



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



FACULDADE DE METEOROLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LORENA CHRISTIANE FRANÇA XAVIER

EVENTOS EXTREMOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO EM
BELÉM-PA DURANTE O ANO DE 2020

Nº: 000

BELÉM - PA
FEVEREIRO - 2022

LORENA CHRISTIANE FRANÇA XAVIER

**EVENTOS EXTREMOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO EM
BELÉM-PA DURANTE O ANO DE 2020**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de
Meteorologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal
do Pará, para obtenção do grau
Bacharel em Meteorologia.

Área de concentração: Geociências
Linha de pesquisa: Meteorologia

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros
de Souza

Belém-PA

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**

**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

X3e Xavier, Lorena Christiane França.

Eventos extremos diários de precipitação em Belém - PA
durante o ano de 2020 / Lorena Christiane França Xavier. —
2022.

48 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -

Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências,
Faculdade de Meteorologia, Belém, 2022.

1. Eventos extremos. 2. Sistemas meteorológicos. 3.
Amazônia. I. Título.

CDD 551.57728115

LORENA CHRISTIANE FRANÇA XAVIER

**EVENTOS EXTREMOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO EM
BELÉM-PA DURANTE O ANO DE 2020**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de
Meteorologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal
do Pará, para obtenção do grau
Bacharel em Meteorologia.

Área de concentração: Geociências
Linha de pesquisa: Meteorologia

Data de aprovação: 25/02/2022.
Banca Examinadora:



Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. José Danilo Souza Filho - Membro
Doutor em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará



Prof. João de Athaydes Silva Junior - Membro
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará

A Deus, a manter minha fé e não deixar eu desistir da vida. A minha mãe, Rose Mary, que desde criança lutou sozinha bravamente e mesmo com suas dificuldades formou sua filha duas vezes. Sempre priorizou os estudos na minha vida. Te dedico este trabalho e qualquer outra batalha que eu vencer.

AGRADECIMENTOS

A Deus. Ao Universo.

A minha família, Mary, Lucas, Érika e Tia Wanda. Por sempre pensarem em mim e me ajudarem. Sou grata por tanto amor. Hoje eu sei o significado de família por ter vocês. Eu amo vocês.

Ao Professor e Dr. Everaldo Barreiros de Souza por ter me aceito como sua orientanda, e ter me ajudado na construção deste trabalho, pela sua empatia e acolhimento que tanto os alunos admiram.

As minhas grandes amigas, Valeria e Valkiria. Obrigada por deixar eu fazer parte da vida de vocês. Por estarem comigo desde o início. Pelos sentimentos compartilhados nesses quase 6 anos e a ajuda nos momentos que precisei.

Gratidão!

“Um tolo pensa: “Eu já sei isso.” Ele impede qualquer coisa nova de entrar na própria mente.

Um sábio pensa: “Não sei a história toda” Ele se abre para uma sabedoria ainda maior.

Haemin Sunim.

RESUMO

No Brasil há notícias a todo momento de desastres naturais como resultado da ocorrência dos eventos meteorológicos extremos, logo, é de suma importância o estudo de tais fenômenos visando melhor entendimento científico. Neste trabalho, objetivou-se analisar os eventos extremos de precipitação diária registrados em Belém-PA durante o ano de 2020. A partir dos dados horários da estação meteorológica automática de Belém, pertencente ao INMET, foi calculado o acumulado diário (horário local de 1 a 24 hrs) visando quantificar a pluviometria abrangendo os períodos da madrugada, manhã, tarde e noite do mesmo dia. Os eventos extremos foram definidos como os dias em que a precipitação diária excedeu o limiar do percentil P97 (64,6 mm) e P99 (90 mm). Um total de nove eventos foram identificados ao longo de 2020: 03/jan, 18/fev, 07/mar, 09/mar, 14/abr, 17/abr, 04/mai, 21/mai e 22/nov. As análises desses eventos mostraram precipitação ocorrendo em praticamente todos os horários, sendo que, a média dos nove eventos evidenciou alguns picos principais ocorrendo na madrugada (as 04h), manhã (as 07h), tarde (as 14h e 16h) e noite (20h e 21h). O comportamento horário das variáveis meteorológicas (precipitação, pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento) foi avaliado nos dias dos eventos extremos, sendo que um resultado relevante foi a queda de até 9°C na temperatura do ar e a velocidade do vento aumentada na entrada do evento extremo. Por fim, foram usadas as sequências de 3/3 horas das imagens GridSAT no canal infravermelho dos satélites geoestacionários para averiguar os sistemas meteorológicos atuantes nos dias dos eventos extremos. Nessas análises foi diagnosticado a presença e ou influência de diversos sistemas sinóticos, como a ZCIT, ZCAS, Alta da Bolívia, VCAN posicionado na região nordeste e sistema de meso escala, como LI e Complexos ou Aglomerados Convectivos.

Palavras-chave: eventos extremos; sistemas meteorológicos; Amazônia.

ABSTRACT

In Brazil, there are commonly news of natural disasters as a result of the occurrence of extreme meteorological events, then it is relevant to study such phenomena for a better scientific understanding. In this work, the objective is to analyze the daily precipitation extreme events in Belém-PA during the year 2020. From the hourly data of the INMET automatic meteorological station, the daily accumulated was calculated (local time of 1 to 24 hrs) aiming to quantify the pluviometry covering the periods of dawn, morning, afternoon and night of the same day. Extreme events were defined as days when daily rainfall exceeded the threshold of the P97 (64.6 mm) and P99 (90 mm) percentiles. A total of nine events were identified throughout 2020: 03/Jan, 18/Feb, 07/Mar, 09/Mar, 14/Apr, 17/Apr, 04/May, 21/May and 22/Nov. The analysis of these events showed precipitation occurring at practically all times, and the average of the nine events showed some main peaks occurring at dawn (4:00 am), morning (7:00 am), afternoon (2:00 and 4:00 pm) and night (8:00 and 9 pm). The hourly behavior of meteorological variables (precipitation, atmospheric pressure, air temperature, relative humidity and wind speed) was evaluated on the days of extreme events, and an important result was a sharp decrease of up to 9°C in air temperature and an increased wind at the entrance of the extreme event. Finally, 3/3 hour sequences of GridSAT images from geostationary satellites infrared channel were used to investigate the meteorological systems observed during the extreme events. In these analyses, the presence and/or influence of several synoptic systems was diagnosed, such as the ITCZ, SACZ, Bolivian High, VCAN positioned in the northeast region and mesoscale systems, such as LI and Convective Complexes or Agglomerates.

Keywords: extreme events; meteorological systems; Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa da área de estudo.....	16
Figura 2 – Foto da estação automática do INMET.....	17
Figura 3 – Imagem global do GRIDSAT	18
Figura 4 – Precipitação diária acumulada durante o ano de 2020.....	20
Figura 5 – Gráfico da precipitação diária nos eventos severos (P97) e excepcionais (P99)	21
Figura 6 – Gráfico da precipitação horária e a média nos nove eventos.	22
Figura 7 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 03/jan/2020	23
Figura 8 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 18/fev/2020	24
Figura 9 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 07/mar/2020	25
Figura 10 – Imagem de caso referente ao dia 07/mar/2020	26
Figura 11 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 09/mar/2020	27
Figura 12 – Imagem de caso do dia 09/mar/2020	27

Figura 13 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 14/abr/2020.....	28
Figura 14 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 17/abr/2020.....	29
Figura 15 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 04/mai/2020	30
Figura 16 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 21/mai/2020	31
Figura 17 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 22/nov/2020	32
Figura 18 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 03/janeiro/2020.....	34
Figura 19 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 18/fevereiro/2020.....	35
Figura 20 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 07/março/2020.....	36

Figura 21 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 09/março/2020.....	37
Figura 22 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 14/abril/2020.....	38
Figura 23 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 17/abril2020.....	39
Figura 24 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 04/maio/2020.....	40
Figura 25 - Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 21/maio/2020.....	41
Figura 26 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará durante o evento extremo do dia 22/novembro/2020.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos.....	15
2 MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1 Área de estudo e bases de dados.....	16
2.2 METODOLOGIA	19
3 RESULTADOS.....	20
3.1 Identificação e análise dos eventos extremos de precipitação	20
3.2 Comportamento horário das variáveis meteorológicas.....	23
3.3 Análises de sistemas meteorológicos atuantes	33
4 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos assumem importância significativa no cotidiano das sociedades, quer seja por sua frequência e intensidade de ocorrência, quer seja pela vulnerabilidade socioambiental (SANTOS et al., 2017).

Ainda que o termo evento extremo envolva diferentes interpretações (desde um ponto de vista físico e/ou estatístico até um ponto de vista social), estes representam, em termos meteorológicos ou climatológicos, grandes desvios de um estado climático moderado (MARENGO, 2009). Estudos como Trenberth et al. (2015) indicam que eventos extremos que ocorrem por todo o globo estão possivelmente relacionados às mudanças climáticas globais. Sendo assim, os eventos extremos, fazem parte da variabilidade natural do clima.

A região Amazônica é caracterizada por apresentar clima quente e úmido durante todo o ano e a precipitação é o parâmetro com maior heterogeneidade e variabilidade espaço-temporal (LOUREIRO et al., 2014). O regime de precipitação amazônico é modulado por sistemas atmosféricos dinâmicos de micro, meso e grande-escalas. Esses sistemas se desenvolvem o suficiente para produzir condições de tempo severo, associado às chuvas intensas, queda de granizo, descargas elétricas e vendavais, rajadas de vento e micro explosões (GILLE, 2014). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos fenômenos meteorológicos que mais influencia as condições de tempo em toda Amazônia (Cavalcanti et al., 2009). Entre outros principais sistemas atmosféricos que atuam nas condições de tempo e clima da região Amazônia são: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Linhas de Instabilidade (LI), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Ondas de Leste e as Brisas terrestre e marítima. (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995; SOUZA; CAVALCANTI, 2009).

O estado do Pará caracteriza-se por apresentar um regime pluviométrico definido por uma estação chuvosa, de dezembro a maio, e uma estação menos chuvosa, de junho a novembro. Durante o seu período chuvoso, o estado apresenta significativo potencial de ocorrência de eventos extremos de precipitação, que podem resultar em enxurradas, inundações, alagamentos, erosões, entre outros (ROSA et al., 2021). Tais eventos são decorrentes da atuação de diferentes sistemas

atmosféricos que atuam sobre o Estado (MENEZES et al., 2015). Machado et al. (2004) observaram que Belém apresenta um maior número de tempestades severas no fim da estação seca e durante a transição da estação seca para chuvosa, o que coincide com período de intensa atividade de linhas de instabilidade. Na região do leste da Amazônia, onde se encontra Belém, há totais de precipitação acima de 2800 mm por ano (SOUZA, 2010; FERREIRA, 2014; LOPES, 2013; CAMPOS; MOTA; SANTOS, 2015).

Nas últimas décadas, os eventos extremos indubitavelmente ocasionaram constantes impactos ambientais e socioeconômicos em diversas cidades brasileiras. Valores elevados de precipitação sempre foram observados, porém nos últimos anos, aparentemente tornaram-se mais danosos e com potencial maior para deflagrar desastres naturais, particularmente nos grandes centros urbanos. Portanto, o conhecimento do comportamento das chuvas intensas é de fundamental importância para o planejamento do uso e ocupação da terra de forma a prevenir os impactos associados a estes episódios (SOUZA, 2010).

Um dos maiores problemas nos estudos de extremos climáticos é conseguir uma série histórica de dados na escala mensal ou diária, suficientemente consistente para que haja uma real caracterização e confirmação, ou não, de tendências positivas ou negativas dos eventos extremos (ALMEIDA; REBELLO; AMBRIZZI, 2010). Segundo Ferreira et al. (2014), a precipitação não é uma variável contínua no espaço-tempo, tornando seu estudo bastante complexo. Muitas pesquisas sobre a precipitação na Amazônia trataram do comportamento desta variável nas escalas temporais anual, sazonal e mensal. Poucos estudos abordaram a variabilidade da precipitação considerando a escala diária ou horária. No presente trabalho, busca-se contribuir nessa temática científica dos eventos extremos de precipitação, com uma análise observacional realizada para a região de Belém durante o ano de 2020.

1.1 Objetivos

Identificar os eventos extremos diários de precipitação ocorridos em Belém durante o ano de 2020 e analisar comportamento horário das variáveis atmosféricas, incluindo a caracterização dos sistemas meteorológicos atuantes.

Os objetivos específicos são:

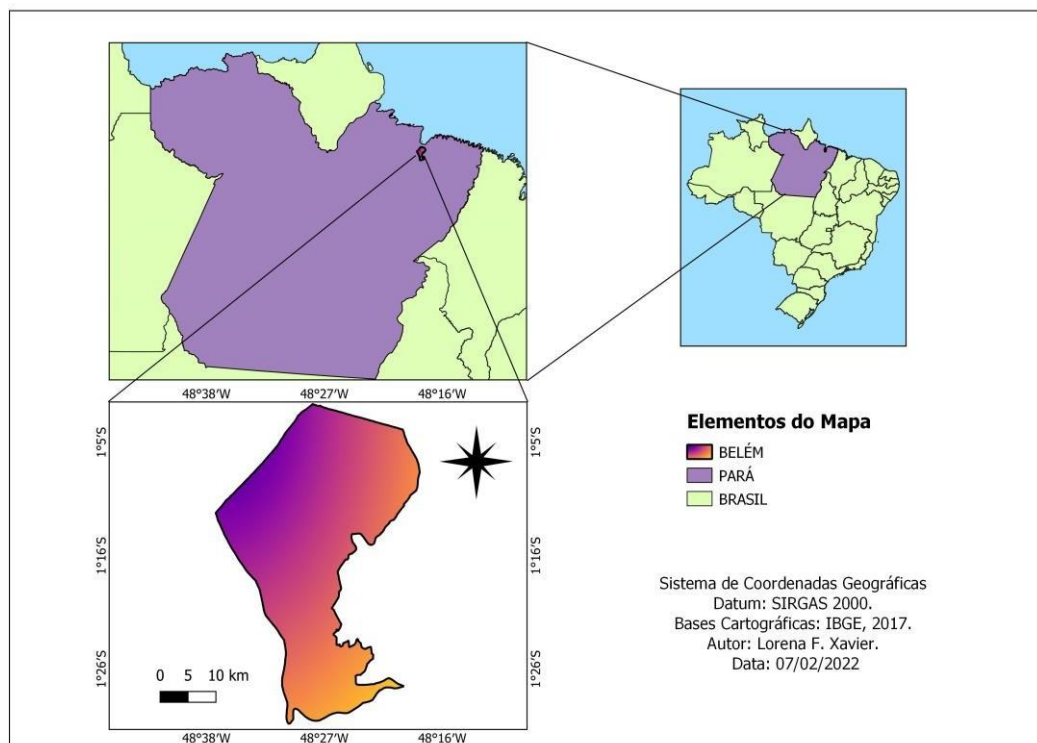
- a) Calcular a precipitação acumulada diária (entre 1 e 24 horas local) e identificar os eventos extremos de precipitação;
- b) Analisar o comportamento horário das variáveis atmosféricas (precipitação, pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento) durante a ocorrência dos eventos extremos;
- c) Averiguar os sistemas meteorológicos que provocaram os eventos extremos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e bases de dados

A área de estudo refere-se a região de Belém que está situada no nordeste do estado do Pará, localizada na região Amazônica (zona equatorial) entre as coordenadas 1°03'S e 47°06'W a 1°85'S e 48°07'W., conforme mostra a Figura 1. Belém possui uma população de aproximadamente 1,4 milhões de habitantes com área territorial de 1.059,458 km² (IBGE, 2010), sendo a metrópole localizada mais ao norte do Brasil e com a maior densidade demográfica da Região Norte. A região caracteriza-se por apresentar temperaturas de 26,4° em média, ar instável e umidade do ar média de 84%, favorecendo a formação de nuvens convectivas (BASTOS et al., 2002). De acordo com o critério de classificação de Köppen o clima de Belém é predominante “Af” e “Am” (sempre úmido) com precipitação média anual variando entre 3.000 mm a 4.000 mm.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Do autor.

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados horários registrados pela estação meteorológica automática (EMA) de Belém-PA, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cujo código é A201 e sua localização geográfica é no ponto de latitude -1.411, longitude -48.439 e altitude de 21.2 m. Os dados horários para o ano de 2020 foram obtidos no portal do Banco de Dados do INMET ¹ com disponibilidade das variáveis precipitação, pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. Os dados apresentaram falhas entre os dias 12 a 24 de março. A Figura 2 ilustra a visão geral de uma EMA e o destaque para o pluviômetro que registra a ocorrência de precipitação.

Figura 2 – Foto da visão geral de uma estação automática do INMET com destaque para o pluviômetro que mede a precipitação.

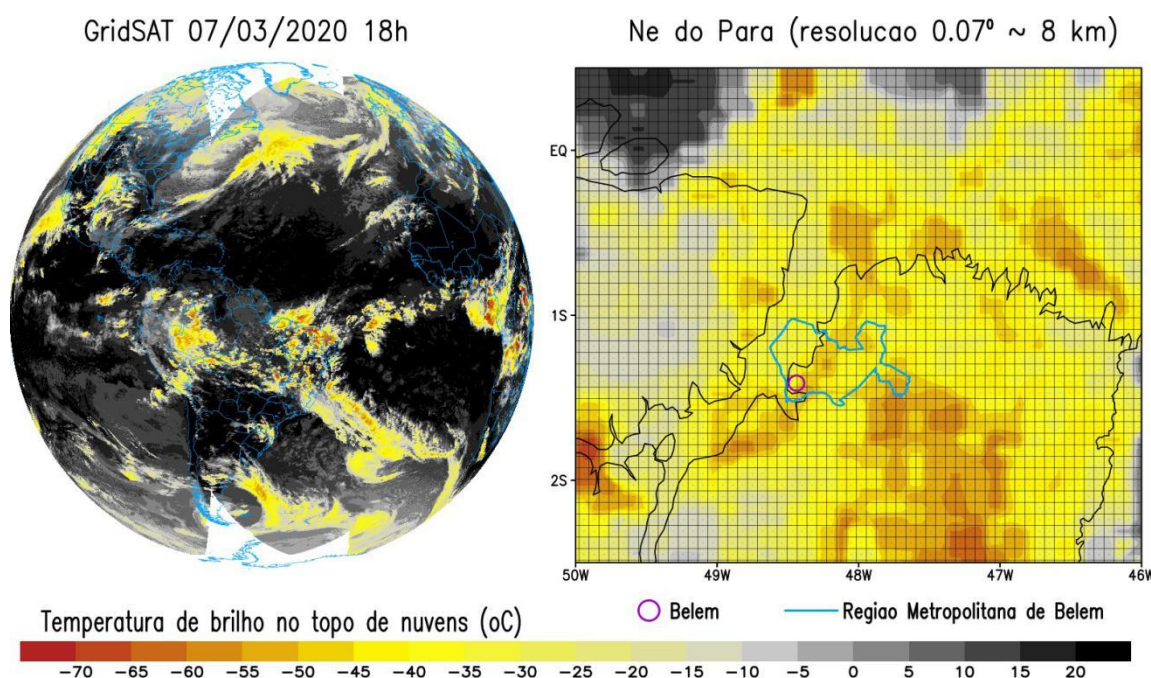


Fonte: (INMET, 2011).

¹ INMET disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 06 de Jan de 2022

Utilizam-se as imagens de satélite em grade de alta resolução (GridSAT) que foram compiladas por Knapp et al. (2011), a partir da base de dados do International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP). As imagens GridSAT mostram a temperatura de brilho no topo das nuvens imageadas pelo canal infravermelho dos satélites geoestacionários. Os dados no formato NetCDF encontram-se disponíveis nos horários sub-sinóticos de 3/3 horas no portal do NCEI/NOAA ² sendo que a resolução espacial é de 0.07° que equivale a um pixel de aproximadamente 7,8 km. Neste trabalho, as imagens GridSAT foram usadas com a finalidade de visualizar e identificar os sistemas meteorológicos atuantes nos dias de ocorrência dos eventos extremos, conforme mostra o exemplo na Figura 3. As áreas em preto nas imagens GridSAT indicam ausência de nuvens e as áreas coloridas realçadas do amarelo ao vermelho escuro mostram a presença de nebulosidade associada aos sistemas meteorológicos com temperatura de brilho negativas no topo das nuvens.

Figura 3 – Exemplo de imagem global do GridSAT e o zoom para o Ne do Pará mostrando a resolução da grade de 0.07° (~8 km), incluindo a localização da região metropolitana de Belém



Fonte: Do autor.

² NOAA disponível em: www.ncei.noaa.gov Acesso em: 06 de Jan de 2022

2.2 Metodologia

Critério de seleção do evento extremo de precipitação:

Inicialmente foi calculado o acumulado diário de precipitação entre 0 e 24 horas local para todos os dias do ano de 2020 (1 de janeiro a 31 de dezembro). Ressalta-se que esse cálculo da chuva diária é diferente do padrão sinótico convencional (acumulado das 9h do dia anterior até as 9h do dia atual), ou seja, neste trabalho a precipitação diária engloba os períodos de madrugada, manhã, tarde e noite do mesmo dia.

Utiliza-se o método dos percentis para selecionar de forma objetiva os eventos extremos de precipitação diária. O percentil divide a série de dados em centésimas partes (cada parte tem 1% dos dados). O cálculo dos percentis é executado apenas nos registros em que a precipitação é diferente de 0 mm, ou seja, excluem-se os dias sem chuva, assim como calculado por Karl e Knight (1998). Assim, com a série temporal da precipitação diária da estação automática de Belém para o ano de 2020, foram calculados os percentis P95, P97 e P99 para representar os eventos aqui definidos como extremo, severo e excepcional, respectivamente.

Análise meteorológica horária e Sistema meteorológico atuante:

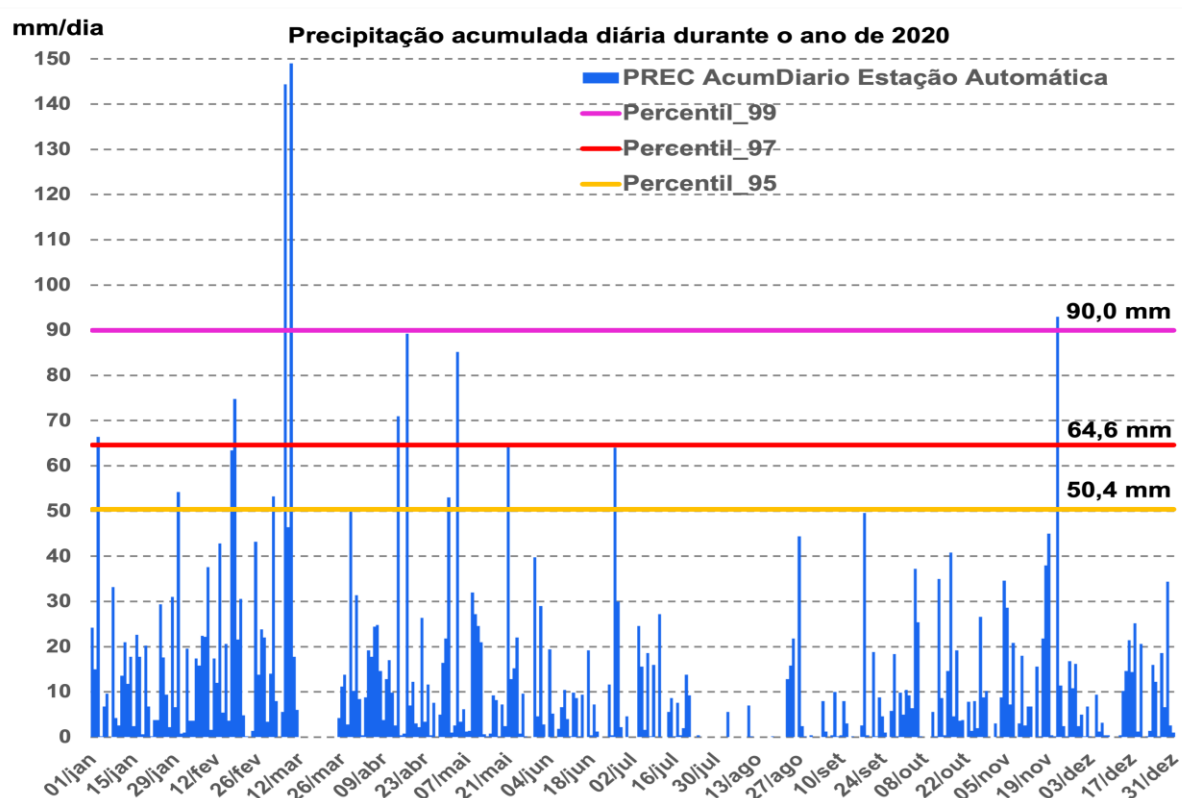
De posse dos dias com registro dos eventos extremos, foram plotados e analisados os dados horários das variáveis atmosféricas objetivando analisar as variações meteorológicas induzidas pela ocorrência dos eventos extremos. Também foram plotadas as sequências temporais de 3/3 hrs das imagens de satélite GridSat para a análise sinótica e averiguação de quais sistemas meteorológicos atuaram nos dias de ocorrência dos eventos extremos. A técnica de composição (média de todos os eventos) da precipitação também foi aplicada para investigar quais os horários preferenciais de ocorrência dos eventos extremos.

3 RESULTADOS

3.1 Identificação e análise dos eventos extremos de precipitação

A Figura 4 mostra a série temporal da chuva diária em Belém no ano de 2020. O cálculo dos percentis P95, P97 e P99 obtiveram os valores de 50,4, 64,6 e 90 mm, respectivamente, os quais também são plotados na Figura pelas linhas horizontais. Os dias com registo de chuva acima destes limiares de percentis são considerados eventos extremos. No presente trabalho, optou-se em investigar somente os eventos definidos como severos (dias com precipitação acima de 64,6 mm) e os eventos excepcionais (dias com precipitação acima de 90 mm). Pela Figura 4, verificam-se nove eventos extremos dentre eles três eventos excepcionais nos dias 07 e 09 de março e 22 de novembro, bem como seis eventos severos nos dias 03 de janeiro, 18 de fevereiro, 14 e 17 de abril, 04 e 21 de maio.

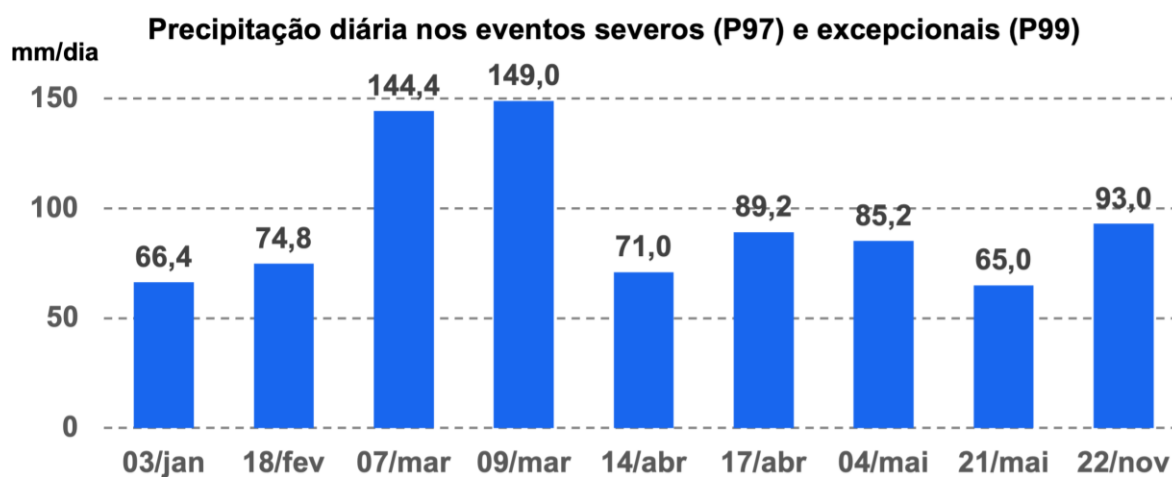
Figura 4 – Precipitação acumulada diária (entre 1 e 24 horas local) da estação automática (barras na vertical em azul) durante o ano de 2020. As linhas amarela, vermelha e rosa (horizontal) indicam o valor do percentil_95/97 e 99, respectivamente. Unidade: mm/dia.



Fonte: Do autor.

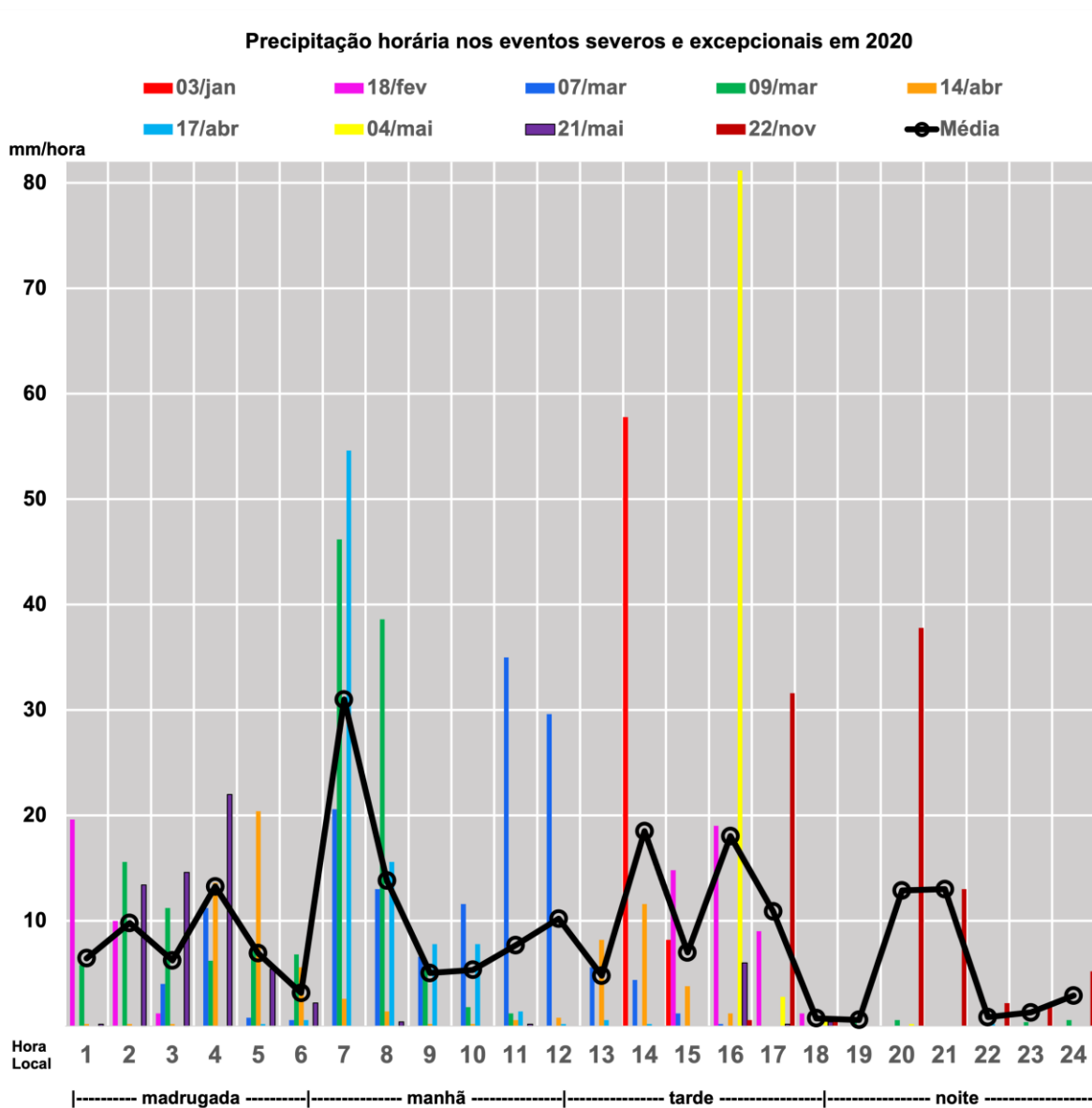
A Figura 5 representa a precipitação diária registrada nos nove eventos extremos. Notam-se valores mais elevados de precipitação no mês de março sendo os dias 07 e 09 com quantitativo chegando a 144 e 149 mm, respectivamente. Esse período do ano, em que a ZCIT se encontra no seu posicionamento mais ao Sul do Equador, a intensidade das chuvas é maior. Segundo Sodré et al. (2013), a sazonalidade bem definida das chuvas na região amazônica é caracterizada principalmente pela atuação da ZCIT que modula as chuvas nos primeiros meses do ano. Outro mês de destaque é novembro com a precipitação de 93,0 mm, num período conhecido como menos chuvoso da região. Nesse período as Linhas de Instabilidade são responsáveis por cerca de 45% da ocorrência das chuvas (Cohen et al., 1995).

Figura 5 – Precipitação diária registrada nos dias com eventos extremos durante o ano de 2020.



Fonte: Do autor.

Figura 6 – Precipitação horária nos nove eventos extremos (barras verticais) e a média de todos os eventos (linha em preto).



Fonte: Do autor.

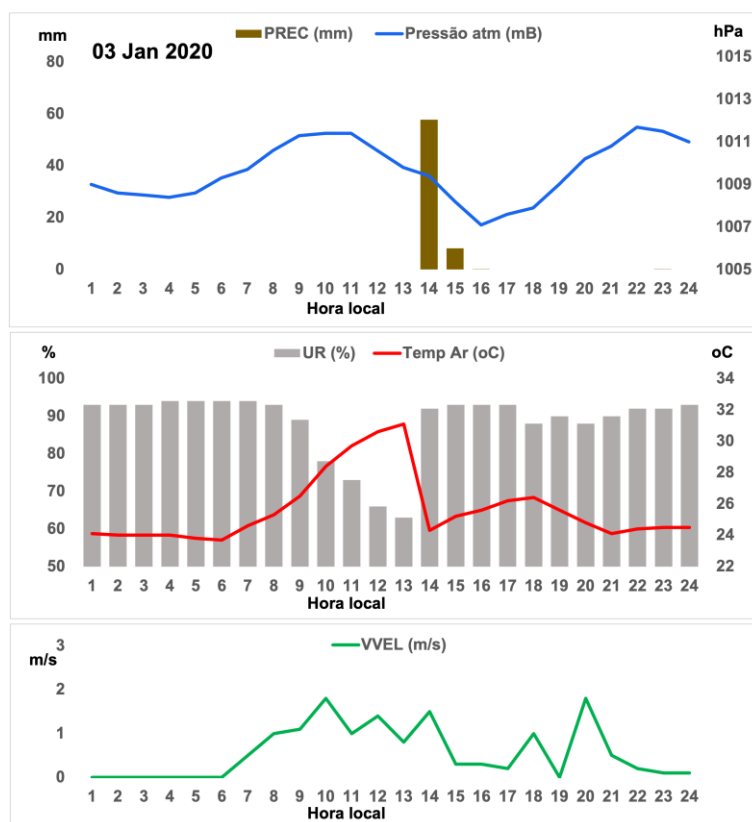
A Figura 6 mostra a precipitação horária registradas nos nove eventos extremos (barras verticais coloridas), incluindo também a média de todos os eventos. Notam-se ocorrência de precipitação em praticamente todos os horários. Considerando a média de todos os eventos, evidenciam-se alguns picos principais de chuva ocorrendo na madrugada (as 04h), manhã (as 07h), tarde (as 14h e 16h) e noite (20h e 21h).

3.2 Comportamento horário das variáveis meteorológicas

As Figuras 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16 e 17 a seguir exibem os gráficos do comportamento horário da precipitação, pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento na estação automática durante os nove eventos extremos de 2020.

Na Figura 7, correspondente ao dia 03 de janeiro, nota-se o registro de 57,8 mm de precipitação às 14h e 8,2 mm as 15h. A pressão apresentou tendência de queda entre 11 e 16h e a temperatura do ar diminuiu bruscamente de 31,1 °C as 13h para 24,3 °C as 14h. O campo de vento oscilou bastante no período da tarde e noite.

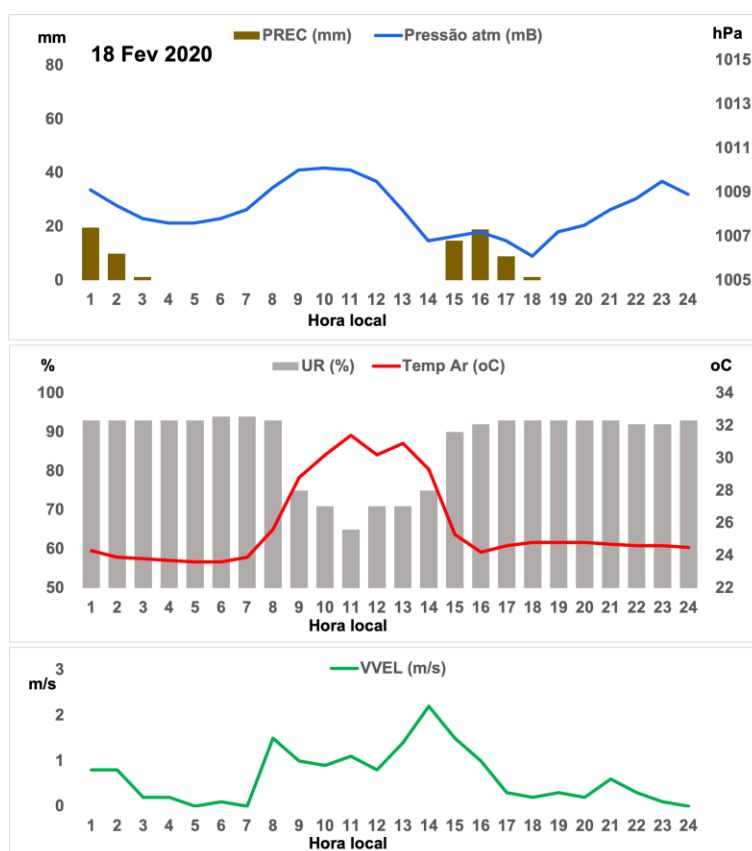
Figura 7 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 03/jan/2020.



Fonte: Do autor.

Na Figura 8, correspondente ao dia 18 de fevereiro, é possível observar precipitação nos períodos da madrugada (1h às 3h) e a tarde (15h às 18h) com valores atingindo 20 mm. A pressão atmosférica comporta-se como uma senoide ao longo do dia, sendo que os valores mínimos de 1007 hPa foram verificados exatamente durante a ocorrência da chuva à tarde. A umidade relativa aumentou de 70% nas 13/a4h para 93% a partir das 15h quando ocorreu o evento pluviométrico. Outra mudança marcante associada a ocorrência da chuva intensa a tarde foi a queda de temperatura de 30,9 °C as 13h para 24,2 °C as 16h. Duas horas (12 e 13h) antes da entrada do sistema que provocou a chuva, observou-se pico significativo do vento aumentando de 0.8 para 2.2 m/s.

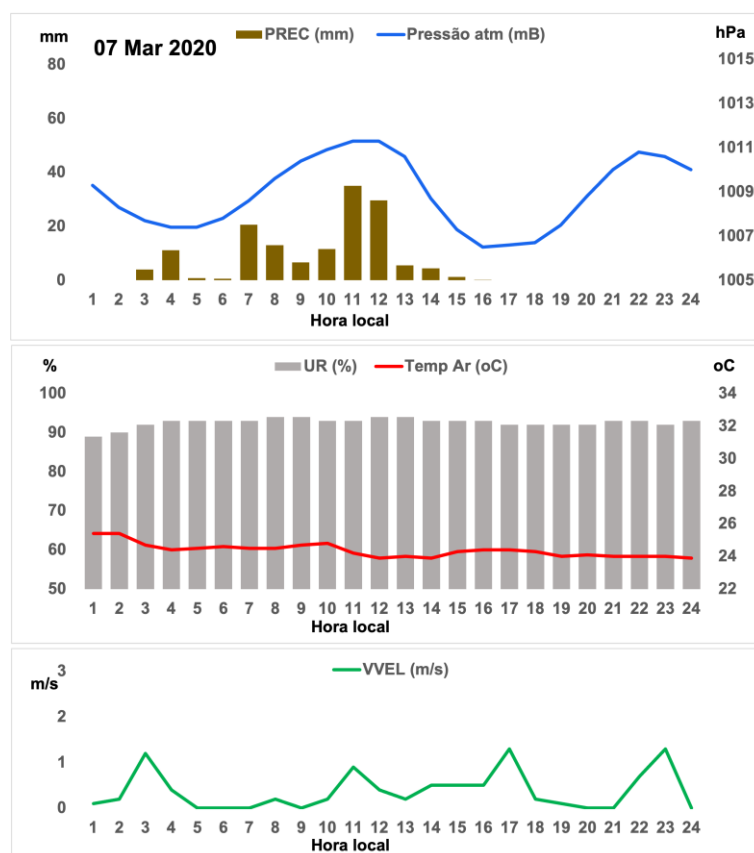
Figura 8 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 18/fev/2020.



Fonte: Do autor.

Observa-se na Figura 9 que o evento extremo de 07/março teve início no período da madrugada (às 3h) e se estendeu até às 15h da tarde. O tempo chuvoso influenciou na queda da temperatura ao longo do dia que se manteve constante ao longo de todo o dia, com valores oscilando entre 24 e 25,4 °C, sendo que o teor de umidade também persistiu bastante úmido (entre 90 e 94%) ao longo do período. Há variações do vento no decorrer do dia após a entrada do evento chegando a velocidade de 2 m/s nos horários das 03h, 11h, 17h e 23h.

Figura 9 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 07/mar/2020.



Fonte: Do autor.

Figura 10 – Imagem referente ao dia 07 de março de 2020

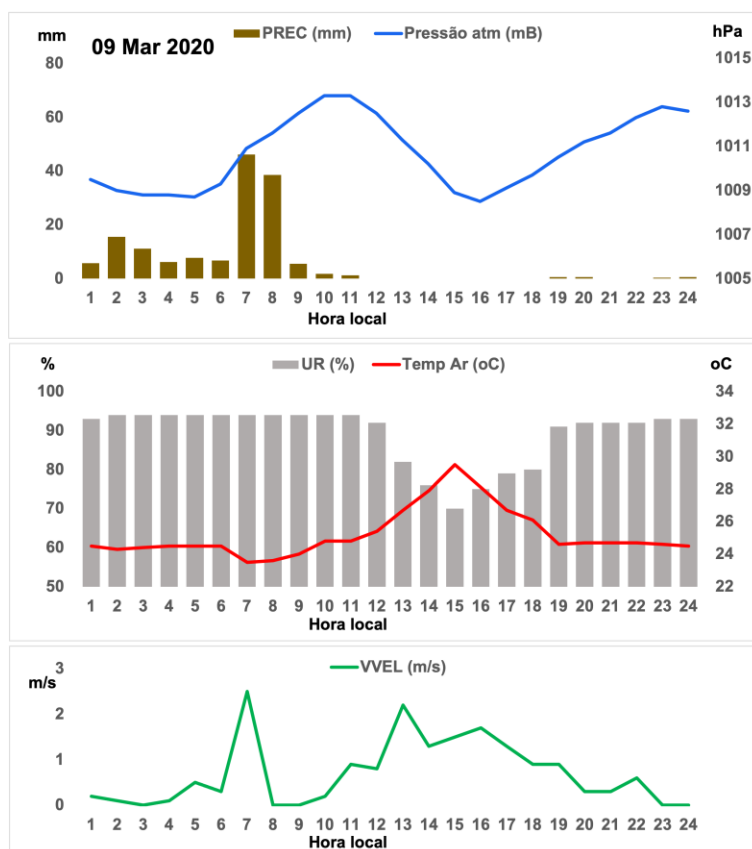


Fonte: Sauma (2020).

Analisando a Figura 11 do evento extremo de 09/março, nota-se que a chuva inicia no período noturno e perdura até às 11 da manhã. O momento de máxima precipitação (às 07h) registra 46mm, seguido do valor de 38,6 mm às 8h. No período da madrugada até o final da manhã, a temperatura do ar oscilou com valores baixos, entre 23,5 e 24,5 °C. A velocidade do vento apresentou dois picos de 2,5 m/s as 07h e 2,2 m/s as 13h.

A Figura 12 mostra as consequências da chuva intensa e prolongada neste dia, ressaltando que já havia ocorrido a passagem de um evento extremo no dia 07 (Figura 9) levando as causas/transtornos diversos, tais como enchentes, congestionamentos etc.

Figura 11 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 09/mar/2020.



Fonte: Do autor

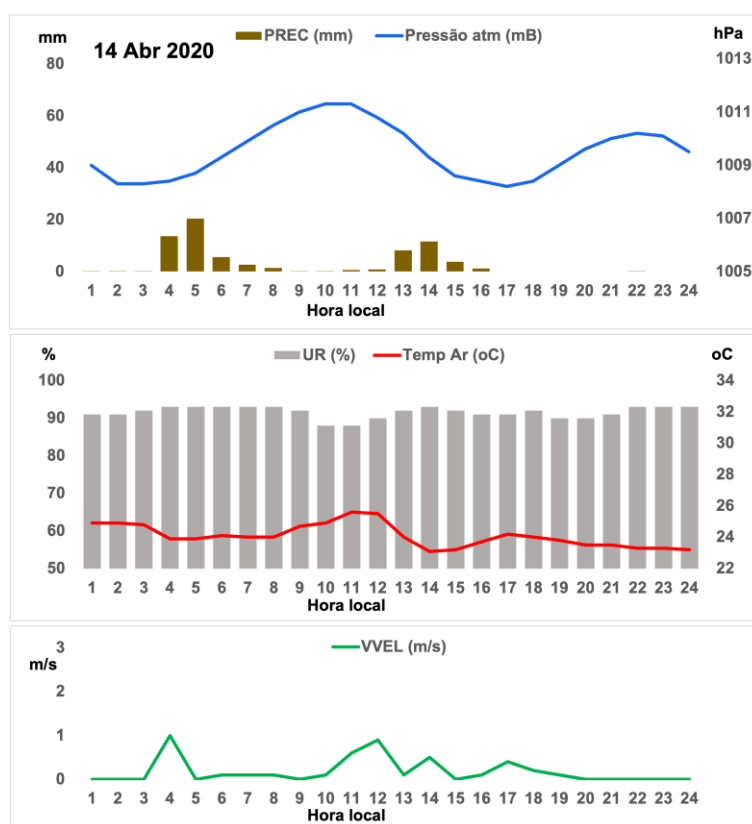
Figura 12 – Imagem referente ao dia 09 de março de 2020.



Fonte: Região metropolitana de Belém amanhece com alagamentos e aulas suspensas após mais de 10 horas de chuva. (2020)

A Figura 13 mostra o dia 14/abr com um evento de chuva contínua entre a madrugada, manhã até o final da tarde. Os dois períodos de pluviometria mais intensa ocorreram entre 4 e 7h (com chuva de 20,4 mm as 5h) e entre 13 e 16h (com chuva mais intensa de 11,6 mm as 14h). O dia chuvoso refletiu na temperatura do ar baixa ao longo de todo o dia, oscilando entre 24 e 25,6 C°, bem como na umidade elevada variando entre 88 e 93%. A velocidade do vento apresentou pico as 4h, 12 e 14h, coincidente com os horários mais chuvosos.

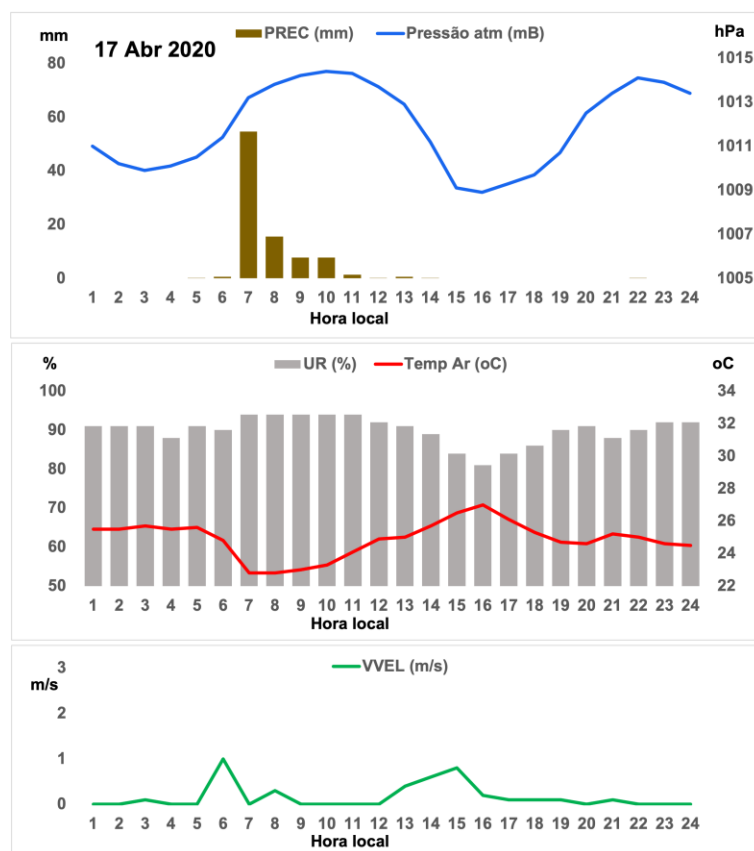
Figura 13 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 14/abr/2020.



Fonte: Do autor.

A Figura 14 mostra que o evento extremo do dia 17/abr apresentou um pico intenso de chuva horária de 54,6 mm as 7h e depois perdurou valores mais baixos de 15,6 mm e 7,8 mm até as 11h da manhã. Às 6h da manhã, antes da chuva intensa, se nota um pico de velocidade do vento de 1 m/s. A temperatura do ar oscilou de 22,6 C° as 7h até 27 C° as 16h. A umidade relativa indicou dia bastante úmido com valores entre 84 e 94%.

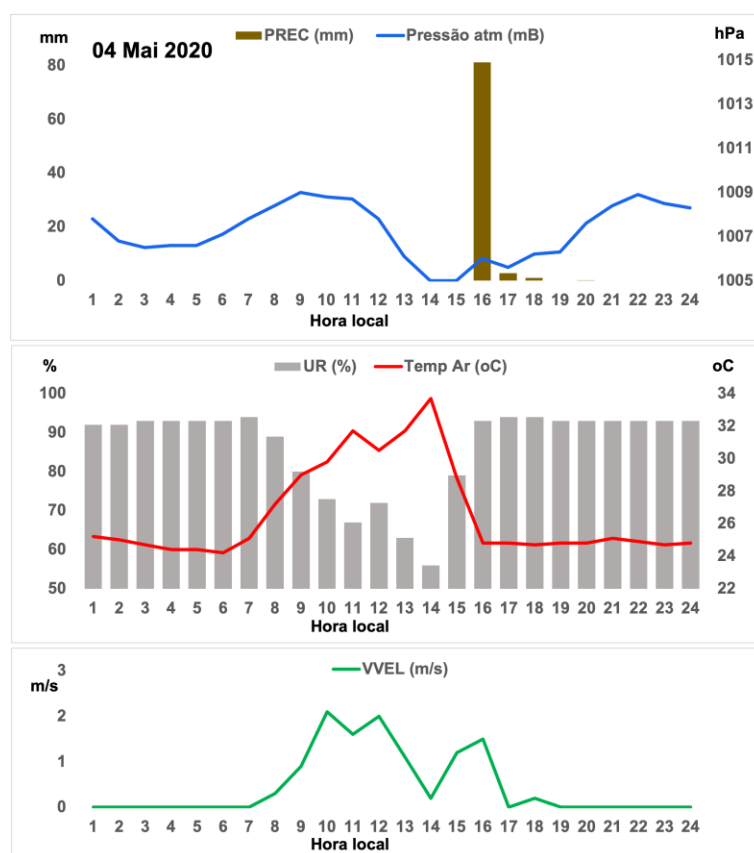
Figura 14 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 17/abr/2020.



Fonte: Do autor.

No dia 04/mai (Figura 15) foi registrado a precipitação horária mais intensa de todos os eventos estudados, com um total de 81,2 mm as 16h, cuja ocorrência se associou com queda brusca e acentuada de temperatura do ar, de 33,7 C° as 14h para 24,8 C° as 16h (diminuição de quase 9 C°), acompanhado também de redução significativa da pressão atmosférica que atingiu 1005 hPa entre 14 e 15h. Antes do horário da chuva, a temperatura aumentou, a umidade relativa diminuiu e o vento apresentou picos as 10, e 12 h.

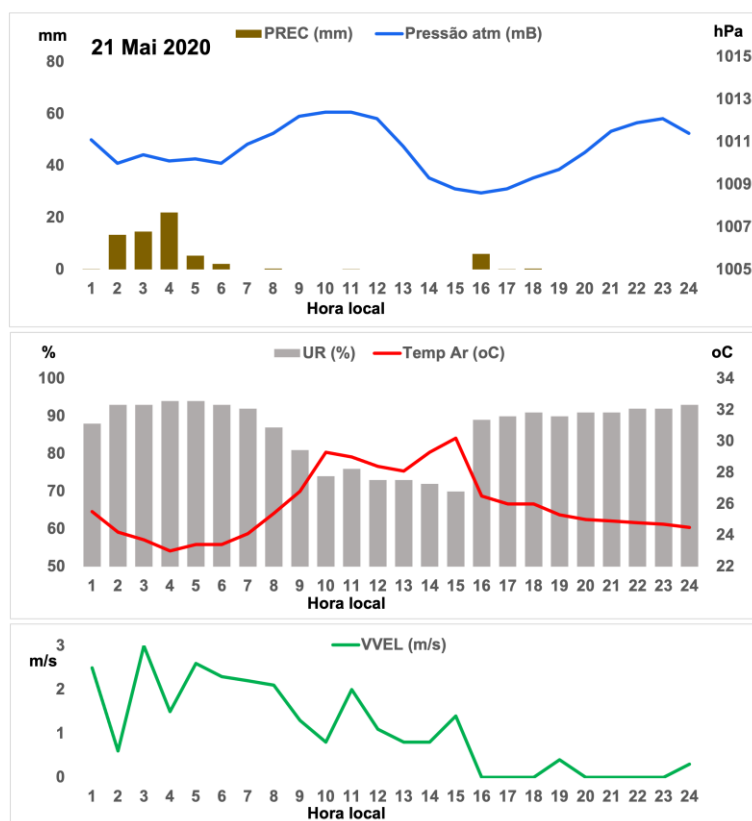
Figura 15 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 04/mai/2020



Fonte: Do autor.

A Figura 16 ilustra os gráficos horários do evento do dia 21/mai, quando se verificou ocorrência de chuva contínua no período da madrugada e manhã, entre 2 e 8h, com o valor máximo atingindo 22 mm as 04h. Outro período de chuva se observou à tarde, entre 16 e 18h, com valor de 6 mm as 16h. O comportamento da temperatura do ar com valores oscilando entre 28,1 e 29.3 C ^{1º} indica condição de tempo nublado durante a manhã e tarde. O vento oscilou bastante na madrugada, manhã e tarde, com vários picos de vento mais forte oscilando ao longo do dia.

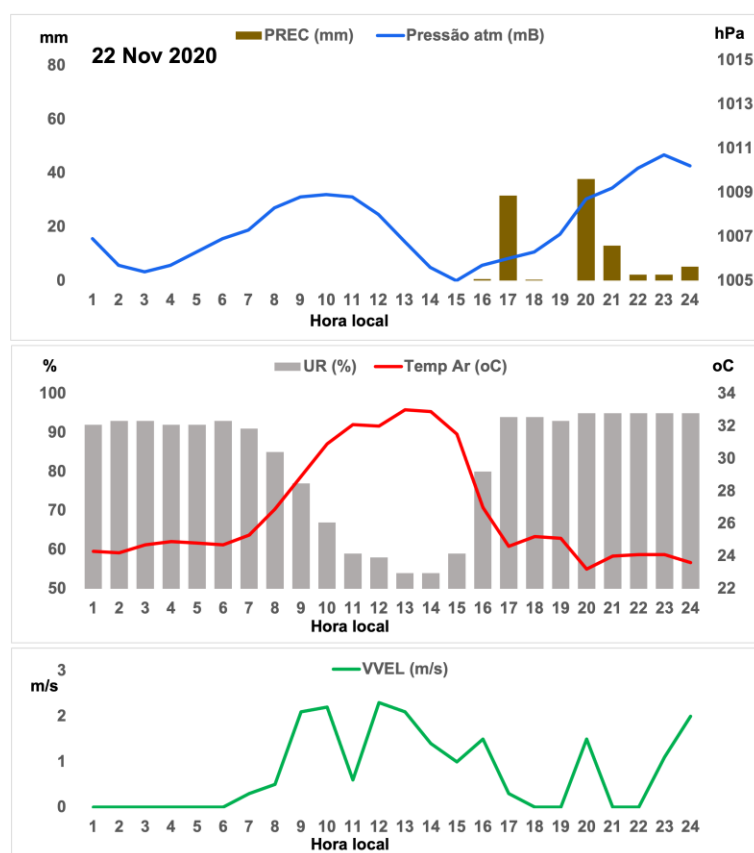
Figura 16 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 21/mai/2020.



Fonte: Do autor.

No evento do dia 22/nov (figura 17), destaca-se o comportamento da temperatura do ar que alcança valores bem mais altos dos que os eventos anteriores do regime chuvoso. No período da tarde percebe-se a evolução de aumento da temperatura (com máximo de 33°C às 14h e) e diminuição da umidade relativa ao longo do período. Os eventos de chuva ocorreram as 17h com 31,6 mm e também de forma contínua no período noturno, prolongando-se entre 20 e 24h, sendo as 20h foi verificado um total de 37,8 mm.

Figura 17 – Gráficos do comportamento horário da precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar (oC), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m/s) na estação automática durante o evento extremo do dia 22/nov/2020.



Fonte: Do autor.

3.3 Análises de sistemas meteorológicos atuantes

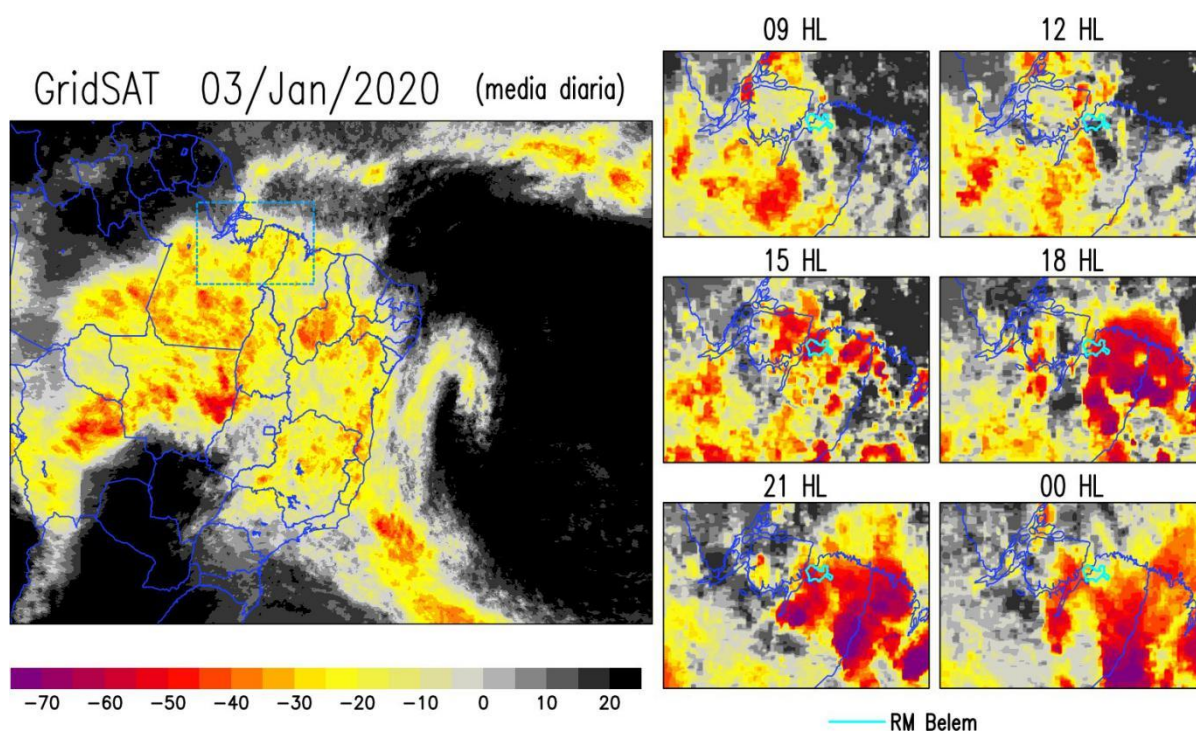
As Figuras a seguir mostram as plotagens das imagens GridSAT, sendo que as análises foram da seguinte forma:

- O painel à esquerda mostra a imagem GridSAT numa área maior sobre o Brasil (média diária considerando os horários 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 e 00 HL que cobre os períodos da madrugada, manhã, tarde e noite) usada para diagnosticar os sistemas de grande e escala sinótica;
- No painel à direita exibe-se a sequência temporal de 3//3 horas das imagens GridSAT numa área menor abrangendo o nordeste do Pará que foram utilizadas para averiguar a manifestação dos sistemas de meso que se propagaram sobre a região durante os eventos extremos que atingiram Belém.

Ressalta-se que não se pretende realizar uma análise sinótica completa e detalhada, pois a finalidade é somente de apontar/visualizar quais sistemas atuaram durante os eventos extremos registrados em Belém.

A Figura 18 mostra as imagens do dia 03/jan quando predominou intensa nebulosidade convectiva na região amazônica oriental estando relacionado com sistemas atuantes do verão, tais como a presença da Alta da Bolívia – AB, da ZCAS e um VCAN no Atlântico próximo ao litoral da Bahia. Na sequência de imagens sobre o Ne do Pará, nota-se a propagação de aglomerados convectivos atingindo a região metropolitana de Belém nos horários das 15, 18 e 21 HL.

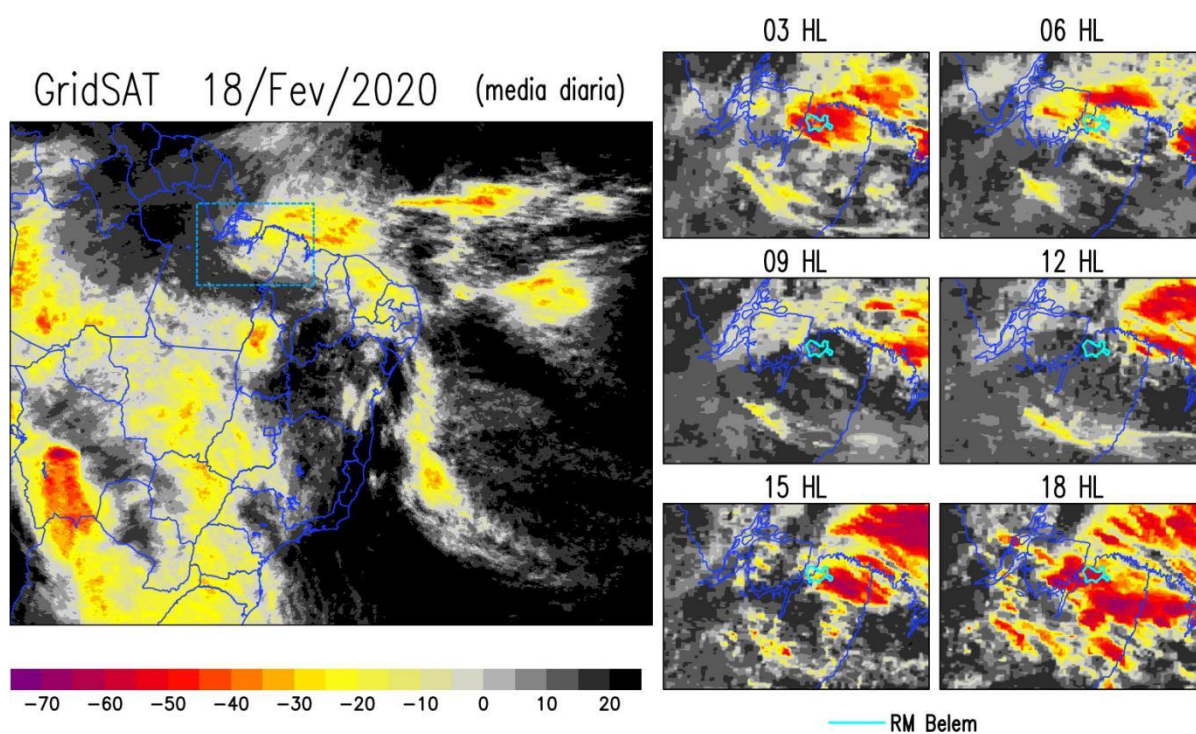
Figura 18 – Imagem GridSAT sobre o Brasil/Atlântico considerando a média diária (painel à esquerda) e sequência temporal (3/3 hrs) das imagens sobre o Ne do Pará (painel à direita) durante o evento extremo do dia 03/janeiro/2020.



Fonte: Do autor.

Na Figura 19 do dia 18/fev nota-se na imagem maior um VCAN com centro sobre a Bahia que induz nebulosidade no norte do NE (Ceará, Piauí e Maranhão) e também no nordeste do Pará. Sobre o Atlântico equatorial verifica-se formação de convecção profunda sendo que na sequência de imagens sobre o Ne do Pará observa-se a propagação de uma LI em direção a região de Belém entre os horários de 12, 15 e 18 HL.

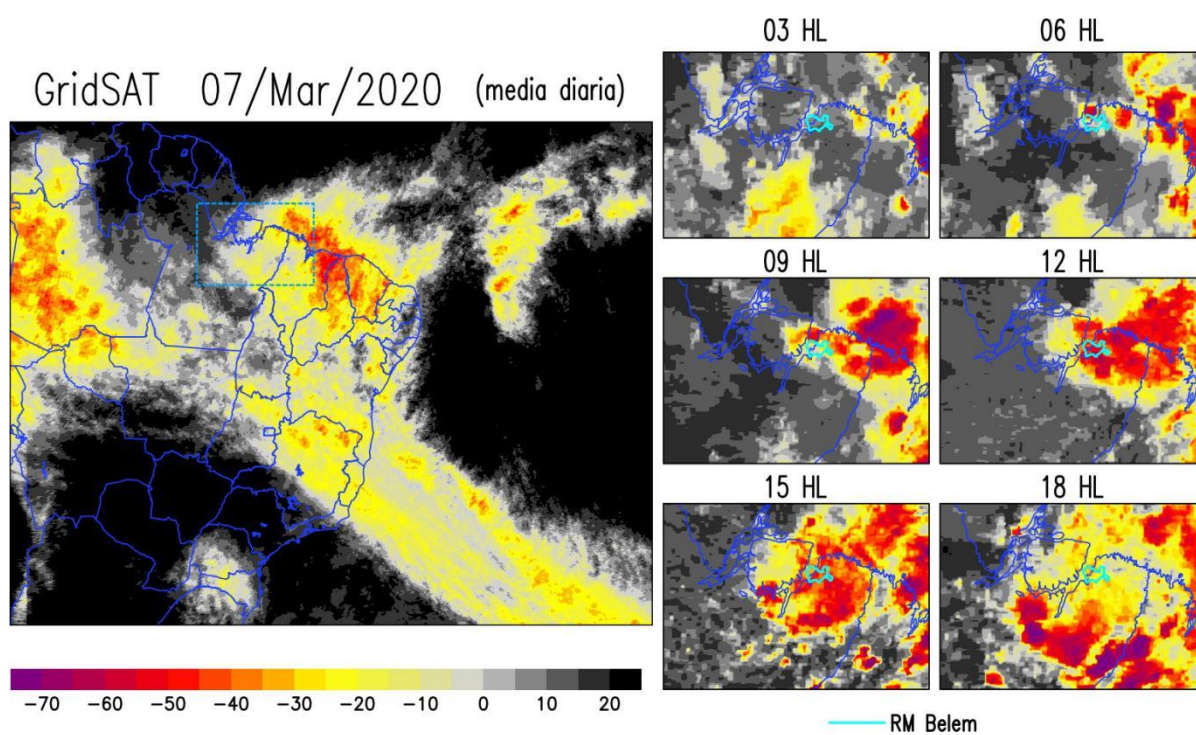
Figura 19 – Idem a Fig. 18, porém para o evento extremo do dia 18/fevereiro/2020.



Fonte: Do autor.

Na imagem ampliada da Figura 20 do dia 07/mar percebe-se a atividade convectiva associada à ZCIT na faixa equatorial influenciando o Pará e norte do Nordeste devido a interação com uma banda frontal se deslocando sobre o sul da Bahia e Espírito Santo. Na sequência de imagens 3/3 hrs verifica-se claramente a formação de uma LI no litoral as 06 HL que se intensifica e se desloca continente adentro, atingindo a região de Belém as 12 e 15 HL.

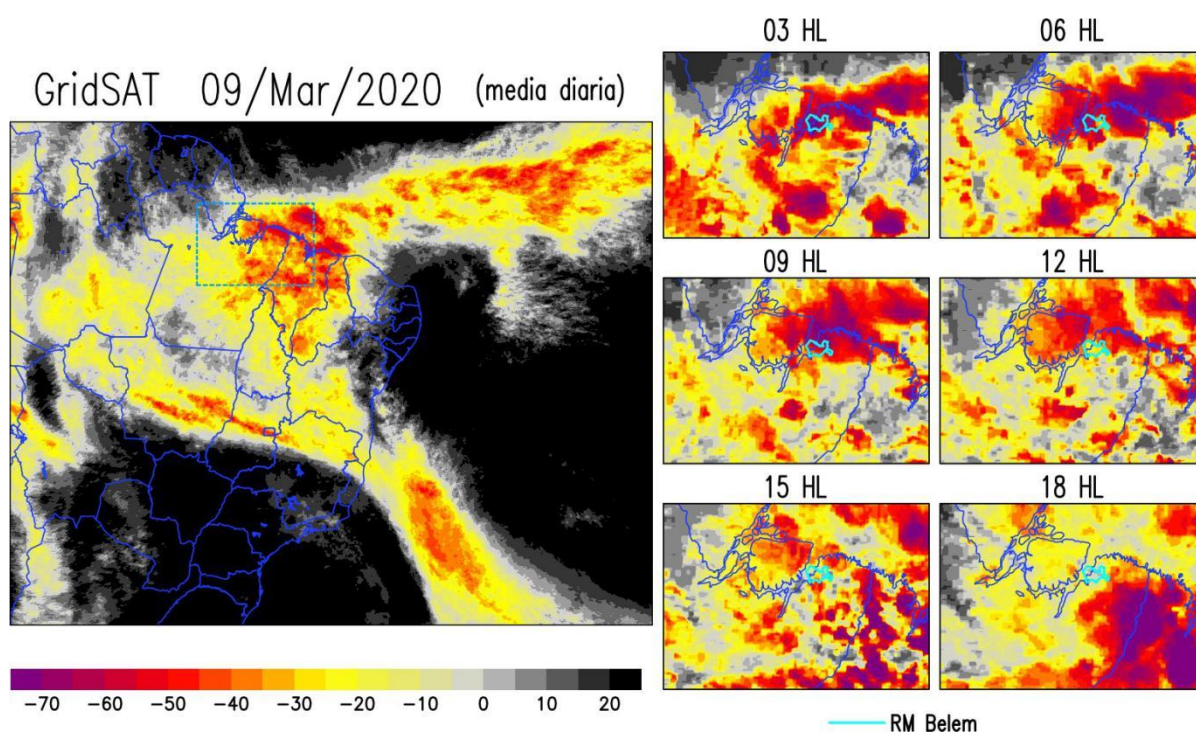
Figura 20 – Idem a Fig. 18, porém para o evento extremo do dia 07/março/2020.



Fonte: Do autor.

No dia 09/mar (Figura 21) as condições parecem semelhantes ao do dia 07/mar, com a presença da banda frontal no sul da Bahia organizando nebulosidade nas regiões centro-oeste e norte do Brasil, bem como a presença de forte atividade convectiva englobando a maior parte do Pará, Maranhão e Piauí, devido a atuação da ZCIT. Na sequência de imagens sobre o Ne do Pará, notam-se a presença de diversos Complexos e Aglomerados convectivos ao longo de toda a região.

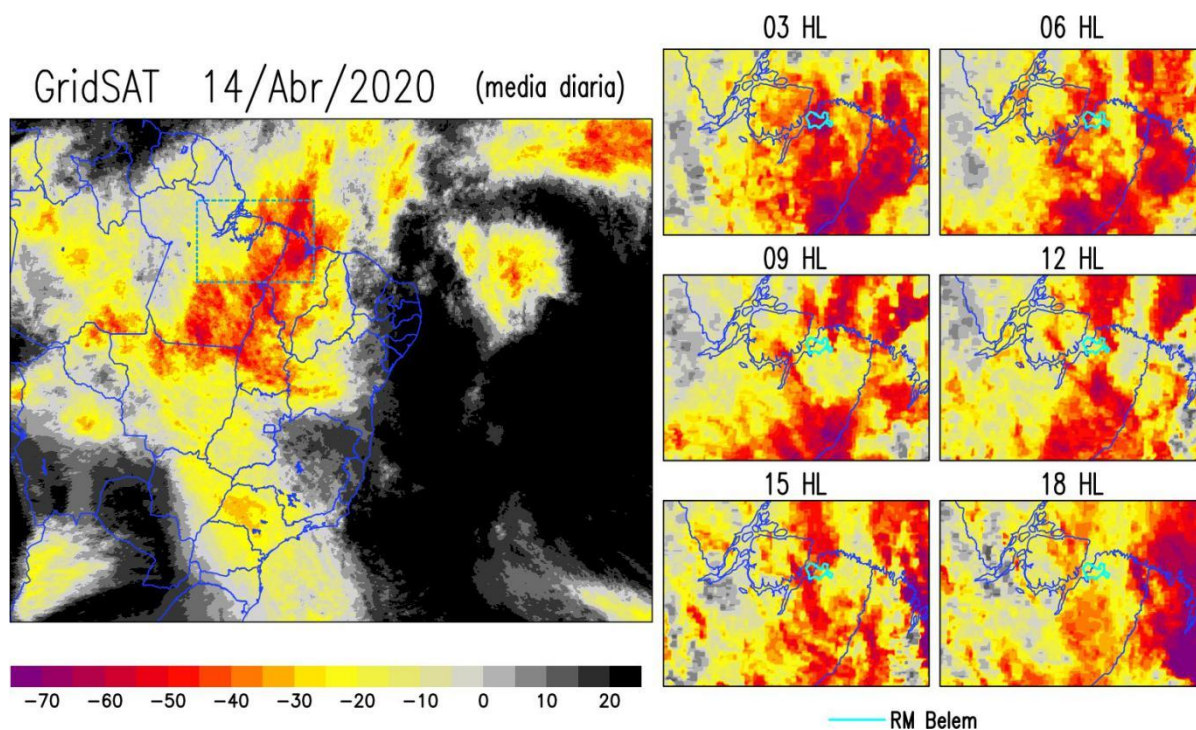
Figura 21 – Idem a Fig. 18, porém para o evento extremo do dia 09/março/2020.



Fonte: Do autor.

Na Figura 22 do dia 14/abr observa-se a presença da banda de nebulosidade associada à ZCIT mais ao norte e um VCAN no leste da região Nordeste que favorece a formação de muitas nuvens à oeste sobre os estados do Tocantins, Maranhão e grande parte do Pará. No zoom das imagens verificam-se ao longo de todo dia a atuação dos aglomerados e complexos convectivos sobre o Ne do Pará e região de Belém. Santos, Lucio e Silva (2016) comentam que os eventos extremos de precipitação também podem aumentar em decorrência da sazonalidade de outras atividades atmosféricas e oceânicas como o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) sobre a região norte e litorânea da Amazônia.

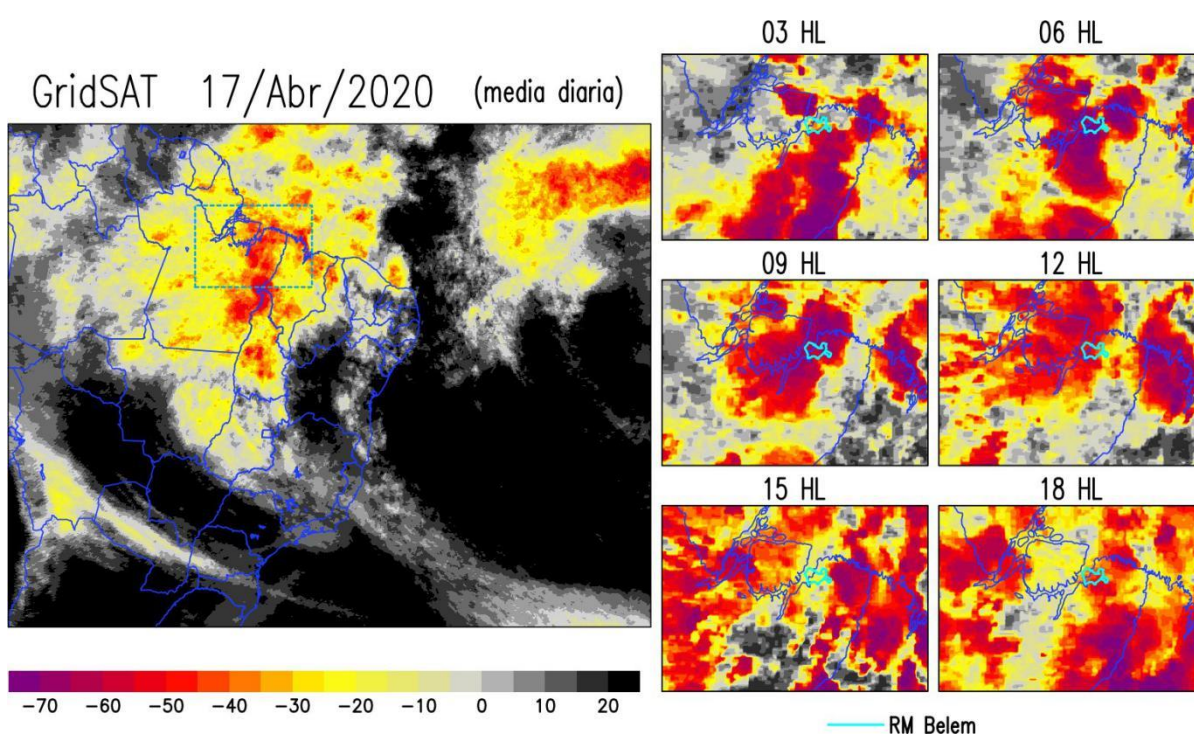
Figura 22 – Idem a Fig. 18, porém para o evento extremo do dia 14/abril/2020.



Fonte: Do autor.

No evento do dia 17/abr (Figura 23) predomina muita nebulosidade convectiva profunda sobre o Pará, Maranhão e Tocantins, em decorrência da instabilidade tropical e proximidade da ZCIT sobre o Atlântico equatorial. No Ne do Pará, as imagens mostram a manifestação de muitos aglomerados convectivos que perduram sobre Belém ao longo de todo o dia.

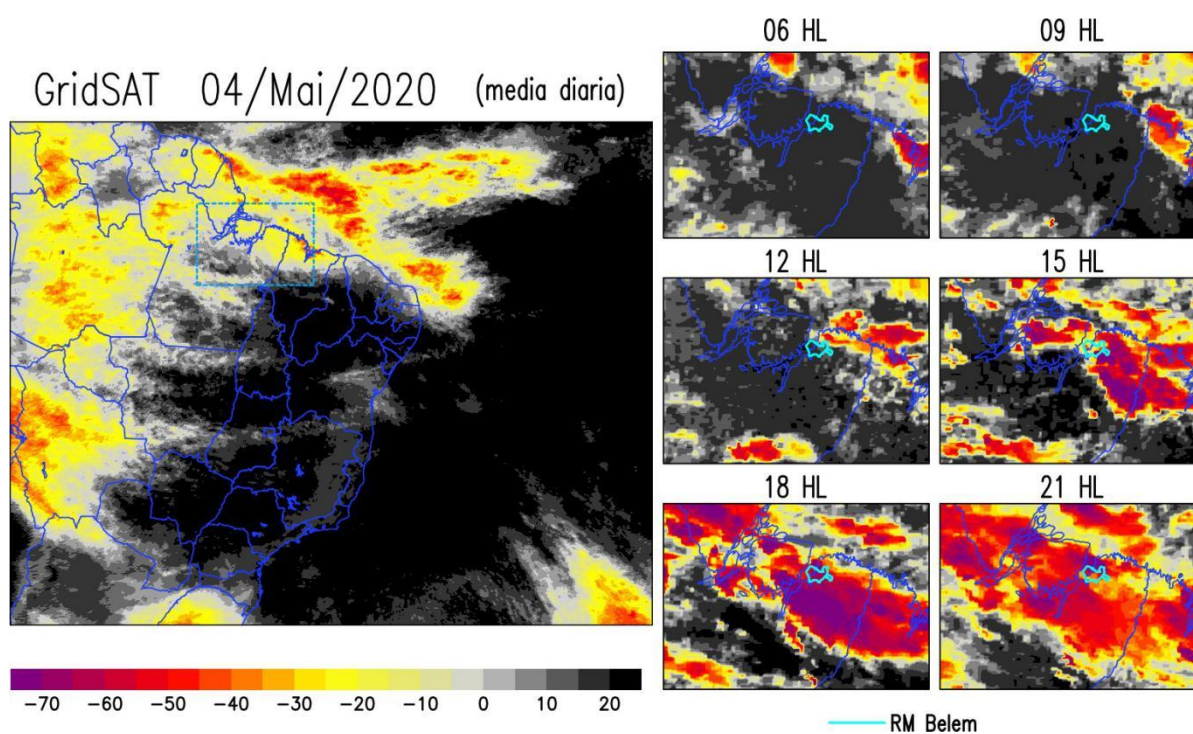
Figura 23 – Idem a Fig. 18, porém para o evento extremo do dia 17/abril/2020.



Fonte: Do autor.

Percebe-se nas imagens do dia 04/mai (Figura 24) uma banda e nebulosidade zonalmente alongada sobre o Atlântico equatorial e formação de convecção alinhada ao longo da costa do Pará e Maranhão. Estas condições possivelmente se associam a atuação ZCIT no final do período chuvoso amazônico. Na sequência das imagens claramente evidencia-se a formação da LI no litoral as 12 HL que se intensifica e se propaga em direção à Belém nos horários das 15 e 18 HL.

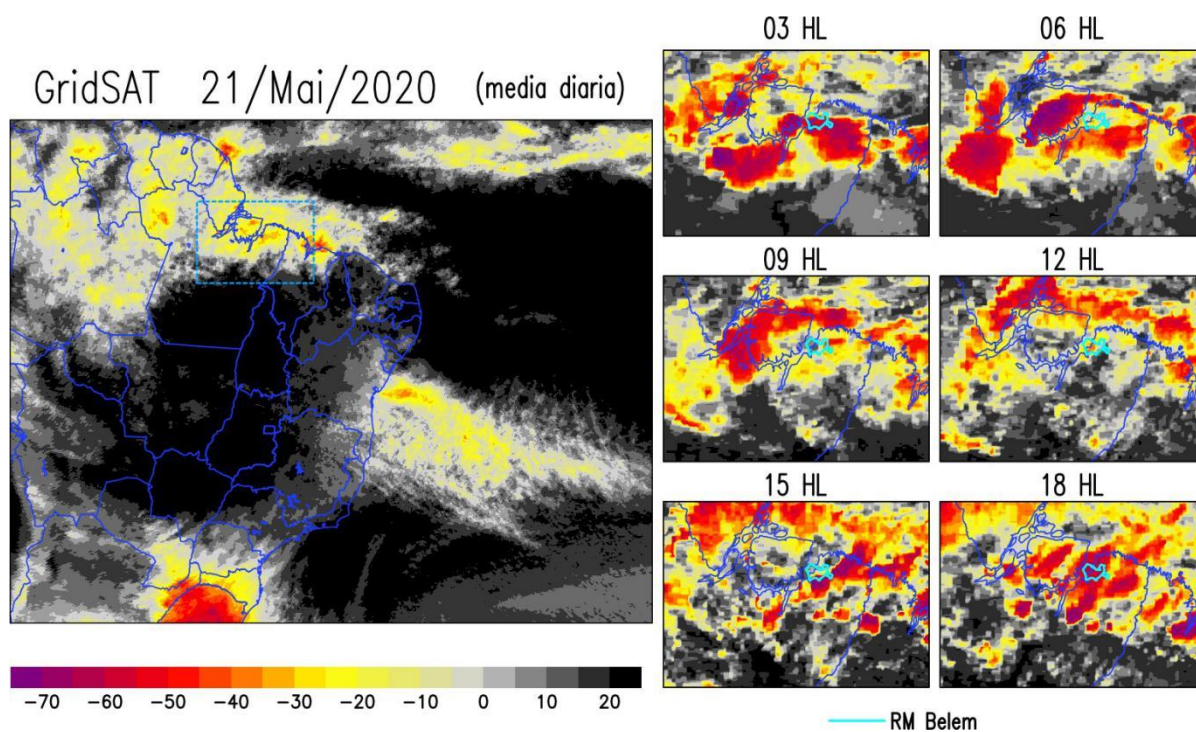
Figura 24 – Idem a Fig. 18, porém para o evento extremo do dia 04/maio/2020.



Fonte: Do autor.

Nas imagens do dia 21/mai (Figuras 25), embora a banda convectiva da ZCIT esteja mais ao norte sobre o Atlântico, nota-se formação de convecção no litoral maranhense, no norte/nordeste do Pará e no estado do Amapá. As imagens regionais mostram que os aglomerados convectivos sobre o Ne do Pará e região de Belém se manifestaram nos horários da madrugada/manhã, entre 03 e 09 HL.

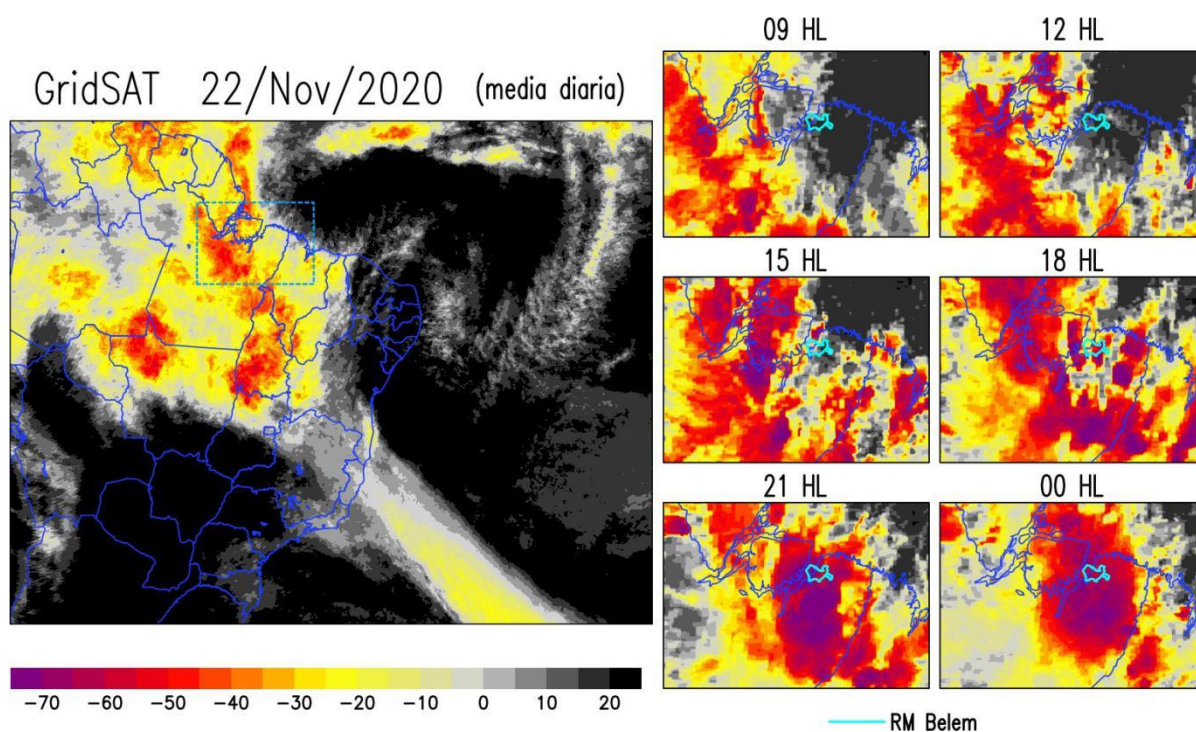
Figura 25 – Idem a Fig. 18, porém para o evento extremo do dia 21/maio/2020.



Fonte: Do autor.

A Figura 26 mostra o dia 22/nov, com a organização de diversos aglomerados convectivos sobre as regiões centro-oeste e norte do Brasil, em associação a passagem de um sistema frontal sobre o sudeste Brasileiro. As análises das imagens regionais demonstram que houve propagação de oeste e sul dos aglomerados de nuvens convectivas que atingiram o Ne do Pará. Os horários das 21 e 00 HL mostram a presença de um intenso complexo convectivo de mesoescala influenciando a região de Belém.

Figura 26 – Idem a Fig. 18, porém para o evento extremo do dia 22/novembro/2020.



Fonte: Do autor.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho formulou-se o cálculo do acumulado diário de precipitação abrangendo integralmente os períodos da madrugada, manhã, tarde e noite do mesmo dia (entre 1 e 24 horas local). Isto foi possível devido a disponibilidade de dados horários da estação meteorológica automática pertencente ao INMET. O estudo objetivou identificar os eventos pluviométricos extremos diários ocorridos em Belém, particularmente para o ano de 2020.

Os dias em que a precipitação diária excedeu o limiar do percentil P97 (64, 6 mm) e P99 (90 mm) foram considerados eventos extremos, cujo critério permitiu selecionar um total de nove eventos: 03/jan, 18/fev, 07/mar, 09/mar, 14/abr, 17/abr, 04/mai, 21/mai e 22/nov. As análises desses eventos mostraram precipitação ocorrendo em praticamente todos os horários, sendo que, a média dos nove eventos evidenciou alguns picos principais ocorrendo na madrugada (as 04h), manhã (as 07h), tarde (as 14h e 16h) e noite (20h e 21h). Analisou-se o comportamento horário das variáveis meteorológicas (precipitação, pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento) nos dias dos eventos extremos, sendo que um resultado de destaque foi a queda de até 9°C na temperatura do ar e a velocidade do vento aumentada na entrada do evento extremo.

Por fim, foram usadas as sequências de 3/3 horas das imagens GridSAT no canal infravermelho dos satélites geoestacionários para averiguar os sistemas meteorológicos atuantes nos dias dos eventos extremos. Nessas análises foi diagnosticado a presença e ou influência de diversos sistemas sinóticos, como a ZCIT, ZCAS, Alta da Bolívia, VCAN posicionado na região nordeste e sistema de meso escala, como LI e Complexos ou Aglomerados Convectivos. Resultados observados nos estudos de (ALBUQUERQUE, 2010; SOUZA, et al 2000; COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995; AMANAJÁS; BRAGA, 2012) Em novembro, período este de transição para o verão no Hemisfério Sul e menos chuvoso, observou-se a atuação no centro da Amazônia da Alta da Bolívia – AB influenciando na aparição de nebulosidade convectivas como CCM's no Pará.

Eventos extremos como os estudados no presente trabalho comumente resultam em grandes impactos socioeconômicos, em virtude da ocorrência dos alagamentos, enchentes, deslizamentos de terra, os quais podem até acometer em perdas de vidas humanas. Assim, a identificação dos eventos associados à precipitação e outras variáveis através do uso de dados meteorológicos permitem uma melhor compreensão dos processos envolvidos nos mesmos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. F. de *et al.* Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 6, v. 6, p. 151-168, jun. 2010.

ALMEIDA, Raimunda; REBELLO, Expedito; AMBRIZZI, Tércio. Variabilidade de eventos extremos e identificação de tendências climáticas no litoral Norte do Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém/PA. 2010. **Anais[...]**. Belém/PA: SBMET, 2010. p. 1-5.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço - temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p. 323 - 338, 2012.

BASTOS, T.X.; PACHECO, N.A.; NECHET, D.; SÁ, T.D.A. **Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 31p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 128).

CAMPOS, Thamiris Luisa de Oliveira Brandão; MOTA, Maria Aurora Santos da; SANTOS, Sergio Rodrigo Quadros dos. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 182-194, 2015.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A .F.; JUSTI, M. G. A. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

COHEN, J.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, p. 3163-3174, 1995. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123%3C3163:ECAWAS%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123%3C3163:ECAWAS%3E2.0.CO;2)

COSTA, E.; LEAL, P. A.; CARMO JÚNIOR, M. R. Modelo de simulação da temperatura e umidade relativa do ar no interior de estufa plástica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.57-67, 2004.

DUBREUIL, V.; FUNATSU, B. M.; MICHOT, V.; NASUTI, S.; DEBORTOLI, N.; MELLO-THERY, N. A.de; LE TOURNEAU, F.-M. Local rainfall trends and their perceptions by Amazonian communities. **Climatic Change**, v. 143, n. 4, p. 461-472, 2017

FERREIRA, Douglas Batista da Silva; SOUZA, Everaldo Barreirosde; MORAES, Bergson Cavalcanti de. Ciclo horário da precipitação no leste da Amazônia durante o período chuvoso. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v13i0.34723>.

GILLE, Felipe do Souto de Sá *et al.* Influências das condições termodinâmicas nos eventos extremos de precipitação na cidade de Belém e região metropolitana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 73-82, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Portal cidades**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Consultado em: 04 de janeiro de 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET. **Rede de estações meteorológicas automáticas do INMET**. Nota Técnica Nº 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET. Brasília-DF, 2011.

KARL, T.R.; KNIGHT, R.W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the USA. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 79, p. 231241, 1998.

KNAPP, K. R. *et al.* Globally gridded satellite observations for climate studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 92, n. 7, p. 893–907, 2011.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 4308 - 4318, 2001.

LOPES, M. N. G.; SOUZA, E.B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, p. 84-102, 2013.

LOUREIRO, Renata Silva de *et al.* Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p.83-94, 2014.

MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; DESSAY, N.; MIRANDA, I. Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia: A comparison of different vegetation types and large scale forcing. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1, p. 61–77, 2004.

MOTA, M.A.S. Importância das condições termodinâmicas na variabilidade da precipitação da Amazônia, água e meio ambiente na Amazônia. *In: SEMINÁRIO ÁGUA E MEIO AMBIENTE NA AMAZÔNIA*, Belém, 2007. **Anais[...]** Belém: [s.n.], 2007. p. 68-80.

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

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

REGIÃO metropolitana de Belém amanhece com alagamentos e aulas suspensas após mais de 10 horas de chuva. **G1**, 09 de mar. 2020. Notícia. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2020/03/09/belem-amanhece-alagada-novamente-apos-mais-de-10-horas-de-chuva-nesta-segunda-feira.ghtml>. Acesso em: 10 fev. 2022.

ROSA, A. G.; PEREIRA, F. S.; COSTA, A. N. M.; PINHEIRO, C. P. S.. Estudo climatológico dos eventos extremos de precipitação no município de Tracuateua, PA (Brasil). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.1, p.192-201, 2021. DOI: DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0016

SAUMA, Jorge. Ruas alagadas, falta de luz e trânsito parado marcam Belém após 12 horas de chuva. **G1**, 07 de mar. 2020. Notícia. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2020/03/07/belem-amanhece-alagada-apos-mais-de-10-horas-de-chuva.ghtml> . Acesso em: 10 fev. 2022.

SANTOS, Eliane Barbosa; LUCIO, Paulo Sérgio; SILVA, Cláudio Moisés Santos e. Estimating return periods for daily precipitation extreme events over the Brazilian Amazon. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 126, n. 3, p. 585-595, 2016.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; CAMPOS, T. L. O. B.; SANTOS, A. P. P. Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.2, p. 468-478, 2017.

SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação entre estimativa da precipitação observada pela técnica cmorph e estações meteorológicas do inmet em diferentes regiões do Brasil (Comparison Between the Observed Precipitation Estimates and Technical CMORPH Weather Stations of INMET in). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.2, p. 301-307, 2013.

SOUSA, Antônio José da Silva. **Extreme events of rainfall in Eastern Amazon**. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Processos de Superfície Terrestre) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

SOUZA, P.; CAVALCANTI, I. F. A. Atmospheric centers of action associated with the Atlantic ITCZ position. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2091– 2195, 2009.

TRENBERTH, K.E.; FASULLO, J.T. ;SHEPHERD, T.G. Attribution of climate extreme events. **Nature Climate Change**, v. 5, n.8, p. 725-730, 2015.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e climatologia**. [versão digital]. Brasília, DF: INMET, 2006. 463p. disponível em: http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf.