, o que o coloca na décima-quinta posição no ranking dos países com maior população exposta ao risco de inundação, a partir do estudo do Escritório da ONU para assuntos humanitários. No período de 2000 a 2019, ocorreram 70 grandes inundações no país e estima-se que 70 milhões de pessoas foram prejudicadas e 7.414.000 diretamente afetadas. Sendo o tipo de desastre socioambiental com maior aumento de incidência, ocorrendo frequentemente associado aos deslizamentos (JUNIOR et. al., 2020).

No Nordeste, os desastres de origem hidrometeorológica deflagrados por eventos de chuvas intensas (chuvas iguais ou superiores a 60,0 mm/dia) e por chuvas extremas (chuvas iguais ou superiores a 100,0 mm/dia) já foram registrados em cidades litorâneas da região norte do NEB, a exemplo de Fortaleza, bem como em cidades litorâneas da Zona da Mata, setor leste da região, a exemplo de João Pessoa, Recife, Olinda e Maceió. Nessas cidades da Zona da Mata os eventos excepcionais de chuva deflagram da mesma forma, desastres socioambientais como deslizamentos, devido, entre outros fatores, à ocupação habitacional irregular das áreas urbanas, principalmente, habitações pertencentes à população mais pobre que se localizam, entre outros lugares, nas vertentes dos tabuleiros (MOURA et al., 2016).

Para Saito et. al. (2019), o Brasil tem realizado avanços para a identificação da vulnerabilidade a desastres socioambientais. Segundo os autores, iniciativas têm sido feitas no contexto regional seja no desenvolvimento de novas tecnologias ou na aplicação de metodologias já existentes, sendo a prevenção de desastres uma atuação conjunta de ações relacionadas a proteção civil, habitação infraestrutura, educação e saúde.

Os autores afirmam, ainda, que apesar do fato de que processos geológicos e hidrológicos façam parte da dinâmica natural da superfície terrestre, a combinação com a intensificação da ocupação urbana em áreas suscetíveis, a exemplo de planícies de inundação e encostas, resulta em sistemas vulneráveis a deslizamentos e inundações. Assim, caso o sistema social esteja preparado para o enfrentamento desses processos, serão registrados impactos reduzidos, seja na esfera social, econômica ou ambiental. Por outro lado, sistemas sociais despreparados, mesmo diante de processos de baixa magnitude, são incapazes de lidar com os seus efeitos (SAITO et al., 2019).

2.4. Teoria de valores extremos aplicada a dados ambientais

A Teoria dos Valores Extremos (TVE) é uma das metodologias estatísticas mais utilizadas para o estudo do comportamento estocástico associado a eventos raros (climáticos ou não), desempenhando um papel fundamental na modelagem desses eventos. A vantagem dessa metodologia é o fato de a análise ser feita ao se restringir a atenção a cauda da distribuição dos parâmetros estudados, que descreve os valores extremos, ou seja, o objetivo da TVE é estimar a cauda (superior ou inferior) de uma distribuição referente a um conjunto de observações independentes. Essa metodologia tem sido muito utilizada no tratamento estatístico de dados meteorológicos em pesquisas que envolvem variáveis como precipitação, temperatura, vento, entre outras (OLINDA, 2012; NASCIMENTO et al., 2015; RODRIGUES et al., 2021).

Um dos principais desafios ao se analisar extremos é propor um modelo e estimar seus parâmetros com poucas informações devido à escassez de dados disponíveis, por exemplo. Muitas vezes, a cauda de uma distribuição estatística é comumente vista como uma cauda normal ou exponencial podendo não ser as mais adequadas para o tipo de dado

estudado. Outro desafio na análise deste tipo de dado é estimar com alto nível de precisão a probabilidade de ocorrência de eventos. Para responder a essas questões, a TVE foi desenvolvida, com a proposta de analisar esses tipos de ocorrências, apresentando distribuições específicas para este tipo de observação (NASCIMENTO et al., 2015).

Os fundamentos dessa teoria foram inicialmente apresentados no estudo de Fisher e Tippett (1928), onde foi mostrado que a distribuição de máximos ou mínimos de uma amostra aleatória pode convergir para um dos três tipos possíveis de distribuição dos valores extremos, Gumbel (Tipo I), Fréchet (Tipo II) e Weibull (Tipo III) (OLINDA, 2012).

A TVE concentra-se em classes especiais de distribuições de probabilidade: Generalizadas de Valores Extremos (GVE), classe que inclui as distribuições Gumbel, Fréchet e Weibull, e as Generalizadas de Pareto (DGP), que inclui as distribuições Beta, Exponencial e Pareto. Na forma padrão, as distribuições GVE e DGP dependem de apenas um parâmetro chamado de índice de cauda. Nesta pesquisa foi utilizada a distribuição GVE para modelar a máxima precipitação diária anual.

Santos et al. (2016) aplicaram a TVE para modelar eventos extremos de precipitação e estimar seu período de retorno para a Amazônia brasileira. Seus resultados apresentaram um melhor ajuste da GVE em relação a DGP para extremos de precipitação, indicando que a TVE pode ser utilizada para modelar eventos extremos diários de precipitação. Os autores esperam que seus resultados tenham alguma aplicação prática em previsões meteorológicas extremas locais.

Segundo Yusuf (2019), o uso de ferramentas estatísticas, como a Teoria de Valores Extremos, colabora na compreensão do que se espera em termos da intensidade dos extremos nos próximos anos. Sendo, a análise de valor extremo uma forma de

quantificar o comportamento estocástico desses eventos que ocorrem em quantis altos ou baixos de uma distribuição. Para o autor, a complexidade do sistema climático requer métodos estatísticos para identificar as relações entre as variáveis climáticas, bem como compreender informações dessas variáveis. A TVE em particular é uma poderosa ferramenta estatística que fornece uma estimativa das caudas de uma determinada distribuição usando valores extremos.

Minkah (2016) utilizou a teoria dos valores extremos em um estudo para hidrelétricas, estimando a probabilidade e o período de retorno de níveis de água muito elevados ou muito baixos que podem resultar em inundações nas comunidades a jusante ou uma redução e/ou paralisação das operações da barragem. Assim sendo, o autor cita que a teoria dos valores extremos (TVE) é usada, em sua pesquisa, como uma base para a análise estatística de níveis de água muito baixos e muito altos que podem ter efeitos adversos. Sendo a TVE um ramo da estatística que lida com as técnicas estatísticas para modelagem e estimativa de eventos raros, ao contrário da maioria das análises estatísticas tradicionais que lidam com o centro da distribuição, a TVE permite restringir a atenção ao comportamento das caudas da função de distribuição. Assim, em vez de medidas de central tendências como média, mediana e moda, o foco está no exame das observações extremas (muito pequenas ou muito grandes) (MINKAH, 2016).

No Brasil, a TVE tem sido utilizada para modelar eventos extremos na bacia Amazônica (SANTOS et al., 2015a; SANTOS et al., 2016; SILVA et al., 2020; RODRIGUES et al., 2021). Para Rodrigues et al. (2020) é necessário desenvolver pesquisas que ajudam a entender como eventos extremos se comportam ao longo do tempo, além de prever a probabilidade de ocorrência de um evento específico em intervalos de tempo. Nesse sentido, os autores citam que a TVE tem sido frequentemente usada para modelar eventos climáticos extremos para estudos globais e regionais.

Silva et al. (2020) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar os extremos de erosividade causados pela precipitação na bacia do rio Apodi, em Mossoró – RN, para tal, utilizaram a TVE e modelaram a precipitação a partir das distribuições GVE e GDP. Em seus resultados a distribuição GDP apresentou o melhor desempenho para avaliar os extremos. Rodrigues et al. (2021), utilizaram a TVE para modelar extremos diários de precipitação pluvial para a cidade de Natal – RN. A partir dos resultados obtidos verificou-se que a distribuição GVE é adequada para modelar os valores extremos observados para a localidade estudada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A região Nordeste do Brasil (NEB) fica entre os paralelos de 1° e 19° Sul e entre os meridianos de 34° e 49° Oeste, ocupando uma área de 1.561.177 km², equivalente a 18,3% do território nacional. O NEB limita-se a leste e ao norte com o Oceano Atlântico, a oeste e noroeste com os estados do Pará, Tocantins e Goiás, e ao sul com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. A faixa costeira do Leste do Nordeste se estende do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia (SILVA, 2017). A Tabela 1 apresenta a precipitação pluvial média, bem como as temperaturas médias máxima e mínima (considerando as Normais Climatológicas para o período compreendido entre 1981 e 2010) para a região de estudo (Figura 1). A precipitação está variando entre, aproximadamente, 1300 mm/ano e 2270 mm/ano na costa leste nordestina, com temperatura máxima média entre 29°C e 29,8°C, e temperatura mínima média entre, aproximadamente, 20°C e 23°C (INMET, 2019).

Tabela 1. Coordenadas geográficas, população, precipitação média, temperaturas médias máxima e mínima para região de estudo. (Fonte: IBGE; INMET – Normais Climatológicas 1981 – 2010).

	Coordenadas geográficas	População	Precipitação média (mm/ano)	Temperatura média (°C/ano)	
				Máxima	Mínima
Natal/RN	5,91°S; 35,2°W	803.739	1721,4	29,7	23,0
João Pessoa/PB	7,1°S; 34,86°W	723.515	1914,0	29,8	23,7
Recife/PE	8,05°S; 34,95°W	1.537.704	2263,4	29,5	22,3
Maceió/AL	9,66°S; 35,7°W	932.748	1867,4	29,8	20,9
Aracaju/SE	10,95°S; 37,04°W	571.149	1300,2	29,3	23,0
Salvador/BA	13°S; 38,5°W	2.675.656	1871,1	29,0	22,9

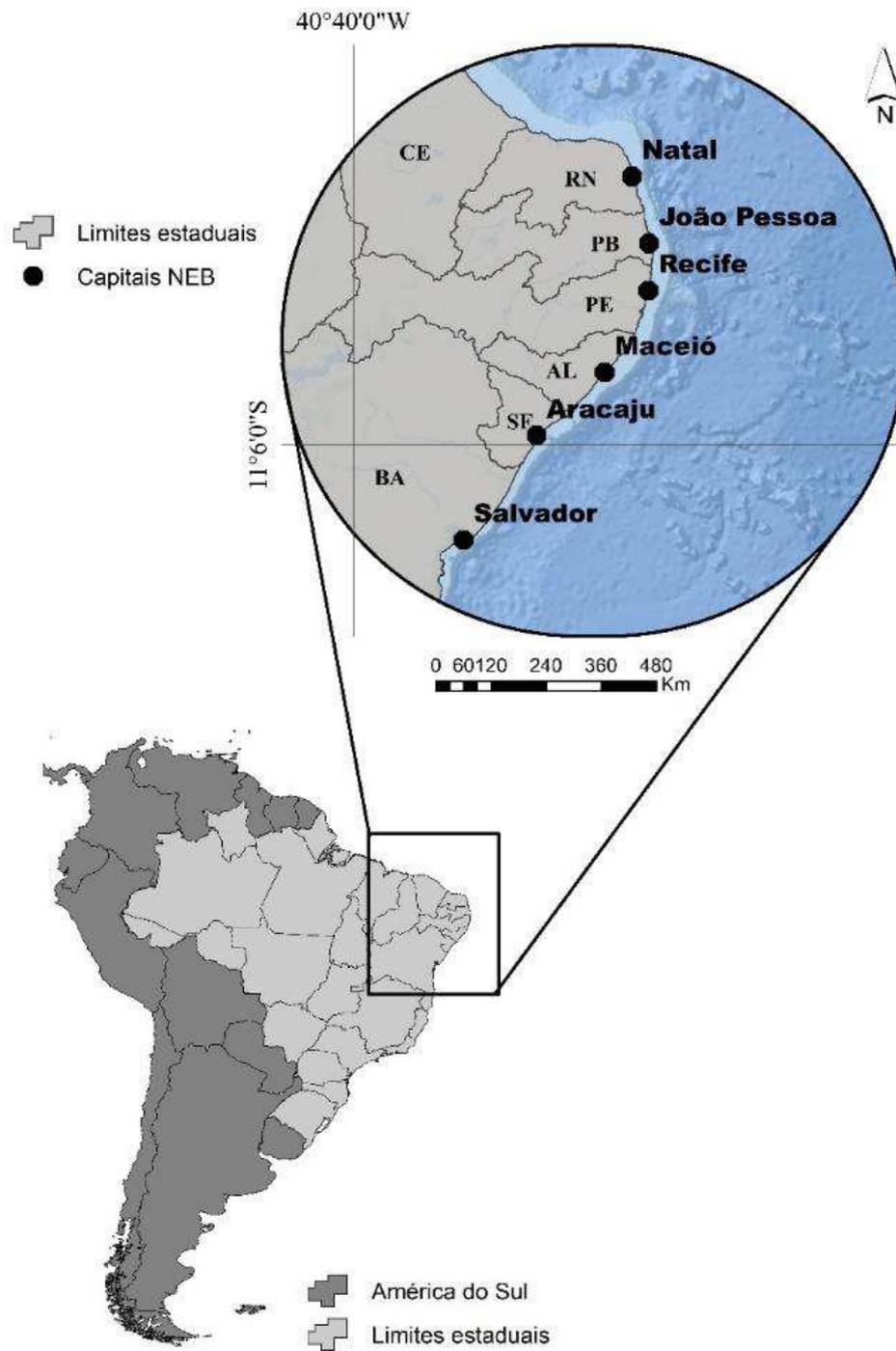


Figura 1. Mapa da localização da área de estudo na América do Sul com destaque para os locais de coleta de dados.

3.2. Dados

Seis bancos de dados foram utilizados, a saber:

- i. Dados diários de precipitação pluvial, para o período de 1986-2020, oriundos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia (BDMEP - INMET) (<https://bdmep.inmet.gov.br/>), para seis estações meteorológicas (Figura 1): Natal – RN (5,91°S; 35,2°W), João Pessoa – PB (7,1°S; 34,86°W), Recife – PE (8,05°S; 34,95°W), Maceió – AL (9,66°S; 35,7°W), Aracaju – SE (10,95°S; 37,04°W), e Salvador – BA (13°S; 38,5°W). Necessário salientar que estas séries temporais apresentam dados faltosos ao longo dos 34 anos analisados. Sendo assim, Aracaju – SE não apresenta registros de precipitação em 1990 e Maceió – AL em 1991, 1992 e 2007.
- ii. Normais climatológicas, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (<https://portal.inmet.gov.br/servicos/normais-climatologicas>), para os períodos entre 1961 à 1990 e 1981 à 2010.
- iii. Dados de alertas de ocorrência de desastres socioambientais foram cedidos pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), para o período compreendido entre 2016 e 2020, para as capitais da costa leste do NEB.
- iv. Dados diários de reanálise do ERA *Interim do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) foram obtidos, para as variáveis umidade específica, vento (linhas de corrente) e velocidade vertical, nos níveis de pressão de 1000, 850, 500 e 250 hPa, para o horário

das 00 UTC, para as datas de 27 de maio de 2017 e 14 de junho de 2019. A resolução espacial dos dados é de $0,75^{\circ} \times 0,75^{\circ}$. As variáveis foram escolhidas com base na disponibilidade de informações no momento de aquisição dos dados. O nível de 1000 hPa foi escolhido devido a altitude das localidades estudadas serem próximas a esse nível.

- v. Imagens do *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), no canal infravermelho, para os horários das 00, 09, 12, 15 e 21 UTC, para 27 de maio de 2017, foram obtidas junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (INPE).

- vi. Imagens do *Meteorological Satellite* (METEOSAT), da *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT), no canal infravermelho, nos horários das 00, 03, 06, 09, 12, 15, e 18 UTC, para 14 de junho de 2019, foram obtidas junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (INPE).

3.3. Metodologia

3.3.1. Análise climatológica e descritiva da precipitação pluvial

A partir das Normais Climatológicas, disponibilizadas pelo INMET, foi analisado o comportamento da precipitação, para um período de 50 anos, compreendido entre 1961 e 1990 e 1981 e 2010, períodos de referência para as duas climatologias estudadas. Após verificar o comportamento climatológico da precipitação pluvial diária, para área de estudo, foram obtidas as principais características da precipitação diária, para o período de 1986 a 2020. Foram obtidas as variabilidades mensais e anuais para as capitais da costa leste do NEB.

Como o foco deste estudo é buscar uma melhor compreensão sobre precipitações extremas, foi obtida, também, a variabilidade da máxima precipitação diária anual, ou seja, o valor máximo diário da precipitação, para cada ano analisado, e para cada localidade estudada.

Neste estudo, a estatística descritiva da precipitação foi calculada a partir da série temporal de precipitação diária utilizada (1986-2020), sendo assim, foram obtidas as Medidas de Posição (ou Tendência Central), Dispersão, Assimetria e de Achatamento (Curtose) para a máxima precipitação diária anual, bem como sua frequência absoluta.

3.3.2. Modelagem estatística para a ocorrência de precipitação extrema a partir da Teoria de Valores Extremos (TVE)

Há duas abordagens principais para tratar variáveis aleatórias com valores extremos: *Picks Over Threshold* (POT) e *Block Maxima* (BM). Enquanto POT consiste em ajustar uma distribuição de probabilidade (em geral DGP) para os valores que excedem um limiar, a abordagem de *Block Maxima* investiga o conjunto de valores máximos (ou mínimos), extraídos de blocos de observações, associam-se a eles as distribuições GVE (OLINDA, 2012). Para esse estudo, foi aplicado a metodologia BM, e a seguir verificaremos a família de distribuições utilizadas nesse estudo, e quais métodos foram aplicados para obtenção de seus parâmetros.

Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE)

Na Probabilidade e Estatística, a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE) (Figura 2) é uma família de distribuições de probabilidade que faz parte da Teoria de Valores Extremos, apresentando ampla aplicação em diversas áreas, como Finanças, Hidrologia, Engenharias, dentre outras.

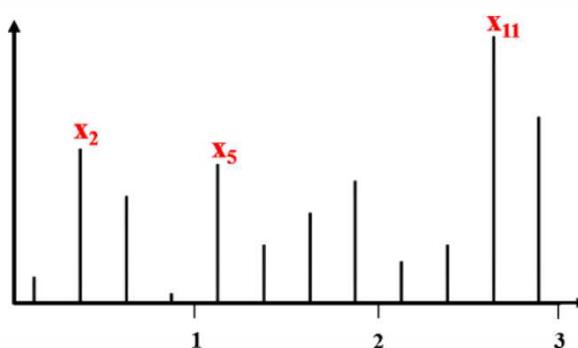


Figura 2. Representação dos eventos extremos para distribuição GVE (Fonte: SANTOS, 2015).

A distribuição GVE foi proposta por Jenkinson (1955), que indicou que os três tipos de distribuição de valores extremos (Gumbel, Fréchet e Weibull) poderiam ser representados em uma única forma paramétrica, cuja função é denotada por F , e distribuição obtida a partir das Equações (1) e (2):

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 - \xi \frac{x - \mu \left(\frac{1}{\xi} \right)}{\sigma} \right) \right], \text{ para } \xi \neq 0 \quad (1)$$

$$F(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right], \text{ para } \xi = 0 \quad (2)$$

Em que, μ é o parâmetro de locação com $-\infty < \mu < \infty$; σ é o parâmetro de escala com $0 < \sigma < \infty$, e ξ é o parâmetro de forma com $-\infty < \xi < \infty$.

As distribuições de valores extremos de Weibull e de Fréchet correspondem aos casos particulares de (1) em que $\xi < 0$ e $\xi > 0$, respectivamente. Quando $\xi = 0$, a função assume a forma de (2), que representa a distribuição Gumbel.

Para o quantil X_p da distribuição GVE, com período de retorno T , a probabilidade acumulada é dada por $F(X_p) = 1 - (1/T)$, que resulta nas Equações (3) e (4) (PALUTIKOF et al. 1999):

$$X_p = \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left\{ 1 - \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^\xi \right\}, \text{ para } \xi \neq 0 \quad (3)$$

$$X_p = \mu - \sigma \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right], \text{ para } \xi = 0 \quad (4)$$

Na distribuição GVE, o banco de dados utilizado é modelado pela metodologia *Block Maxima*, onde o conjunto de dados é dividido em períodos de mesmo tamanho (blocos) que podem ser mensais, sazonais, anuais, dentre outros. E a partir de cada bloco é escolhido o valor máximo (ou mínimo) para formar um novo conjunto, logo este novo conjunto de dados inclui os valores extremos.

Teste de independência

Uma das hipóteses fundamentais da TVE é que os dados que compõem a amostra sejam independentes e identicamente distribuídos. Para verificar a hipótese de independência dos dados, foi utilizado o teste não paramétrico de Chorrilho que verifica se os elementos da série são mutuamente independentes. Foi utilizado o nível de 5% de significância estatística.

Estimação dos parâmetros das Distribuições GVE

Para a análise e descrição da distribuição dos extremos, foram utilizados três parâmetros: locação (μ), escala (σ^2) e forma (ξ). O parâmetro de locação descreve o deslocamento da distribuição em uma determinada direção no eixo horizontal; o parâmetro de escala descreve a extensão da distribuição, sendo que, conforme o parâmetro de escala aumenta, a distribuição se tornará mais espalhada; o parâmetro de forma representa onde a maioria dos dados está concentrada, esse parâmetro afeta estritamente a forma da distribuição, e determina a cauda de cada distribuição (MILLINGTON et al. 2011).

O parâmetro de forma é uma ferramenta útil para verificar se a distribuição escolhida é adequada ou não. Os valores desses parâmetros podem ser obtidos, usando diversos métodos estatísticos, como o de Mínimos Quadrados, método da Máxima Verossimilhança (MLE), e o método Bayesiano. O MLE é um método frequentemente utilizado devido aos seus resultados confiáveis e à sua simplicidade.

Para a estimação dos parâmetros das distribuições GVE (ξ, μ, σ^2) utilizou-se, nesta pesquisa, o método de Máxima Verossimilhança (Smith, 1985). O MLE consiste em maximizar a probabilidade, ou a densidade de probabilidade de ser encontrada a amostra observada. Sendo assim, este método pressupõe que a função de verossimilhança seja conhecida ou pressuposta, e a interpretação dessa função reflete a probabilidade máxima da amostra ter sido retirada da população da qual foi verdadeiramente retirada (BEIJO, 2002).

Sejam X_1, X_2, \dots, X_n uma amostra aleatória de tamanho n da variável aleatória X com função de densidade $f(x|\theta)$, com $\theta \in \Theta$, em que Θ é o espaço paramétrico. A função de verossimilhança de θ correspondente à amostra aleatória observada é dada por:

$$L(\theta|x) = \prod_{i=1}^n f(x_i|\theta) \quad (5)$$

A estimativa de máxima verossimilhança de θ é o valor $\hat{\theta} \in \Theta$ que maximiza a função de verossimilhança $L(\theta)$.

A função utilizada para se encontrar a estimativa de máxima verossimilhança de θ é chamada de estimador de máxima verossimilhança de θ .

Assim, $l(\theta) = \ln(L(\theta))$ é o logaritmo natural da função de verossimilhança de θ .

$$L(\theta|x) = \frac{1}{\sigma^n} \prod_{i=1}^n \left\{ \left[1 + \varepsilon \left(\frac{X_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\varepsilon}{\varepsilon} \right)} \right\} \exp \left\{ \sum_{i=1}^n \left\{ - \left[1 + \varepsilon \left(\frac{X_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\varepsilon}} \right\} \right\} \quad (6)$$

Em que, $\theta = (\mu, \sigma, \xi)$.

Teste de Kolmogorov Smirnov (KS)

O teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (KS) foi utilizado para verificar a qualidade do ajuste das distribuições GVE e DGP. Foi adotado 5% como nível de significância para o teste. KS é utilizado para testar se as distribuições GVE e DGP podem caracterizar, ou não, o comportamento de precipitações extremas.

Foram consideradas as hipóteses:

$$H_0 : F(x) = G(x) \text{ (nula);}$$

$$H_1 : F(x) \neq G(x) \text{ (alternativa)}$$

A estatística do teste é obtida por $D_n = \sup_x |F(x) - G_n(x)|$, que representa o limite superior extremo das diferenças entre os valores absolutos da distribuição acumulada empírica e teórica consideradas no teste. Onde, $F(x)$ é a função de distribuição acumulada teórica, e $G(x)$ é a função de distribuição acumulada empírica, para n observações aleatórias com uma função de distribuição acumulada. A hipótese nula é rejeitada se o valor de D_n for maior que o valor tabelado. Isso equivale a considerar que a probabilidade exata do teste é menor que o nível de significância (SANTOS, 2015). Ressalta-se que este teste consiste em rejeitar a hipótese de adequação do ajuste se a diferença máxima entre os valores observados e ajustados for superior ao crítico, para o nível de significância especificado (BEIJO, 2002).

3.3.3. Análise de eventos extremos associados à desastres socioambientais

Para classificar e quantificar a ocorrência de desastres socioambientais na área de estudo, foram utilizadas informações dos alertas (Anexo 1) obtidos junto ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) para o compreendido entre 2016 e 2020. O período de 5 anos utilizado é curto em relação aos dados de precipitação, porém, é todo o período que o CEMADEN possuía disponível quando os dados foram adquiridos. Segundo o CEMADEN (2020), um alerta por definição constitui um instrumento que indica que a situação de risco de desastre é previsível em curto prazo. Todos os alertas utilizados nesta pesquisa contêm registros com ocorrência de desastres.

Foram contabilizados a quantidade de alertas emitidos pelo CEMADEN para cada localidade aqui estudada, para o período compreendido entre 2016 e 2020, assim como, foram contabilizadas, ainda, as tipologias dos eventos registrados nos alertas (ou seja, eventos com ocorrência de desastres socioambientais registrados nos alertas), a quantidade de cada tipologia, bem como, a frequência mensal das ocorrências, também, para cada localidade estudada. Por fim, foram identificados eventos de precipitações extremas que podem ter sido a causa ou ter contribuído para a ocorrência de desastres socioambientais registrados pelo CEMADEN.

3.3.4. Análise das condições atmosféricas associadas a ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial

Para caracterizar as condições atmosféricas associadas à ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial na costa leste Nordestina, foram utilizados dados diários de reanálise do ERA *Interim*, do *European Center for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF). O ERA *Interim* é uma reanálise atmosférica global que está disponível de 1 de janeiro de 1979 a 31 de agosto de 2019, sendo mais recentemente substituída pela reanálise ERA5 (ECMWF, 2020).

As variáveis meteorológicas que foram utilizadas são: velocidade vertical, umidade específica, e vento (linhas de corrente) nos níveis de 1000, 850, 500 e 250 hPa, com espaçamento de grade de $0,75^{\circ} \times 0,75^{\circ}$, para os horários das 00 UTC na área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. As variáveis foram escolhidas com base na disponibilidade de informações no momento de aquisição dos dados. O nível de 1000 hPa foi escolhido devido a altitude das localidades estudadas serem próximas a esse nível. Para a visualização das variáveis citadas, foi utilizado o software *Grid Analysis and Display System* (GrADS).

O período de dados ECMWF utilizado foi de acordo com as datas de ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial, para área de estudo, associados à ocorrência de desastres socioambientais. Sendo assim, foram plotadas figuras correspondentes às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, para 27 de maio de 2017 e 14 de junho de 2019.

Foram utilizadas, ainda, imagens do *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), no canal infravermelho, para os horários das 00, 09, 12, 15 e 21 UTC, para 27 de maio de

2017, e imagens do Meteorological Satellite (METEOSAT), da European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), no canal infravermelho, nos horários das 00, 03, 06, 09, 12, 15, e 18 UTC, para 14 de junho de 2019. Ambas fontes de imagens de satélite foram utilizadas para a visualização das áreas de instabilidade associadas aos eventos extremos registrados, e foram obtidas junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (INPE).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise climatológica da precipitação pluvial nas capitais da costa leste do Nordeste

Para um melhor entendimento da precipitação pluvial nas capitais do leste do NEB, sentiu-se a necessidade de analisar as normais climatológicas, disponibilizadas pelo INMET, para os períodos de 1961 a 1990 e 1981 a 2010. A partir da Figura 3, é possível observar a distribuição mensal da precipitação para as duas normais climatológicas do INMET, para a região de estudo. Nota-se que em Aracaju – SE, o pico máximo de precipitação pluvial permanece em maio, porém, o volume mensal diminuiu aproximadamente 100 mm/mês. A precipitação diminuiu em todos os meses com exceção de junho. Em João Pessoa – PB verifica-se dois picos de precipitação em ambas as climatologias, sendo o primeiro, que ocorre em meados de abril, apresentando uma redução de mais de 50 mm/mês em relação à climatologia mais recente. O segundo máximo de precipitação mensal era verificado em julho (1961-1990) passando a ser verificado em junho (1981-2010).

Maceió – AL (Figura 3) tem seu mês mais chuvoso retardado, passando de maio (1961-1990) para junho (1981-2010). Enquanto que em Natal – RN, seu mês mais chuvoso deixa de ser abril e passa a ser junho, com uma diferença de aproximadamente 90 mm/mês em relação a abril da primeira climatologia. Recife - PE tem sua máxima precipitação mensal adiantada de julho (1961-1990) para junho (1981-2010). Em Salvador – BA, verifica-se que a precipitação é maior de junho a agosto na normal climatológica de 1981-2010 e que o mês mais chuvoso deixa de ser maio e passa a ser abril.

Na normal climatológica de 1961-1990 as cidades com maior e menor precipitação eram, respectivamente, Recife - PE e Natal - RN. Na normal climatológica

de 1981-2010 a localidade com maior acumulado de precipitação permanece Recife – PE e a de menor passa a ser Aracaju – SE. De maneira geral, observou-se que Aracaju – SE não teve seu mês mais chuvoso alterado. João Pessoa – PB, Recife – PE e Salvador – BA têm seus meses mais chuvosos adiantado em pelo menos um, enquanto que Maceió – AL e Natal – RN, têm seus meses mais chuvosos retardados em ao menos um (Figura 3).

As mudanças verificadas nos padrões de precipitação podem estar associadas a condições meteorológicas de meso e grande escala, aqui pode-se elencar: El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Dipolo do Atlântico, Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), entre outras. Segundo Reboita et al. (2010), a posição da ASAS pode favorecer ou não a precipitação no litoral do NEB. Moura et. al. (2009) ao correlacionarem a precipitação do leste do NEB com a temperatura dos oceanos, observaram que anomalias positivas de TSM no Atlântico Tropical Sul produzem precipitação sobre o leste do NEB.

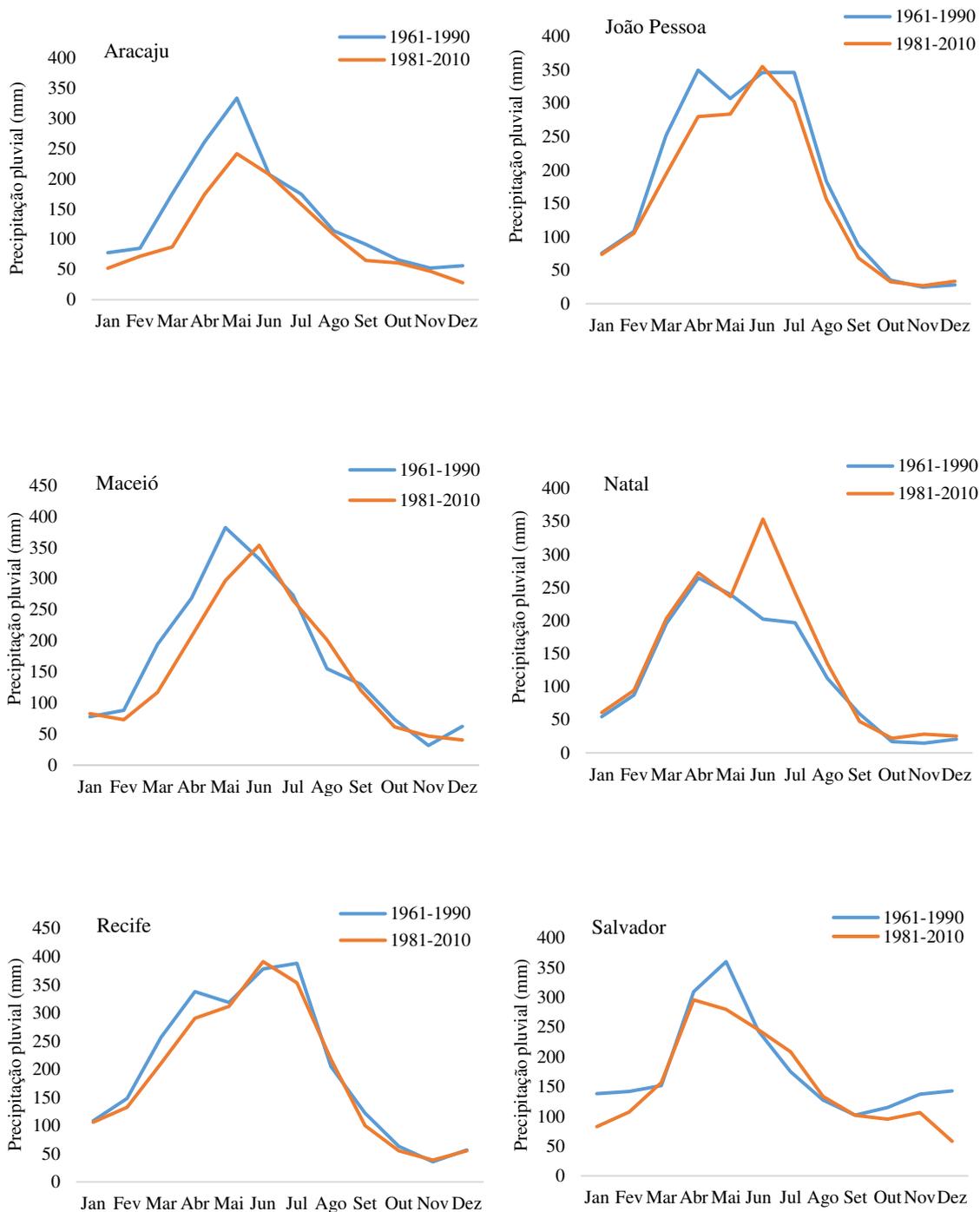


Figura 3. Precipitação mensal das normais climatológicas, para os períodos de 1961 a 1990 e, 1981 a 2010, para as localidades de: Aracaju – SE, João Pessoa – PB, Maceió – AL, Natal – RN, Recife – PE e, Salvador – BA.

A partir da Figura 4 tem-se a diferença mensal entre as duas climatologias analisadas, para a região de estudo. Com base nos resultados obtidos, verifica-se, de maneira geral, que os acumulados mensais entre março e maio são maiores para o período

de 1961-1990 enquanto que os acumulados mensais de junho são maiores na normal climatológica de 1981-2010, com exceção de Aracaju – SE, que não apresentou diferença, para o mês de junho, entre as duas Normais. Em julho, tem-se maiores acumulados para a Normal Climatológica de 1961-1990, e em agosto, a Normal mais recente apresenta, na maioria das capitais, os maiores valores de precipitação.

O mês com maior diferença na precipitação, para a normal de 1961-1990 é maio, com 92 mm, em Aracaju - SE, e para a climatologia mais recente é junho, com 151 mm, para a cidade de Natal – RN. De acordo com a Figura 4, apenas dois meses não apresentaram diferença entre as duas normais: setembro (Salvador – BA), e junho (Aracaju –SE).

Com exceção de Natal – RN, observa-se que todas as demais cidades apresentaram maior volume de precipitação para a normal climatológica de 1961-1990. A menor e a maior diferença encontram-se, respectivamente, em Recife – PE e Aracaju - SE, com aproximadamente 150 mm/ano e 400 mm/ano. Natal – RN apresentou um aumento de aproximadamente 250 mm/ano em relação à normal de 1961-1990 (Figura 4).

Como possíveis justificativas para a diferença verificada na precipitação pluvial durante os períodos analisados, sugere-se: efeitos da urbanização, quantidade de dados faltosos, mudança na localização da estação meteorológica, ocorrência de anos consecutivos secos em maior quantidade na normal climatológica mais recente, afetando o valor médio da precipitação ao se calcular a climatologia. Esse último poderia ser verificado ao se fazer uma análise anual para os dois períodos de dados, porém não foi possível devido a quantidade de dados faltosos principalmente entre as décadas de 60 e 80.

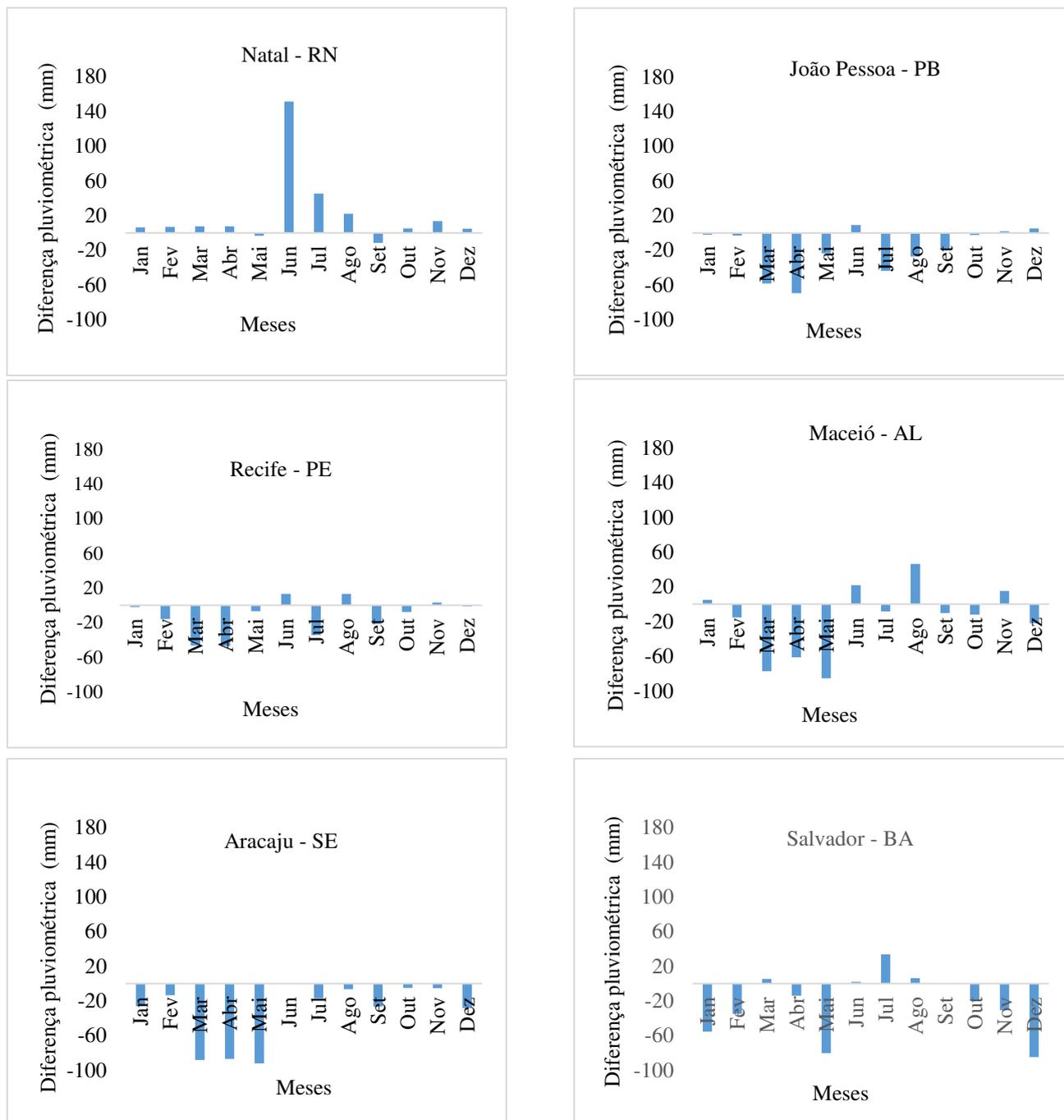


Figura 4. Diferença mensal entre as Normais Climatológicas, para os períodos de 1961 à 1990 e, 1981 à 2010, para as cidades de Natal - RN, João Pessoa - PB, Recife - PE, Maceió - AL, Aracaju - SE, e, Salvador - BA.

4.2. Análise descritiva da precipitação pluvial na costa leste do Nordeste para o período de 1986 à 2020

Após verificar o comportamento climatológico da precipitação pluvial, para área de estudo, foram obtidas, as principais características da precipitação diária, para o período de 1986 a 2020, período utilizado nessa pesquisa, para as seis capitais do leste do NEB utilizadas neste estudo. A Figura 5 apresenta a variabilidade mensal da precipitação analisada para a área de estudo. A maior variabilidade, para Natal – RN, é encontrada em junho, sendo este, o maior valor encontrado em toda a série de dados, da precipitação diária máxima (253.2 mm), já a menor variabilidade encontra-se em outubro. Junho e outubro apresentam precipitação média mensal de, aproximadamente, 340 mm e 20 mm, respectivamente.

Observa-se que, em João Pessoa – PB, a precipitação mínima varia entre 1,5 mm/mês e 7,2 mm/mês no verão, enquanto que na primavera está variando entre 1,9 mm/mês e 9,4 mm/mês, e apresentando, ainda, no outono, o valor mínimo de 17,5 mm/mês. Os valores máximos de precipitação variam, aproximadamente, entre 620 e 710 mm/mês entre abril e junho, respectivamente. Em João Pessoa, a variabilidade mais alta encontra-se em junho enquanto que a mais baixa em outubro. A precipitação mensal média, em Recife - PE, está variando entre, aproximadamente, 40 mm em novembro e 390 mm em junho. As maiores variabilidades são encontradas nos meses de abril a junho, enquanto que as menores de outubro a dezembro (Figura 5).

Maceió – AL apresenta variabilidades mais altas entre abril a junho, com acumulados mínimos variando, aproximadamente, entre 2 mm/mês e 150 mm/mês e, acumulados máximos entre 115 mm/mês e 813 mm/mês, ao longo do ano. O mês com menor variabilidade é dezembro, com uma precipitação média de 38 mm/mês e com

acumulados de precipitação variando entre 3 mm/mês e 115 mm/mês (Figura 5). Segundo Silva e Sousa (2013), Maceió apresenta uma tendência de diminuição na precipitação e nas temperaturas mínimas, assim como uma tendência de aumento nas temperaturas máximas.

Assim como em João Pessoa – PB e Maceió – AL, as maiores variabilidades, em Aracaju – SE, ocorrem em abril, maio e junho, apresentando precipitação média de aproximadamente 160, 230 e 195 mm/mês, respectivamente. Já as menores, ocorrem em agosto, setembro e dezembro, com precipitação média de aproximadamente 100, 60 e 25 mm/mês, respectivamente. O mês mais chuvoso é maio (primavera) enquanto que o mais seco é dezembro (verão). A precipitação média em Salvador – BA varia, aproximadamente, de 65 mm/mês, em dezembro, a 295 mm/mês em maio. As maiores variabilidades ocorrem entre os meses de março e maio e, as menores, em agosto, setembro e dezembro (Figura 5).

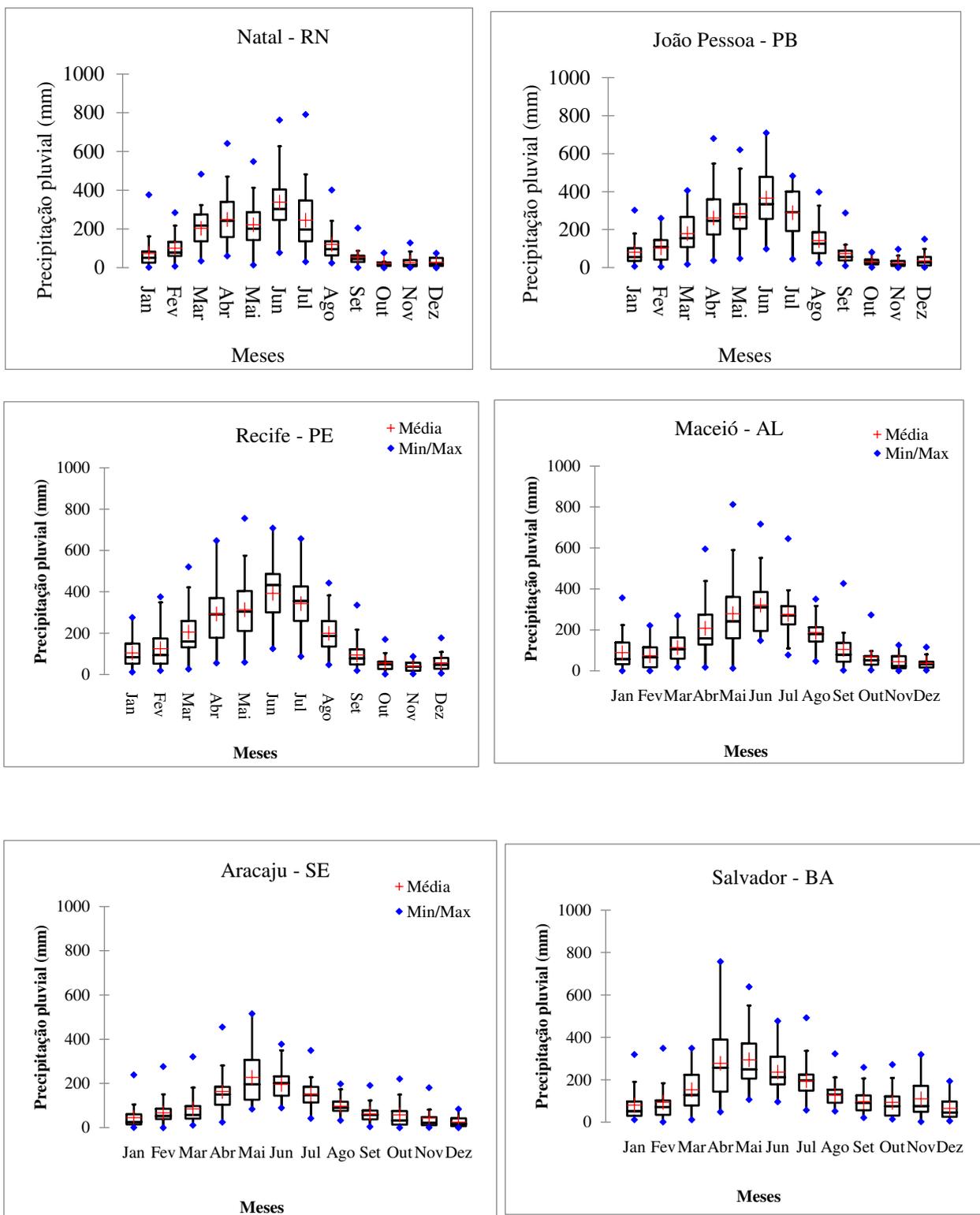


Figura 5. Variabilidade mensal da precipitação pluvial diária para: Natal – RN, João Pessoa – JP, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE, e Salvador – BA para o período de 1986 a 2020.

A partir da Figura 6 observa-se a variabilidade anual da precipitação para as seis localidades aqui estudadas. A análise da Figura 6 indica que os maiores valores de acumulados anuais estão variando em torno de 1670 mm, em Aracaju – SE, e 3440 mm, em Recife – PE. A maior variabilidade é encontrada em Maceió – AL e a menor em Aracaju – SE, apresentando precipitação anual média de, aproximadamente, 1640 mm e 1180 mm, respectivamente. Observa-se que, para o período de dados aqui analisado, a precipitação anual média apresenta valores próximos em Natal – RN e Maceió – AL. Verifica-se que Recife – PE e João Pessoa – PB são as cidades que mais chovem, seguido por Salvador – BA, já Aracaju – SE é a localidade que menos chove. Esse comportamento pode ser explicado pela atuação de diferentes sistemas atmosféricos na região de estudo ao longo do ano, tais como: ZCIT, VCANs, DOLs, dentre outros.

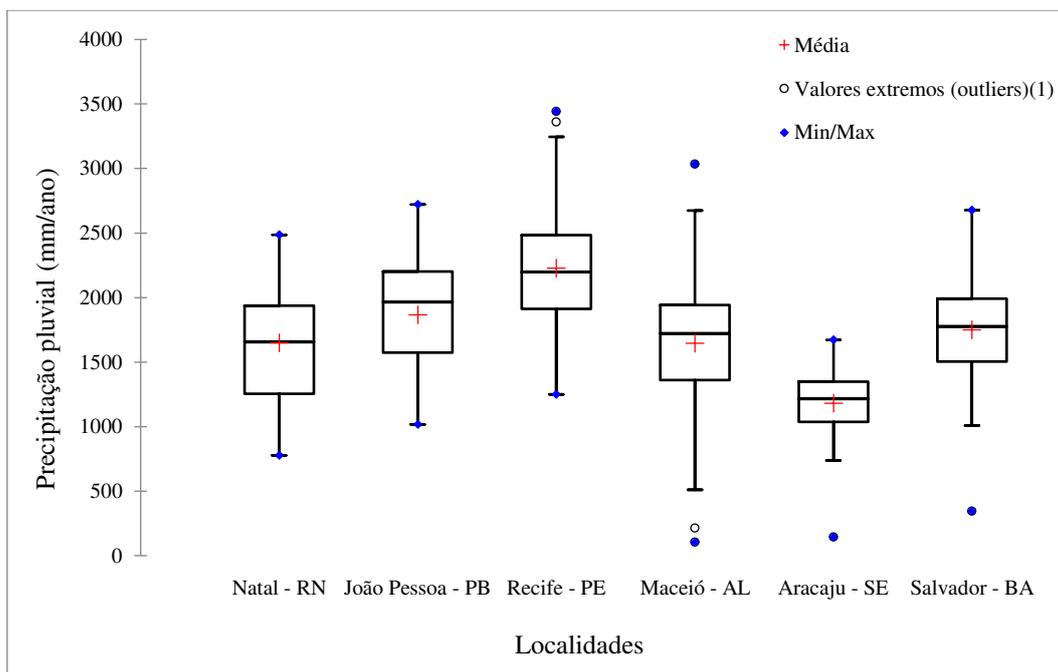


Figura 6. Variabilidade anual da precipitação pluvial diária para: Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período de 1986 a 2020.

Como o foco desta pesquisa são os extremos de precipitação pluvial, primeiramente procurou-se analisar as principais características da precipitação para a área de estudo, para isso foi observado como a precipitação se comportou nas climatologias do INMET nos últimos 50 anos, bem como o comportamento da precipitação diária para o período de 35 anos do banco de dados utilizado nessa pesquisa. Os resultados apresentados a partir de agora foram obtidos considerando as precipitações diárias máximas anuais, ou seja, foi extraído o valor diário máximo da precipitação para cada ano e para cada uma das localidades estudadas, resultando em uma nova série de dados.

A partir da Figura 7 tem-se o comportamento da máxima precipitação diária anual, para o período compreendido entre 1986 e 2020, para as localidades aqui estudadas. Nota-se que, Maceió – AL apresenta quebras em alguns pontos de sua série temporal, essas quebras são devido à falta de dados, e justificam essa localidade apresentar um acumulado de precipitação inferior as demais localidades quando se analisa a década de 90, por exemplo. De maneira geral, verifica-se que precipitações ≥ 100 mm/dia estão ocorrendo em toda a série de dados, precipitações ≥ 150 mm/dia ocorrem em todas as localidades estudadas, possuindo maior ocorrência após os anos 2000, já as precipitações ≥ 200 mm/dia ocorrem em três cidades das seis analisadas.

Dos cinco maiores valores da série, Natal – RN detém três deles, ocorrendo nas décadas de 90, 2000 e 2010. A máxima precipitação diária encontrada, como já mencionado anteriormente, é em Natal – RN, com 253,2 mm (Julho de 1998), seguido por Recife – PE e Salvador – BA, com 235 (Maio de 1986) e 232,5 mm/dia (Abril de 1996), respectivamente. Em seguida, tem-se Natal – RN com 222 (junho de 2014) e 216,8 mm/dia (Julho de 2008) (Figura 7). Rodrigues et. al., (2021) também observou eventos extremos diários acima de 200 mm em Natal – RN, ocorrendo nos meses de junho e julho.

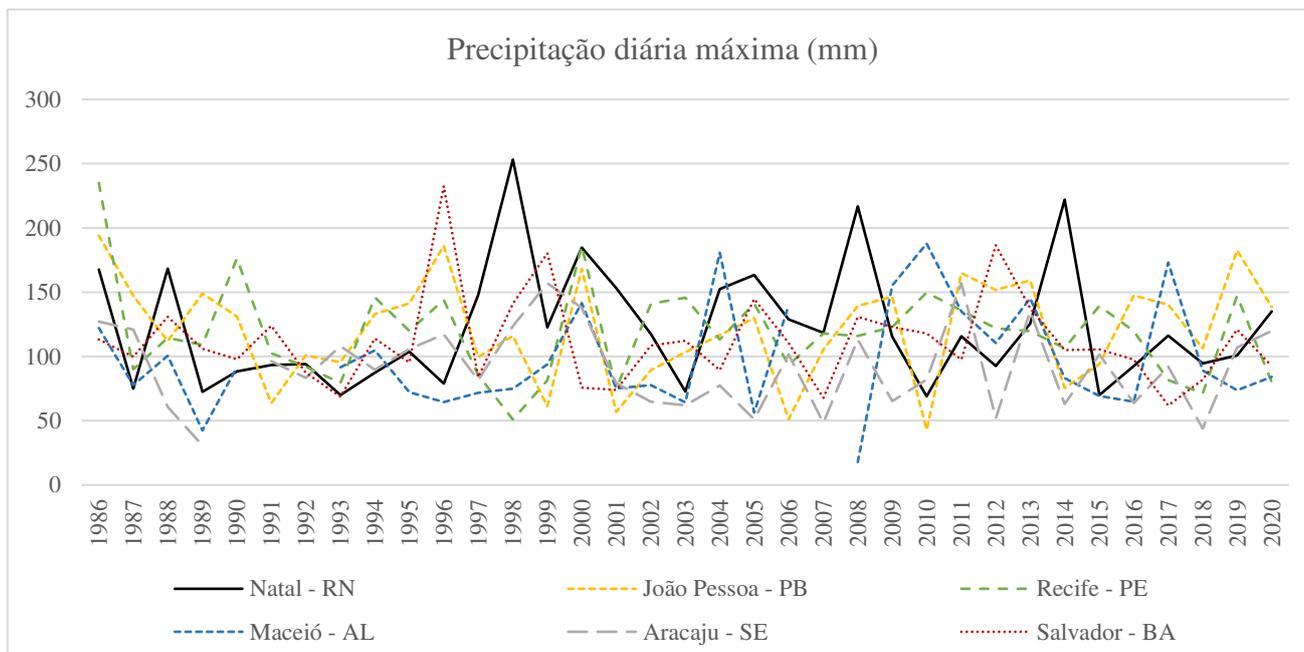


Figura 7. Distribuição temporal dos valores máximos da precipitação diária anual para: Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE, e Salvador – BA, para o período entre 1986 e 2020.

As Figuras 5 e 6 apresentadas anteriormente trazem informações sobre a variabilidade mensal e anual da precipitação diária, para o período de 1986 a 2020. Já a Figura 8, fornece informações sobre a variabilidade da precipitação diária máxima anual ocorrida na região de estudo. Verificando a Figura 8, nota-se que Natal – RN e João Pessoa – PB apresentaram, em média, as máximas precipitações para a área de estudo, seguido por Recife – PE, com aproximadamente 122 e 121 mm, respectivamente. Maceió – AL e Aracaju – SE apresentaram as máximas precipitações mais baixas, em média, com aproximadamente 97 e 91 mm, respectivamente. A maior variabilidade foi verificada em Natal – RN, enquanto que a menor em Aracaju – SE. A precipitação diária máxima anual variou entre 17,9 mm e 253,2 em Maceió – AL e Natal – RN, respectivamente. O valor de 17,9 em Maceió – AL, foi observado para o ano de 2008, porém pode ser justificado pela falta de dados existentes para o ano em questão.

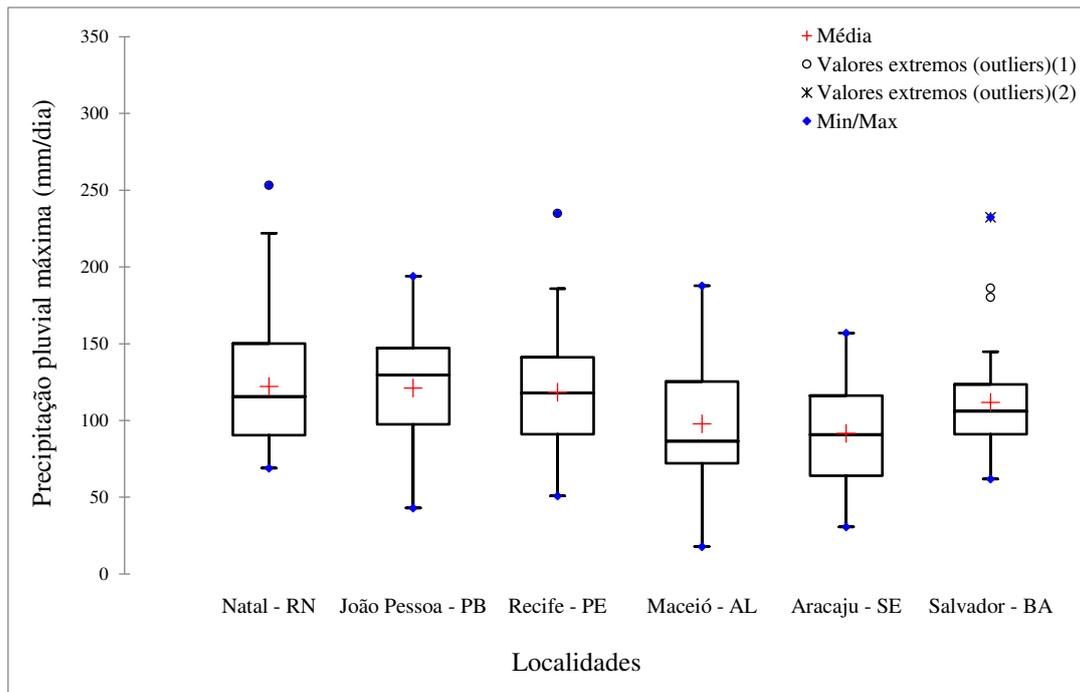


Figura 8. Variabilidade da máxima precipitação diária anual para: Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE, e Salvador – BA, para o período entre 1986 e 2020.

A Figura 9 apresenta a frequência absoluta da precipitação diária máxima anual nas capitais da costa leste do NEB. Percebe-se que precipitações diárias máximas abaixo de 50 mm ocorreram em maior frequência em Aracaju – SE, Maceió – AL, entre 50 e 75 mm, em Maceió – AL e Aracaju – SE, entre 75 e 100 mm em Salvador – BA e Maceió – AL, entre 100 e 150 mm em Recife – PE, João Pessoa – PB e Salvador – BA, e entre 150 e 200 mm ocorreram em maior frequência em João Pessoa – PB e Natal – RN. Natal – RN, Recife – PE e Salvador – BA apresentaram precipitações acima de 200 mm, sendo Natal – RN a única localidade que apresentou precipitação diária acima de 250 mm.

De modo geral, em Natal – RN, a maior ocorrência de precipitações registradas foi entre, 50 e 125 mm, em João Pessoa – PB entre 140 e 160 mm, Recife – PE entre 100 e 120 mm, Maceió – AL entre 50 e 100 mm, Aracaju – SE entre 60 e 75 mm, e Salvador apresentando maior ocorrência de precipitação entre 75 e 100 mm. Enquanto as demais localidades apresentaram precipitações acima de 150 mm, Aracaju – SE apresentou 157

mm como sendo sua máxima precipitação diária em todo o período de dados, sendo esse valor registrado associado a duas ocorrências, em 2009 e 2011 (Figura 9).

Na maioria dos casos, a representação gráfica dos dados observados de uma variável em um histograma de frequência é insuficiente para afirmar, entre as diversas funções de distribuição de probabilidade existentes, qual melhor se ajusta aos dados em questão. Sendo necessário, para tal, verificar a adequação das funções de distribuição de probabilidade que se pretende utilizar.

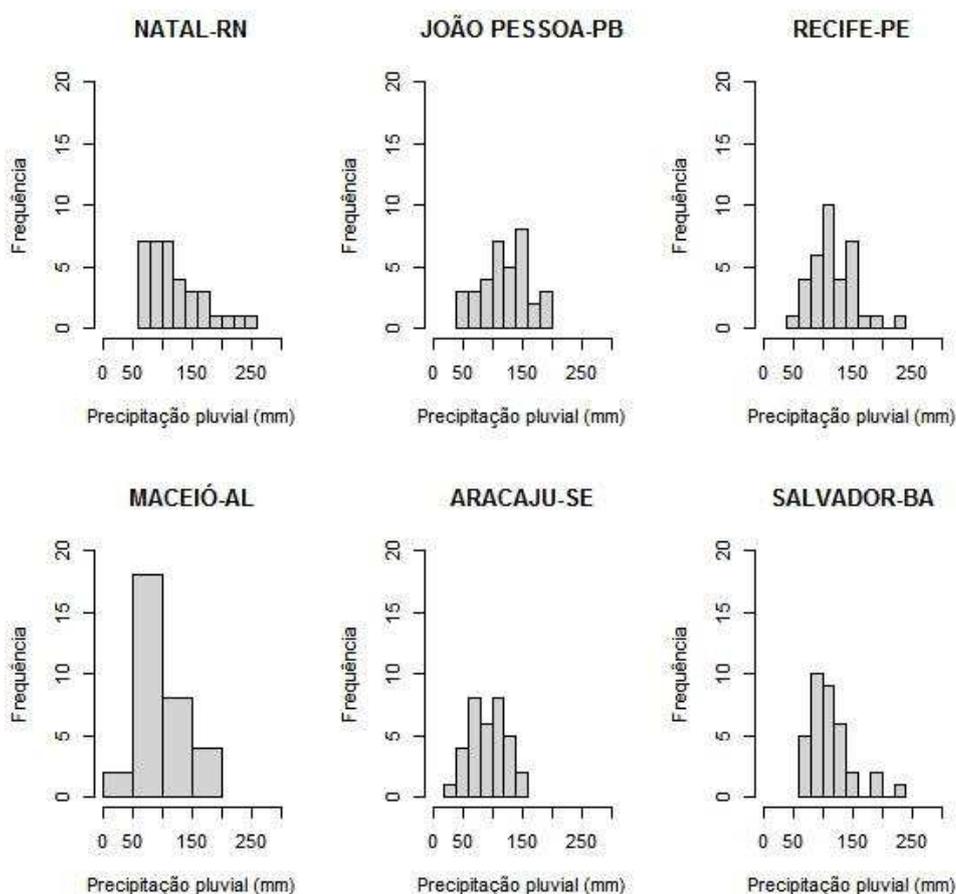


Figura 9. Frequência absoluta da precipitação diária máxima anual para: Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE, e Salvador – BA, para o período entre 1986 e 2020.

A partir da Tabela 2 tem-se uma análise exploratória dos dados, a partir da estatística descritiva para a precipitação diária máxima anual para a região de estudo, a

partir de Medidas de Posição (ou Tendência Central), Dispersão, Assimetria e de Achatamento (Curtose). Ao se analisar a Tabela 2, temos que Natal – RN e João Pessoa – PB apresentaram, em média, os valores mais altos de precipitação máxima, enquanto que Aracaju – SE e Maceió – AL, os valores mais baixos. Observou-se que o maior desvio padrão encontrado foi em Natal – RN, desviando em torno de 46 mm em relação à média, e menor em Aracaju – SE (32,62 mm), porém o Coeficiente de Variação (C.V.) foi maior em Maceió – AL, com um desvio de aproximadamente 42% em relação à média, e menor em Recife – PE (30,83%).

Analisando a assimetria e curtose dos dados, verificou-se que Natal – RN e Salvador – BA apresentaram-se com curvas assimétricas positivas e as demais localidades, variando dentro do valor da simetria. Para a curtose, temos que Natal – RN, Recife – PE e Salvador – BA são platicúrticas (curva mais achatada), enquanto que João Pessoa – PB, Maceió – AL e Aracaju – SE são leptocúrticas (curva mais afilada). Curvas leptocúrticas indicam que os dados estão ocorrendo com alta frequência em torno da média, enquanto que as curvas platicúrticas indicam um comportamento mais próximo de uma distribuição uniforme, ou seja, os dados tendem a ter um maior espalhamento.

Tabela 2. Estatística descritiva da precipitação diária máxima anual para as capitais da costa Leste do Nordeste, para o período de 1986 a 2020.

Localidades	Média	Mediana	Variância	DP	C.V. (%)	C.A.	Curtose
Natal - RN	122,3	115,6	2158,31	46,45	37,98	1,01	0,38
João Pessoa - PB	121,1	129,8	1546,26	39,32	32,47	-0,19	-0,81
Recife - PE	118,6	118	1336,76	36,56	30,83	0,81	1,15
Maceió - AL	97,8	86,5	1666,23	40,81	41,73	0,57	-0,42
Aracaju - SE	91,7	90,8	1064,22	32,62	35,57	0,16	-0,89
Salvador - BA	111,8	106	1231,11	35,08	31,38	1,38	2,4

*DP: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação, C.A.: Coeficiente de Assimetria.

4.3. Modelagem estatística da máxima precipitação pluvial para as capitais da costa leste do Nordeste utilizando a Teoria de Valores Extremos

Para a obtenção da modelagem estatística a partir da distribuição GVE, utilizou-se a metodologia *Block Maxima*, onde o conjunto de dados é dividido em períodos de mesmo tamanho (blocos) que podem ser mensais, sazonais, anuais, dentre outros. A partir de cada bloco é escolhido o valor máximo (ou mínimo) para formar um novo conjunto, logo este novo conjunto de dados inclui os valores extremos. Para esta pesquisa, foram utilizadas as máximas precipitações anuais, sendo assim o valor máximo diário de precipitação para cada ano estudado é um bloco.

Utilizou-se o teste de Chorrilho para avaliar a pressuposição de independência entre os dados de precipitação pluvial máxima, ao nível de 0,05 de significância, para a região de estudo, para o período compreendido entre 1986 e 2020. O teste de Chorrilho foi utilizado por Bautista (2002) e Silva (2008) com a finalidade de testar a aleatoriedade dos dados para a aplicação da metodologia para a estimação dos parâmetros da distribuição GVE. A partir da Tabela 3, observa-se que, para todas as capitais estudadas, não houve rejeição da hipótese nula, ou seja, a hipótese de independência não foi rejeitada ao nível de 0,05, podendo as séries de precipitação utilizadas nesse estudo serem modeladas a partir da GVE.

Tabela 3. Teste de Chorrilho para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020.

Localidades	Valor-P
Natal/RN	0,082
João Pessoa/PB	0,296
Recife/PE	0,999
Maceió/AL	0,719
Aracaju/SE	0,082
Salvador/BA	0,164

Podemos observar, visualmente, a independência dos dados através da Função de autocorrelação (FAC), que tem o objetivo de detectar a presença de autocorrelação (dependência) da variável aleatória. A Figura 10 apresenta a FAC da precipitação pluvial, para o período compreendido entre 1986 e 2020, para a região de estudo. A partir da Figura 10 verifica-se a independência dos dados de precipitação, pois a autocorrelação pode ser definida como sendo uma observação em um determinado instante que está relacionada às observações passadas. Observa-se que não se verifica dependência entre um máximo anual e outro, e que as localidades apresentam autocorrelação no lag 0 pois está sendo correlacionado o primeiro valor com ele mesmo. No R, a autocorrelação no lag 0 é sempre igual a 1, por *default*.

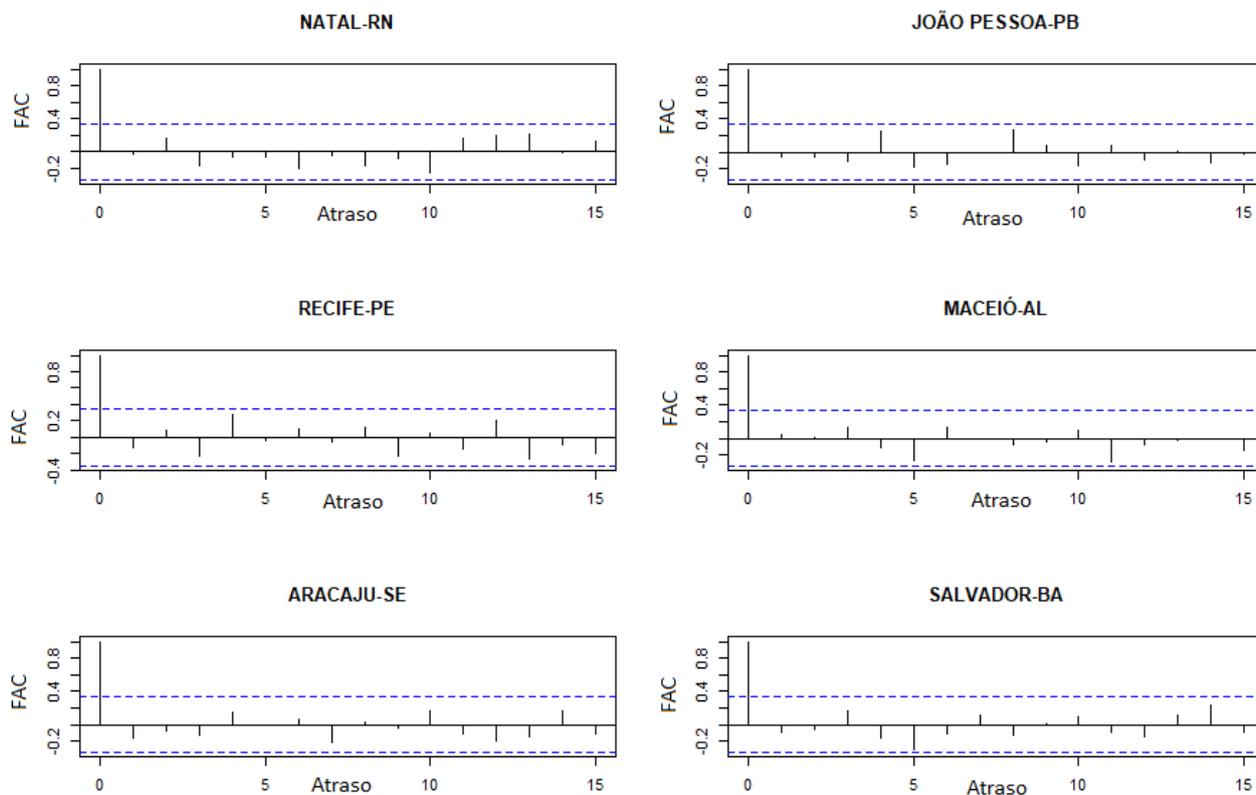


Figura 10. Função de autocorrelação (FAC) da precipitação para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020.

Após verificar a independência dos dados, obteve-se as estimativas para os parâmetros de locação (μ), escala (σ^2) e forma (ξ), a partir do método de Máxima Verossimilhança (Tabela 4). O modelo GVE foi ajustado para cada ano considerando os valores de máxima precipitação diária. De maneira geral, o intervalo recomendado ao se trabalhar com dados ambientais é $-0,5 \leq \xi \leq 0,5$ (SMITH, 1985). As estimativas do parâmetro de forma (ξ) são menores que 0,5 para todas as localidades, logo a teoria assintótica clássica de estimativa de máxima verossimilhança é aplicável (Rodrigues et. al., 2021).

As estimativas do parâmetro de forma (ξ) (Tabela 4) indicam quais das três distribuições (Gumbel, Fréchet e Weibull) os dados ajustam-se melhor. Observa-se que as estimativas possuem valores positivos e negativos, podendo assim, verificar qual distribuição ajusta-se melhor a cada localidade estudada.

Tabela 4. Parâmetros da distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020.

Localidades	Locação (μ)	Escala (σ^2)	Forma (ξ)
Natal/RN	98,046	29,221	0,235
João Pessoa/PB	109,770	40,626	-0,404
Recife/PE	103,105	30,642	-0,073
Maceió/AL	80,807	34,521	-0,098
Aracaju/SE	79,802	30,834	-0,242
Salvador/BA	96,101	24,665	0,060

A Tabela 5 apresenta o intervalo de confiança, ao nível de 95%, para os parâmetros da distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020. Analisando os intervalos de confiança, para o parâmetro de forma (ξ), nota-se que Natal – RN, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA parecem seguir uma distribuição Gumbel, pois o valor nulo do parâmetro de forma (ξ)

está contido no intervalo com confiança. Enquanto, João Pessoa – PB parece seguir uma distribuição Weibull, pois o intervalo de confiança possui apenas valores negativos para o parâmetro de forma (ξ).

Tabela 5. Intervalo de confiança, ao nível de 95%, para os parâmetros da distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020.

Localidade	Estimado	Intervalo de confiança	
	Locação (μ)	Superior	Inferior
Natal - RN	98,046	110	86,08
João Pessoa - PB	109,770	124,67	94,86
Recife - PE	103,105	114,34	91,86
Maceió - AL	80,807	94,18	67,43
Aracaju - SE	79,802	91,64	67,96
Salvador - BA	96,101	105,28	86,91
Localidade	Estimado	Intervalo de confiança	
	Escala (σ^2)	Superior	Inferior
Natal - RN	29,221	39,12	19,31
João Pessoa - PB	40,626	51,71	29,53
Recife - PE	30,642	38,52	22,76
Maceió - AL	34,521	43,89	25,14
Aracaju - SE	30,834	39,56	22,1
Salvador - BA	24,665	31,42	17,9
Localidade	Estimado	Intervalo de confiança	
	Forma (ξ)	Superior	Inferior
Natal - RN	0,235	0,63	-0,16
João Pessoa - PB	-0,404	-0,16	-0,64
Recife - PE	-0,073	0,13	-0,27
Maceió - AL	-0,098	0,15	-0,34
Aracaju - SE	-0,242	0,04	-0,53
Salvador - BA	0,060	0,3	-0,17

O ajuste da distribuição pode ser observado através dos gráficos quantil-quantil, método utilizado na verificação da adequação da distribuição teórica à empírica, apresentando graficamente a qualidade do ajuste dos dados modelados. A partir da Figura 11 observa-se a distribuição dos quantis estimados pela distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020. Nos gráficos quantil-quantil os pontos de plotagem (quantis empíricos) concentraram-se em torno da linha de

quantis estimada pelo modelo GVE, sugerindo que a distribuição GVE é adequada para modelar os valores extremos observados, o que significa dizer que quanto mais os pontos se comportam em cima da reta, mais próxima é a distribuição dos dados à aquela que se está testando.

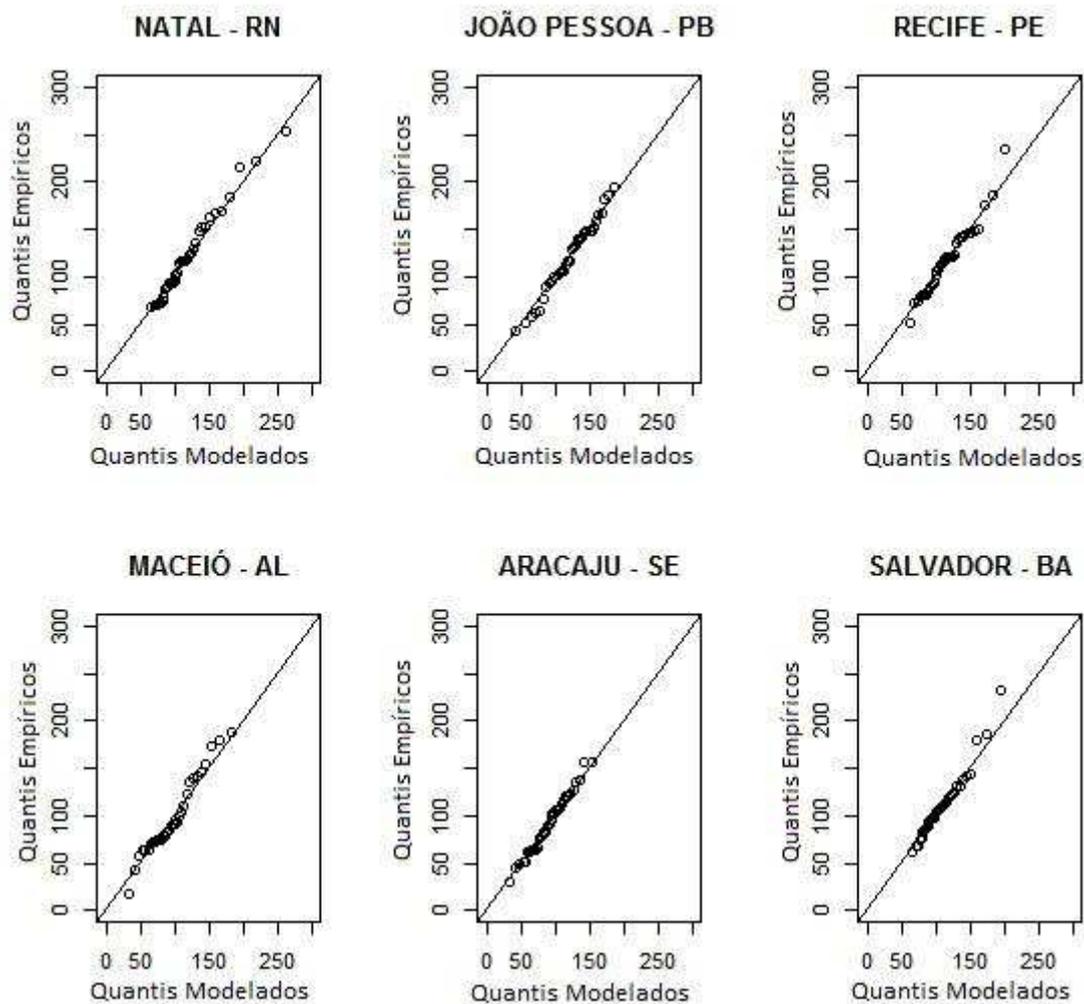


Figura 11. Distribuição dos quantis estimados pela distribuição GVE para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020. A linha representa os quantis estimados pelo modelo e os círculos correspondem aos quantis empíricos.

Outra maneira de verificar o ajuste dos dados modelados é através do gráfico da função densidade de probabilidade. A Figura 12 apresenta os gráficos da função densidade de probabilidade estimados pela distribuição GVE, dos máximos anuais da

precipitação diária, para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020. Nota-se que, de maneira geral, os dados modelados se ajustam bem aos dados empíricos, porém observa-se, ainda, que o modelo superestima a frequência de ocorrências onde a densidade de dados é maior.

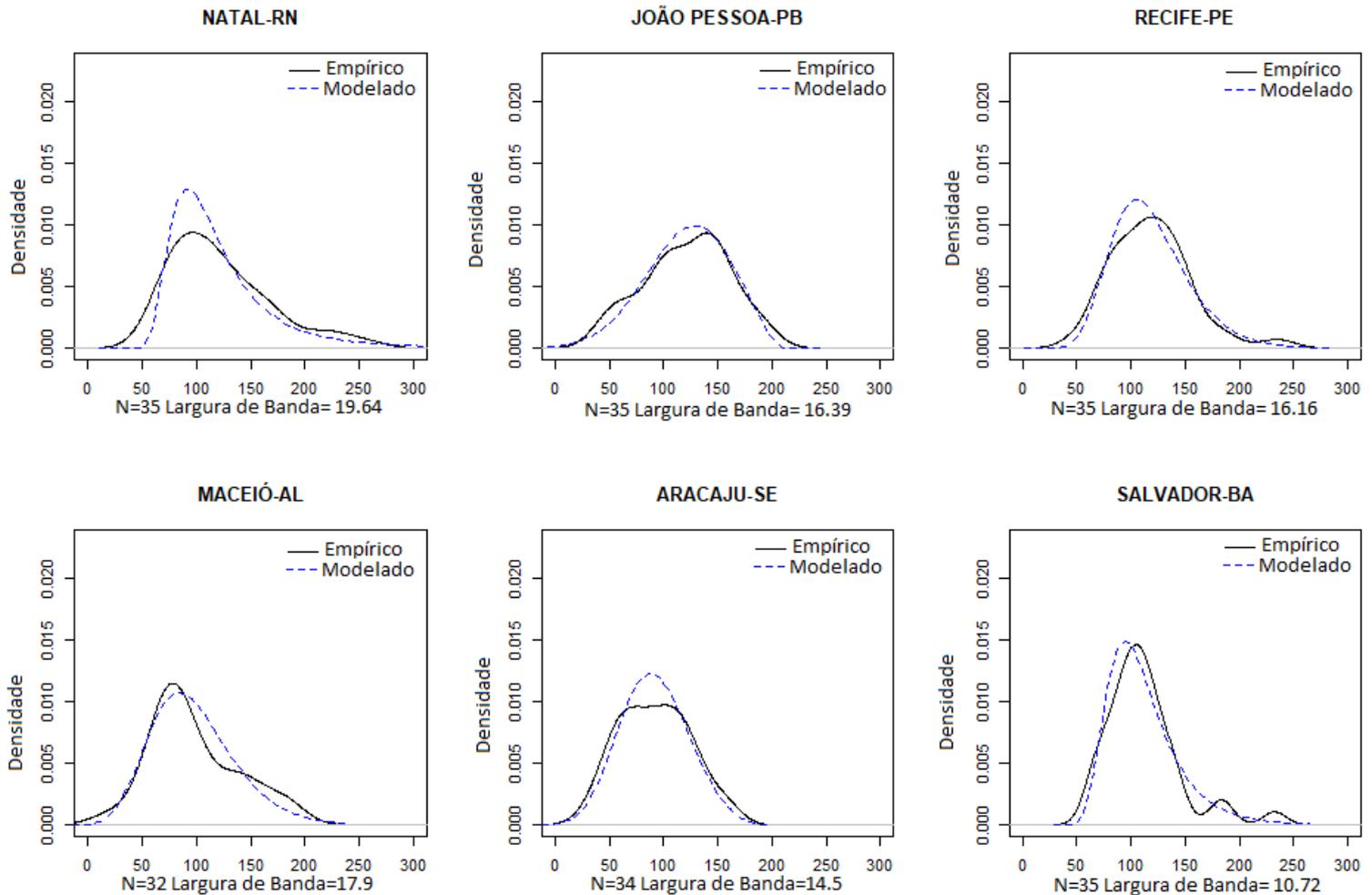


Figura 12. Distribuição da função densidade de probabilidade estimada pela distribuição GVE para as máximas precipitações diárias, para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020.

A qualidade do ajuste das distribuições foi avaliada graficamente através das distribuições quantil-quantil e de densidade de probabilidade. No entanto, os métodos gráficos estão sujeitos a erros, uma vez que dependem de interpretação visual. Segundo Santos et. al. (2016), a análise visual da distribuição quantil-quantil tem a desvantagem de ser subjetiva. Sendo assim, o teste não paramétrico Kolmogorov-Smirnov (KS) foi utilizado para verificar a qualidade do ajuste das estimativas da distribuição GVE, ao nível de significância de 5%, para a precipitação diária máxima anual, e seus resultados apresentados na Tabela 6.

Neste estudo, tem-se 35 observações de máximos anuais de precipitação, considerando o nível de significância de 5%, o valor crítico da estatística D_n utilizado foi de 0,22. A partir da Tabela 6, verifica-se que, de maneira geral todas as localidades apresentaram bom desempenho no teste KS, sendo Maceió – AL a localidade que apresentou a melhor aderência ao teste. Sendo assim, verifica-se que é possível modelar as precipitações anuais aqui estudadas a partir da Teoria de Valores Extremos.

Tabela 6. Teste Kolmogorov-Smirnov (KS) para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020. Em que, D_n é o limite superior extremo das diferenças entre os valores absolutos da distribuição acumulada empírica e teórica consideradas no teste.

Localidades	D_n	Valor-P
Natal/RN	0,6	0,833
João Pessoa/PB	0,6	0,833
Recife/PE	0,657	0,795
Maceió/AL	0,563	0,919
Aracaju/SE	0,618	0,853
Salvador/BA	0,686	0,751

4.4. Obtenção do período de retorno e probabilidades de ocorrência de precipitação extrema nas capitais da costa leste do NEB

A partir da Tabela 7 observa-se o período de retorno (mm/dia) para eventos extremos (precipitações diárias máximas) nas capitais da costa leste do NEB, para o período compreendido entre 1986 e 2020. Os resultados obtidos indicam que, espera-se em média, pelo menos uma vez a cada dois anos, eventos extremos diários de precipitação de 109,23 mm, 123,61 mm, 114,19 mm, 93,23 mm, 90,62 mm, e 105,24 mm para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e Salvador – BA, respectivamente. A cada cinco anos, eventos extremos diários de 150,58 mm, 155,49 mm, 146,65 mm, 128,96 mm, 118,59 mm, e 134, 82 mm devem ocorrer pelo menos uma vez, nas localidades mencionadas, respectivamente.

Os valores de precipitação diária extrema esperados, pelo menos um vez, em dez anos são de 184,68 mm, 169,85 mm, 166,71 mm, 150,52 mm, 133,31 mm, e 155,54 mm, já os valores esperados pelo menos uma vez em 25 anos são 237,32 mm, 182,76 mm, 190,55 mm, 175,58 mm, 148,47 mm, e 183, 10 mm, para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7. Período de retorno estimado da precipitação diária extrema (mm/dia), para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020.

Localidade/Anos	2	5	10	25	50	100	200
Natal/RN	109,23	150,58	184,68	237,32	284,67	340,08	405,11
João Pessoa/PB	123,61	155,49	169,85	182,76	189,60	194,72	198,57
Recife/PE	114,19	146,65	166,71	190,55	207,19	222,90	237,77
Maceió/AL	93,23	128,96	150,52	175,58	192,73	208,62	223,40
Aracaju/SE	90,62	118,59	133,31	148,47	157,67	165,38	171,87
Salvador/BA	105,24	134,82	155,54	183,10	204,59	226,84	249,95

O período de retorno para 50, 100 e 200 anos também são apresentados na Tabela 7. Em duzentos anos, para Natal - RN, por exemplo, têm-se um valor três vezes superior do valor obtido para o período de retorno de dois anos. Isso também pode ser observado visualmente na Figura 13 que apresenta o período de retorno, bem como os intervalos de confiança ao nível de 95% para o modelo estimado.

Oliveira et al. (2019) obtiveram o período de retorno para as capitais do NEB a partir da DGP, seus resultados indicaram, que em cinco anos, espera-se ao menos uma vez, precipitações de 150 mm, 142 mm, 141 mm, 137 mm, 115 mm, e 129 mm para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, respectivamente. Rodrigues et al. (2021) modelaram a precipitação mensal para Natal-RN a partir da GVE e obteve os maiores valores do período de retorno, para cinco anos, para os meses de maio, junho e julho, com valores de 97,7 mm, 128,5 mm e 93,6 mm, respectivamente.

A partir da Figura 13, nota-se que Natal – RN apresenta maior distância entre os intervalos de confiança inferior e superior, seguido por Maceió – AL e Salvador – BA. A distância entre os limites inferiores e superiores observada pode ser explicada pelo fato de que quanto maior a distância dos dados de referência (1986-2020) menos confiança tem a estimativa do modelo. Para Rodrigues et al. (2021), a medida que aumenta o período de retorno (em anos), são esperados eventos cada vez mais intensos, que podem afetar o bem-estar e o conforto das pessoas, principalmente as mais vulneráveis.

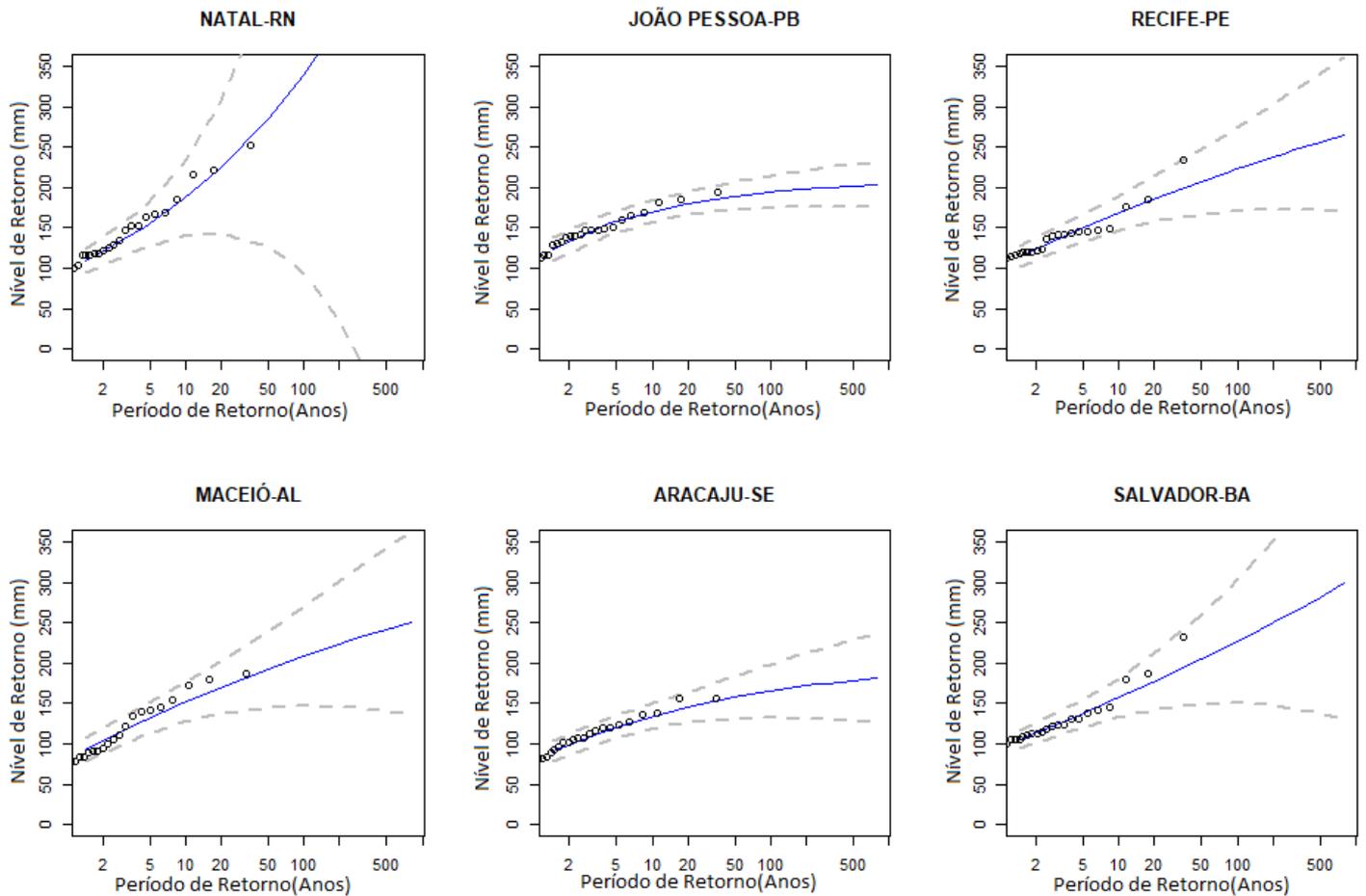


Figura 13. Período de retorno da precipitação máxima diária para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020. As linhas tracejadas representam os intervalos de confiança ano nível de 95% para o modelo estimado.

Por meio da Tabela 8 verifica-se a probabilidade obtida para precipitações diárias extremas para o período de 1986 a 2020, para a região de estudo. Esta probabilidade foi modelada a partir dos parâmetros (locação, escala e forma) da GVE, sendo necessário, para sua obtenção, inserir um limiar desejável, logo foi considerado como limiar extremo o valor do percentil 90 das máximas precipitações diárias. Sendo assim, essas probabilidades correspondem as probabilidades de ocorrência de valores extremos (limiar) dentro da série temporal de precipitações extremas.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 8 verifica-se que precipitações diárias iguais (probabilidades) a 178,2 mm (0,113), 166,9 mm (0,117), 148,7 mm (0,187), 154,2 mm (0,088), 132,9 mm (0,101), e 143,3 mm (0,151) são observadas para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, respectivamente. Maceió – AL e Recife – PE apresentaram, respectivamente a menor e maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos de precipitação. Dos 35 anos analisados, Recife – PE apresenta pelo menos 6 anos com precipitação superior ao limiar adotado, enquanto Maceió – AL apresenta pelo menos 3 anos com precipitação acima do limiar adotado (Tabela 8).

Tabela 8. Probabilidade obtida a partir do percentil 90, para as precipitações diárias extremas, para as localidades de Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, para o período compreendido entre 1986 e 2020.

Localidade	Limiar precipitação extrema (mm/dia)	Probabilidade
Natal - RN	178,2	0,113
João Pessoa - PB	166,9	0,117
Recife - PE	148,7	0,187
Maceió - AL	154,2	0,088
Aracaju - SE	132,9	0,101
Salvador - BA	143,3	0,151

4.5. Análise da ocorrência de desastres socioambientais nas capitais da costa leste do NEB

A variabilidade temporal e espacial da precipitação no NEB é um importante objeto de pesquisa em várias áreas de conhecimento devido ao impacto direto que o excesso ou falta de água causa na sociedade. Silva et al (2019b) evidenciam a correlação existente entre a distribuição anual de precipitação no NEB e a ocorrência de desastres, como inundações, bem como que essa variação da precipitação pluvial causa maior suscetibilidade a desastres. Nessa pesquisa apresenta-se uma análise sobre os desastres socioambientais ocorridos no leste do NEB entre os anos de 2016 e 2020.

A Tabela 9 apresenta a descrição quantitativa e qualitativa de todos os alertas registrados com ocorrência pelo CEMADEN, para o período de 2016 a 2020, para as capitais da costa leste do NEB. É importante salientar que foi verificado que em um alerta pode conter mais de uma ocorrência de desastre (desastres diferentes), bem como mais de um alerta para a mesma data com registros de ocorrência diferentes, ou ainda um alerta com mais de um registro de um mesmo desastre, porém em áreas diferentes da cidade.

Na Tabela 9 são apresentados o total de alertas com ocorrência registrados, bem como a quantidade e as tipologias associadas de eventos registrados nos alertas. A partir da Tabela 9, observa-se que Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA, apresentam um total de 15, 15, 25, 18, 9, e 57 alertas emitidos com ocorrência, respectivamente. Salvador – BA e Aracaju – SE apresentam a maior e menor quantidade total de alertas emitidos.

Verifica-se que as tipologias mais registradas são deslizamentos de terra, seguido por alagamentos, inundações e enxurradas. Das quatro tipologias registradas, enxurrada é a única que não se verifica nas seis localidades estudadas, sendo registrada em Natal – RN, Recife - PE, Aracaju – SE, e Salvador – BA. Natal – RN e Aracaju – SE apresentam mais registros de alagamentos, enquanto João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, e Salvador – BA mais registros de deslizamentos de terra (Tabela 9).

Tabela 9. Total de alertas emitidos e quantidade e tipologias de eventos ocorridos, para o período compreendido entre 2016 e 2020, para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA (Dados: CEMADEN).

Localidade	Nº de alertas	Tipologia registradas			
		Alagamento	Deslizamento de terra	Inundação	Enxurrada
Natal - RN	15	12	2	5	1
João Pessoa - PB	15	6	7	6	
Recife - PE	25	7	21	5	1
Maceió - AL	18	2	21	4	
Aracaju - SE	9	5	3	1	1
Salvador - BA	57	12	55	4	2

Souza et al. (2012) observaram que, para Recife – PE, apesar dos eventos extremos de precipitação serem observados principalmente entre os meses de março e julho, tais eventos também podem ocorrer nas demais épocas do ano, sendo precipitações extremas associadas a ocorrência de deslizamentos de terra e alagamentos na localidade estudada. Os autores não verificaram a ocorrência de desastres associados a precipitações fracas, porém salientam que quando há precipitações em dias consecutivos pode ocorrer deslizamento de terra.

A Tabela 10 apresenta a quantidade de alertas registrados mensalmente, para o período compreendido entre 2016 e 2020, para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA. Verifica-se que Natal – RN e João Pessoa – PB apresentam quatro meses com registros de ocorrência de desastres. Em

seguida, tem-se Aracaju – SE, Maceió – AL, Recife – PE e Salvador – BA com cinco, seis, sete e doze meses com registros de ocorrência de desastres, respectivamente.

Em sua maioria, em Natal – RN, João Pessoa – PB e Aracaju – SE os desastres ocorridos foram verificados nos meses de outono e inverno. Em Recife – PE e Maceió – AL são verificados nos meses de verão, outono e inverno. Em Salvador – BA são observados ao longo de todas as estações do ano, com maior registro nos meses de outono, seguido dos meses de inverno. As demais localidades também apresentaram maior quantidade de ocorrências de desastres socioambientais no outono (Tabela 10).

Tabela 10. Quantidade de alertas registrados mensalmente, para o período compreendido entre 2016 e 2020, para Natal – RN, João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, Aracaju – SE e, Salvador – BA. (Dados: CEMADEN).

Localidade/Mês	Natal - RN	João Pessoa - PB	Recife - PE	Maceió - AL	Aracaju - SE	Salvador - BA
Janeiro			2	2		4
Fevereiro		1	1	1		1
Março	5		1	3	1	10
Abril	2	7	8	4	2	9
Maio	6	8	7	5	2	12
Junho		3	3	3	2	6
Julho	1		3		2	6
Agosto						3
Setembro						1
Outubro						1
Novembro						2
Dezembro						2

As tipologias das ocorrências registradas associadas a precipitações extremas, para o período compreendido entre 2016 e 2020 são apresentadas na Tabela 11. Das seis localidades estudadas, duas apresentaram registros de ocorrência de desastres socioambientais associados com a ocorrência de precipitação extrema. Foi considerado o valor do percentil 90 para se obter um limiar de precipitação extrema para o banco de dados analisado.

Tabela 11. Tipologia de eventos ocorridos associados a precipitações extremas, para o período compreendido entre 2016 e 2020, para as cidades de: João Pessoa – PB, Maceió – AL. (Dados: INMET; CEMADEN).

Localidade	Data	Precipitação (mm/dia)	Tipologia de evento
Maceió	27/05/2017	173	Inundação/Alagamento
João Pessoa	14/06/2019	182,4	Deslizamento

A partir da Tabela 11 verifica-se que Maceió – AL apresentou 173 mm de precipitação em 27 de maio de 2017 juntamente com ocorrências de inundação e alagamento, coincidindo com o mês de maior quantidade de registros de desastres para esta localidade (Tabela 10). Enquanto que, João Pessoa apresentou 182,4 mm de precipitação no dia 14 de junho de 2019 acarretando em ocorrências de deslizamento. Para João Pessoa – PB, junho foi o segundo mês com o menor número de registros (Tabela 10).

4.6. Análise das condições atmosféricas associadas a ocorrência de eventos extremos de precipitação e desastres socioambientais nas capitais da costa leste do NEB

As datas das ocorrências de precipitação extrema e desastres socioambientais apresentadas na Tabela 11 foram escolhidas para realizar uma análise das condições atmosféricas associadas a ocorrência de eventos extremos de precipitação na região de estudo, para os dias que possuem ocorrência de desastres socioambientais nos alertas emitidos pelo CEMADEN.

- **Estudo de caso: João Pessoa/ PB – 14 de junho de 2019.**

Precipitações extremas foram registradas em João Pessoa – PB, não somente no dia 14 de junho de 2019, como também, no dia anterior, 13 de junho de 2019, em que foi registrado precipitação de 145,2 mm. Em 48h choveu aproximadamente o esperado para todo o mês de junho, nos dois dias precipitou um total de 327,6 mm, sendo o equivalente a 94,6% da média climatológica (346,1 mm) para o mês de junho.

João Pessoa – PB não foi a única localidade aqui estudada atingida por elevados volumes de precipitação entre os dias 13 e 14 de junho de 2019. Natal – RN registrou 83,7 mm no dia 14 de junho de 2019, enquanto Recife – PE registrou 147,2 mm no mesmo dia, sendo que no dia anterior havia precipitado 66,4 mm. Apesar de não ser um valor de precipitação acima do percentil 90, aqui considerado, ainda é um valor considerável, principalmente quando se tem um ou mais dias consecutivos de precipitação. As precipitações registradas em Recife - PE e região metropolitana provocaram quedas de árvore, alagamentos, desabamento de parte de uma casa, e voos suspensos. Nove pessoas morreram vítimas das fortes chuvas que atingiram a cidade (CPTEC, 2019).

Em 14 de junho de 2019, o CEMADEN emitiu o alerta n. 1363, para a localidade de João Pessoa – PB, em que havia o registro de ocorrência de deslizamento de terra, resultando em 64 desalojados. No dia anterior, 13 de junho, o CEMADEN já havia emitido um alerta (n. 1365) com registro de ocorrência de inundação, que culminou em 104 desabrigados e 124 desalojados, totalizando 228 pessoas afetadas, também para João Pessoa – PB.

Considerando as precipitações ocorridas em Recife – PE, para o mesmo período, verificou-se dois alertas emitidos pelo CEMADEN, ambos para 13 de junho de 2019. No alerta n. 1370 foi registrado a ocorrência de deslizamento de terra, deixando 151 pessoas desalojadas. Para o alerta n. 1383, houve registro de inundação, resultando em 1 óbito e 780 desalojados.

globo.com g1 ge gshow videos ASSINE JÁ MINHA CONTA E-MAIL ENTRAR

MENU g1 PARAÍBA BUSCAR

Em 30 horas, João Pessoa ultrapassa quantidade de chuvas prevista para mês de junho

Choveu 352 milímetros na capital, o que corresponde a 116% de contribuição para o estimado para o período.

Por G1 PB
14/06/2019 10h56 - Atualizado há 2 anos

Jornal da Paraíba Copa JP Editorias Blogs Vídeos Mais

Início | Vida Urbana | Matéria

VIDA URBANA | 14 de junho de 2019 | 10:48

Volume de chuvas em JP ultrapassa média histórica para junho

Chuva causou uma série de transtornos na capital paraibana.

globo.com g1 ge gshow videos ASSINE JÁ MINHA CONTA E-MAIL ENTRAR

MENU g1 PERNAMBUCO BUSCAR

Chuva alaga ruas, provoca desabamento de parte de casa e suspende aulas no Grande Recife

Desabamento em Dois Unidos não deixou vítimas, diz Defesa Civil. Aulas foram suspensas em universidades e escolas do Recife. No aeroporto, voos foram cancelados e outros foram desviados.

Por G1 PE
13/06/2019 08h03 - Atualizado há 2 anos

globo.com g1 ge gshow videos ASSINE JÁ MINHA CONTA E-MAIL ENTRAR

MENU g1 PERNAMBUCO BUSCAR

Sobe para nove o número de mortos por conta das chuvas no Grande Recife

Corpos de dois irmãos que estavam soterrados onde barreira deslizou em Camaragibe, na quinta-feira (13), foram encontrados pelos bombeiros após mais de 50 horas de buscas.

Por G1 PE
16/06/2019 10h33 - Atualizado há 2 anos

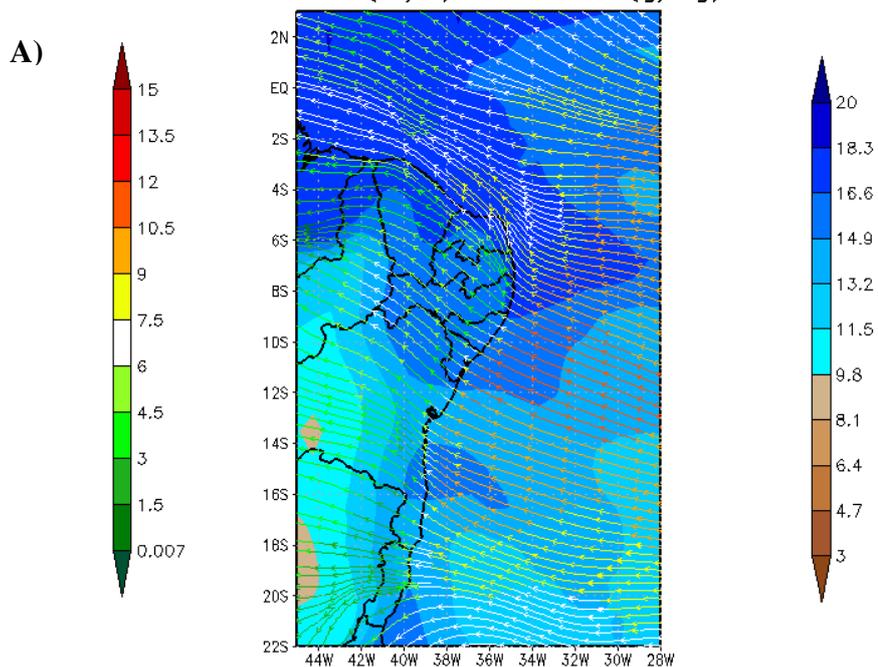


Figura 14. Registros de notícias ocorridos em João Pessoa – PB e Recife - PE, para os dias 13 e 14 de junho de 2019. Fonte: G1; Jornal da Paraíba.

Para verificar as condições atmosféricas atuantes nesse episódio, foram plotados campos de vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical, para os níveis de 1000, 850, 500 e 250 hPa, no horário das 00 UTC (21h no horário de Brasília), a partir de dados de reanálise oriundos do ERA-*Interim*, do ECMWF. A partir da Figura 15 observa-se a distribuição espacial do vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 1000 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude.

A análise da Figura 15 indica valores superiores a 15 g/kg de umidade específica no litoral do NEB, e ventos de sudeste variando entre, aproximadamente 6 e 12 m/s sob o Oceano Atlântico adjacente ao litoral Nordeste. Próximo ao litoral do estado da Paraíba, verifica-se valores em torno de 6 e 9 m/s. O escoamento observado, em sua maioria é de sudeste, trazendo umidade do Oceano Atlântico para o litoral Nordeste. Verifica-se, ainda, velocidade vertical negativa no litoral Paraibano, indicando movimento ascendente do vento e convergência de umidade na região.

00Z14JUN2019 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 1000 hPa



B) 00Z14JUN2019 Velocidade Vertical (Pa/s)
1000 hPa

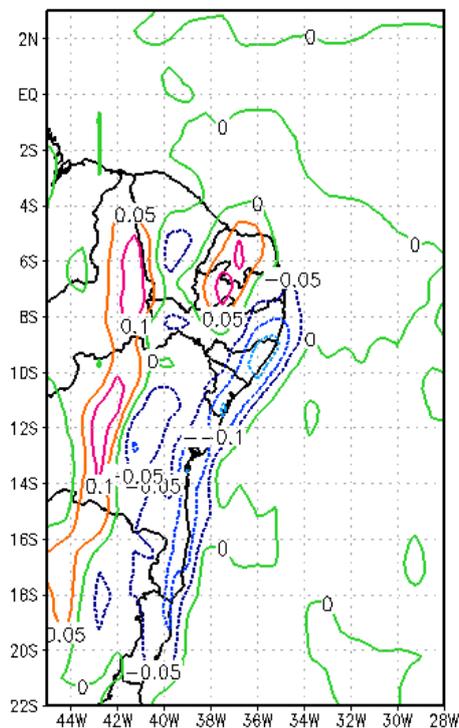
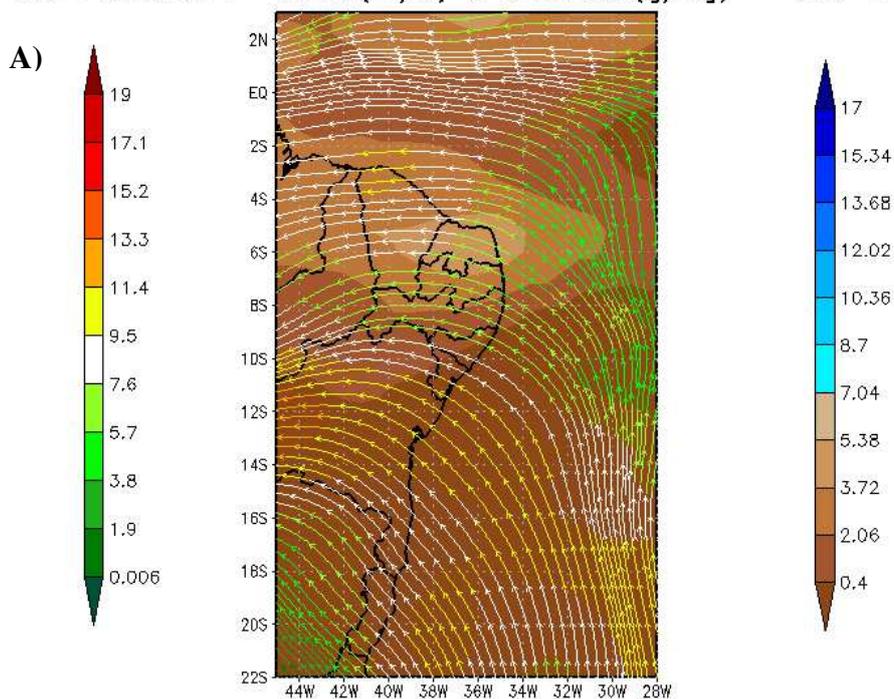


Figura 15. Distribuição espacial da velocidade do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 1000 hPa, para 14 de junho de 2019, às 00 UTC.

Na Figura 16 tem-se as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 850 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. Analisando a Figura 16, nota-se a camada mais seca, com a umidade específica variando, aproximadamente entre 2 e 4 g/kg. Os ventos continuam de Sudeste, variando entre, aproximadamente 3,8 e 7,6 m/s no litoral Paraibano. A velocidade vertical apresenta valores negativos sobre a região analisada, ou seja, com a presença de movimento ascendente.

00Z14JUN2019 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 850 hPa



00Z14JUN2019 Velocidade Vertical (Pa/s)
850 hPa

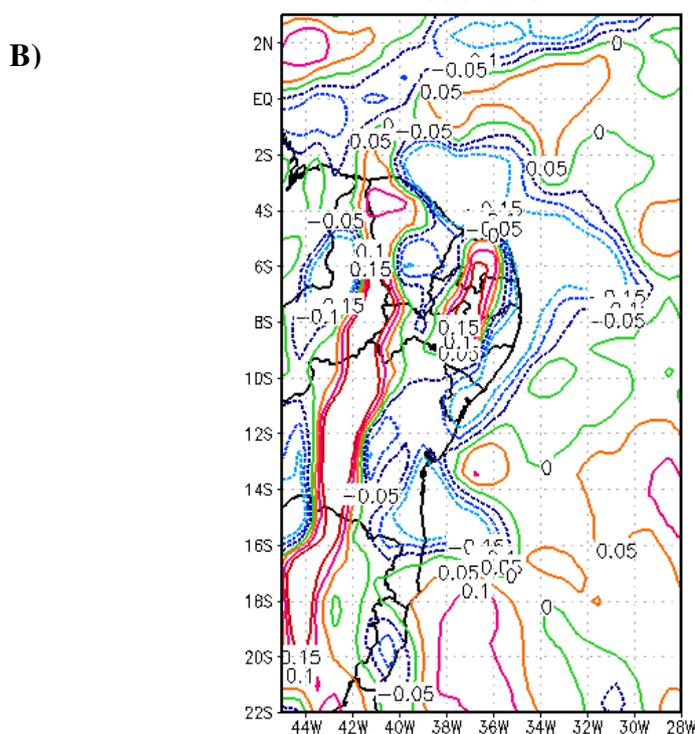
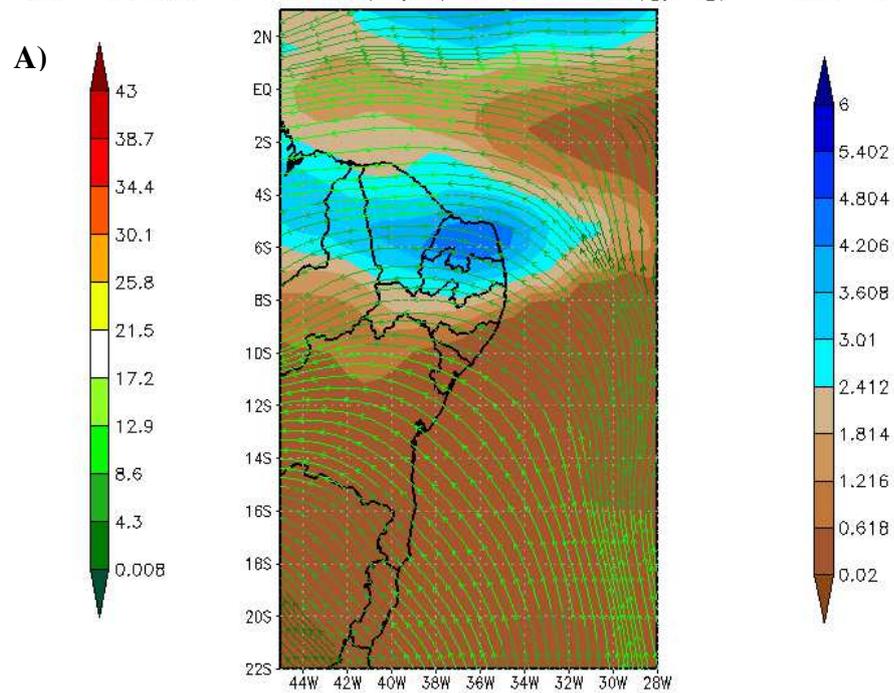


Figura 16. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 850 hPa, para 14 de junho de 2019, às 00 UTC.

A Figura 17 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 500 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. Nota-se, que a umidade específica se mantém entre aproximadamente 2 e 4 g/kg, assim como o escoamento de Sudeste permanece, com ventos superiores a 5 m/s no litoral Paraibano, e como a velocidade vertical que mantém valores negativos para a região de estudo. Existe a presença de uma região de alta pressão sobre o Sudeste Brasileiro (não mostrada na figura) que contribui com o transporte de umidade do Oceano Atlântico para o litoral Nordeste.

00Z14JUN2019 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 500 hPa



00Z14JUN2019 Velocidade Vertical (Pa/s)
500 hPa

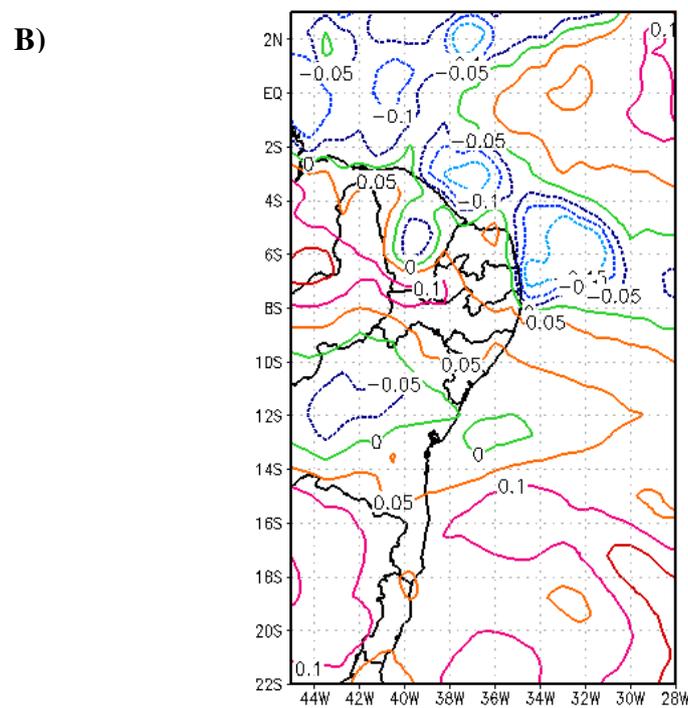
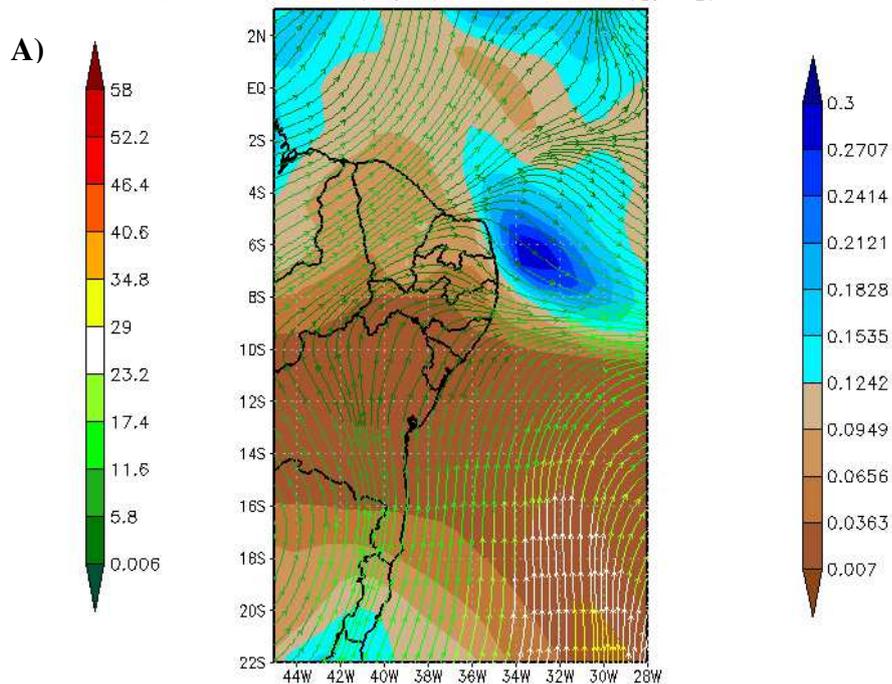


Figura 17. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 500 hPa, para 14 de junho de 2019, às 00 UTC.

A Figura 18 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 250 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. A partir da Figura 18, verifica-se ventos variando entre, aproximadamente 6 e 11 m/s, assim como o decaimento da umidade específica. Entre, aproximadamente 34°W e 28°W de longitude, nota-se a presença de um cavado (região de baixa pressão atmosférica) em altos níveis (não mostrado por completo na figura). A região de alta pressão sobre o Sudeste Brasileiro observada em 500 hPa permanece em altos níveis, em que o escoamento oriundo desse sistema de alta pressão conflui com o escoamento do cavado sobre o Oceano Atlântico, resultando em ventos de Sudoeste sobre a região analisada.

00Z14JUN2019 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 250 hPa



00Z14JUN2019 Velocidade Vertical (Pa/s)
250 hPa

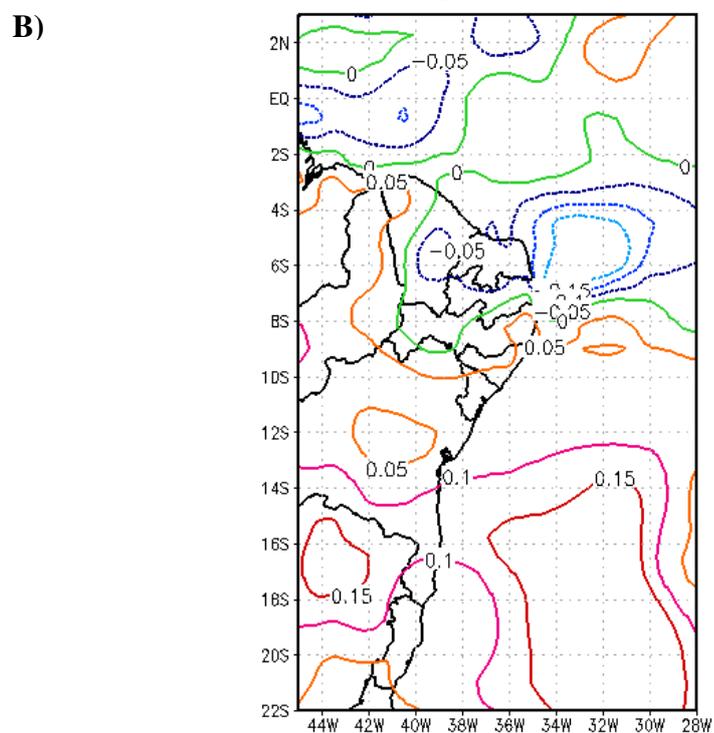
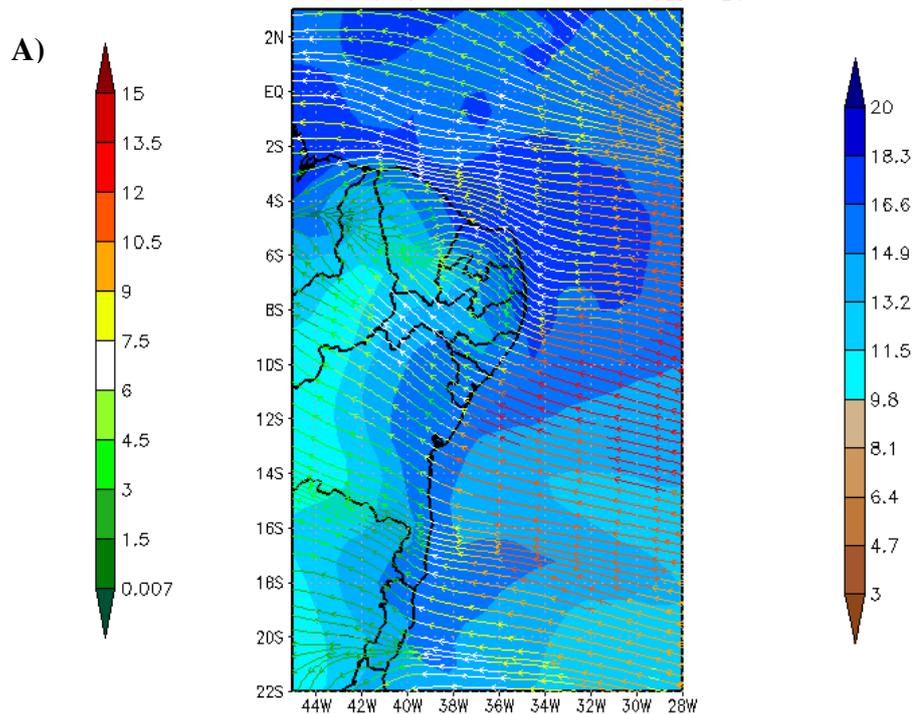


Figura 18. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 250 hPa, para 14 de junho de 2019, às 00 UTC.

Foram gerados, ainda, campos de vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para os níveis de 1000, 850, 500 e 250 hPa, no horário das 00 UTC, a partir de dados de reanálise oriundos do ERA-*Interim*, do ECMWF. para o dia anterior ao evento registrado, dia 13 de junho de 2019. A Figura 19 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 1000 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude.

A partir da Figura 19, verifica-se a umidade específica variando em torno de 15 g/kg, ventos de sudeste com velocidade entre 6 e 9 m/s são observados. A velocidade vertical é negativa, indicando movimento ascendente. Percebe-se que não houveram variações significativas nos campos de vento, umidade específica e velocidade vertical entre os dias 13 e 14 de junho de 2019.

00Z13JUN2019 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 1000 hPa



00Z13JUN2019 Velocidade Vertical (Pa/s)
1000 hPa

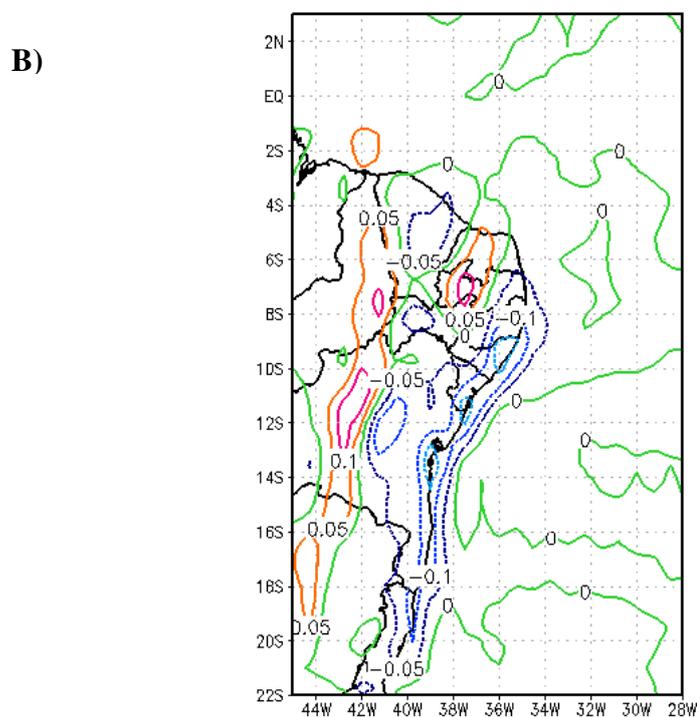
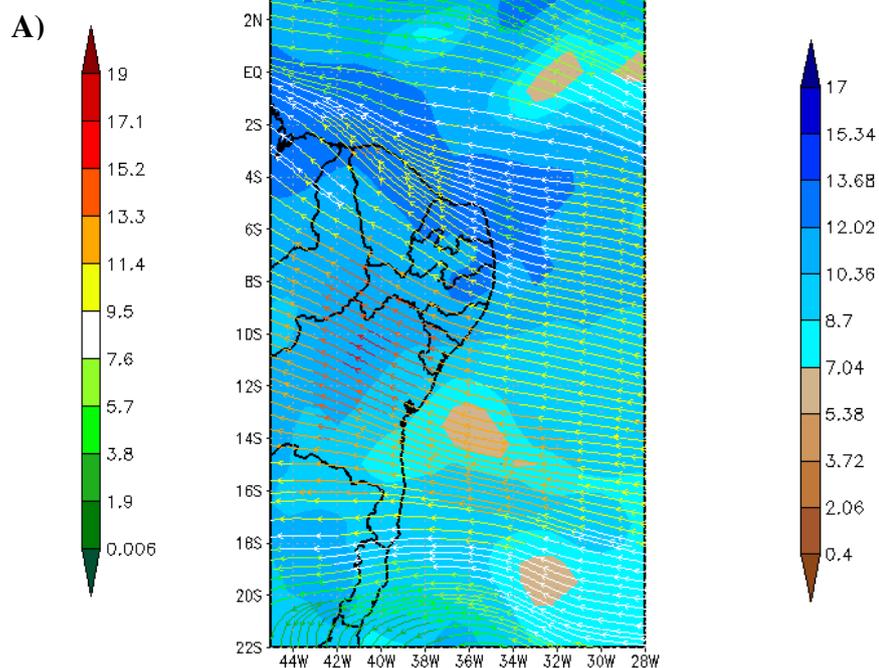


Figura 19. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 1000 hPa, para 13 de junho de 2019, às 00 UTC.

A Figura 20 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 850 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. A partir da Figura 20, observa-se que os ventos mantêm aproximadamente o mesmo escoamento de sudeste, com velocidade variando entre 7,6 e 9,5 m/s. A velocidade vertical observada para a área de estudo é negativa, e a umidade específica varia entre, aproximadamente, 12 e 13,6 g/kg. Entre os dias 13 e 14 de junho verificou-se um decaimento de aproximadamente 10 g/kg na umidade específica, assim como, ventos mais fortes no dia 13 de junho, para o nível analisado.

00Z13JUN2019 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 850 hPa



00Z13JUN2019 Velocidade Vertical (Pa/s)
850 hPa

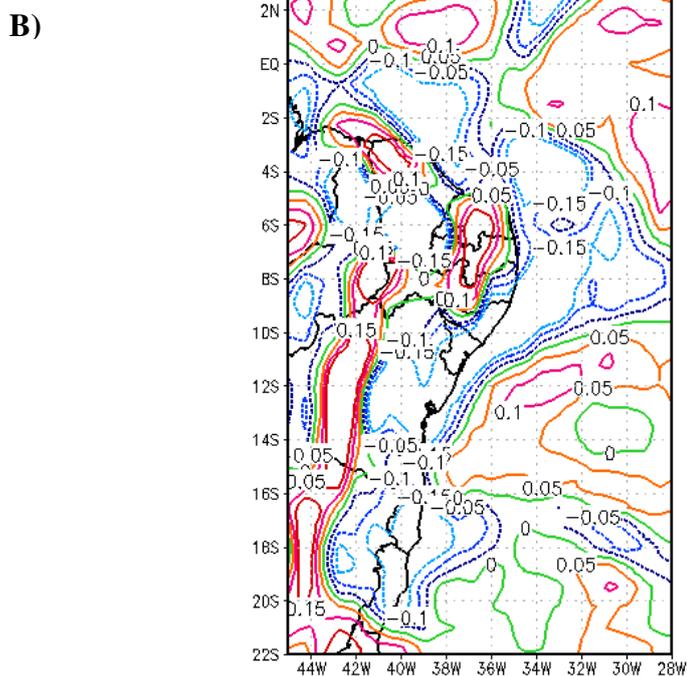
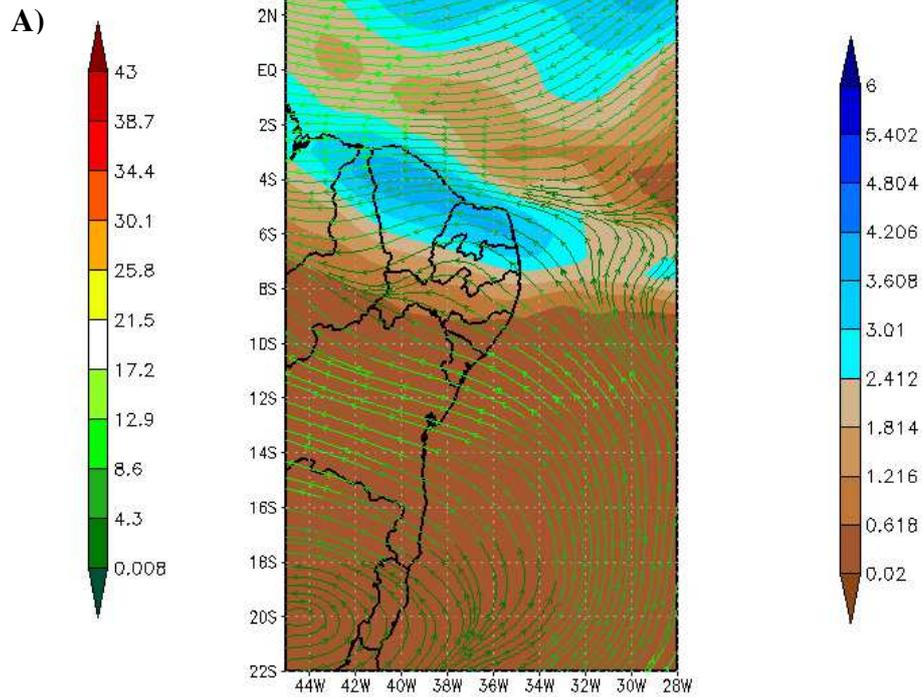


Figura 20. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 850 hPa, para 13 de junho de 2019, às 00 UTC.

A Figura 21 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 500 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. A partir da Figura 21, nota-se um decaimento na umidade específica, apresentando variação, entre aproximadamente, 2,4 e 3 g/kg. Os ventos de sudeste estão mais acentuados, com velocidade entre 8,6 e 12,9 m/s. A velocidade vertical se mantém negativa. Comparando-se os dias 13 e 14, nota-se que a umidade específica variou pouco, enquanto a velocidade do vento diminuiu. É possível identificar o sistema de alta pressão, presente sobre Sudeste brasileiro, (não mostrado na Figura 17) com seu centro sobre o estado de Minas Gerais. A presença desse sistema influencia no escoamento que traz umidade do Oceano Atlântico para o litoral Nordeste (Figura 21).

00Z13JUN2019 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 500 hPa



00Z13JUN2019 Velocidade Vertical (Pa/s)
500 hPa

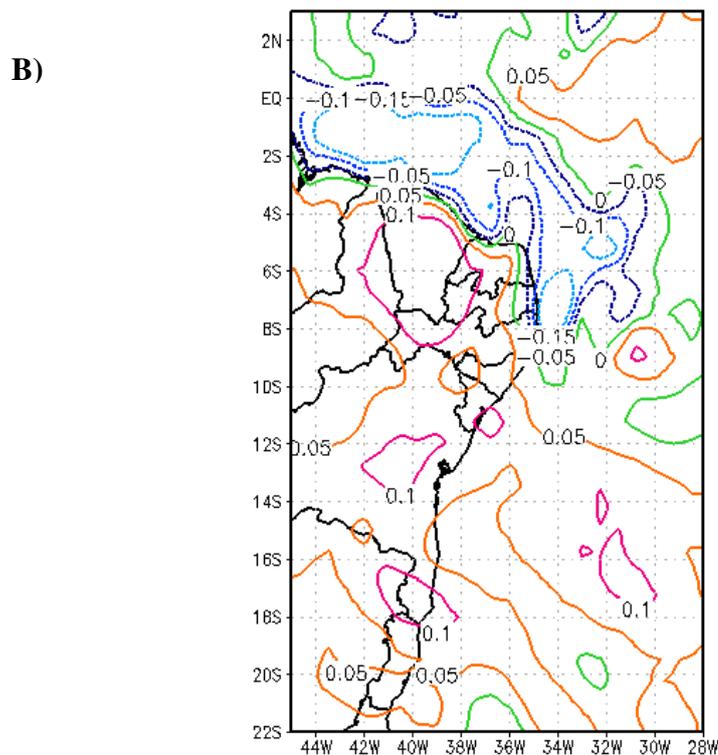
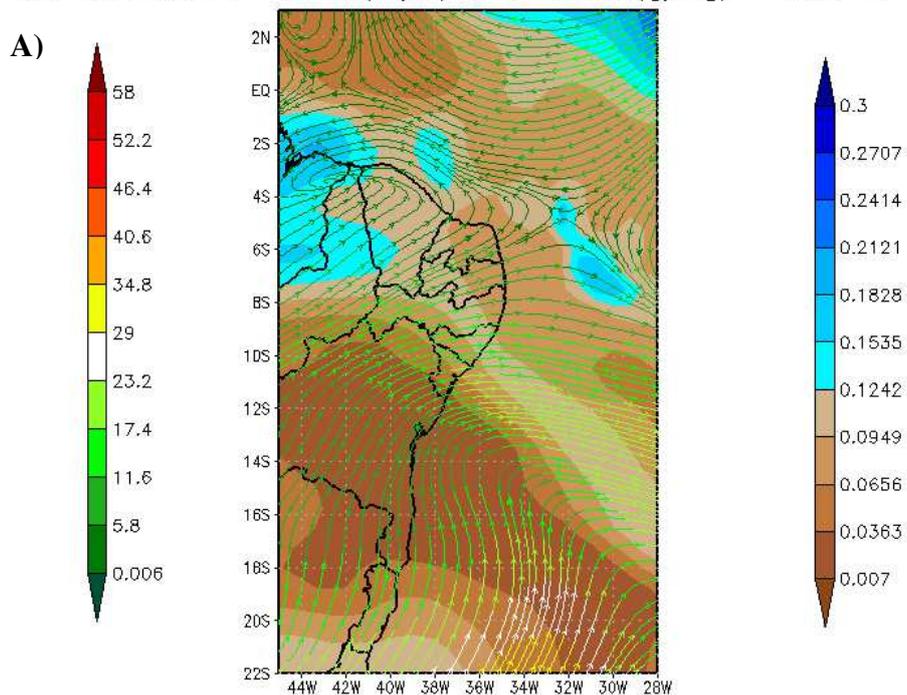


Figura 21. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 500 hPa, para 13 de junho de 2019, às 00 UTC.

A Figura 22 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 250 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. A partir da Figura 22, observa-se a umidade específica com valores entre 0,06 e 0,09 g/kg, e ventos de Sudoeste com velocidade entre 5,8 e 11,6. Para este nível, a velocidade vertical observada está variando entre -0,05 e 0 (Pa/s). O cavado identificado (Figura 18) mais deslocado para o Oceano Atlântico, se encontra mais próximo ao litoral da Bahia no dia 13 de junho, como mostrado na Figura 22.

00Z13JUN2019 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 250 hPa



00Z13JUN2019 Velocidade Vertical (Pa/s)
250 hPa

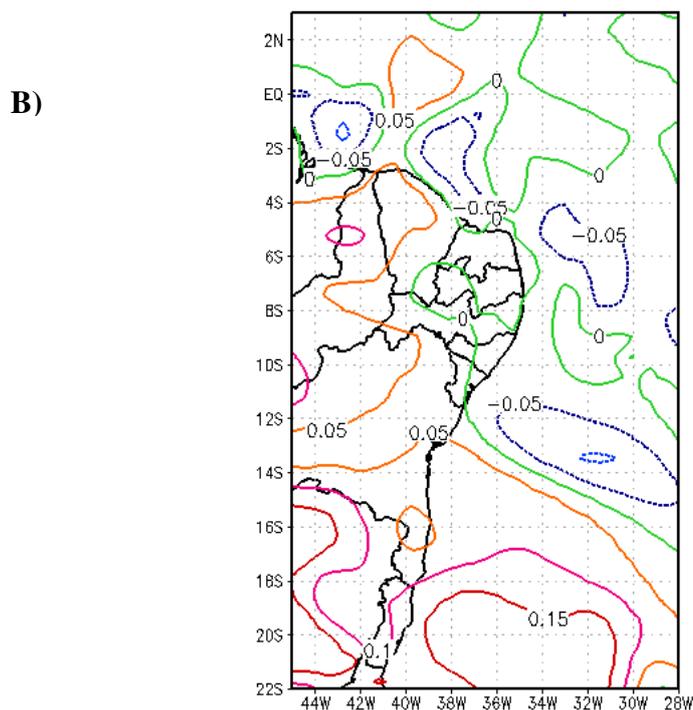


Figura 22. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B), para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 250 hPa, para 13 de junho de 2019, às 00 UTC.

A Figura 23 apresenta imagens do satélite METEOSAT, nos horários das 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 UTC, no canal infravermelho, com destaque para a América do Sul, para 14 de junho de 2019. A partir da Figura 23, é possível visualizar nebulosidade e áreas de instabilidade nas regiões mais afetadas pela configuração ocorrida no leste do NEB, em 14 de junho de 2019. Nota-se que Natal – RN e Recife – PE também estão sob a área de influência do escoamento de Sudeste que trouxe umidade do Oceano Atlântico para o litoral do NEB.

No dia 13 de junho de 2019, A Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) emitiu um aviso meteorológico sobre previsão de chuva representativa em áreas localizadas do setor leste da Paraíba, de acordo com o aviso emitido, o deslocamento de aglomerados de nuvens de chuva oriundos do Oceano Atlântico em direção à costa paraibana deixaria o tempo com muitas nuvens e favorável à ocorrência de chuvas de intensidade moderada a forte em áreas localizadas do setor leste (Agreste, Brejo e Litoral) da Paraíba. Com isto, a AESA sugeriu estado de atenção por no mínimo 48 horas (Sala de situação – AESA, 2019).

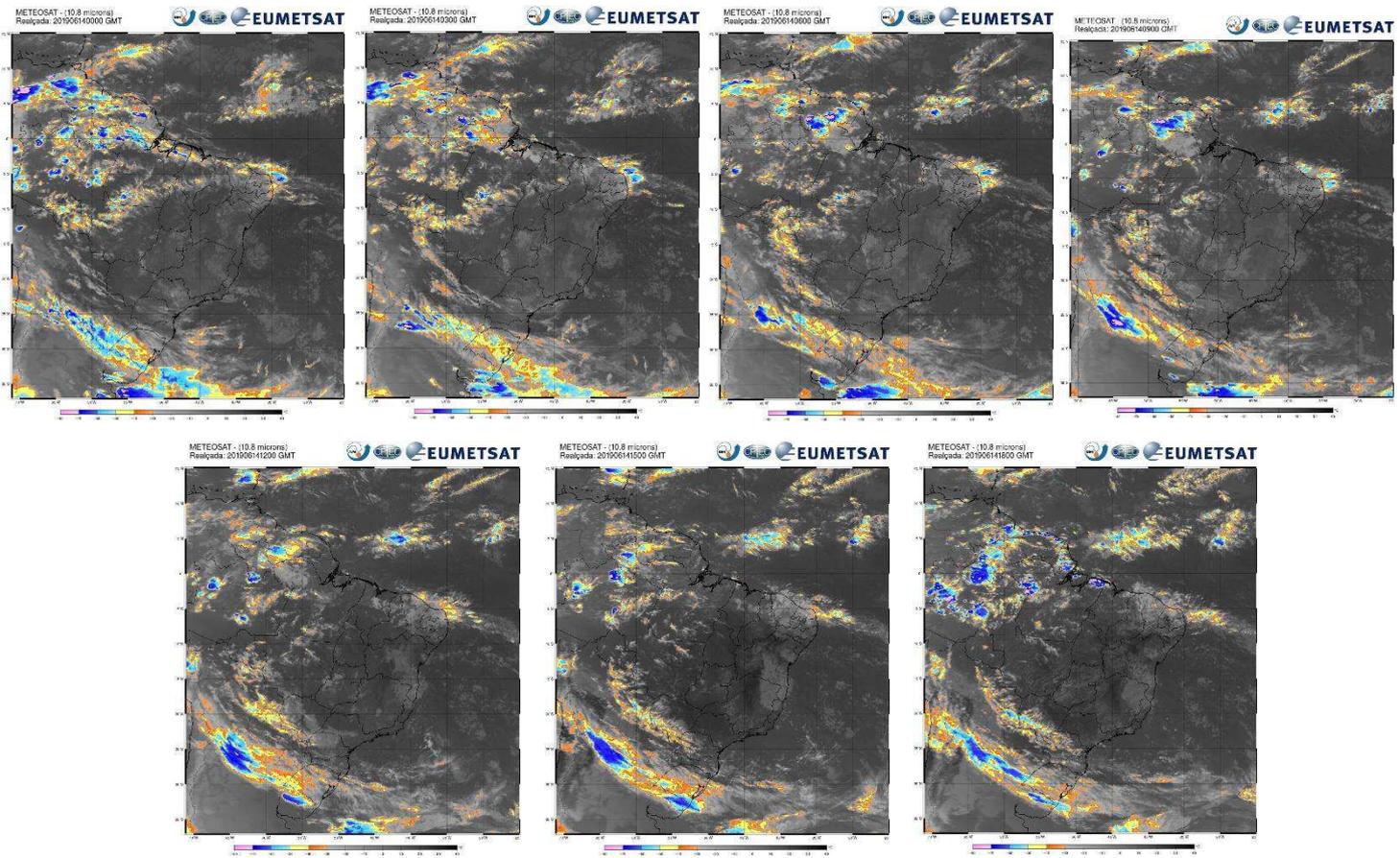


Figura 23. Imagens do satélite METEOSAT nos horários das 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 UTC, no canal infravermelho, com destaque para a América do Sul, para 14 de junho de 2019. (Copyright 2010-2012 EUMETSAT). Fonte: CPTEC, 2021.

A partir da Figura 24 observa-se a anomalia de precipitação para o Brasil, para o mês de junho de 2019. Em junho de 2019 choveu 275,6 em Natal – RN e 463,9 mm em Recife – PE, cerca de 75 e 85 mm acima da média climatológica para o mês, respectivamente. Enquanto em João Pessoa – PB, choveu 659,6 mm, mais de 300 mm acima da média climatológica, como pode ser verificado na Figura 24.

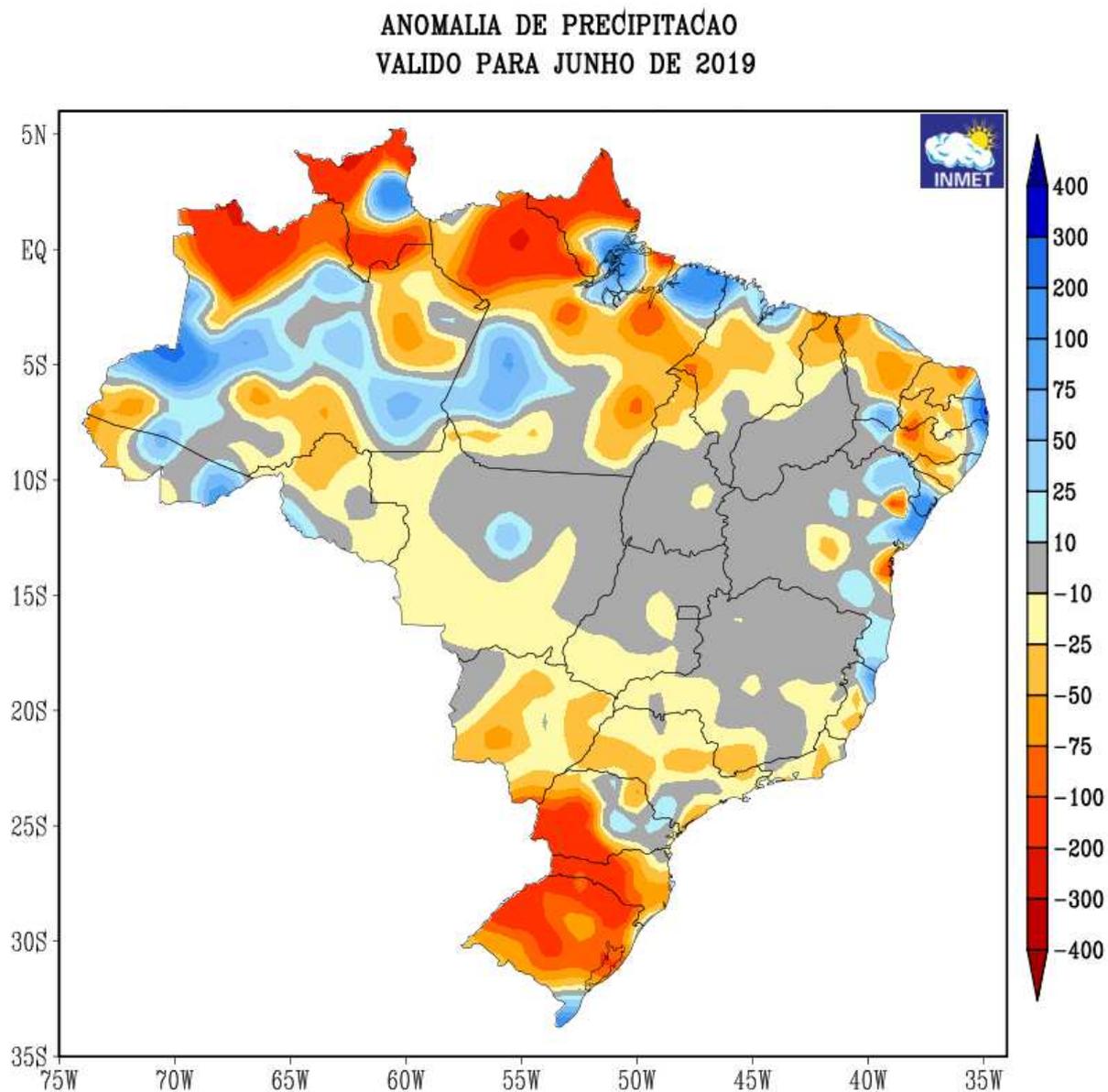


Figura 24. Anomalia de precipitação para o Brasil, para o mês de junho de 2019. Fonte: INMET, 2021.

- **Estudo de caso: Maceió/AL – 27 de maio de 2017**

Elevados volumes de precipitação atingiram Maceió – AL em maio de 2017. Em 27 de maio de 2017, foi registrado 173 mm de precipitação, e no dia seguinte, 28 de maio, foi registrado, aproximadamente, 110 mm. Entre os dias 26 e 28 choveu o equivalente a 86,76% da climatologia (382,2 mm) para o mês de maio, somado a isto, entre os dias 21 e 28 foram contabilizados 602,2 mm. Em maio de 2017 choveu 813,2 mm em Maceió - AL, 112% a mais que a chuva esperada para todo o mês.

Segundo o alerta n. 1085, emitido pelo CEMADEN em 24 de maio de 2017, o governo do município retirou a maior parte das pessoas que estavam em área de risco, abrigando 258 pessoas, entretanto, outras 3024 pessoas permaneciam desabrigadas, estas sendo alocadas em casas de parentes, devido a suas casas estarem parcialmente ou totalmente destruídas. Estimou-se que 507.200 pessoas sofreram com os alagamentos espalhados pela cidade, grandes centros comerciais ficaram inacessíveis, quedas de árvores causaram danos ao patrimônio, e em áreas de encostas que possuem alta taxa populacional. Por causa das precipitações desse período, ocorreram, deslizamentos de terra, resultando em 7 óbitos, 1 pessoa desaparecida, 37 pessoas feridas, e um total de 32 municípios atingidos em todo o estado (Alerta n. 1085, CEMADEN, 2017).

A cidade de Maceió – AL teve a situação de calamidade pública decretada (decreto n. 8.443) pelo governo municipal após seis dias de chuvas intensas. Uma equipe da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), do Ministério da Integração Nacional, assim como homens do Exército Brasileiro foram enviados para Alagoas para auxiliar o governo estadual nas ações emergenciais de socorro e assistência à população afetada pelas fortes chuvas. (Tribuna Hoje, 2019).



Figura 25. Registros de notícias ocorridos em Maceió - AL, para o dia 27 de maio de 2017. Fonte: Agência Brasil; Tribuna Hoje; G1; <https://fotospublicas.com/>.

Para verificar as condições atmosféricas atuantes nesse evento, foram plotados campos de vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical, para os níveis de 1000, 850, 500 e 250 hPa, para o horário das 00 UTC (21h no horário de Brasília), a partir de dados de reanálise oriundos do ERA *Interim* (ECMWF). A Figura 26 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 1000 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, para 27 de maio de 2017.

A partir da Figura 26, observa-se ventos de sudeste trazendo umidade do Oceano Atlântico para o litoral Nordeste, variando entre, aproximadamente, 6 e 9 m/s na costa do estado de Alagoas, com umidade específica variando entre, aproximadamente, 15 e 18 g/kg. A velocidade vertical tem sinal negativo, indicando movimento ascendente.

00Z27MAI2017 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 1000 hPa

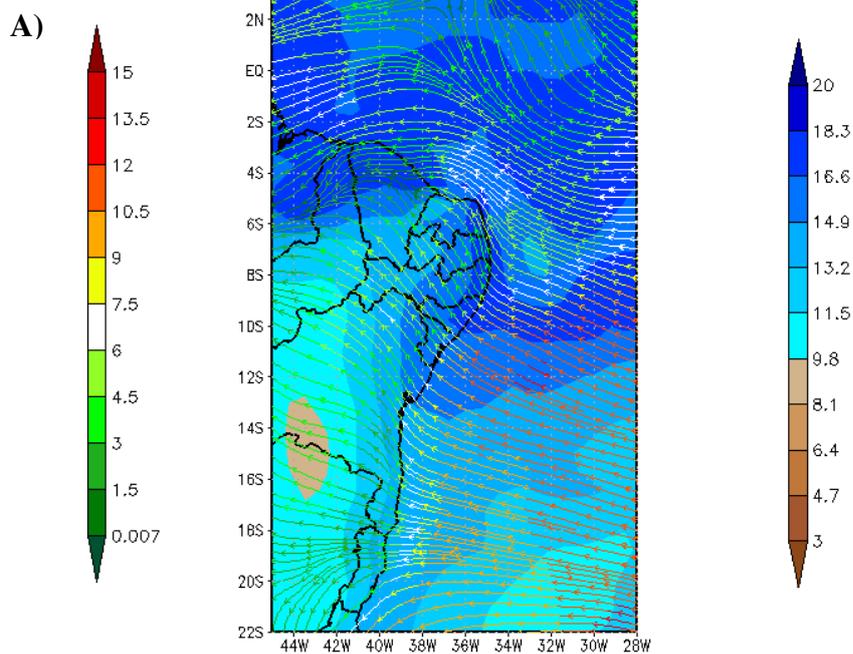
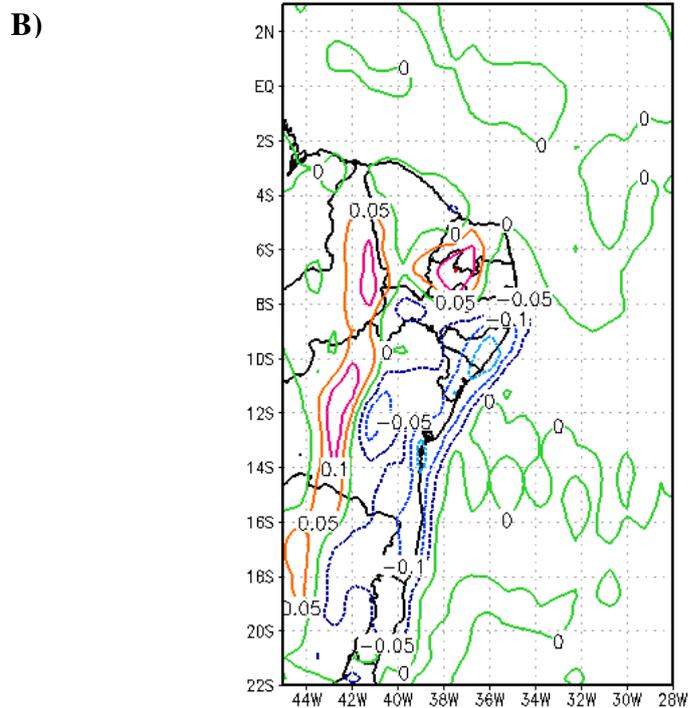
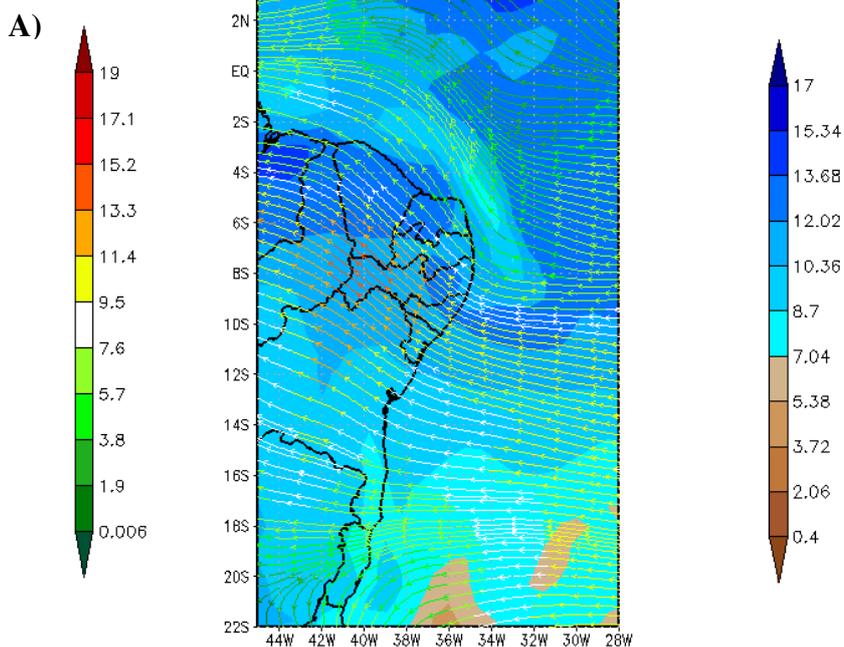
00Z27MAI2017 Velocidade Vertical (Pa/s)
1000 hPa

Figura 26. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 1000 hPa, para 27 de maio de 2017, às 00 UTC.

A Figura 27 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 850 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. Nota-se, que a velocidade do vento aumenta, passando a variar entre 7,6 e 11,4 m/s, sendo que sua direção se torna quase de leste, trazendo, ainda umidade do oceano para o continente. A umidade específica decai, variando, aproximadamente, entre 8 e 13 g/kg. Velocidade vertical negativa e movimentos ascendentes ainda são verificados para este nível.

00Z27MAI2017 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 850 hPa



00Z27MAI2017 Velocidade Vertical (Pa/s)
850 hPa

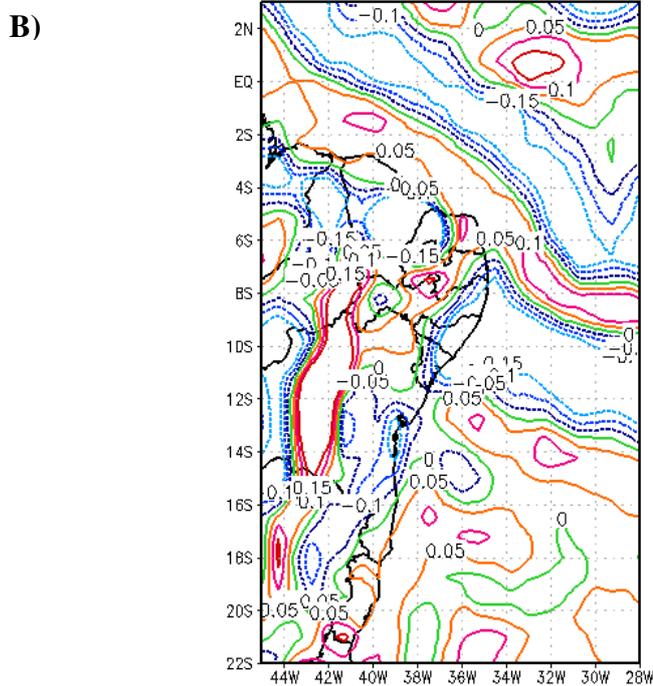
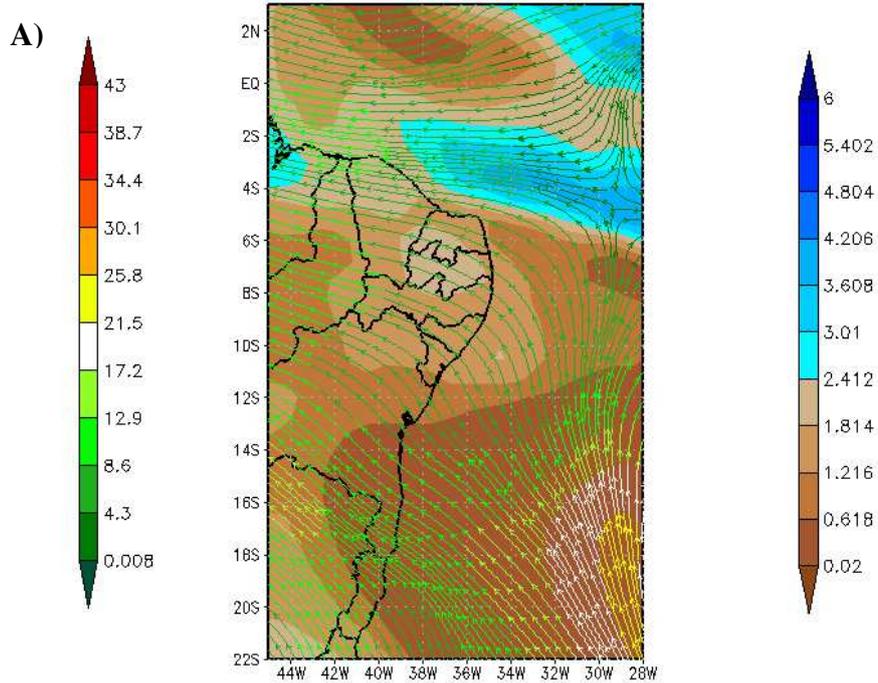


Figura 27. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 850 hPa, para 27 de maio de 2017, às 00 UTC.

A Figura 28 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 500 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. Verifica-se, a partir da Figura 28, ventos de sudeste, com velocidade entre 4,3 e 8,6 m/s, e umidade específica variando entre 1,2 e 1,8 g/kg, na costa do estado de Alagoas. Para o nível de 500 hPa o valor obtido para a velocidade vertical variou entre -0,05 e 0 Pa/s.

00Z27MAI2017 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 500 hPa



00Z27MAI2017 Velocidade Vertical (Pa/s)
500 hPa

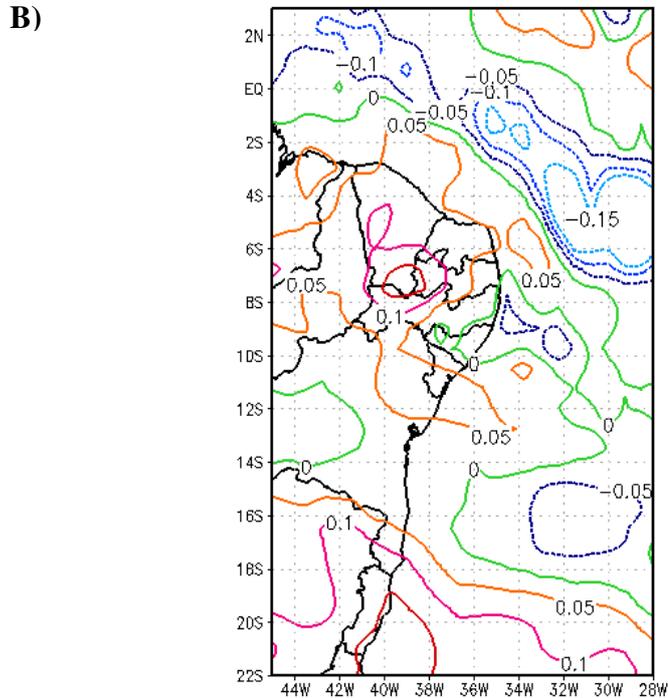
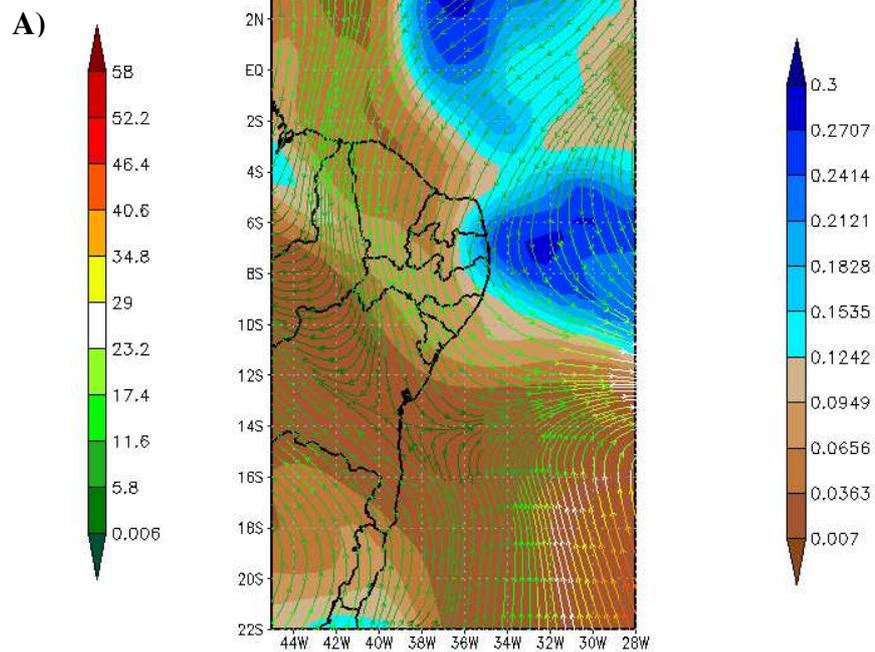


Figura 28. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 500 hPa, para 27 de maio de 2017, às 00 UTC.

A Figura 29 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 250 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. Verifica-se velocidade vertical positiva, implicando movimento descendente em altos níveis. A umidade específica apresenta variação entre, aproximadamente, 0,06 e 0,1 g/kg. São verificados, ainda, ventos de Noroeste, variando entre, aproximadamente, 17,4 e 23,2 m/s. Observa-se, ainda, a presença de um cavado no Oceano Atlântico (não mostrado por completo na figura), e de um vórtice (não mostrado por completo na figura), aproximadamente sobre o estado do Pará, que contribui para esse escoamento de Noroeste verificado sobre Alagoas (Figura 26).

00Z27MAI2017 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 250 hPa



00Z27MAI2017 Velocidade Vertical (Pa/s)
250 hPa

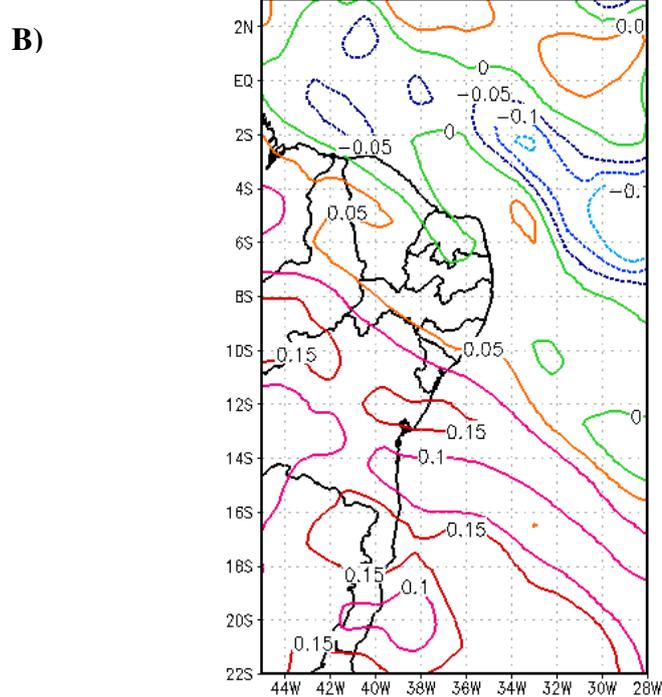
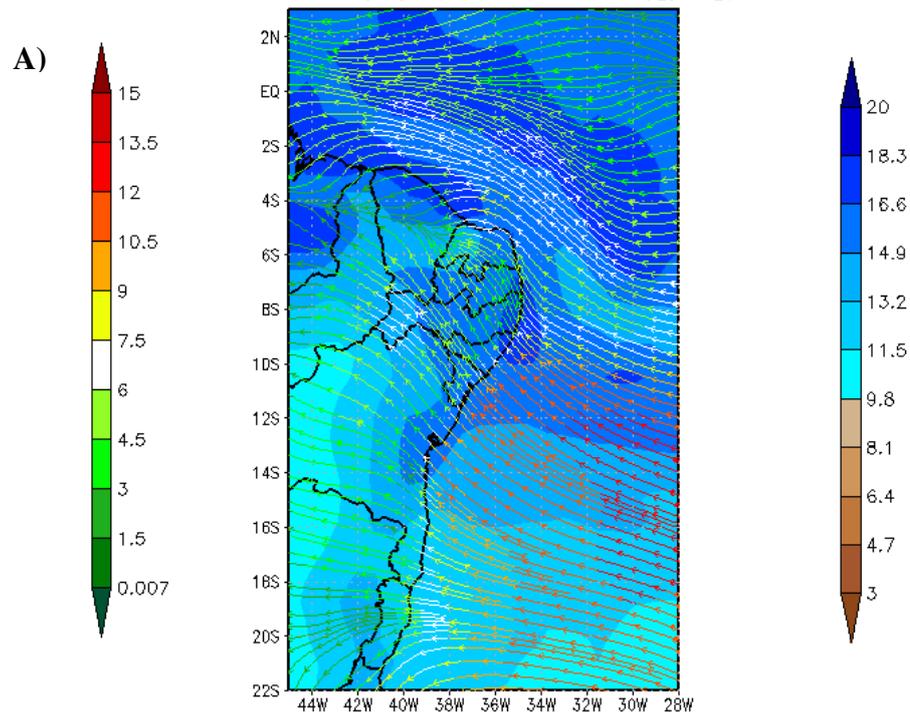


Figura 29. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 250 hPa, para 27 de maio de 2017, às 00 UTC.

Assim como no episódio anterior, foram gerados campos de vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para os níveis de 1000, 850, 500 e 250 hPa, no horário das 00 UTC, a partir de dados de reanálise oriundos do ERA-*Interim*, do ECMWF, para o dia anterior ao evento registrado, dia 26 de maio de 2017. A Figura 30 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 1000 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. Assim como no dia 27 (Figura 26), a velocidade do vento varia entre 6 e 9 m/s, com direção de sudeste, e umidade específica entre 15 e 18 g/kg. A velocidade vertical tem sinal negativo, indicando movimento ascendente.

00Z26MAI2017 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 1000 hPa



00Z26MAI2017 Velocidade Vertical (Pa/s)
1000 hPa

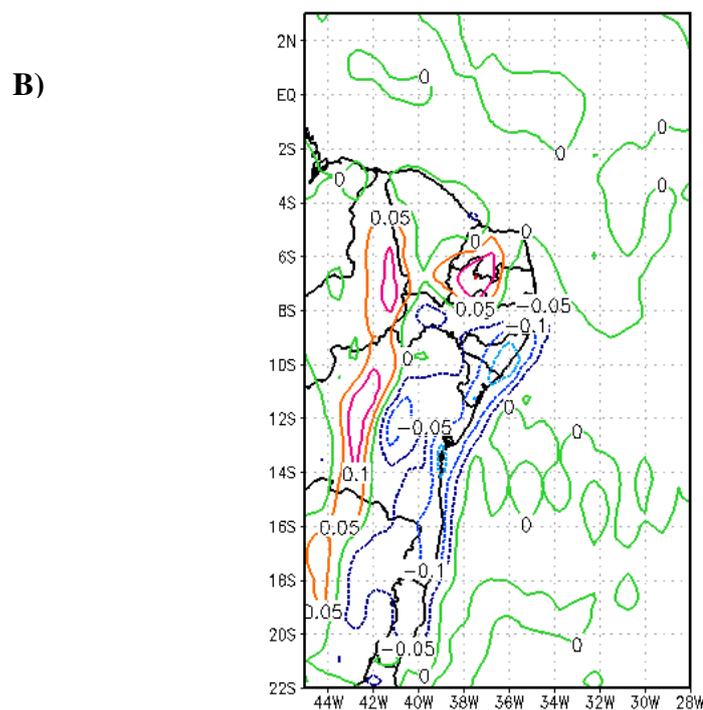
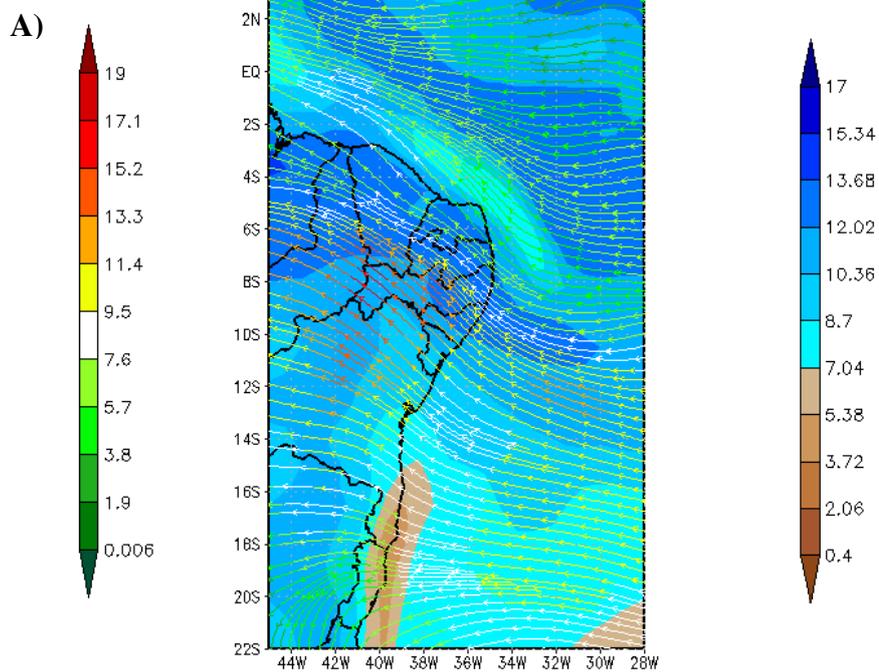


Figura 30. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 1000 hPa, para 26 de maio de 2017, às 00 UTC.

A Figura 31 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 850 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. A partir da Figura 31, verifica-se que o vento de Sudeste chega mais forte na maior parte do litoral Alagoano, com velocidade entre 9,5 e 11,4 m/s, no entanto ainda são registradas velocidades entre 7,6 e 9,5 m/s. A umidade específica continua variando entre, aproximadamente, entre 8 e 13 g/kg. Velocidade vertical negativa e movimentos ascendentes são verificados para este nível.

00Z26MAI2017 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 850 hPa



00Z26MAI2017 Velocidade Vertical (Pa/s)
850 hPa

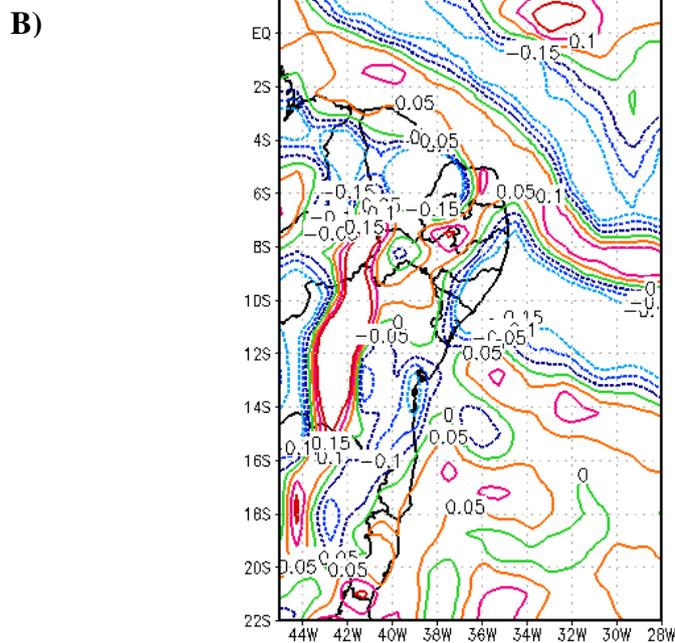


Figura 31. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 850 hPa, para 26 de maio de 2017, às 00 UTC.

A Figura 32 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 500 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, para 26 de maio de 2017. Nota-se menores valores de umidade específica quando comparado com 27 de maio, sendo sua variação entre 0,6 e 1,2 g/kg. A velocidade do vento varia entre 8,6 e 17,2, com ventos de Sudeste. Assim como, no dia 27 de maio, o valor obtido para a velocidade vertical variou entre -0,05 e 0 Pa/s.

00Z26MAI2017 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 500 hPa

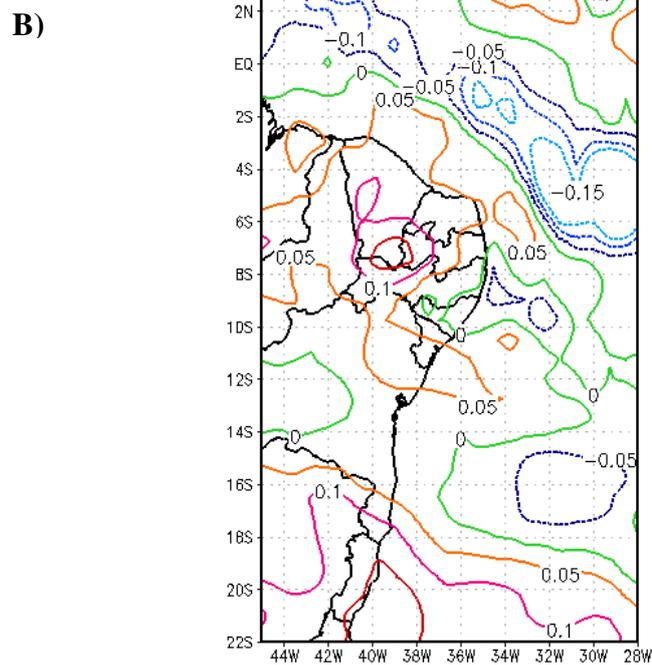
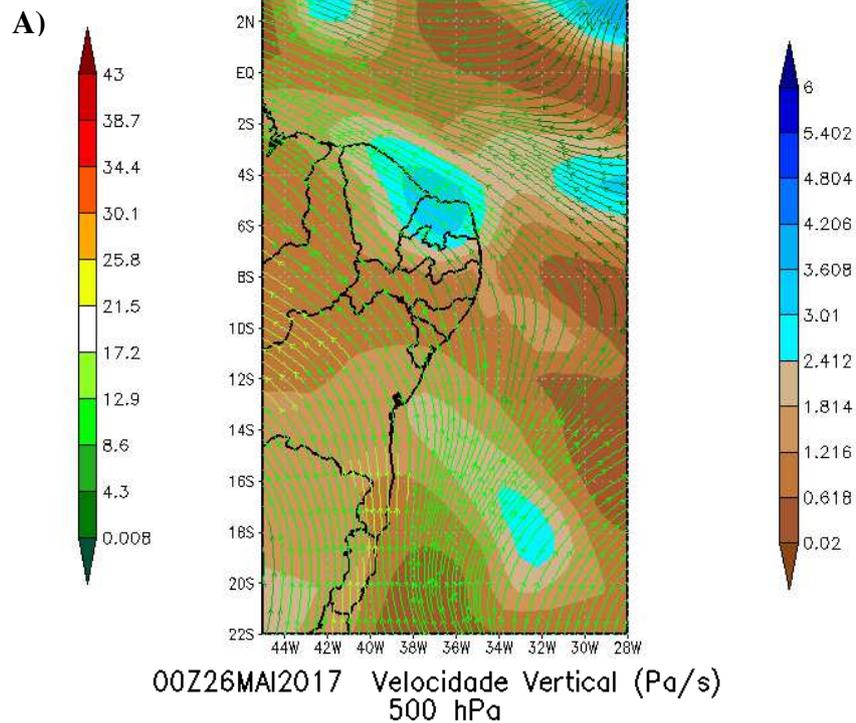


Figura 32. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 500 hPa, para 26 de maio de 2017, às 00 UTC.

A Figura 33 apresenta as variáveis vento (linhas de corrente), umidade específica e velocidade vertical para o nível de pressão de 250 hPa, para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude. Observa-se, ventos de Noroeste e Sudeste com velocidade variando entre 5,8 e 11,6 m/s, valores mais baixos que os observados no dia 27 de maio. A umidade específica apresenta variação de 0,007 e 1,2 g/kg. A velocidade vertical obtida foi positiva, implicando movimento descendente em altos níveis. É possível uma melhor visualização da presença de um cavado no Oceano Atlântico e de um vórtice, como mencionado na Figura 29. O vórtice se deslocou para o Oceano Atlântico Norte, na altura do estado do Pará (não mostrado na Figura). No dia 26 de maio, observa-se, ainda a atuação de um centro de alta pressão sobre, aproximadamente, o centro do Brasil (não mostrado na Figura), porém é possível visualizar o escoamento desse sistema (setas brancas sobre o continente) que influencia os ventos de sudeste sobre Alagoas.

00Z26MAI2017 Vento(m/s) e Umidade(g/kg) – 250 hPa

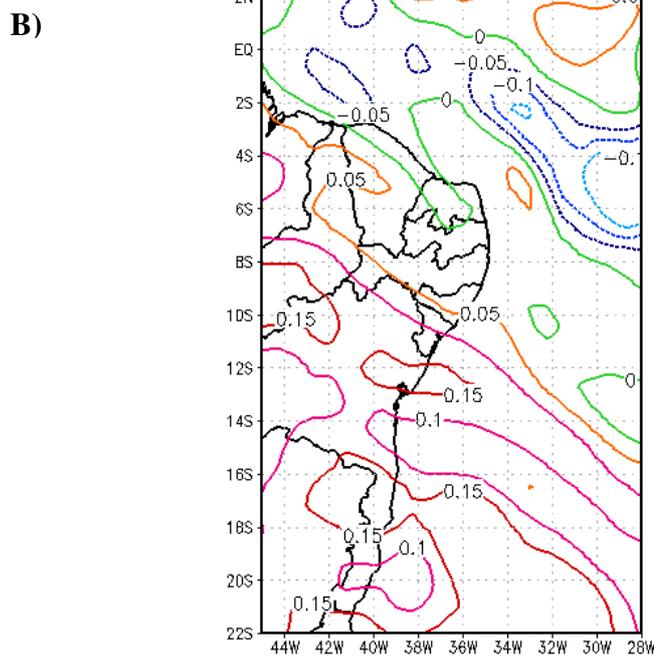
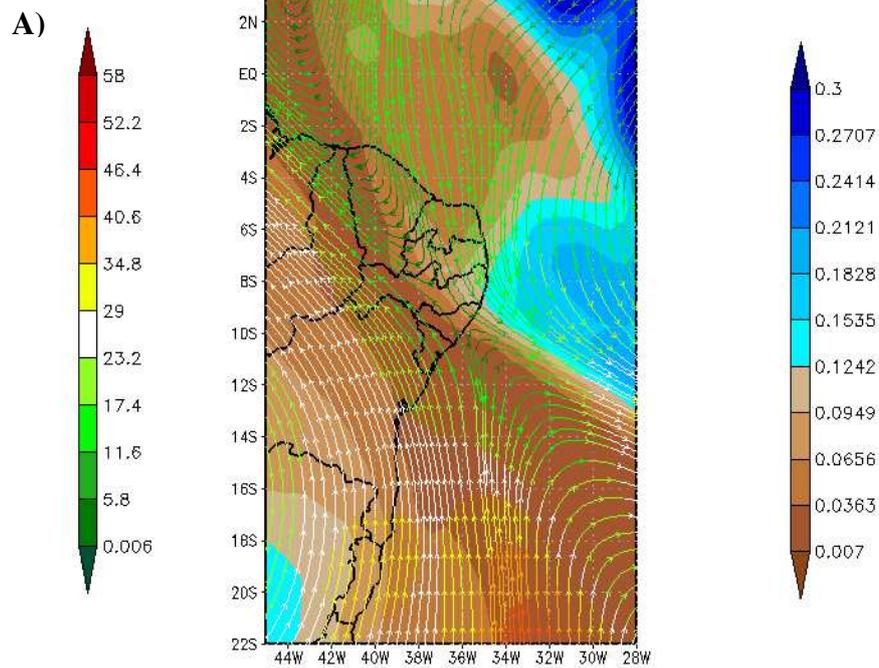


Figura 33. Distribuição espacial do vento (linhas de corrente) (m s^{-1}) e umidade específica (g kg^{-1}) (A), e velocidade vertical (Pa s^{-1}) (B) para a área correspondente às coordenadas de 2°N a 22°S de latitude e 44°W e 28°W de longitude, no nível de pressão de 250 hPa, para 26 de maio de 2017, às 00 UTC.

A Figura 34 apresenta imagens do satélite GOES-13, horários das 00, 09, 12, 15 e 21 UTC, no canal infravermelho, com destaque para o Nordeste do Brasil, para 27 de maio de 2017. A partir da Figura 34, é possível visualizar nebulosidade e áreas de instabilidade sobre o litoral de Alagoas.

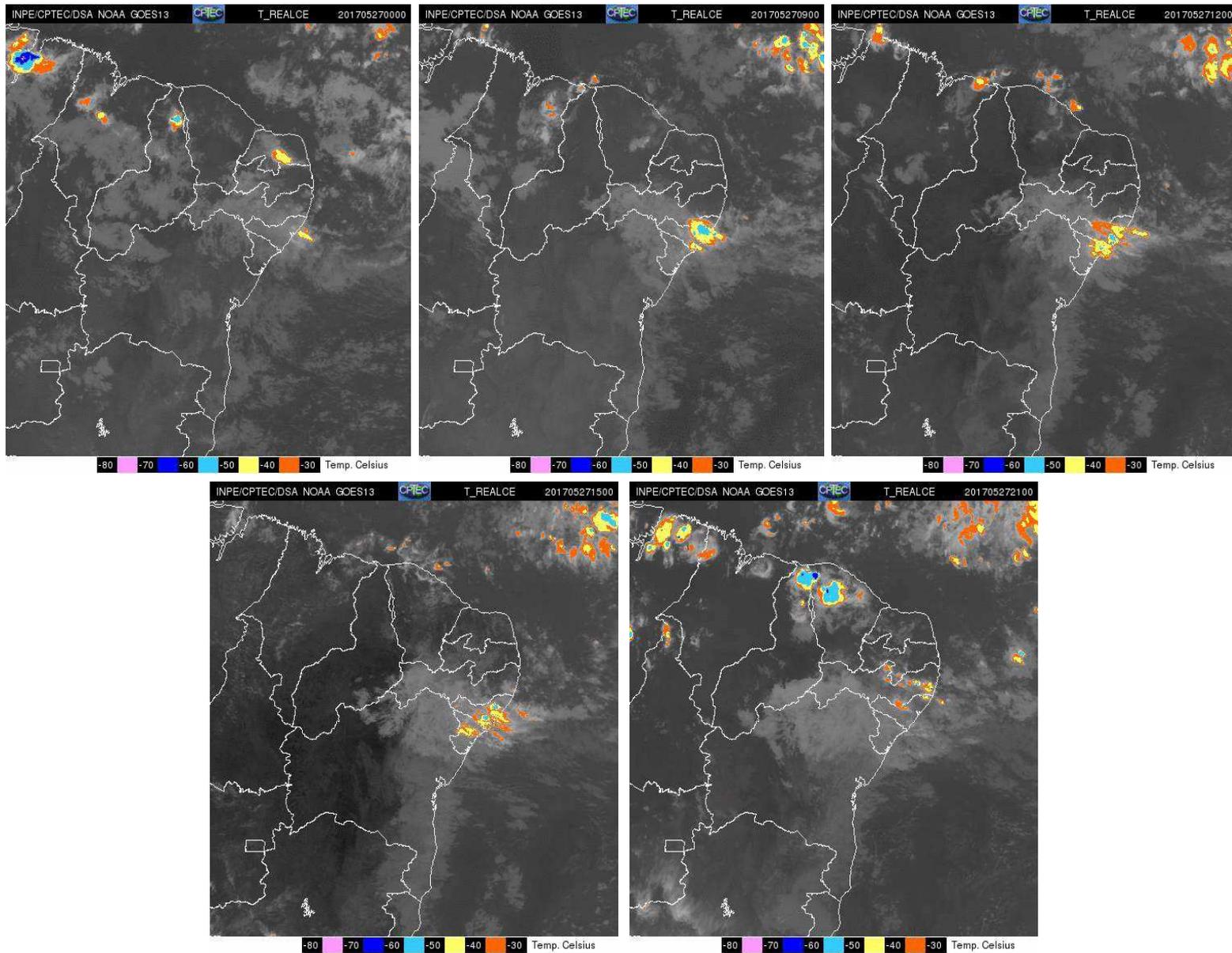
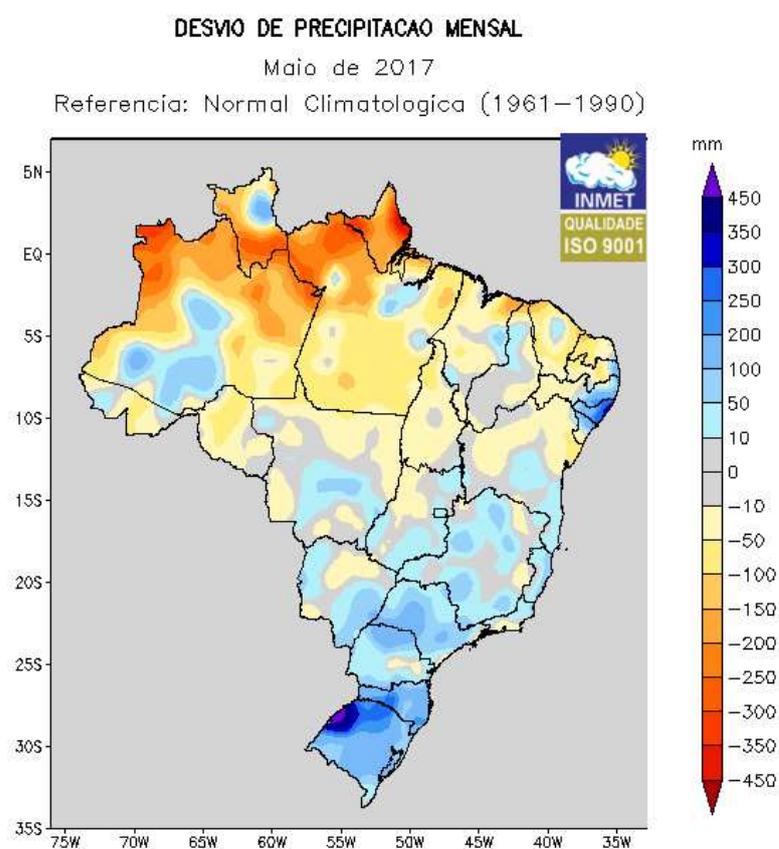


Figura 34. Imagens do satélite GOES-13 nos horários das 00, 09, 12, 15 e 21 UTC, no canal infravermelho, com destaque para o Nordeste do Brasil, para 27 de maio de 2017. (Fonte: CPTEC, 2021).

Como mencionado anteriormente, em maio de 2017 choveu 813,2 mm em Maceió - AL, 112% a mais que a chuva esperada para todo o mês, sendo possível visualizar essa informação através da Figura 35 que apresenta a anomalia de precipitação para o Brasil, para o mês de maio de 2017. Anomalias positivas são verificadas em alguns estados do litoral leste, porém Maceió – AL se destaca com valor de anomalia bastante superior aos demais estados nordestinos.



GrADS: COLA/IGES

2017-06-07-13:37

Figura 35. Anomalia de precipitação para o Brasil, para o mês de maio de 2017. Fonte: INMET, 2021.

Para Silva et al. (2011), os mecanismos de formação e desenvolvimento dos sistemas meteorológicos que afetam o estado de Alagoas ainda não foram plenamente estabelecidos, e a interação dos processos atmosféricos, não somente em Alagoas, mas em boa parte do NEB, constitui um problema de identificação dos sistemas sinóticos naquela área, especialmente se tratando de sistemas causadores de precipitações extremas. Os autores identificaram diferentes sistemas sinóticos e de mesoescala associados a precipitações extremas no estado de Alagoas, durante um período de três anos, e concluíram que os mecanismos que mais contribuíram na origem e na manutenção dos sistemas associados às precipitações extremas foram a divergência do vento em médios e altos níveis e a presença de cavados (região de baixa pressão) em baixos níveis.

Ressalta-se que, em ambos os casos, tanto em 27 de maio de 2017 quanto em 14 de junho de 2019, verifica-se que não foi a atuação de um sistema isolado que causou as precipitações extremas registradas nas localidades analisadas. Foi um conjunto de fatores, como a posição da Alta Subtropical do Atlântico Sul, presença de sistemas baixa e alta pressão em determinadas áreas do continente e/ou oceano Atlântico. Assim como, as instabilidades observadas estavam relacionadas à convergência de umidade em baixos níveis e à divergência em altos níveis. Sendo assim, interações entre sistemas atmosféricos, de mesoescala e escala sinótica, também podem ter gerado ou intensificado estas instabilidades.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, têm-se as seguintes conclusões:

- Todas as localidades analisadas, com exceção de Natal – RN, apresentaram maiores volumes de precipitação na Climatologia de 1961 a 1990. A cidade que mais chovia era Recife – PE, e a que menos chovia era Natal – RN), na primeira climatologia (1961 – 1990). Para a segunda climatologia (1981 – 2010), Recife – PE permanece como localidade que mais chove, enquanto a que menos chove passa a ser Aracaju – SE. De maneira geral, observou-se que Aracaju – SE não teve seu mês mais chuvoso alterado. João Pessoa – PB, Recife – PE e Salvador – BA têm seus meses mais chuvosos adiantado em pelo menos um, enquanto que Maceió – AL e Natal – RN, têm seus meses mais chuvosos retardados em ao menos um.
- Recife – PE e João Pessoa – PB são as localidades que mais chovem, enquanto Aracaju – SE é a localidade que menos chove. Verifica-se precipitações ≥ 150 mm/dia ocorrendo em todas as localidades, possuindo maior frequência após os anos 2000, já as precipitações ≥ 200 mm/dia ocorrem em Natal – RN, Recife – PE e Salvador – BA. Natal – RN é a localidade que apresenta mais registros de precipitação ≥ 200 mm/dia, e a localidade que apresenta máxima a precipitação diária (253,2 mm em julho de 1998), para o período de 1986 a 2020.
- A Teoria de Valores Extremos é aplicável para modelar as máximas precipitações diárias para a costa leste do NEB, a partir da distribuição Generalizada de Valores Extremos. Espera-se que pelo menos uma vez a cada dois anos, eventos extremos precipitação diária, entre 90,62 e 123,61 mm, ocorram nas capitais da costa leste do NEB. Para 5, 10 e 25 anos, espera-se ao menos um evento ocorrendo entre

118,59 e 155,49 mm; 133,31 e 184,68 mm; 148,47 e 237,32 mm, respectivamente, para a região de estudo.

- Salvador – BA e Aracaju – SE apresentam a maior e menor quantidade total de ocorrências registradas, respectivamente. Deslizamentos de terra, alagamentos, inundações, e enxurradas são as tipologias de desastres socioambientais ocorridos na costa leste do NEB. Sendo, deslizamentos de terra e alagamentos as tipologias mais registradas. Enxurrada é a única tipologia que não é observada em todas as localidades. Natal – RN e Aracaju – SE apresentam mais registros de alagamentos, enquanto João Pessoa – PB, Recife – PE, Maceió – AL, e Salvador – BA mais registros de deslizamentos de terra. Salvador – BA é a única localidade que apresenta registros em todos os meses do ano. Todas as localidades apresentaram maior quantidade de ocorrências de desastres socioambientais no outono. Foram identificados dois episódios de precipitação extrema associados a ocorrência de desastres socioambientais nas capitais da costa leste do NEB;
- Os eventos de precipitação extrema ocorridos nos dias 27 de maio de 2017 e 14 de junho de 2019 foram influenciados pela posição da Alta Subtropical do Atlântico Sul, bem como pela presença de sistemas de alta e baixa pressão em áreas sobre continente e/ou oceano Atlântico adjacente, contribuindo, assim com o transporte de umidade do Oceano Atlântico para o litoral do Nordeste brasileiro.

Esta pesquisa visa contribuir com novas informações sobre eventos extremos de precipitação pluvial diária na região estudada, bem como sobre a ocorrência de desastres socioambientais associados a precipitações extremas. Os resultados obtidos são úteis para ajudar os tomadores de decisão a formular políticas públicas visando minimizar os riscos causados por extremos de precipitação, principalmente quando estes contribuem com a ocorrência de desastres socioambientais. O foco desta pesquisa é particularmente importante para a região de estudo, uma vez que mudanças nos padrões de precipitação acarretam significativos impactos nos setores natural, social e econômico.

6. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

A partir dos resultados obtidos neste documento de Tese, sugere-se as seguintes pesquisas futuras:

- Modelar a máxima precipitação mensal e/ou sazonal;
- Modelar a máxima precipitação utilizando dados de reanálises e/ou satélite;
- Avaliar a aplicação da modelagem estatística para máximas precipitações a partir da Distribuição de Pareto;
- Ampliar o banco de dados para a análise da ocorrência de desastres socioambientais na costa leste do NEB, somando-se dados das agências estaduais;
- Avaliar mais detalhadamente as condições atmosféricas associadas a extremos de precipitação;
- Analisar o comportamento dos Oceanos Atlântico e Pacífico em episódios de eventos extremos de precipitação no litoral leste do NEB;
- Avaliar a suscetibilidade a deslizamentos considerando diferentes limiares de precipitação.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE, K. M. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. Kelen Martins Andrade. São José dos Campos, 2005. 187 p. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

AGEL, L.; BARLOW, M.; QIAN, J.; COLBY, F.; DOUGLAS, E.; EICHLER, T. Climatology of Daily Precipitation and Extreme Precipitation Events in the Northeast United States. **Journal of Hydrometeorology**, v. 16, p. 2537-2557, 2015.

AGEL, L.; BARLOW, M.; COLBY, F.; BINDER, H.; CATTO, J. L.; HOELL, A.; COHEN, J. Dynamical analysis of extreme precipitation in the US northeast based on large-scale meteorological patterns. **Climate Dynamics**, v. 52, p. 1739–1760, 2018.

ALMEIDA, L. Q. de; WELLE T.; BIRKMANN, J. Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 17, p. 251-272, 2016.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 2013. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. – Brasília: CENAD, 2014.

ÁVILA, A.; GUERRERO, F. C.; ESCOBAR, Y. C.; JUSTINO, F. Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes. **Water**, v. 11, p. 379, 2019.

ÁVILA, A.; JUSTINO, F.; WILSON, A.; BROMWICH, D.; AMORIM, M. Recent precipitation trends, flash floods and landslides in Southern Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 11, 2016.

BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA DO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (BDMEP - INMET) <<https://bdmep.inmet.gov.br/>> Acessado em agosto de 2019.

BAUTISTA, E. A. L. A distribuição generalizada de valores extremos no estudo da velocidade máxima do vento em Piracicaba, SP / Ezequiel Abraham López Bautista. Piracicaba, 2002. 61 p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

BEIJO, L. A. Distribuição de Gumbel: estudo de métodos de estimação dos parâmetros e ajuste aos dados de precipitação máxima de Lavras, Minas Gerais / Luiz Alberto Beijo. - Lavras: UFLA, 2002. 91 p.: il.

BEIJO, L. A. e AVELAR, F. G. Introdução à análise de valores extremos no R. 60^a RBras e 16^o SEAGRO, 2015. Disponível em: <https://cancri.ead.unesp.br/sigeve/evento_imagens/arq_apoio_5_1439146271.pdf>

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Disponível em: <<https://www.integracao.gov.br/protacao-e-defesa-civil/centro-nacional-de-gerenciamento-de-riscos-e-desastres-cenad/entenda-os-desastres>> Acessado em março de 2020.

CASTRO, A. L. C. C.; CALHEIROS, L. B.; CUNHA, M. I. R.; BRINGEL, M. L. N. C. **Manual de Desastres - Desastres Naturais**. Ministério da Integração Nacional. Volume I, Brasília: 2003.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. da S. D.; SILVA, M. G. A. J. da. Tempo e Clima no Brasil. **Oficina de Textos**, 2009. ISBN: 978-85-86238-92-5.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 7., Wellington, New Zealand, 2003. Proceedings... New Zealand: American Meteorological Society.

CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Síntese sinótica – Junho de 2019**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2019.

Disponível em:

<https://s1.cptec.inpe.br/admingpt/tempo/pdf/sintese_mensal_062019.pdf>. Acessado

em: Novembro de 2021.

CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Imagens

do satélite METEOSAT. Disponível em:

<<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic?i=br>>. Acessado em:

Novembro de 2021.

CEPED – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010**. Florianópolis, Ceped/Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS – CEMADEN. Disponível em: < <http://www.cemaden.gov.br/o-alerta/>> Acessado em março de 2020.

CHAN, C. S.; Análise de Distúrbios Ondulatórios de Leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. Chou Sin Chan. São José dos Campos, 1990. 134 p. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

DEBORTOLI, N. S.; CAMARINHA P. I. M.; MARENGO, J. A.; RODRIGUES, R. R. An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. **Natural Hazards**, v. 86, p. 557-582, 2017.

DIAS, M. A. F.; DIAS, J.; CARVALHO, L. M. V.; FREITAS, E. D.; DIAS, P. L. S. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, v, 116, p. 705–722, 2013.

DIAS, M. C. de A.; SAITO, S. M.; ALVALÁ, R. C. dos S.; SELUCHI, M. E.; BERNARDES, T.; CAMARINHA, P. I. M.; STENNER, C.; NOBRE, C. A. Vulnerability index related to populations at risk for landslides in the Brazilian Early Warning System (BEWS). **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 49, ISSN 2212-4209, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101742>, 2020.

DING, Y., CHENG, B., JIANG, Z. A newly-discovered GPD-GEV relationship together with comparing their models of extreme precipitation in summer. *Advances in Atmospheric Sciences*, 25(3), 507–516. <https://doi.org/10.1007/s00376-008-0507-5>, 2008.

EUROPEAN CENTER FOR MEDIUM RANGE WEATHER FORECASTS – ECMWF

Disponível em: < <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>> Acessado em março de 2020.

FERREIRA, R. R.; CORREA, M. J.; LIMA, K. C.; COUTINHO, M. D. L. Contribuição dos fluxos de umidade em evento de precipitação intensa ocorrido no leste do Nordeste do Brasil em maio de 2017: Um estudo de caso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.05, p.1844-1852, 2019.

FERREIRA, R. R.; SOUZA, E. P. de. Aspectos Termodinâmicos de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre a Região Nordeste do Brasil: um Estudo de Caso. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol. 42 – 3, p. 504-513, 2019. ISSN 0101-9759 e- ISSN 1982-3908.

FILHO, W. L. F. C.; LUCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. C. Precipitation Extremes Analysis over the Brazilian Northeast via Logistic Regression. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 4, p. 53-59, 2014.

FISHER, R. A., L. H. C. TIPPETT. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. **Proc. Cambridge Philos. Soc.**, 24, 180–190, DOI: 10.1017/S0305004100015681, 1928.

GALVANI, E. **Estatística descritiva em sala de aula**. In: VENTURI, L.A.B. Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Ed. Sarandi, 2011.

GOMES, H. B.; AMBRIZZI, T.; HERDIES, D. L.; HODGES, K.; SILVA, B. F. P. da. Easterly Wave Disturbances over Northeast Brazil: An Observational Analysis. **Advances in Meteorology**, Article ID 176238, 2015. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/176238>.

GRIMM, A. M.; Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, p. 537–554, 2011.

GRIMM, A. M. Madden–Julian Oscillation impacts on South American summer monsoon season: precipitation anomalies, extreme events, teleconnections, and role in the MJO cycle. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 907–932, 2019.

HAYLOCK, M.R.; PETERSON, T.C.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIÇÃO, Y.M.T.; BAEZ, J.; BARROS, V.R.; BERLATO, M.A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; GARCIA, V.J.; GRIMM, A.M.; KAROLY, D.; MARENGO, J.A.; MARINO, M.B.; MONCUNILL, D.F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J.L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L.A. Trends in total and extreme South American rainfall 1960–2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490–1512, 2006.

HOUNSOU-GBO, G. A.; ARAUJO, M.; BOURLÈS, B.; VELEDA, D.; SERVAIN, J. Tropical Atlantic Contributions to Strong Rainfall Variability Along the Northeast Brazilian Coast. **Advances in Meteorology**, 13 pages, 2015.

HUMMELL, B. M. de L.; CUTTER, S. L.; EMRICH, C. T. Social Vulnerability to Natural Hazards in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 7, p. 111-122, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População em áreas de risco no Brasil**, Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro: IBGE, 2018. 91 p.: il. ISBN 978-85-240-4468-7.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais climatológicas**. <<https://portal.inmet.gov.br/servicos/normais-climatologicas>> Acessado em agosto de 2019.

IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. **Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC**. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

JUNIOR, L. M.; FREITAS, C. M. de; LOPES, E. S. S.; CASTRO, G. R. C.; BARBOSA, H. A.; LONDE, L. R.; MAGNONI, M. da G. M.; SILVA, R. S.; TEIXEIRA, T.; FIGUEIREDO, W. dos S. **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. organizado por Lourenço Magnoni Junior, Carlos Machado de Freitas, Eymar Silva Sampaio Lopes, Gláucia Rachel Branco Castro, Humberto Alves Barbosa, Luciana Resende Londe, Maria da Graça Mello Magnoni, Rosicler Sasso Silva, Tabita Teixeira e Wellington dos Santos Figueiredo. – 2. ed. – São Paulo: CPS, 865 p., 2020.

LEWIS, S. C.; KING, A. D. Evolution of mean, variance and extremes in 21st century temperatures. **Weather and Climate Extremes**, v. 5, p. 1-10, 2017.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; ALLURED, D.; VERA, C. S.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V.; BLADE, I.; GONZALES, P. L. M. Mechanisms Associated with Large Daily Rainfall Events in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 24, p. 376 – 396, 2011.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, 81, 158–171, DOI:10.1002/qj.49708134804, 1955.

KOUSKY, V. E., Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140 – 1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, vol. 36, p. 538–551, 1981.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; YOUNG, A.; BARRETO, N. J. C.; RAMOS, A. M. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. **Annals of the New York Academy of Sciences**. Special Issue: The Year in Climate Science Research, 2020.

MILLINGTON, Nick; DAS, Samiran; SIMONOVIC, Slobodan P. The Comparison of GEV, Log-Pearson Type 3 and Gumbel Distributions in the Upper Thames River Watershed under Global Climate Models. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario – Canada, report n. 77, set 2011.

MINKAH, R. An application of extreme value theory to the management of a hydroelectric dam. **SpringerPlus**, v. 5, <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1719-2>, 2016.

MOLION, L. C. B. e BERNARDO, S. O. Uma revisão dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.1, 1-10, 2002.

MOREIRA, A. B.; SANTOS, P. F. C. dos, SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Eventos extremos e a cidade: estudo de caso dos impactos causados por um evento climático em área urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.06, p. 1730-1745, 2017.

MOURA, G. B. de A.; ARAGÃO, J. O. R. de; MELO, J. S. P. de; SILVA, A. P. N. da; GIONGO; P. R.; LACERDA, F. F. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.4, p.462–469, 2009.

MOURA, M. de O.; CUNICO, C.; NÓBREGA, R. S.; DUARTE, C. C. Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço - temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública. **Caderno de Geografia**, v.26, número especial 2, p. 259-271, ISSN 2318-2962, 2016.

NASCIMENTO, F., BOURGUIGNON, M., LEÃO, J. Extended generalized extreme value distribution with applications in environmental data. **Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics**. DOI: 10.15672/HJMS.20159514081, 2015.

NEVES, D. J. D.; ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P. de. Estudo de Caso de um Distúrbio Ondulatório de Leste sobre o Estado do Rio Grande do Norte – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 490-505, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631231420150075>.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. de L.; SANTOS, C. A. C dos. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.2, p. 171 - 180, 2015.

OLINDA, R. A. de. Modelagem estatística de extremos espaciais com base em processos max-stable aplicados a dados meteorológicos no estado do Paraná / Ricardo Alves de Olinda. Piracicaba, 2012. 163 p: il. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

OLIVEIRA, D. H. M. C., LIMA, K. C. What is the return period of intense rainfall events in the capital cities of the northeast region of Brazil? *Atmospheric Science Letters*, 2019. <https://doi.org/10.1002/asl.934>.

OLIVEIRA, P. T. de; SILVA, C. M. S. e, LIMA, K. C. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, v. 15, p. 172–177, 2014.

OLIVEIRA, P. T. de; SILVA, C. M. S. e, LIMA, K. C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, p. 77-90, 2016.

PAMPUCH, L. A.; AMBRIZZI, T. Sistemas Frontais sobre a América do Sul Parte I: Climatologia e intervalo de passagem em dados da Reanálise I do NCEP/NCAR. In: IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 11 a 13 de novembro de 2015. Santa Maria-RS, Brasil.

PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Relatório especial: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas**. Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.). COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2016.

PALUTIKOF, J.; BRABSON, B.; LISTER, D.; ADCOCK, S. A review of methods to calculate extreme wind speeds. **Meteorological Applications**, v. 6, n. 2, p. 119-132. 1999.

PICKANDS, J. Statistical inference using extreme order statistics. **Ann. Stat.**, 3 (1), 119–131, doi:10.1214/aos/1176343003, 1975.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terrae Didactica**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

RIBEIRO, M. S. M.; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. de M. B.; LIMA, K. C.; AMARO, V. E.; PINHEIRO, L. R. de S. G.; COUTINHO, M. D. L.; ALVES, J. E. da C. A. Intense Precipitation and Area of Risk: A Case Study of Mass Movement in the City of Natal, Brazil, **Water**, v. 13, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13233346>.

RODRIGUES, D. T. Análise de eventos extremos de precipitação no Nordeste do Brasil / Daniele Torres Rodrigues. - 2019. 123f.: il. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RODRIGUES, D. T.; GONÇALVES, W. A.; SPYRIDES, M. H. C. S.; SILVA, C. M. S. e.; SOUZA, D. O. de. Spatial distribution of the level of return of extreme precipitation events in Northeast Brazil. **Internacional Journal of Climatology**, v. 40, ed. 12, 2020.

RODRIGUES, D. T.; GONÇALVES, W. A.; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. de m. B.; SOUZA, D. O. de.; ARAUJO, P. A. A. de.; SILVA, A. C. N. da.; SANTOS E SILVA, C. M. Probability of occurrence of extreme precipitation events and natural disasters in the city of Natal, Brazil. **Urban Climate**, v. 35, 2021.

SAITO, S. M.; DIAS, M. C. de A.; ALVALÁ, R. C. dos S.; STENNER, C.; FRANCO, C. de O.; RIBEIRO, J. V. M.; SOUZA, P. A. de; SANTANA, R. A. S. de M. População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. **Sociedade e Natureza**, v.31, p.1-25, ISSN 1982-4513, DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v31-2019-46320>, 2019.

SANTOS, A. H. M. dos S.; ARAGÃO, M. R. da S.; CORREIA, M. de F.; ARAUJO, H. A. de.; SILVA, A. B. Distúrbio ondulatório de leste e seus impactos na cidade de Salvador. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, 355 - 364, 2012.

SANTOS, E. B. Modelagem estatística e atribuições dos eventos de precipitação extrema na Amazônia brasileira / Eliane Barbosa Santos. - Natal, 2015. 130 f.: il. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. e. Seasonal Analysis of Return Periods for Maximum Daily Precipitation in the Brazilian Amazon. **Journal of Hydrometeorology**, v. 16, DOI: 10.1175/JHM-D-14-0201.1, 2015a.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. e. Estimating return periods for daily precipitation extreme events over the Brazilian Amazon. **Theoretical Applied Climatology**, v. 126, DOI 10.1007/s00704-015-1605-9, 2016.

SAPIR, D. G.; HOYOIS, P.; WALLEMACQ, P.; BELOW, R. Annual Disaster Statistical Review 2016. Belgium, 2017.

SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL – SEDEC, **Glossário de Proteção e Defesa Civil**, Ministério da Integração Nacional, Departamento de Prevenção e Preparação, Brasília, 2017.

SHIMIZU, M. H.; AMBRIZZI, T.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events and their relationship with ENSO and MJO phases over northern South America. **International Journal Of Climatology**, v. 37, p. 2977-2989, 2016.

SILVA, B. F. P. da S., FEDOROVA, N., VLADIMIR LEVIT, V., PERESETSKY, A., BRITO, B. M. de. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, P. 323 - 338, 2011.

SILVA, D. F. da. Aplicação de Análises de Ondaletas para Detecção de Ciclos e Extremos Pluviométricos no Leste do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 187-198, 2017.

SILVA, D. F. da; SOUSA, A. B. Detecção de Tendências Climáticas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 03, p. 442-455, 2013.

SILVA, B. K. N.; AMORIM, A. C. B.; SILVA, C. M. S.; LUCIO, P. S.; BARBOSA, L. M. Rainfall-related natural disasters in the Northeast of Brazil as a response to ocean-atmosphere interaction. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 138, p. 1821–1829, 2019b.

SILVA, B. K. da N.; SILVA, M. T.; BARBOSA, E.; SILVA, F. D. dos S.; JÚNIOR, R. L. da R.; SERRÃO, E. A. de O.; SILVA, V. de P. R.; SILVA; C. M. S. e. Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, p. 871-879, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863550014>, 2020.

SILVA, P. E. da; SILVA, C. M. S. e; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. de M. B. Análise de índices de extremos climáticos no Nordeste e Amazônia brasileira para o período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, p. 137-148, 2019a.

SILVA, R. R. A distribuição generalizada de Pareto e mistura de distribuições de Gumbel no estudo da vazão e da velocidade máxima do vento em Piracicaba, SP. Renato Rodrigues Silva. Piracicaba, 2008. 101 p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

SILVA, T. L. do V.; VELEDA, D.; ARAUJO, M.; TYAQUIÇÃ, P. Ocean–Atmosphere Feedback during Extreme Rainfall Events in Eastern Northeast Brazil. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 57, p. 1211 – 1229, 2018.

SMITH, R. L. Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases. **Biometrika**, London, 72, 67–90, doi:10.1093/biomet/72.1.67, 1985.

SOUZA, W. M. de; AZEVEDO, P. V. de; ARAÚJO, L. E. de. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 02, p. 250-268, 2012.

TABARI, H. Statistical Analysis and Stochastic Modelling of Hydrological Extremes. **Water**, v. 11, 2019.

THE INTERNACIONAL DISASTER DATABASE (EM – DAT). Disponível em: < <https://www.emdat.be/classification>> Acessado em março de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres. **Capacitação dos gestores de Defesa Civil para uso do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID**. UFSC, 2012.

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR 2019)**, Geneva, Switzerland, 2019.

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Disponível em: < <https://www.undrr.org/terminology>> Acessado em março de 2020.

UNDP – United Nations Development Programme. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York, USA: UNDP, p. 129, 2004.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION – UNISDR. **National Disaster Risk Assessment – Governance, System, Methodologies, and Use of Results**, 2017.

UVO, C. R. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte e nordeste brasileiro. Cintia Regina Bertacchi Uvo. São José dos Campos, 1989. 91 p. **Dissertação (Mestrado)**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

UVO, C. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. **Journal of Climate**. Vol. 11, p. 551-562, 1998.

VALADÃO, C. E. A.; CARVALHO, L. M. V; LUCIO, P. S.; CHAVES, R. R. Impacts of the Madden-Julian oscillation on intraseasonal precipitation over Northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, 2016.

VALE, T. M. C. do; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. de M. B.; BEZERRA, B. G.; SILVA, P. E. da. Subsistence Agriculture Productivity and Climate Extreme Events. **Atmosphere**, v. 11, doi: <http://10.3390/atmos11121287>, 2020.

YUSUF, Y. O. Modeling Extreme Climate Events for Impact Studies. Yusuf Oluwatoki Yusuf, Thesis, African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), 2019.

ZHANG, X.; YANG, F.; RCLinDex (1.0) User Guide. **Climate Research Branch Environment Canada: Downsview**, Ontario, Canada, 2004.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L. M. V.; LIEBMANN, B.; DIAS, M. A. S. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 2269-2279, 2016.

8. ANEXO



Cemaden
Centro Nacional de Monitoramento
e Alertas de Desastres Naturais

RELATÓRIO DE REGISTRO DE OCORRÊNCIA

NATAL/RN

Alerta Enviado

Parte I - ALERTA

Abertura 03/03/2016 10:40

Parte II - OCORRÊNCIA(S)

2. Data da ocorrência:	03/03/2016
3. Precisão e Horário da ocorrência ou período:	BAIXA PRECISÃO - Manhã - 06:01 as 12:00 (09:01 as 15:00 UTC)
4. Qual o tipo de evento registrado:	Inundação
4.1. Magnitude do Evento:	Pequeno Porte
5. Precisão de localização da ocorrência:	AUSENTE
5.1. Localização da ocorrência no mapa:	lat:-5.7792569 ; long:-35.20091600000001
5.2. A ocorrência foi registrada em área de risco mapeada:	Não foi possível identificar
6. Nível que o rio chegou:	
6.1. Nome do Rio / córrego:	
6.2. Outros dados sobre o nível do Rio:	

Anexo 1: Modelo de alerta padrão obtido junto ao CEMADEN, para o período compreendido entre de 2016 a 2020, para as capitais da costa leste do NEB.