



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DOUGLAS LEONARDO SALES PEDROSA

**ANÁLISE DOS EXTREMOS DE VAZÃO NO RIO MUNDAÚ E SISTEMAS
SINÓTICOS ASSOCIADOS NO PERÍODO DE 1990 A 2019**

MACEIÓ

2022

DOUGLAS LEONARDO SALES PEDROSA

ANÁLISE DOS EXTREMOS DE VAZÃO NO RIO MUNDAÚ E SISTEMAS SINÓTICOS
ASSOCIADOS NO PERÍODO DE 1990 A 2019

Dissertação de Mestrado apresentada à
Coordenação de Pós-graduação em Meteorologia
– MET/UFAL, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Meteorologia –
Área de concentração: Hidrometeorologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim

MACEIÓ

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

P372a Pedrosa, Douglas Leonardo Sales.
Análise dos extremos de vazão no Rio Mundaú e sistemas sinóticos associados
no período de 1990 a 2019 / Douglas Leonardo Sales Pedrosa. – 2022.
72 f. : il.

Orientador: Ricardo Ferreira Carlos de Amorim.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas.
Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 68-72.

1. Perturbação ondulatória nos alísios. 2. Percentil 95. 3. Bacias hidrográficas. I.
Título.

CDU: 551.5:556.51

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar os eventos de vazão extrema no rio Mundaú e identificar os sistemas de escala sinótica que influenciaram diretamente nestes casos, entre os anos de 1990 a 2019. Para esta análise foram utilizados primeiramente os dados de vazão diária provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA) para quatro estações fluviométricas localizadas nas cidades de Murici; Rio Largo; Santana do Mundaú e União dos Palmares, posteriormente foi aplicado a técnica dos percentis, e então considerou-se um evento de vazão extrema o valor igual ou superior ao percentil 95. Com estes valores foram identificados 19 casos onde a vazão foi considerada extrema em pelo menos uma estação fluviométrica. Logo após foram identificados os sistemas que atuaram na região da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), através dos dados do modelo ECMWF em 10 níveis da atmosfera e imagens de satélite. O ano de 2000 foi o com o maior número de ocorrências de vazão extrema (03), o que representa 16% do total. Dividindo as três décadas, de 1990 a 1999 concentrou 31,5% dos eventos, de 2000 a 2009, 52,5%, e de 2010 a 2019 16%. Os eventos de vazão extrema no Rio Mundaú tiveram uma distribuição concentrada entre os meses de outono e inverno, sendo os meses de junho (9) e agosto (4) os que apresentaram o maior número de casos dentro da série. Os sistemas identificados foram: Perturbação Ondulatória nos Alísios (POA) – (15 casos); Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) – (2 casos) e Onda de Leste (OL) – (2 casos).

Palavras-chave: Perturbação Ondulatória nos Alísios, percentil 95, bacia hidrográfica

ABSTRACT

This study aimed to analyze extreme flow events in the Mundaú River and identify the synoptic scale systems that directly influenced these cases, between the years 1990 to 2019. For this analysis, daily flow data from the Agência Nacional de Águas (ANA) for four fluviometric stations located in the cities of Murici; Rio Largo; Santana do Mundaú and União dos Palmares, and with these data the percentile technique was applied, and then a value equal to or greater than the 95th percentile was considered an extreme flow event. With these values, 19 cases were identified where the flow was considered extreme in at least one fluviometric station. Soon after, the systems that acted in the region of the River Mundaú Watershed (RMW) were identified, through the data of the ECMWF model in 10 levels of the atmosphere and satellite images. The year 2000 was the year with the highest number of occurrences of extreme flow (03), which represents 16% of the total. Dividing the three decades, from 1990 to 1999 it concentrated 31.5% of the events, from 2000 to 2009, 52.5%, and from 2010 to 2019, 16%. Extreme flow events in the Mundaú River had a concentrated distribution between the months of autumn and winter, with the months of June (9) and August (4) showing the highest number of cases within the series. As for the systems that were identified, 15 cases with Wave Disturbance of Trades Winds (WDTW); 2 with Upper Tropospheric Cyclonic Vortices (UTCV) and 2 with Tropical Waves (TW).

Keywords: Wave Disturbance of Trades Winds, 95th percentile, Hydrography Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema da evolução de um ciclone extratropical (B). Sendo o ar frio (F) e quente (Q).....	21
Figura 2 - Imagem do satélite GOES 12 no canal infravermelho (a) e Pressão ao Nível Médio (hPa) (b) para 18Z do dia 04 de maio de 2015.	22
Figura 3 - Estrutura horizontal em baixos níveis (a), e estrutura vertical (b) de uma OL no Hemisfério Sul.	23
Figura 4 - (a) Imagem realçada de satélite GOES 10, e (b) Radiação de onda longa (W/m ²) para o dia 10 de maio de 2009.....	24
Figura 5 - Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.	26
Figura 6 - Estrutura vertical de um VCAN do tipo Palmer.	27
Figura 7 - Processo de formação do VCMN Figura (c), dia 16 de agosto de 2017, às 00UTC. Figura (d), dia 16 de agosto de 2017, às 06UTC.....	29
Figura 8 - Sistemas sinóticos associados com a CJNEB, mostrados no campo de linha de corrente e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (a,b) e imagem de satélite IR (c) para o dia 28 de dezembro de 2001.	30
Figura 9 - Mapa da localização das estações fluviométricas da ANA, nas cidades de (1) Murici, (2) Rio Largo, (3) Santana do Mundaú e (4) União dos Palmares.	33
Figura 10 - Biomas (a) e Uso e ocupação do solo (b) na bacia do Rio Mundaú.	34
Figura 11 - Classificação climática de Koppen para a BHRM (a) e climatologia da precipitação na BHRM (b).	35
Figura 12 - Topografia da bacia do Rio Mundaú.	36
Figura 13 - Esquematização das etapas para a determinação dos eventos de vazão extrema e identificação dos sistemas de escala sinótica.	45
Figura 14 - Variação temporal das vazões máximas mensais na estação fluviométrica de Murici, no período de 1990 a 2019.	46
Figura 15 - Variação temporal das vazões máximas mensais na estação fluviométrica de Rio Largo, no período de 1990 a 2019.....	47
Figura 16 - Variação temporal das vazões máximas mensais na estação fluviométrica de Santana do Mundaú, no período de 1990 a 2019.	48

Figura 17 - Variação temporal das vazões máximas mensais na estação fluviométrica de União dos Palmares, no período de 1990 a 2019.	48
Figura 18 - Imagens do canal infravermelho para os dias 31/07 (a); 01/08 (b) e 02/08 (c) de 2000.	52
Figura 19 - Linhas de corrente em 1000 hPa para os dias 31 de julho (a) e 01 de agosto de 2000.	52
Figura 20 - Advecção de temperatura e linhas de corrente para o dia 31 de julho de 2000, às 00 UTC (a) e 18UTC (b).	54
Figura 21 - Campo de Divergência para o dia 31 de julho de 2000 às 00 UTC (a) e às 18UTC (b).	54
Figura 22 - Linhas de corrente para o dia 19 de junho de 2006 nos níveis de 300 hPa(a); 400 hPa(b); 500 hPa (c) e 600 hPa (d) às 00UTC.	55
Figura 23 - Vorticidade Relativa (s^{-1}) para o dia 19 de junho de 2006 às 00UTC, 925 hPa (a) e 400 hPa (b).	56
Figura 24 - Campo de Divergência para o dia 19 de junho de 2006 às 00UTC, em 925 hPa (a) e 400 hPa (b).	57
Figura 25 - Imagens de satélite do GOES 12 do dia 04 de maio de 2011 às 18:30UTC nos canais Infravermelho (a); Vapor d'água (b) e Infravermelho Realçado (c).	58
Figura 26 - Linhas de Corrente para o dia 04 de maio de 2011 às 18UTC, nos níveis de 1000 hPa (a) e 850 hPa (b).	58
Figura 27 - Campo de vorticidade relativa para o dia 04 de maio de 2011 às 18UTC, em 1000 hPa (a) e 850 hPa (b).	59
Figura 28 - Campo de divergência para o dia 04 de maio de 2011 às 18UTC, em 1000 hPa (a) e 200 hPa (b).	60
Figura 29 - Curva de Permanência para a estação fluviométrica de Murici.	61
Figura 30 - Curva de Permanência para a estação fluviométrica de Rio Largo.	61
Figura 31 - Curva de Permanência para a estação fluviométrica de Santana do Mundaú.	62
Figura 32 - Curva de Permanência para a estação fluviométrica de União dos Palmares.	63
Figura 33 - Vazão máxima (m^3/s) na estação fluviométrica de Murici em função do período de retorno (anos).	64
Figura 34 - Variação da vazão máxima na estação fluviométrica de Rio Largo em função do período de retorno (anos).	65
Figura 35 - Variação da vazão máxima na estação fluviométrica de Santana do Mundaú em função do período de retorno (anos).	66

Figura 36 - Variação da vazão máxima na estação fluviométrica de Santana do Mundaú em função do período de retorno (anos).....	67
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sumário das características hidromorfológicas da bacia do Rio Mundaú.....	33
--	----

Tabela 2 - Sistemas de escala sinótica que influenciaram nos extremos de vazões máximas nas estações fluviométricas.....	50
Tabela 3 - Estimativa das vazões máximas (m ³ /s) da estação fluviométrica de Murici com diferentes períodos de retorno (anos) obtido através da distribuição de probabilidade de Gumbel.	64
Tabela 4 - Estimativa das vazões máximas (m ³ /s) da estação fluviométrica de Rio Largo com diferentes períodos de retorno (anos) obtido através da distribuição de probabilidade de Gumbel.	66
Tabela 5 - Estimativa das vazões máximas (m ³ /s) da estação fluviométrica de Santana do Mundaú com diferentes períodos de retorno (anos) obtido através da distribuição de probabilidade de Gumbel.....	67
Tabela 6 - Estimativa das vazões máximas (m ³ /s) da estação fluviométrica de União dos Palmares com diferentes períodos de retorno (anos) obtido através da distribuição de probabilidade de Gumbel.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA Agência Nacional de Águas

BHRM	Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CJNEB	Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro
CJS	Corrente de Jato Subtropical
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DOL	Distúrbio Ondulatório de Leste
DAS	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
EF	Extremidade Frontal
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
GrADS	Grid Analysis and Display System
hPa	Hectopascal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NEB	Nordeste Brasileiro
OL	Onda de Leste
PDRH	Plano Diretor de Recursos Hídricos
POA	Perturbação Ondulatória nos Alísios
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SF	Sistema Frontal
UTC	Universal Time Coordinated
VCAN	Vórtice Ciclônico em Altos Níveis
VCMN	Vórtice Ciclônico em Médios Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
---------------------	----

2	OBJETIVOS	19
2.1	Geral:	19
2.2	Específicos:.....	19
3.	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	Extremidade Frontal (EF).....	20
3.2	Onda de Leste (OL)	22
3.3	Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA)	24
3.4	Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN).....	25
3.5	Vórtice Ciclônico em Médios Níveis (VCMN).....	28
3.6	Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB).....	29
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	Área de Estudo.....	32
4.2	Características hidromorfológicas da bacia hidrográfica do Rio Mundaú	33
4.2.1	 Área da Bacia do Rio Mundaú	33
4.2.2	 Biomas e Uso e Ocupação do Solo	34
4.2.3	 Classificação climática e precipitação na BHRM	35
4.2.4	 Topografia	36
4.2.4	 Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH)	36
4.3	Período de estudo.....	37
4.4	Dados utilizados	37
4.4.1	 Dados fluviométricos	37
4.4.2	 Dados e produtos de satélite	38
4.4.3	 Dados de reanálise	38
4.5	Análise temporal da vazão.....	39
4.6	Metodologia aplicada na identificação e seleção dos casos de vazão extrema	40
4.7	Curva de Permanência	41
4.8	Período de Retorno	43

4.9 Utilização do Software Excel	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
5.1 As vazões máximas registradas nas estações fluviométricas	46
5.1.1.....	Murici46
5.1.2	Rio Largo47
5.1.3.....	Santana do Mundaú47
5.1.4.....	União dos Palmares48
5.5 Identificação dos extremos de vazão e os sistemas de escala sinótica associados ..	49
5.6 Análise dos eventos extremos para cada sistema	52
5.6.3.....	Ondas de Leste - OL57
5.2 Curva de Permanência	60
5.2.1.....	Murici60
5.2.2.....	Rio Largo61
5.2.3.....	Santana do Mundaú62
5.2.4.....	União dos Palmares62
5.4 Período de Retorno	63
5.4.1.....	Murici63
5.4.2.....	Rio Largo65
5.4.3.....	Santana do Mundaú66
5.4.4.....	União dos Palmares67
6. CONCLUSÕES	69
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. INTRODUÇÃO

O Rio Mundaú é o principal rio da bacia hidrográfica do rio Mundaú (BHRM), tem sua nascente localizada no município de Garanhuns-PE, na parte sul do Planalto da Borborema e entra em território alagoano pela Cachoeira da Escada, situada ao sul da cidade pernambucana de Correntes e a noroeste da cidade alagoana de Santana do Mundaú. Depois, o rio Mundaú atravessa a área central da Mata Atlântica Alagoana e chega ao litoral, formando a Lagoa Mundaú (Tenório, 1985)

Existe na BHRM uma reconhecida variabilidade espaço-temporal do regime hidrológico, pontuado por estiagens prolongadas e chuvas torrenciais que causam prejuízos econômicos e mortes. (SILVA et al., 2018; JÚNIOR, et al. 2010)

As cheias da bacia hidrográfica do rio Mundaú historicamente, causaram danos com certa regularidade no estado de Alagoas. Nos últimos 100 anos, oito grandes cheias assolaram a região (1914, 1941, 1969, 1988, 1989, 2000, 2010 e 2017). Os próprios moradores das áreas afetadas relatam a sua convivência com esses eventos. As cheias de 1914 e 1941 causaram grandes danos, mas há pouco registro do ocorrido. A cheia de 1969 foi a mais letal para a região, ocasionando 1.100 mortes, sendo a cidade de São José da Laje a mais atingida com 1.200 casas danificadas e desabrigou mais de 10.000 na região. Tendo um prejuízo avaliado em R\$ 140 milhões (valor atualizado). (FRAGOSO JUNIOR, 2010).

Uma das cheias mais intensas na região ocorreu entre os dias 18 e 19 de junho de 2010, devido a atuação de um sistema sinótico denominado Onda de Leste (OL) na costa leste dos estados de Alagoas e Pernambuco. Um posto pluviométrico em Garanhuns registrou um acumulado de 283 mm entre dos dias 16 e 18 de junho, sendo que a média mensal para o mês de junho de precipitação da região é 120 mm. Na cidade de Branquinha aproximadamente 80% das habitações foram destruídas. O Governo Federal na época anunciou a liberação de R\$ 4,2 bilhões (valor atualizado) para o início dos trabalhos de reconstrução das cidades atingidas. (FRAGOSO JUNIOR, 2010; LACERDA, 2010).

Muanza (2018) destacou a influência de uma extremidade frontal no dia 20 de maio de 2017, e foram registradas inundações em diversos pontos do estado de Alagoas, com destaque para a capital do estado que registrou deslizamentos de terra e quatro (04) mortes.

Segundo o relatório de avaliação de desastres naturais da The United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR, 2019) foi constatado que as enchentes foram a principal causa de desastres naturais no ano de 2019, representando 49,31% de todos os desastres reportados globalmente. O número de mortes provocadas por enchentes foi de 5.076, outras 29,6 milhões de pessoas foram atingidas de forma direta ou indiretamente por esses desastres, e cerca de US\$ 35,9 bilhões de dólares em perdas econômicas de forma direta. Neste mesmo relatório consta que o Brasil foi o nono país mais atingido por desastres naturais no mundo em 2019.

De acordo com Silva et al. (2011), existem alguns sistemas de escala sinótica que provocam precipitação no estado de Alagoas, dentre eles pode-se citar: Extremidade Frontal (EF), Onda de leste (OL), Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA), Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN), Vórtice Ciclônico em Médios Níveis (VCMN) e Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB).

Neste contexto é de suma importância avaliar o comportamento da vazão do rio Mundaú, bem como quantificar os eventos extremos de vazão nos últimos 30 anos (1990 a 2019), e com isso poder identificar os sistemas de escala sinótica que interferiram diretamente na ocorrência desses eventos que impactaram de forma recorrente na economia e na vida da população local.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral:

ANALISAR os extremos de vazão do Rio Mundaú e os sistemas sinóticos associados, no período de 1990 a 2019.

2.2 Específicos:

DESCREVER as vazões máximas nas quatro estações fluviométricas;

IDENTIFICAR os extremos de vazão máxima e os sistemas de escala sinótica atuantes nestes eventos, através dos campos meteorológicos e imagens de satélite;

DETERMINAR a curva de permanência e período de retorno para as quatro estações fluviométricas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

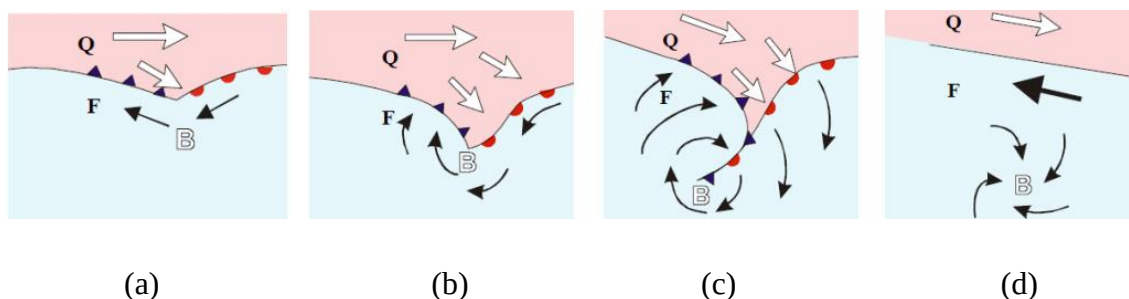
Uma abordagem dos sistemas de escala sinótica que propiciam a formação de precipitação na bacia hidrográfica do rio Mundaú com influência direta nos extremos de vazão do rio foi considerada nesse item, onde pôde-se observar os sistemas sinóticos atuantes na região da bacia do Rio Mundaú, como mostrado por Silva et al. (2011), como: Extremidade Frontal (EF), Onda de Leste (OL), Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA), Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) e Vórtice Ciclônico em Médios Níveis (VCMN).

3.1 Extremidade Frontal (EF)

Segundo Holton (1979) as zonas frontais podem ser definidas como regiões com alta assimetria na forma, com ventos intensos e fortes gradientes de temperatura. Esse sistema é constituído de uma frente fria e uma frente quente, e há a presença de um ciclone baroclínico em baixos níveis.

Na Figura 1 ilustra os estágios de formação e desenvolvimento de um ciclone extratropical, que está associado às zonas frontais. O primeiro estágio (Figura 1a) os campos térmicos e béricos ficam mais definidos, e assim a pressão começa a baixar no centro do ciclone, além de apresentar elevados gradientes de geopotencial e temperatura. No estágio de desenvolvimento máximo (Figura 1c) o ciclone apresenta-se mais profundo e com a presença de três frentes, sendo elas: a quente, fria e a oclusa. No último estágio (Figura 1d) que é o ciclone velho, como as isoípsas e isotermas estão quase paralelas, não há mudança de pressão e nem de temperatura, assim enfraquecendo os movimentos ascendentes (FEDOROVA, 2001).

Figura 1- Esquema da evolução de um ciclone extratropical (B). Sendo o ar frio (F) e quente (Q).



Fonte: Adaptado de Varejão-Silva (2005)

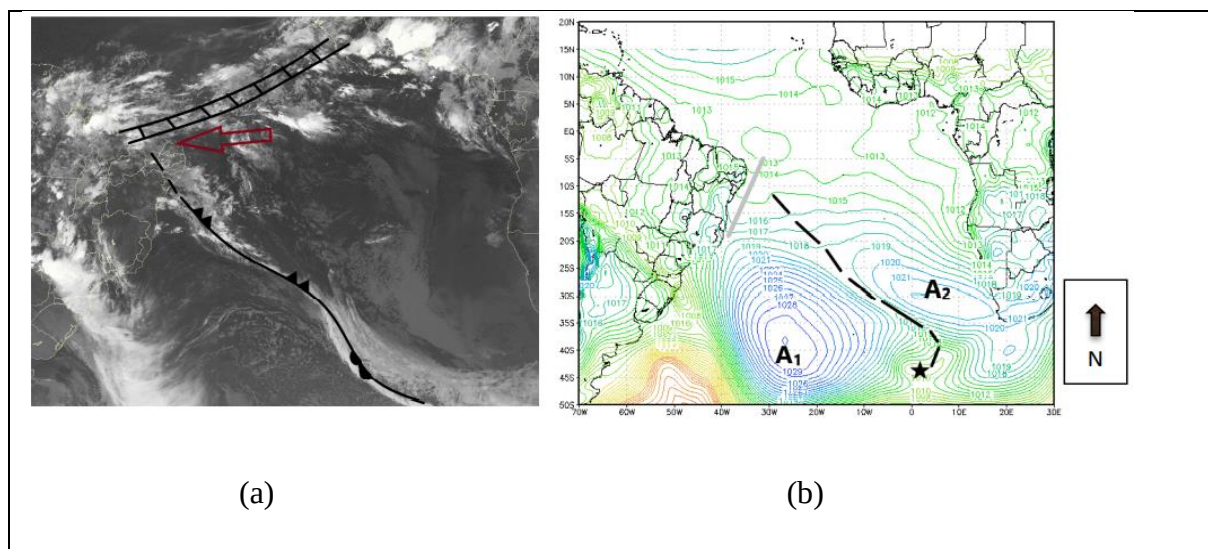
Kousky (1979) mostrou que as extremidades destes sistemas frontais alcançam a parte sul do NEB ao longo de todo o ano, tendo um papel importante no índice pluviométrico entre dezembro-janeiro, principalmente no estado da Bahia; são associados com o aumento da precipitação ao longo da costa, desde a Bahia até o Rio Grande do Norte, e durante os meses de inverno tem como consequência o maior gradiente de temperatura, chegando a afetar a precipitação até o norte do Ceará.

Catto et al. (2012) avaliaram no período de 1997 a 2008 a relação entre a precipitação provocada por frentes frias em termos globais, e foi verificado que em latitudes médias no Hemisfério Sul mais de 50% da precipitação anual está associada com a ocorrência de sistemas frontais. Já Pontes da Silva et al. (2011) identificou que as extremidades frontais foram associadas em 7 dos 21 eventos de precipitação extrema no estado de Alagoas no período de 2003 a 2006, sendo em alguns casos com chuvas de moderada a forte intensidade, por vários dias consecutivos provocando acumulados de precipitação acima dos 100mm em 24 horas.

De acordo com Muanza et al. (2018), que realizou um estudo para identificar os padrões de circulação atmosférica associada a ligação da extremidade frontal (EF) com a zona de convergência intertropical (ZCIT) no período de 2008 a 2017, foram observadas zonas frontais entre os meses de setembro, outubro e novembro. No total foram 27 casos analisados, em cada um deles foi realizado um trabalho minucioso sobre cada frente fria, desde a sua formação até alcançar a região norte do NEB.

A Figura 2 ilustra a atuação de uma extremidade frontal no estado de Alagoas no dia 04 de maio de 2015, e às 18Z foi observada a junção da banda de nebulosidade da extremidade com a ZCIT (Figura 2a) influenciando assim diretamente no tempo na região do NEB.

Figura 2 - Imagem do satélite GOES 12 no canal infravermelho (a) e Pressão ao Nível Médio (hPa) (b) para 18Z do dia 04 de maio de 2015.



Fonte: Muanza et al., 2018.

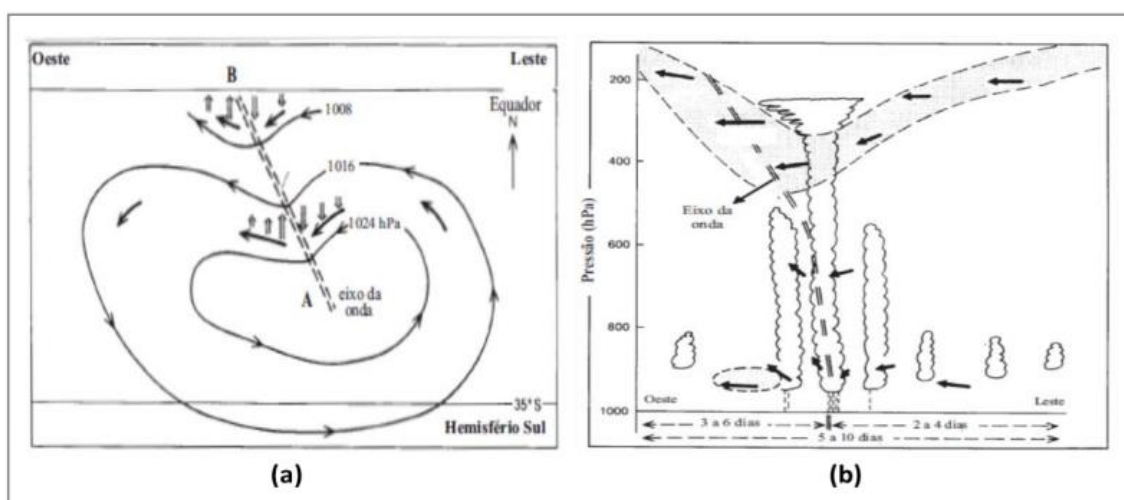
3.2 Onda de Leste (OL)

Lamb (1932) fez a descoberta teórica das Ondas de Leste (OL) com seus trabalhos, que consistiam em derivar ondas de gravidade para uma lâmina de água circular rotacionada ao redor do próprio eixo, e com isso encontrou ondas de gravidade que se moviam para leste, ondas de gravidade que se moviam para oeste e um outro tipo de onda de gravidade rotacional que se movia para oeste. Então, Rossby (1939) encontrou uma simples formulação para o tipo rotacional da onda de gravidade definida anteriormente por Lamb (1932) e, foi após essa descoberta que foram identificadas as ondas na escala sinótica e planetária, através das cartas sinóticas diárias. Estas ondas são chamadas atualmente de Ondas de Rossby, que tem como principal característica mover-se de leste a oeste com relação à corrente zonal e considerando o movimento de rotação da terra.

Os primeiros estudos sobre Onda de Leste (OL) ou Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL) com uma descrição tridimensional mais detalhada foi desenvolvida para a região do Caribe, onde foi observada uma oscilação no campo de vento e pressão. Posteriormente foi ilustrado um modelo para estes distúrbios, que tem características como uma velocidade de fase de 6° de latitude por dia, período de 3 a 4 dias e comprimento horizontal de 2.000 e 3.000 km (RIEHL, 1945 apud GOMES, 2012).

A Onda de Leste (Figura 3a) no Hemisfério Sul foi observada por meio de sua estrutura horizontal. Notou-se que antes do eixo da onda, a componente meridional do vento era positiva (sul-norte) e que após a sua passagem se torna negativa (norte-sul). Na Figura 3 (b) é possível identificar que a área convectiva está exatamente sobre o eixo da onda (HALL, 1989 apud COUTINHO e FISCH, 2007).

Figura 3 - Estrutura horizontal em baixos níveis (a), e estrutura vertical (b) de uma OL no Hemisfério Sul.



Fonte: Coutinho & Fisch (2007).

Em junho de 2010, uma Onda de Leste foi diretamente associada a uma das maiores tragédias do setor leste do Nordeste do Brasil, que devastou áreas de Pernambuco e de Alagoas, onde rios como o Mundaú e Una transbordaram depois de um acumulado de precipitação que variou entre 350 a 110mm nos dias 17 a 19 de junho. Foram anomalias de precipitação em setores da Zona da Mata de Pernambuco e de Alagoas, que superaram a casa dos 200 mm resultando em várias cidades destruídas, morte de pessoas e milhares desabrigados (LACERDA, 2010).

3.3 Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA)

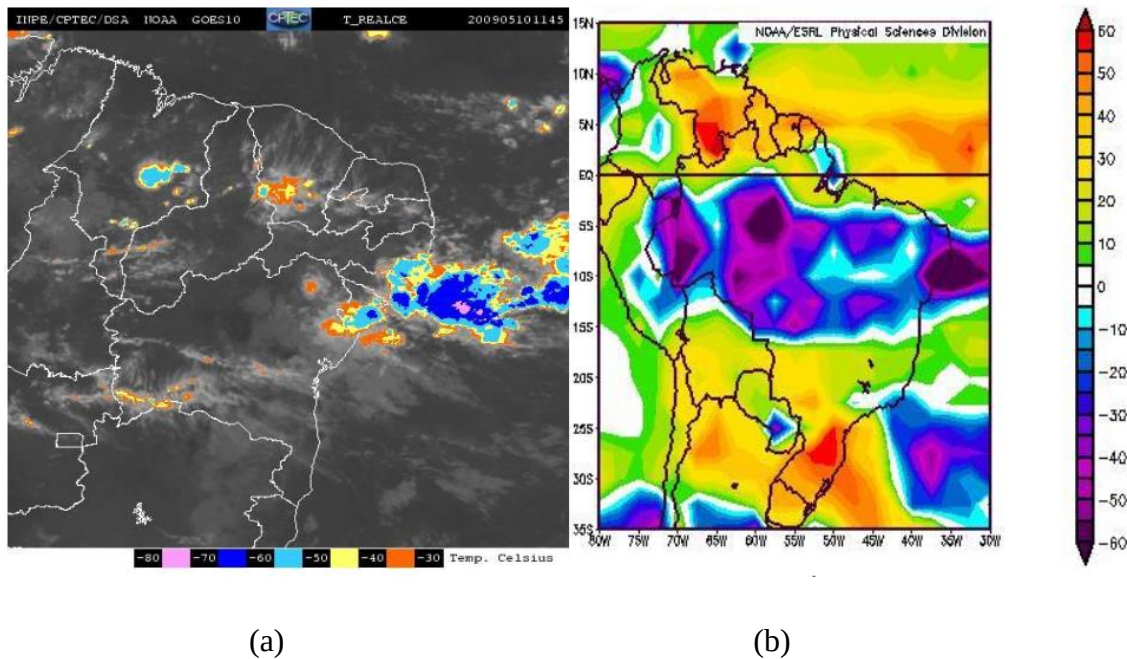
A Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA) ocorre quando há uma penetração de um sistema frontal que consegue atingir as baixas latitudes, ou seja, o campo dos ventos alísios. (ANJOS, 2006). Quando isto ocorre o mecanismo de convergência dos ventos de sul relacionados com as frentes frias e os ventos de leste provocam as POAs.

Esse sistema tem como característica o deslocamento para oeste, imersa no campo dos ventos alísios, com período de ocorrência preferencialmente entre os meses de maio e agosto. A temperatura da superfície do mar e a convergência do fluxo de umidade intensificam esse tipo de perturbação (SIQUEIRA, 2010).

Uma técnica muito utilizada para a identificação do sistema são os diagramas de Hovmöller, assim podendo identificar a propagação do sistema de leste para oeste imerso nos ventos alísios. Outra é que as POAs as vezes podem ser confundidas com OL, porém a POA tem como característica um cavado mais proeminente em 850hPa, já as Ondas de Leste é entre 700 e 500hPa.

Fialho e Molion (2012) encontraram a influência da POA em três eventos extremos de precipitação para a cidade de Maceió, no mês de maio de 2009. O primeiro caso analisado foi o do dia 10, que de acordo com as imagens de satélite GOES 10 (Figura 4a) observou-se que a temperatura do topo do aglomerado de nuvens encobria Maceió, e estava em torno de -40°C . Estas células convectivas provocou um total pluviométrico de 82,2mm na parte alta da capital. Já na Figura 4b, o mapa de ROLE ilustrou uma faixa de anomalias de -10 a -60 W/m^2 , indicando assim nuvens com um topo elevado já que essas nuvens tem como característica refletir grande parte da radiação solar incidente.

Figura 4 - (a) Imagem realçada de satélite GOES 10, e (b) Radiação de onda longa (W/m^2) para o dia 10 de maio de 2009.



Fonte: Fialho e Molion, 2012.

Segundo Calheiros (2006) de 31 de maio a 02 de junho de 2004 houve uma atuação de POA no estado de Alagoas, o que acarretou o surgimento de sistemas convectivos intensos, que provocou totais pluviométricos de 300mm acima da normal climatológica para diversas áreas do estado. Na região do litoral a precipitação ultrapassou a média climatológica em 319,4mm (576,5mm acumulado); nas regiões do Baixo São Francisco e da Zona da Mata a diferença chegou a 265,5 e 261,1mm respectivamente. Tais distúrbios tiveram uma intensificação devido ao aumento da convergência do fluxo de umidade sobre a temperatura da superfície do mar, que estava acima de 28°C ao longo da costa, e pelo deslocamento de um SF para latitudes mais baixas.

3.4 Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN)

Os Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN's) são sistemas de escala sinótica que tem como característica uma circulação fechada na alta troposfera, entre 200 hPa até 500hPa (KOUSKY e GAN, 1981).

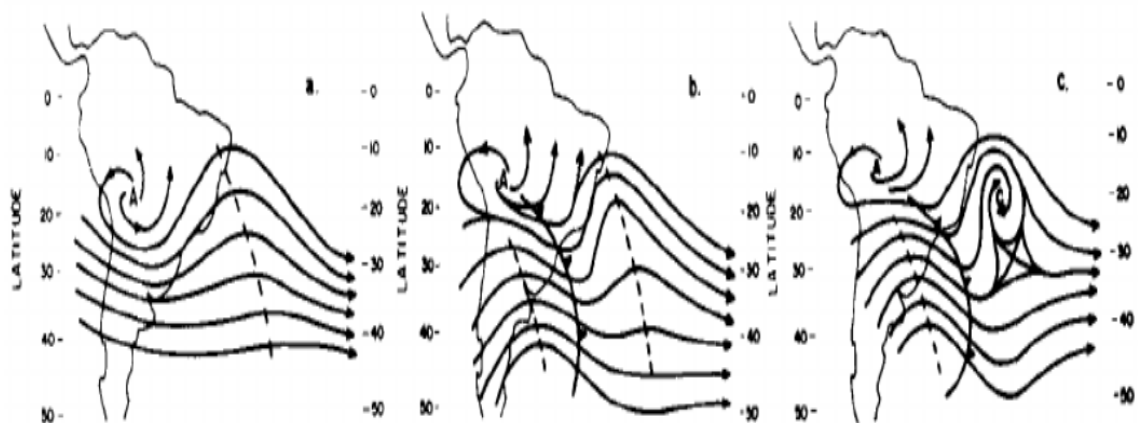
Os primeiros estudos envolvendo esses vórtices foram desenvolvidos por Palmén (1949), Palmer (1951) e Frank (1966), porém apenas com foco no Hemisfério Norte. Para o Hemisfério Sul, na região do Atlântico Sul Tropical, os primeiros estudos desenvolvidos datam a partir da década de 70 por Dean (1971) e Aragão (1975).

Aragão (1975) propôs que os VCAN's que atuavam sobre a região nordeste do Brasil tinham o seu desenvolvimento de 700 até 300 hPa. Porém um estudo posterior de Valverde Ramírez (1996) que teve como enfoque analisar os padrões de circulação associados aos VCAN's sobre o NEB e o Atlântico Tropical, no período de janeiro de 1980 a dezembro de 1989, constatou que geralmente os vórtices raramente alcançam o nível de 700 hPa como foi proposto anteriormente, e sim que eles se estendiam até 500 hPa.

Esse sistema é classificado em dois tipos, tendo o lugar e época de sua formação como uma das características para distinção entre eles. O do tipo *Palmer* forma-se em latitudes tropicais, são mais frequentes no verão do Hemisfério Sul, sendo o desse tipo o que atua no NEB. Já o do tipo *Palmém* tem como origem as latitudes subtropicais e são mais frequentes nos meses de inverno e primavera. (GAN, 1982)

Kousky e Gan (1981) esquematizaram a formação do VCAN na região do NEB (Figura 5), o vórtice de formação clássica tem como origem a intensificação da crista associada à Alta da Bolívia (AB), onde posteriormente há presença de um cavado ao leste e a incursão de sistemas frontais

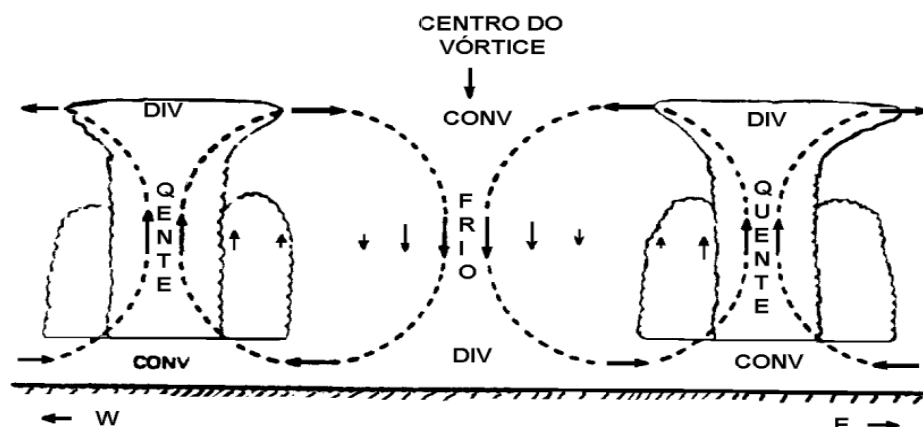
Figura 5 - Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.



Fonte: Kousky e Gan, 1981.

Já à estrutura vertical (Figura 6), tem como característica movimentos ascendentes na periferia, o que propicia a formação de nuvens, e no centro movimentos descendentes, o que ocasiona a advecção de ar frio e seco de altos para médios níveis (KOUSKY & GAN, 1981).

Figura 6 - Estrutura vertical de um VCAN do tipo Palmer.



Fonte: Kousky e Gan, 1981.

Abreu et al. (2019) analisou a variabilidade espacial e temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio Paraíba no período de 1980 a 2013, e encontraram que os principais sistemas que atuaram em eventos com maiores acumulados foram a ZCIT, SCM e o VCAN.

De acordo com Campos et al. (2012) que identificou a influência dos VCANs em extremos de precipitação na bacia do rio Sapucaí (MG) foram registrados 6 eventos no período de janeiro de 2009 a fevereiro de 2012. Sendo o evento de 08 de fevereiro de 2009 o mais intenso com precipitação média de 228,5mm em duas estações meteorológicas.

3.5 Vórtice Ciclônico em Médios Níveis (VCMN)

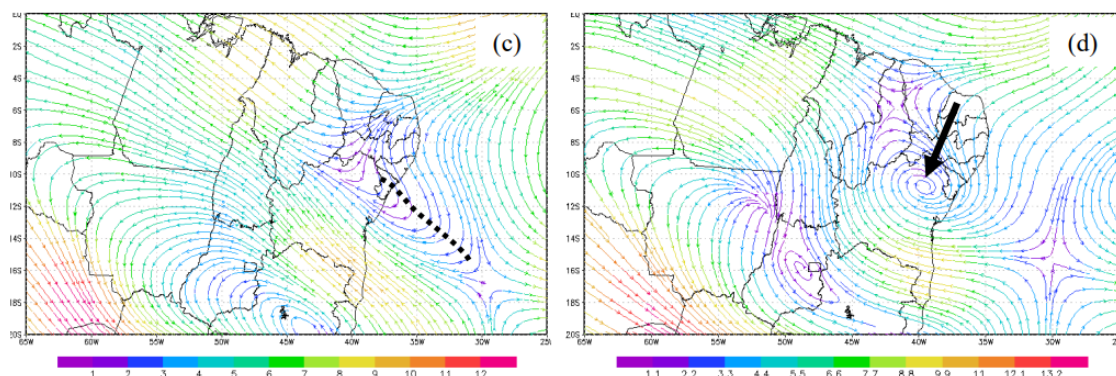
O Vórtice Ciclônico em Médios Níveis (VCMN) tem como definição uma circulação fechada que é somente observada em médios níveis da atmosfera, ou seja, entre 700-400 hPa (FEDOROVA et al., 2006). Pontes da Silva (2008) e Pontes da Silva (2011) elaboraram uma análise sinótica diária durante quatro (04) anos, para compreender quais sistemas estavam relacionados a precipitações superiores a 5,0mm no estado de Alagoas. Dentre os casos analisados, 2% deles foram relacionados ao vórtice ciclônico em médios níveis.

Segundo Santos (2012), foram observados 696 casos de VCMN, entre os anos de 2008 a 2010, e foi verificado que o mês com menor frequência foi setembro, com 5,7% dos casos e as maiores frequências foram registradas em janeiro, abril e agosto com valores superiores a 10%. Os VCMN's não apresentam grande variação sazonal, tendo as menores frequências na primavera e inverno (21,3% e 25,9% respectivamente) e maior frequência no verão 26,6%, com um total de 185 casos. A grande maioria dos casos se concentra no oceano; dos casos analisados apenas 28 atuaram sobre o continente, correspondendo a 13,7%.

Também o VCMN esteve associado com sistemas de escala sinótica como: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Corrente de Jato Subtropical (CJS). Este mesmo autor analisou e contabilizou através do campo de linhas de corrente os níveis de surgimento do VCMN. Constatou-se que 41% dos VCMNs foram identificados no nível de 700 hPa, 27% em 600 hPa, 22% em 500 hPa, 7% em 400hPa e 3% se desenvolveu até o nível de 800 hPa. Para a duração dos VCMNs, o mesmo relatou um total de 492 casos com duração entre 6 a 12 horas; 120 casos entre 18 a 24 horas; 44 casos entre 30 a 36 horas e 40 casos com duração superior a 42 horas.

Existem vários tipos de formação dos VCMNs, um deles é exposto na Figura 7 abaixo.

Figura 7 - Processo de formação do VCMN Figura (c), dia 16 de agosto de 2017, às 00UTC. Figura (d), dia 16 de agosto de 2017, às 06UTC.



Fonte: Da Silva e Fedorova, 2019.

3.6 Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB)

A Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) pode ser definida como uma corrente de ar com ventos fortes, em níveis superiores atuando na região do NEB. Localiza-se na tropopausa, por volta dos 200 hPa, entre as latitudes de 20°S e o Equador, tendo assim a sua maior ocorrência e formação durante os meses de inverno e primavera (GOMES, 2003 e CAMPOS, 2005).

De acordo com Gomes (2003) as CJNEBs forma identificadas em todas as estações sobre o estado de Alagoas. Durante os meses de janeiro e abril a velocidade média da CJNEB ficou abaixo de 30m/s. Já durante os meses de julho e outubro os ventos foram superiores a 30m/s. Este sistema mostrou ligação com VCAN no período seco (novembro a janeiro). E a existência da CJNEB não altera as condições do tempo em baixos níveis.

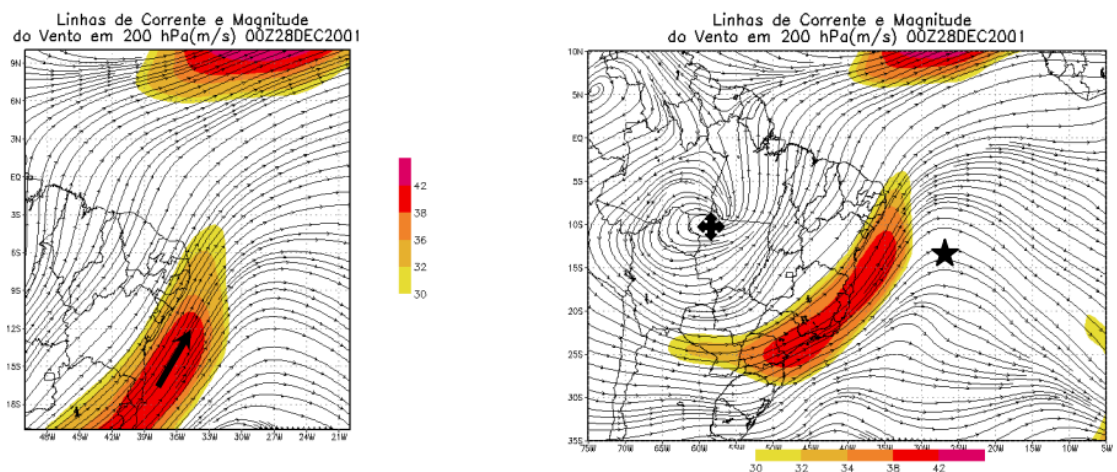
Segundo Campos (2005) verificou em sua pesquisa que os movimentos verticais ascendentes na periferia leste do VCAN foram modificados pela circulação da entrada da CJNEB. No caso dos movimentos verticais clássicos relacionados com o VCAN foram identificados movimentos descentes na periferia. Sendo assim a estrutura do centro do VCAN foi modificada, tendo assim movimentos ascendentes no seu núcleo. Um estudo a respeito dessas circulações deve ilustrar as áreas de divergência e convergência, tanto na alta como na baixa troposfera, podendo assim gerar instabilidades que favoreçam o surgimento e a manutenção de sistemas convectivos relacionados com o VCAN.

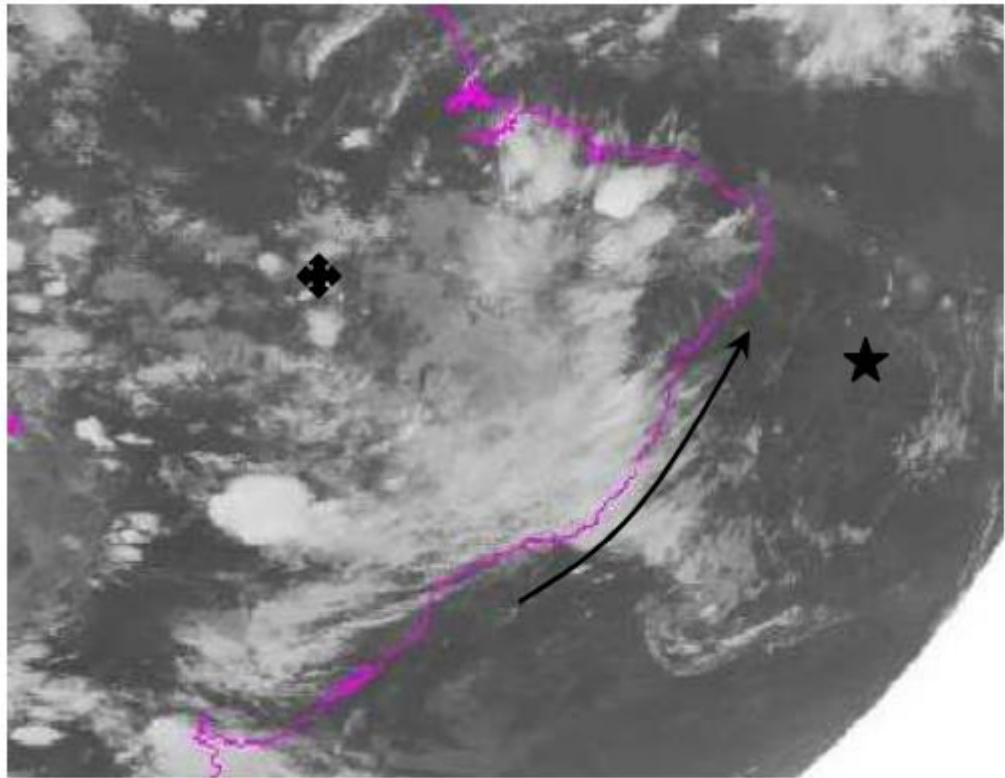
Já Fedorova et. al (2009) com um estudo sobre a precipitação no estado de Alagoas no período de 2003 a 2006, e que mesmo a CJNEB com intensidade fraca (32 a 36 m/s) durante todo o período esteve sempre presente na periferia oeste de um vórtice ciclônico em altos níveis. Assim influenciado diretamente nos movimentos ascendentes e o desenvolvimento de precipitação em 114 casos.

E nove eventos de complexos convectivos de mesoescala (CCM) foram relacionados com a atuação da CJNEB. De acordo com as imagens de satélite e as cartas sinóticas foi constatado que um dos fatores que favoreceu o desenvolvimento do complexo convectivo de mesoescala foi estar localizado do lado quente da CJNEB. (FEDOROVA, 1999)

Campos (2010) identificou no período de 1994 a 2009 que a CJNEB foi observada em 1.100 casos e com mais frequência (67% dos casos) nas estações de outono e inverno, porém ocorreu um número representativo de casos na primavera e verão (33%). É possível identificar (Figura 8) a interação da Alta da Bolívia e do cavado com a CJNEB sobre o estado de Alagoas.

Figura 8 - Sistemas sinóticos associados com a CJNEB, mostrados no campo de linha de corrente e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (a,b) e imagem de satélite IR (c) para o dia 28 de dezembro de 2001.





Fonte: Campos, 2010.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende a quatro (04) pontos de referência na bacia hidrográfica do rio Mundaú (Figura 9), que são as cidades de (1) Murici; (2) Rio Largo; (3) Santana do Mundaú e (4) União dos Palmares, onde estão localizadas as estações fluviométricas. Para conseguir realizar a análise sinótica será necessário abranger uma grande área entre as latitudes 5° Norte e 35° Sul e longitudes 10° Leste a 55° Oeste.

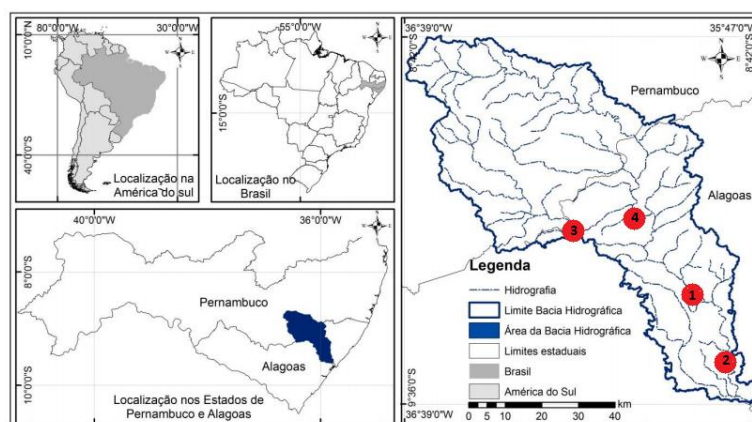
(1) Murici: é um município da zona da mata alagoana que se encontra na latitude 9°18'25" Sul, e 35°56'24" Oeste, com uma população estimada de 28.236 habitantes, sendo o 22º município mais populoso do estado, o território abrange uma área de 418.028 km, com densidade demográfica de 62,58 habitantes/km² (IBGE, 2020).

(2) Rio Largo: é um município localizando na latitude 9°29'41" Sul e longitude 35°51'12", a população de 75.120, sendo o 4º município mais populoso do estado de Alagoas, com uma área de 293.816 km² e densidade demográfica de 223,56 habitantes/km² (IBGE, 2020).

(3) Santana do Mundaú: é um município que está entre as coordenadas de 9°10'04" Sul e 36°13'19" Oeste, com uma população de 10.740, sendo o 67º município mais populoso, com uma área de 225.497 km² e densidade demográfica de 48,76 habitantes/km² (IBGE, 2020).

(4) União dos Palmares: está localizado na latitude 09°09'30" Sul e longitude 36°01'55" Oeste, a população é de 65.611 habitantes, sendo o 5º município mais populoso do estado com área de 420.720 km², e densidade populacional de 148,24 habitantes/km² (IBGE, 2020).

Figura 9 - Mapa da localização das estações fluviométricas da ANA, nas cidades de (1) Murici, (2) Rio Largo, (3) Santana do Mundaú e (4) União dos Palmares.



Fonte: Adaptado de Gomes et. al., 2016.

As características hidromorfológicas da bacia do rio Mundaú (Tabela 1) interferem diretamente na vazão registrada nas estações fluviométricas, pois indicadores como sinuosidade; densidade dos rios e amplitude altimétrica pode auxiliar na explicação dos eventos extremos em determinadas bacias.

Tabela 1 - Sumário das características hidromorfológicas da bacia do Rio Mundaú.

Hidromorfologia da bacia do Rio Mundaú	Valores
Área da bacia	4.457,87 km ²
Perímetro	322,68 km
Forma da bacia	Retangular: 0,70
Amplitude altimétrica	1.018 m

Fonte: MARCUZZO et al., 2011

4.2 Características hidromorfológicas da bacia hidrográfica do Rio Mundaú

4.2.1 Área da Bacia do Rio Mundaú

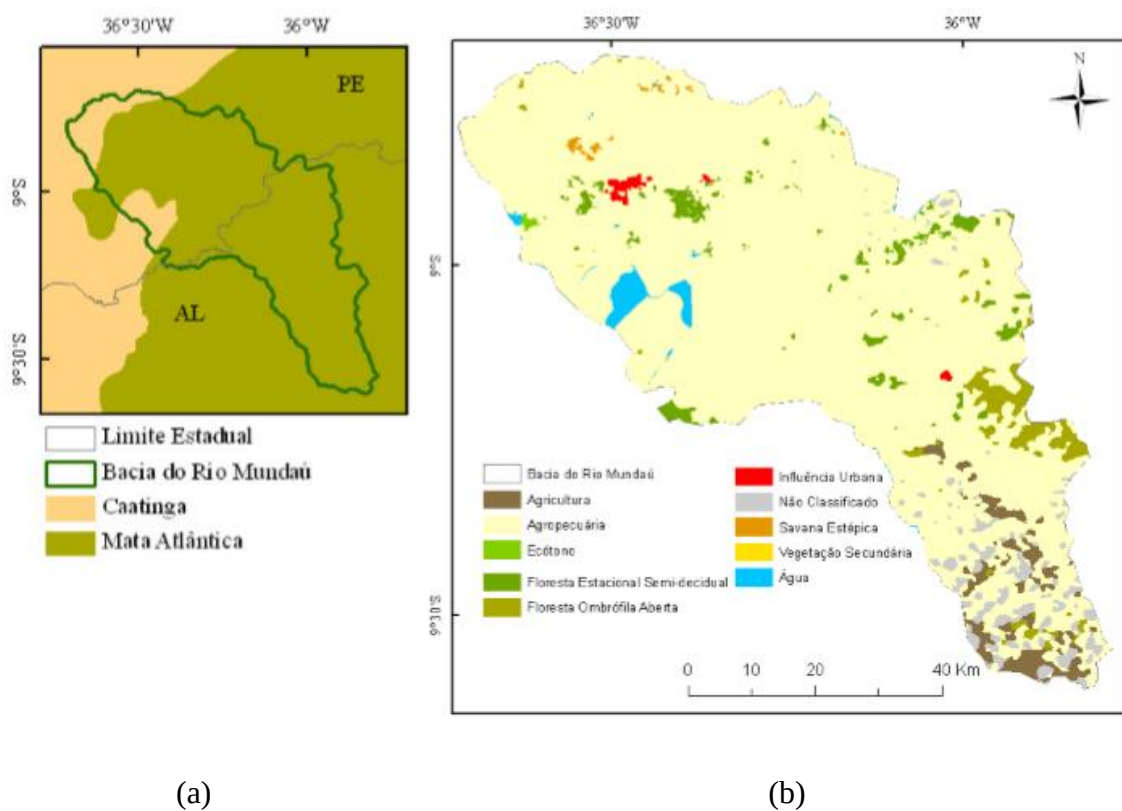
A bacia hidrográfica do Rio Mundaú possui uma área total de 4.457,87 km². A bacia (Figura 10) está localizada nos estados de Pernambuco, com maior área 54,90% (2.447,50 km²),

e de Alagoas, com 45,10% (2.010,37 km²) da área da bacia. A área da bacia do Rio Mundaú engloba ao todo 36 municípios, sendo 19 municípios no estado de Alagoas e 17 municípios no estado de Pernambuco (MARCUIZZO, 2011).

4.2.2 Biomas e Uso e Ocupação do Solo

A maior parcela da bacia do Rio Mundaú está inserida no bioma da Mata Atlântica. Uma pequena parte localizada ao norte e outra a noroeste da bacia está inserida no bioma da Caatinga (Figura 10a). Quanto ao uso e ocupação do solo (Figura 10b) grande parte da área da bacia tem como finalidade a agropecuária, sendo assim uma área propensa à compactação do solo devido à atuação mecânica dos animais como os bovinos e caprinos que são criados na região. Observa-se que a bacia tem poucas áreas de mata ciliar, mata atlântica, que é representado pela cor verde (Figura 1b) (MARCUIZZO, 2011).

Figura 10 - Biomas (a) e Uso e ocupação do solo (b) na bacia do Rio Mundaú.



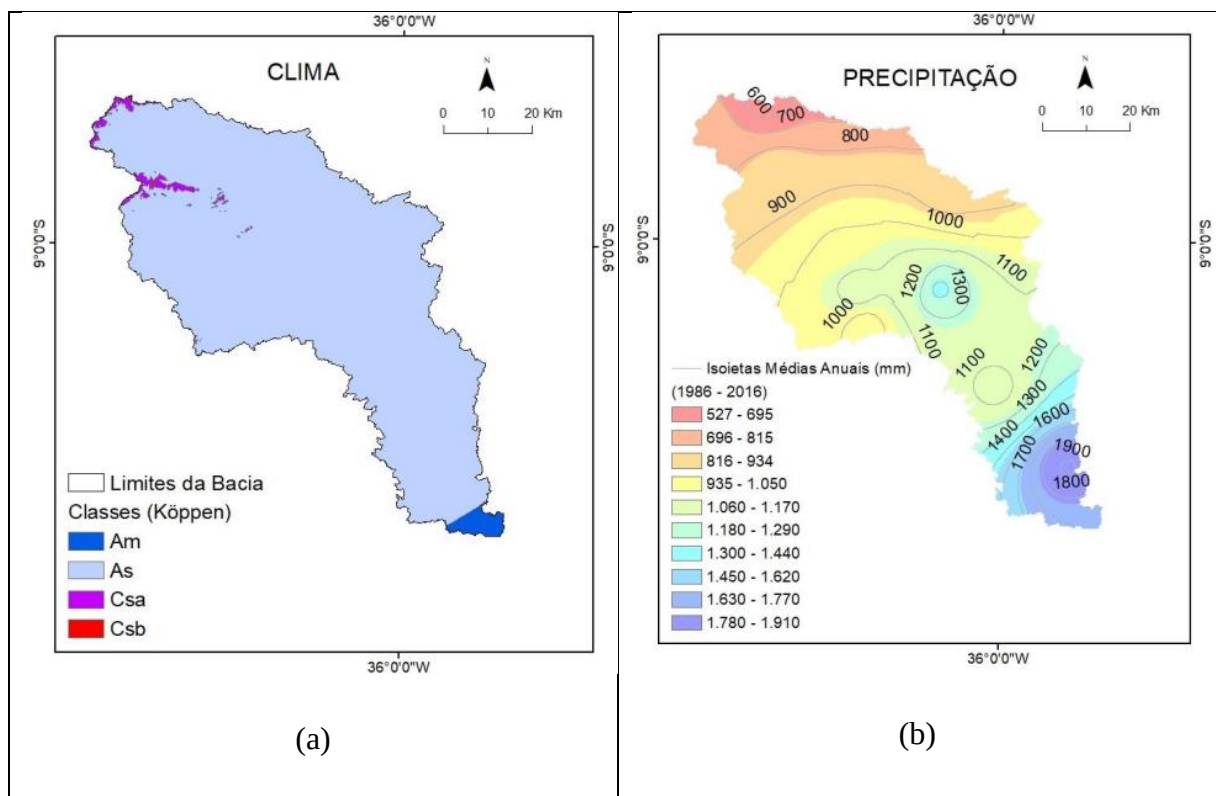
Fonte: Adaptado de MARCUIZZO et al., 2011.

4.2.3 Classificação climática e precipitação na BHRM

De acordo com a classificação climática de Köppen (1931) a BHRM tem os seguintes tipos climáticos: As (clima tropical com estação seca de verão); Am (clima de monção); Csa (clima temperado húmido e com verão seco e quente) e Csb (clima temperado húmido com verão seco e temperado). Sendo a classificação ‘As’ a que predomina na maior parte da bacia (Figura 11^a).

A área da BHRM tem médias pluviométricas anuais que variam em alguns pontos de 527 mm a 1.910 mm (Figura 11b), sendo estas concentradas na quadra chuvosa (abril a julho) e são distribuídas de forma bem heterogênea ao longo de toda bacia (SILVA et al., 2018)

Figura 11 - Classificação climática de Köppen para a BHRM (a) e climatologia da precipitação na BHRM (b).

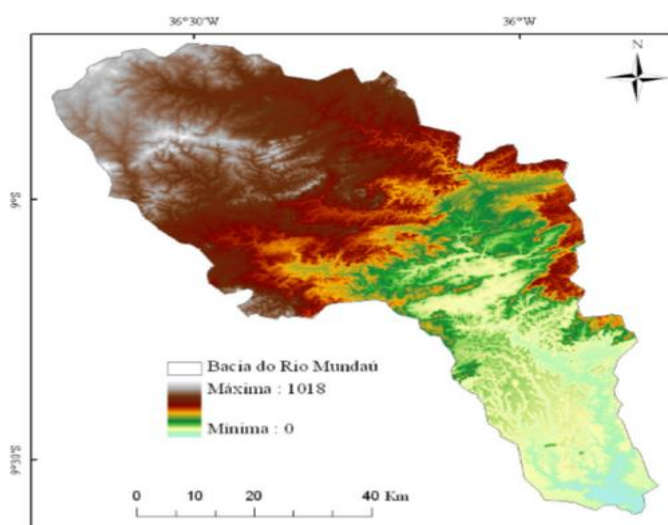


Fonte: SILVA, 2020.

4.2.4 Topografia

Segundo Marcuzzo (2011) com dados extraídos por SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), a amplitude altimétrica da bacia varia de 0 a 1.018 metros (Figura 12). Os municípios alagoanos de Satuba e Santa Luzia do Norte são os municípios da bacia que possuem as menores altitudes (ambos situados a 0 m de altitude) e na cidade pernambucana de Garanhuns o de maior (1.018 m).

Figura 12 - Topografia da bacia do Rio Mundaú.



Fonte: Adaptado de MARCUZZO et al., 2011.

4.2.4 Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH)

O Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do Rio Mundaú – PDRH/Mundaú, elaborado pela COTEC Consultoria Técnica Ltda., contratado pela Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco delimitou a BHRM em quatro Unidades de Análises (UA1, UA2, UA3 e UA4), sendo duas situadas em Pernambuco e duas em Alagoas e três sub regiões: Baixo Mundaú (BM), Médio Mundaú (MM) e Alto Mundaú (AM), esta última localizada exclusivamente no Estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 1999).

Esse Plano tomou como indicador o termo de referência básico para elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas disponibilizado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Ressalta-se que o PDRH/Mundaú, ora em análise, foi concluído em

janeiro de 1999, quando vigorava uma versão menos completa do que a atual do termo de referência básico (SILVA et. al., 2002).

Mesmo estando desatualizado, o PDRH/Mundaú ainda é um documento importante de consulta sobre a bacia acima citada. O mesmo ainda está dentro do prazo de validade, segundo a ANA (2019). É evidente a necessidade de atualização, visto as transformações que a bacia sofreu em mais de vinte anos após esse estudo.

4.3 Período de estudo

O período escolhido para o estudo foi de janeiro de 1990 até dezembro de 2019, pois assim tem-se um estudo detalhado de como foi o comportamento dos sistemas de escala sinótica que influenciaram a os extremos de vazão na BHRM nos últimos 30 anos, uma vez que existem apenas estudos pontuais sobre alguns eventos extremos na região.

4.4 Dados utilizados

4.4.1 Dados fluviométricos

O monitoramento das águas no Brasil remonta ao século 19, havendo registros de estações na base da ANA desde o ano de 1855 (estação pluviométrica Morro Velho, em Minas Gerais). Entre 1900 e 1920, o governo federal incorporou o monitoramento como serviço público federal e criou instituições para abrigá-lo. Desde então, a Rede foi coordenada por entidades ligadas ao setor elétrico, passando à responsabilidade da ANA em 2000, pela Lei Federal nº 9.984/2000. (ANA, 2019)

Para essa pesquisa foram utilizados dados de vazão diários e mensais das estações de Murici (ANA: 39760000), Rio Largo (ANA: 39770000) e Santana do Mundaú (ANA: 58315000) e União dos Palmares (ANA: 39740000), todos os dados foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA), através do portal HidroWeb versão 3.2.6, que é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

4.4.2 Dados e produtos de satélite

Foram utilizadas imagens dos satélites GOES 8; 10; 12 e 13 nos canais espectrais do Infravermelho (IR) e Vapor d'água (WV) obtidas através do banco de dados de imagens no portal da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) com a finalidade de identificar os tipos de nuvens que estavam sobre a região da bacia do rio mundaú em cada caso de vazão extrema.

4.4.3 Dados de reanálise

Foi utilizado o conjunto de dados de reanálises do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, que tem como base um sistema de análise e previsão no qual realiza a assimilação de dados, processando informações desde 1979 até o agosto de 2019, e está disponível através do link: (<https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/>). Com resolução espacial de $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ (o que corresponde a uma distância de grade de aproximadamente 84km) e resolução temporal de até 6h, nos horários de 00, 06, 12 e 18 UTC. Para a geração dos dados são utilizados campos atmosféricos e de fluxos derivados do sistema de previsão numérica e de assimilação de dados do ERA-Interim versão 2.0. (BERRISFORD, 2011)

Os campos gerados provenientes dos dados de reanálise foram para as seguintes variáveis meteorológicas:

Linhas de Corrente: É a representação de uma situação instantânea do campo de velocidade do vento em uma trajetória determinada das parcelas individuais do fluido durante um período de tempo. Ela é representada pela Equação 1 (HOLTON, 2004).

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v(x, y, t_0)}{u(x, y, t_0)} \quad (1)$$

Sendo que “u” e “v” são as componentes do vento nas direções “x” e “y” respectivamente.

Vorticidade Relativa (s^{-1}): É o campo vetorial associado ao cisalhamento do vento tridimensional, sendo assim a tendência do cisalhamento do vento de um dado ponto, ou também a medida de rotação de um fluido. Para ocorrer uma circulação fechada tem um valor mínimo definido de $-6 \times 10^{-5} s^{-1}$. E é definida pela Equação 2 (HOLTON, 2004).

$$\zeta = \frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy}$$

(2)

Sendo "dv" e "du" em $m \cdot s^{-1}$, e "dx" e "dy" em metros.

$\zeta > 0$ está relacionada a ciclone no Hemisfério Norte e anticiclone no Hemisfério Sul.

$\zeta < 0$ está relacionada a ciclone no Hemisfério Sul; anticiclone no Hemisfério Norte.

4.5 Análise temporal da vazão

A análise temporal da vazão tem como base os dados fluviométricos da ANA, uma vez que eles estão organizados no formato '.txt' e são transferidos para o formato de tabelas no programa Excel 2019.

A vazão máxima tem outras definições como: vazão crítica de enchente ou até mesmo vazão de projeto, e elas representam uma vazão que é associada a uma chuva intensa ou uma sequência de chuvas (SOUSA, 2009).

O objetivo de compreender a vazão máxima é para ser utilizada na previsão de enchentes e no projeto de obras hidráulicas como: canais, bueiros, vertedores de barragens, galerias pluviais, sistemas de drenagem e etc. Outra utilização da vazão máxima é que a estimativa da mesma é importante para o controle de inundações e dimensionamento de obras hidráulicas. (PRUSKI et al., 2006)

Os dados provenientes da ANA são diários, porém para o estudo dos extremos foi necessário a identificação dos valores máximos de vazão registrados em cada mês, no sentido de identificar de maneira mais precisa os extremos catalogados nesse período.

4.6 Metodologia aplicada na identificação e seleção dos casos de vazão extrema

Primeiramente, com os dados de vazão máxima das estações fluviométricas da ANA localizadas nas cidades que constituem a área de estudo, foi utilizada a técnica dos percentis (Equação 3) proposta por Pinkayan (1966). Sendo essa técnica uma maneira de determinar o valor em que a vazão máxima permaneceu igual ou inferior em 95% dos dados. Considera então como um evento de vazão extrema, o valor igual ou superior ao percentil 95 (P95) que no caso são 5% dos dados, para os valores de vazão máxima.

$$P_i = li + \left(\frac{i * N}{100} - \sum f_{pi} \right) * h \quad (3)$$

P_i = Percentil;

li = Limite inferior da classe;

$\sum f_i$ = Soma das frequências das classes;

h = Amplitude da classe percentil;

f_{pi} = Frequência da classe.

A etapa seguinte foi identificar quais os sistemas de escala sinótica influenciaram a ocorrência dos extremos de vazão na bacia do Rio Mundaú. Esta etapa foi realizada através das imagens de satélite juntamente com os campos meteorológicos gerados através do software GrADS.

Foram gerados campos horizontais com os dados de reanálise, através do software Grid Analysis and Display System (GrADS), versão 2.2.1, para identificar os sistemas de escala sinótica que atuaram na região de estudo. Os campos horizontais de linhas de corrente (m/s); advecção de temperatura; divergência; vorticidade relativa e altura geopotencial para os níveis de 1000, 975, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300 e 200 hPa e Pressão ao nível do mar (mbar) foram plotados entre as latitudes 5° Norte e 35° Sul e longitudes 10° a 55° Oeste. Foram definidas essas coordenadas para uma melhor visualização dos sistemas de grande escala que atuam na região da bacia do rio Mundaú.

4.7 Curva de Permanência

A curva de permanência ou de duração de vazões relaciona a vazão (geralmente no eixo das ordenadas) é a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período histórico utilizado para sua construção (geralmente no eixo das abscissas). Representa o complemento da função distribuição cumulativa de probabilidade de vazões ou a probabilidade de excedência das vazões (Quimpo e McNally, 1983; Voguel e Fennessey, 1994).

Outra definição é que a curva de permanência descreve a relação entre a vazão em um curso d'água e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentado na curva (PRUSKI et al., 2006)

Como se trata de associar frequências de ocorrências às vazões, uma alternativa é ordenar todos os valores de vazão em ordem decrescente e associar a cada valor uma frequência de excedência, utilizando uma posição de plotagem empírica, tal como m/n ou $m/n+1$, sendo m a ordem do valor ordenado e n o número de valores da série (Fennessey e Voguel, 1990; Jacobs e Voguel, 1998).

No Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH) o primeiro procedimento feito para a obtenção da curva de permanência para cada estação fluviométrica é baseado na obtenção de classes de frequência e segue os seguintes passos:

- Seleção da série de dados de vazões diárias a ser utilizada para a obtenção da curva;
- Definição de 50 intervalos de classe das vazões máximas;
- Subdivisão dos intervalos de classe com base na escala logarítmica, devido à grande variação de magnitude das vazões máximas envolvidas;
- Cálculo do intervalo de classe (ΔX) pela equação:

$$\Delta X = [\ln(Q_{m\acute{a}x}) - \ln(Q_{m\acute{i}n})] \quad (4)$$

Em que:

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão máxima da série;

$Q_{m\acute{i}n}$ = vazão mínima da série.

Cálculo dos limites dos intervalos a partir de $Q_{mín}$, adicionando o intervalo calculado anteriormente, o que resulta na vazão do limite superior do intervalo i ;

$$Q_{i+1} = \exp [\ln(Q_i) + \Delta X] \quad (5)$$

Determinação com base nos dados de vazão máxima da série histórica de cada estação fluviométrica do número de vazões classificadas em cada intervalo:

$$fi = \frac{N_{qi}}{NT} \cdot 100 \quad (6)$$

Onde:

N_{qi} = número de vazões de cada intervalo;

NT= número total de vazões.

Assim há a obtenção da curva de permanência, plotando na ordenada os limites inferiores dos intervalos de classe de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência.

A figura gerada pelo SisCAH de vazão x permanência exibe as vazões correspondentes às percentagens pré-definidas de permanência. Estas vazões calculadas por interpolação dos valores limites dos intervalos de classes com os seus respectivos valores de frequência acumulada.

4.8 Período de Retorno

A recorrência ou tempo de retorno das vazões foi estimada tomando como base as vazões máximas anuais. É recomendável que para esse tipo de estimativa a série histórica tenha no mínimo trinta anos (CHARLTON, 2008).

Foi utilizado o Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH) 1.0 que foi desenvolvido pela ANA e projetado para funcionar no Windows, permitindo assim importar dados dos arquivos obtidos no site da ANA, tanto no formato TXT, quanto no formato MDB.

Na estimativa das vazões o SisCAH permite a análise do ajuste das seguintes funções de distribuição de probabilidade: Gumbel, Log-normal II, Log-normal III, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull. Foi utilizado o método de Gumbel, que vem se destacando pela grande importância em vários campos de pesquisa, e tem sido aplicada com frequência na análise estatística de variáveis ligadas a extremos. (TORRICO, 1974).

A Distribuição de Gumbel também é conhecida por diversos nomes na literatura: como distribuição de valores extremos o do tipo I, ou distribuição do tipo I de Fisher-Tippet.

De acordo com Kite (1988), a magnitude de um evento para as séries finitas é dada pela equação 7 abaixo:

$$M = \mu + \frac{\sigma_x}{\sigma_n}(b - Y_n) \quad (7)$$

Sendo:

$$b = -\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \quad (8)$$

Para Kite (1988) o fator de frequência para as séries infinitas é calculado da seguinte maneira:

$$K = -\{0,45 + 0,7797 \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)\}$$

Uma vez que:

M = magnitude do evento;

μ = média da amostra;

σ_x = desvio padrão da amostra;

σ_n = desvio padrão da variável reduzida;

b = variável reduzida;

Y_n = média da variável reduzida;

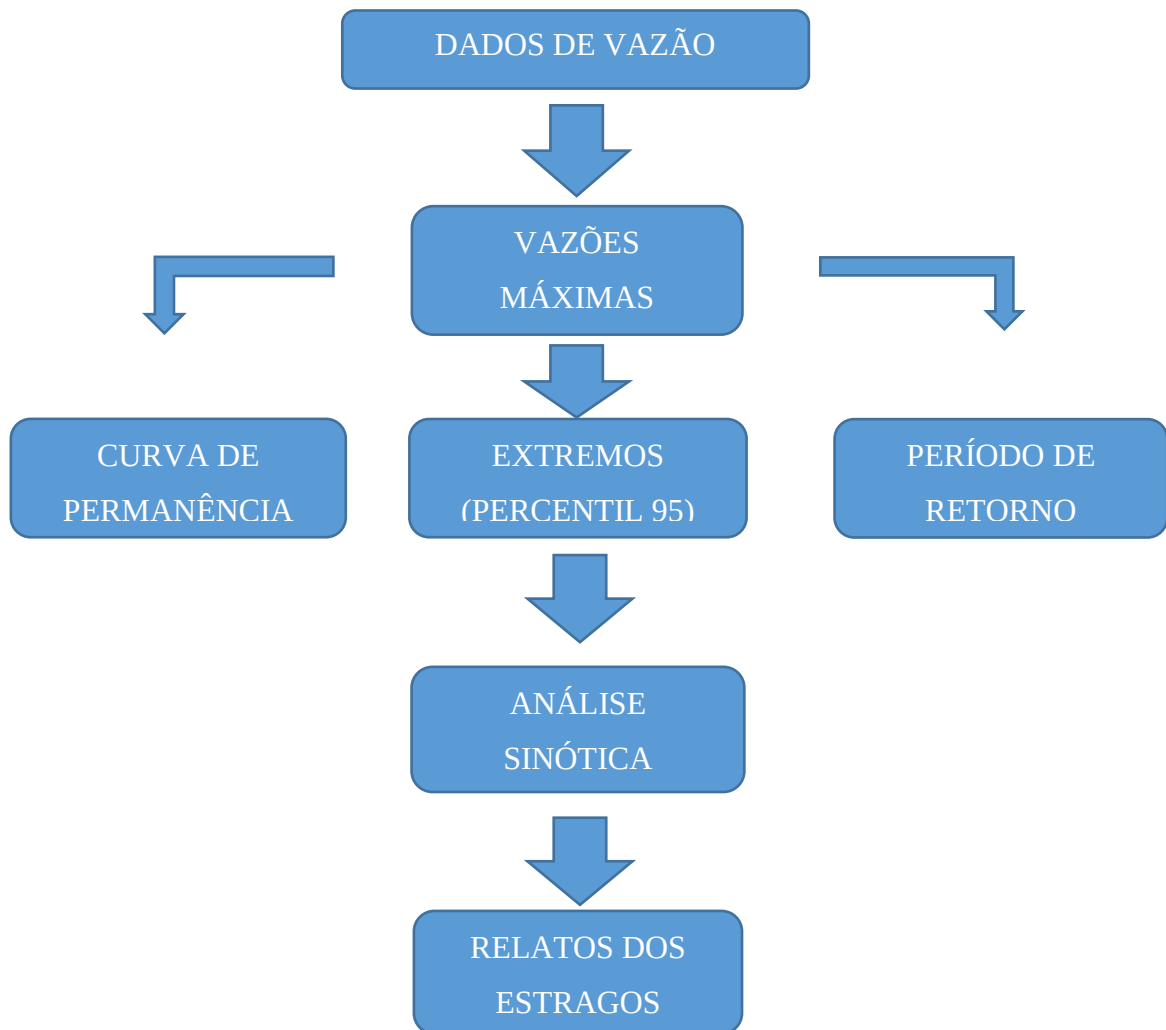
T = período de retorno.

4.9 Utilização do Software Excel

Para a elaboração dos seguintes tópicos: definição da vazão máxima mensal e a determinação do percentil 95, será utilizado o software Excel versão 2019.

Na Figura 13 é ilustrado o esquema para determinar os eventos de vazão extrema no rio mundaú.

Figura 13 - Esquematização das etapas para a determinação dos eventos de vazão extrema e identificação dos sistemas de escala sinótica.



Fonte: Autor, 2022.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

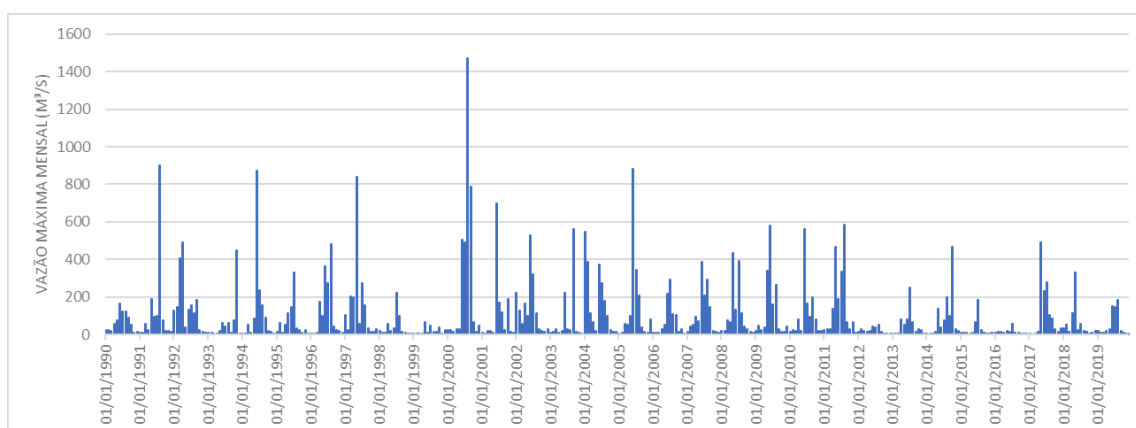
A primeira etapa dos resultados é a análise da variação das vazões máximas mensais nas quatro estações fluviométricas. Logo em seguida é ilustrado a curva de permanência e período de retorno, bem como os valores considerados de vazões extremas para cada estação. Posteriormente é analisado cada evento bem como a influência de um sistema de escala sinótica. E por fim as informações sobre desastres causados pelas vazões extremas na bacia do rio Mundaú.

5.1 As vazões máximas registradas nas estações fluviométricas

5.1.1 Murici

As vazões máximas mensais tiveram uma grande variação dentro do período de estudo (Figura 14), sugerindo que a maior cheia registrada foi no dia 02 agosto do ano 2000, com vazão de $1.472,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, que é 14 vezes maior que a vazão média ($99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Já o seu menor valor de vazão máxima foi de $0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, registrado em março de 2017.

Figura 14 - Variação temporal das vazões máximas mensais na estação fluviométrica de Murici, no período de 1990 a 2019.

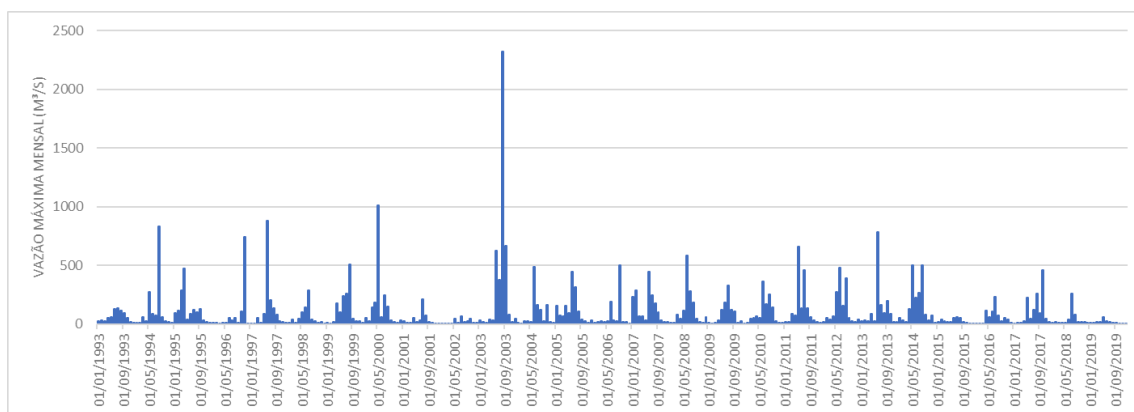


Fonte: Autor, 2022.

5.1.2 Rio Largo

As vazões máximas mensais para a estação fluviométrica de Rio Largo obtiveram os maiores valores dentre as quatro estações no período de estudo (Figura 15), identificou-se que a maior cheia registrada foi a do dia 02 de agosto de 2000, com vazão de $2.319,57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, que é 22 vezes maior que a vazão média ($104,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Já o seu menor valor de vazão foi de $0,36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, registrado em março de 2017.

Figura 15 - Variação temporal das vazões máximas mensais na estação fluviométrica de Rio Largo, no período de 1990 a 2019.

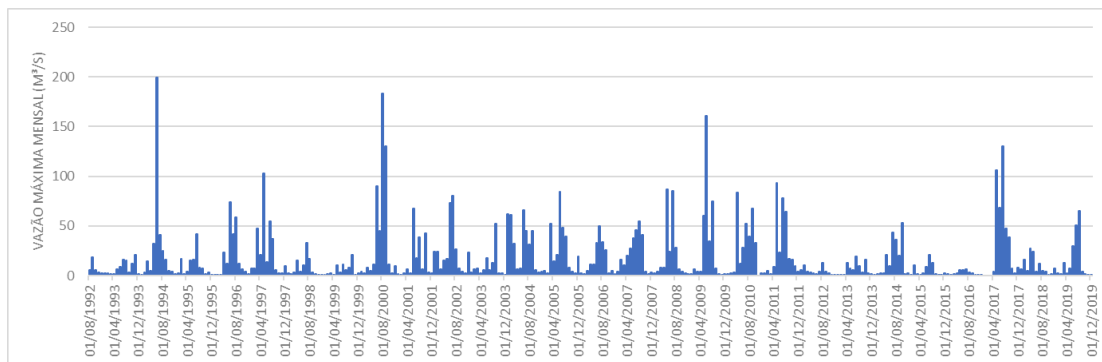


Fonte: Autor, 2022.

5.1.3 Santana do Mundaú

As vazões máximas mensais foram as que tiveram os menores valores dentre as estações no período de estudo (Figura 16), para esta estação identificou-se que a maior cheia registrada foi a de junho de 1994, com vazão de $199,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, que é 11 vezes maior que a vazão média ($18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Já o seu menor valor de vazão foi de $0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, registrado em março de 2017.

Figura 16 - Variação temporal das vazões máximas mensais na estação fluviométrica de Santana do Mundaú, no período de 1990 a 2019.

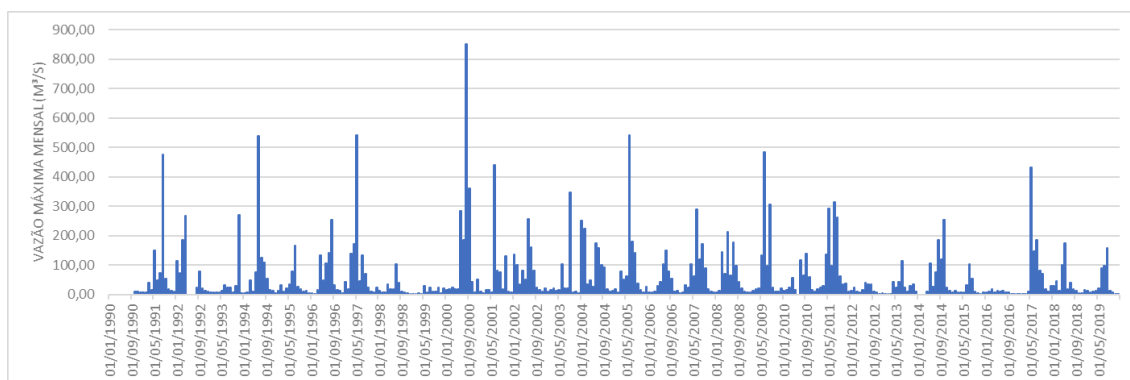


Fonte: Autor, 2022.

5.1.4 União dos Palmares

As vazões máximas mensais tiveram uma grande variação dentro do período de estudo (Figura 17), identificando assim que a maior cheia foi registrada em 02 de agosto do ano 2000, com vazão de $852,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, que é 13 vezes maior que a vazão média ($61,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Já o seu menor valor de vazão foi de $0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, registrado em fevereiro de 2017.

Figura 17 - Variação temporal das vazões máximas mensais na estação fluviométrica de União dos Palmares, no período de 1990 a 2019.



Fonte: Autor, 2022.

Em um estudo sobre as vazões Pereira et. al. (2007) encontraram uma vazão média de $123,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o rio Dourados, localizado no estado do Mato Grosso do Sul, que é um valor muito próximo da média na estação fluviométrica de Rio Largo, no rio Mundaú ($104,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) tendo uma área de drenagem de 9.240 km^2 , que equivale a um pouco mais de duas vezes a área da BHRM.

Já Nobre et al. (2021) identificaram uma vazão máxima de $6.200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para a estação de Machadinho D' Oeste, no estado de Rondônia, que faz parte da bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, e Francisco (2020) que fez um estudo com os dados de vazão máxima entre os anos de 1979 a 2019 para a bacia do rio Capivari no estado de São Paulo, e que mesmo com uma área de contribuição de 3.462 km^2 (BHRM tem uma área de drenagem de 4.457 km^2) não ocorreram vazões extremas no decorrer de toda a série histórica, já que o maior valor foi encontrado no mês de maio de 2017 ($130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Ambos os autores encontraram valores acima do registrado no rio Mundaú, que foi de $2.319 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na estação fluviométrica de Rio Largo.

5.5 Identificação dos extremos de vazão e os sistemas de escala sinótica associados

Para identificar os extremos de vazão foram obtidos através do método do percentil 95, e foram os seguintes valores para as quatro estações: Santana do Mundaú: $68,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; União dos Palmares: $258 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; Murici: $468 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e Rio Largo com $462 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. E de acordo com este critério foram analisados 19 casos onde a vazão registrada foi igual ou superior a este valor em pelo menos uma estação, e posteriormente foi analisada a influência de sistemas de escala sinótica que estavam relacionados com estes eventos extremos de vazão.

A Tabela 2 abaixo ilustra a data dos extremos, o sistema que foi identificado associado e as vazões registradas nas quatro estações fluviométricas.

Tabela 2 - Sistemas de escala sinótica que influenciaram nos extremos de vazões máximas nas estações fluviométricas.

VAZÕES (m ³ .s ⁻¹)					
Data	Sistema	Santana do Mundaú	União dos Palmares	Murici	Rio Largo
17/08/1991	POA	-	476,9	902,2	829,2
04/04/1992	OL	-	266,7	491	476,1
01/11/1993	POA	20,9	271,2	446,3	741,5
21/06/1994	VCAN	199,7	539	871,2	880,9
26/08/1996	POA	58,9	253,4	481,9	507,5
08/05/1997	POA	102,8	543,3	840,8	1.008,5
26/06/2000	POA	90,1	283,4	504,8	626,9
02/08/2000	POA	183,3	852,7	1.472,3	2.319,5
17/09/2000	VCAN	130	360,6	787,5	664,5
14/06/2001	POA	67,4	441,5	697,1	486,3
05/09/2003	POA	52,4	346,8	528,3	503,4
19/06/2005	POA	84,6	543,3	880,5	583,8
27/06/2007	POA	37,7	289,6	387,4	361,2
18/05/2008	POA	86,8	212,9	433,3	660,3
10/06/2009	POA	160,8	484,9	579,5	483
25/08/2009	POA	74,5	307	263	392,2
05/05/2011	OL	92,9	293,8	468,4	503,4
31/07/2011	POA	77,9	315,5	584,4	503,4
28/05/2017	POA	106,1	433,45	493	657,3

Fonte: Autor, 2022.

Neste período, o maior número de ocorrências de vazão extrema foi registrado no ano de 2000, com três (03) eventos, o que representa 16% dos casos apenas neste ano. Dividindo as

três décadas, de 1990 a 1999 concentrou 31,5% dos eventos, de 2000 a 2009, 52,5%, e de 2010 a 2019 16%.

Os eventos extremos de vazão no Rio Mundaú tiveram uma distribuição concentrada entre os meses de outono e inverno, sendo os meses de junho (9) e agosto (4) os que apresentaram o maior número de casos dentro da série. Apenas os meses de janeiro; fevereiro; março; outubro e dezembro não apresentaram nenhum caso de vazão extrema dentro do período de 1990 a 2019.

Para Diaz (2017) que identificou os sistemas que mais influenciaram a bacia do rio Pajeú, que está localizada no estado de Pernambuco que tem uma área de 16.685 km², a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os VCANs foram os que destacaram, que são resultados que corroboram com os encontrados na BHRM. No mesmo estudo também mostra que as anomalias da temperatura do oceano como ENOS – Oscilação Sul e do Dipolo do Atlântico tem um impacto no regime de chuvas na região.

Já Dos Santos et al. (2020) encontrou que há uma variabilidade de precipitação na região da sub-bacia do rio Piracuruca, Piauí. Isto é devido em sua maioria a atuação da ZCIT na região, uma vez que a atuação da mesma tem oscilações dependendo da atuação do ENOS e das fases do Dipolo do Atlântico.

Outros autores identificaram a presença de alguns sistemas de escala sinótica influenciando diretamente em eventos com precipitação extrema na costa leste do NEB e desastres em várias regiões como:

Calheiros et al. (2006) identificou a influência de uma POA na costa leste do NEB entre os dias 31 de maio e 02 de junho de 2004. Em Maceió foi registrado 653,6 mm no mês de junho, o que representa um evento extremo, uma vez que a média climatológica para este mês é de 298 mm. Este evento ainda causou 31 mortes, mais de 20 mil desabrigados e um custo total para os cofres públicos de R\$ 200 milhões. Lyra et al. (2020) verificou que houve a influência de uma POA na costa de Alagoas, foi identificada pelo eixo do cavado mais intenso em 850 hPa e a propagação de ondas longas no diagrama de Hovmöller, o sistema provocou um extremo de precipitação (173mm/24h) no dia 27 de maio de 2017 na capital alagoana e o total acumulado no mês foi de 693mm. Em ambos estudos citados anteriormente tiveram a presença da POA, sistema que apareceu com maior frequência na análise sinótica para cada caso de evento de vazão extrema, o que corrobora com os resultados encontrados para a BHRM.

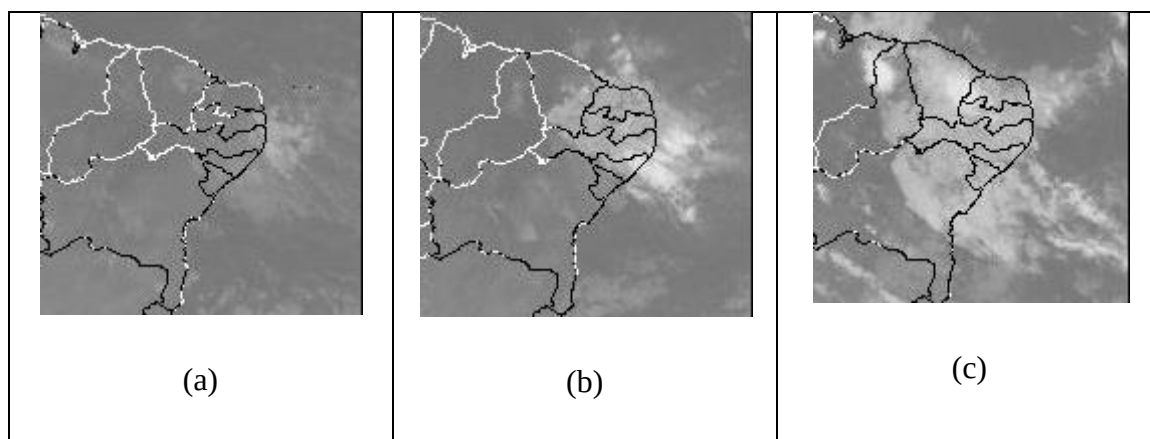
5.6 Análise dos eventos extremos para cada sistema

5.6.1 Perturbação Ondulatória nos Alísios - POA

No dia 02 de agosto de 2000 ocorreu o evento de vazão extrema onde foi registrado na estação fluviométrica de Rio Largo o maior valor dentro da série histórica ($2.319 \text{ m}^3/\text{s}$) de 1990 a 2019.

De acordo com as linhas de corrente (Figura 19) foi possível observar a presença de uma Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA), pois nos dias anteriores (29 e 30 de julho) é possível verificar a presença de um sistema frontal, que a sua extremidade consegue atingir as baixas latitudes, próximo a costa de Sergipe e Alagoas, e com a entrada deste sistema frontal os Alísios foram perturbados, até que em 31 de julho e 01 de agosto essa instabilidade ganha intensidade tendo o desenvolvimento de nuvens convectivas na região (Figura 18), o que justifica os grandes volumes de precipitação na bacia do rio Mundaú.

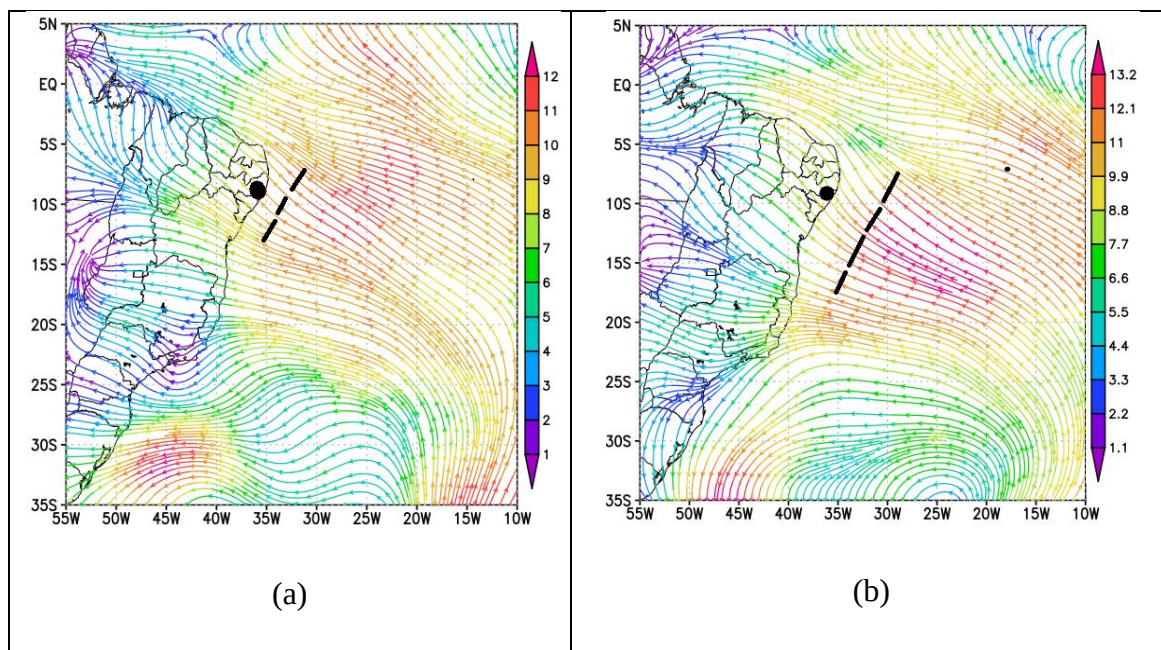
Figura 18 - Imagens do canal infravermelho para os dias 31/07 (a); 01/08 (b) e 02/08 (c) de 2000.



Fonte: CPTEC/INPE.

Pelas linhas de corrente (Figura 19) foi possível observar a intensificação do cavado em baixos níveis (1000 hPa) do dia 31 de julho (Figura 28a) para o dia 01 de agosto (Figura 19b).

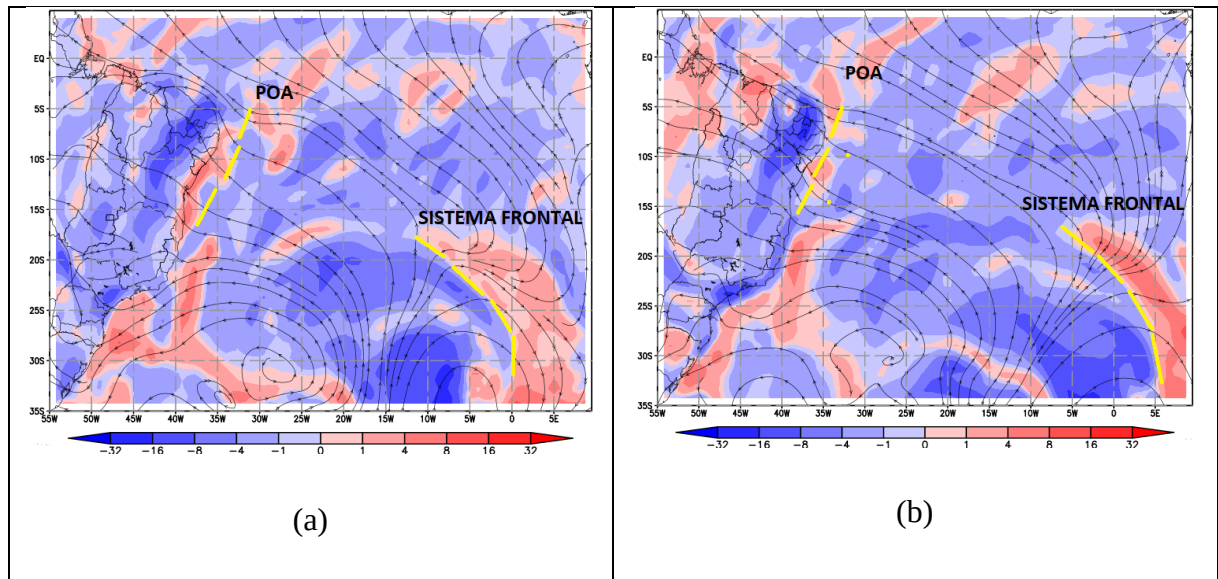
Figura 19 - Linhas de corrente em 1000 hPa para os dias 31 de julho (a) e 01 de agosto de 2000.



Fonte: Autor, 2022.

Pelo campo de advecção de temperatura foi possível identificar a presença de um sistema frontal a sudoeste do cavado na costa leste do NEB (Figura 20a), o que é uma característica da POA, uma vez que com a passagem deste cavado ele perturba os ventos alísios que neste caso estão de sudeste. Já na figura b mostra que houve uma intensificação nestas 18 horas do cavado ligado a POA.

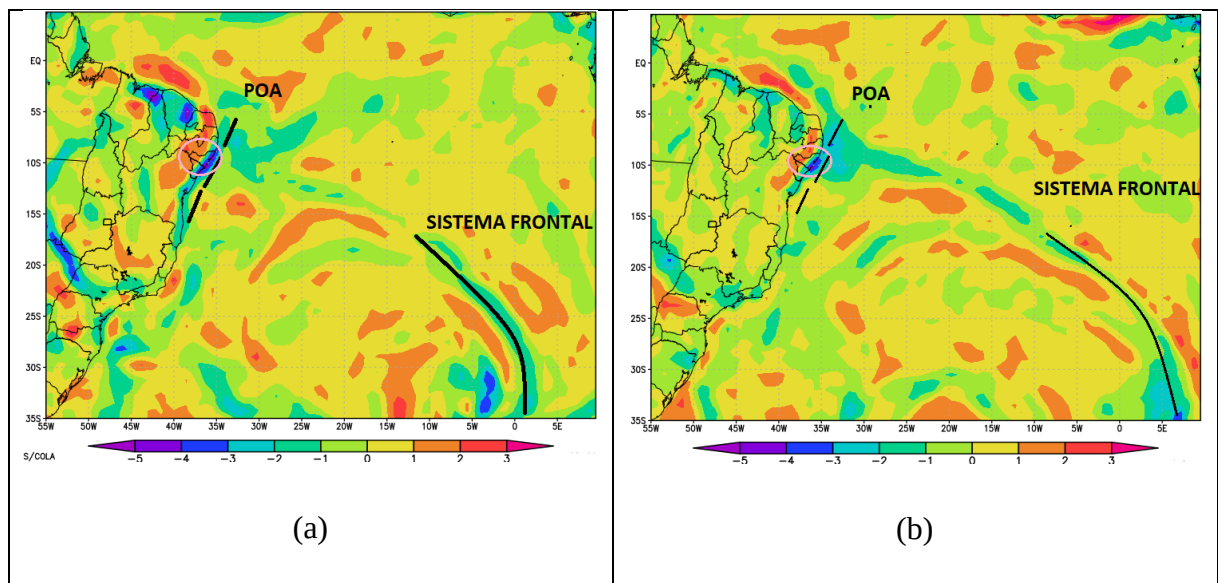
Figura 20 - Advecção de temperatura e linhas de corrente para o dia 31 de julho de 2000, às 00 UTC (a) e 18UTC (b).



Fonte: Autor, 2022.

Para o campo de divergência em 1000 hPa (Figura 21a e b) foram identificados valores negativos desde o sistema frontal até a região da POA. Na Figura b é possível notar uma intensificação dos valores, chegando a -5 na costa leste de Alagoas, o que caracteriza convecção profunda na região da BHRM.

Figura 21 - Campo de Divergência para o dia 31 de julho de 2000 às 00 UTC (a) e às 18UTC (b).

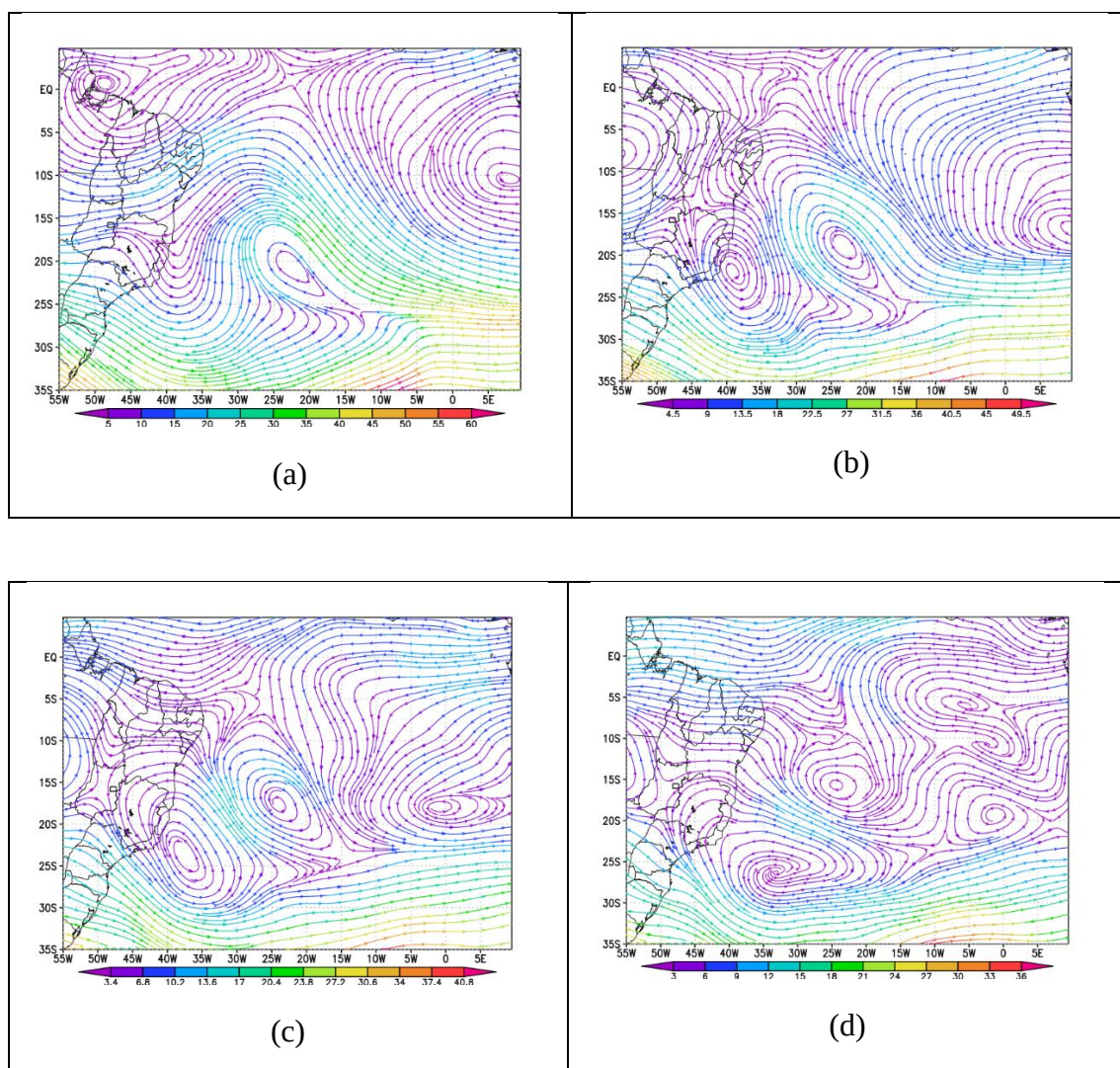


5.6.2 Vórtice Ciclônico em Altos Níveis - VCAN

Foi escolhido o dia 21 de junho de 2006 para ilustrar como o VCAN influenciou diretamente em um evento de vazão extrema.

Primeiramente foi identificado a presença do vórtice desde 300 hPa (Figura 22a) até os 600 hPa (Figura 29d), sendo uma característica já conhecida dos VCANs, uma vez que eles podem ter o centro inclinado. A região da BHRM encontra-se na borda oeste do sistema, principalmente nos níveis de 400 e 500 hPa (Figura 22 b e c), sendo isso um fator crucial para eventos extremos, pois ocorre movimentos ascendentes nessa região.

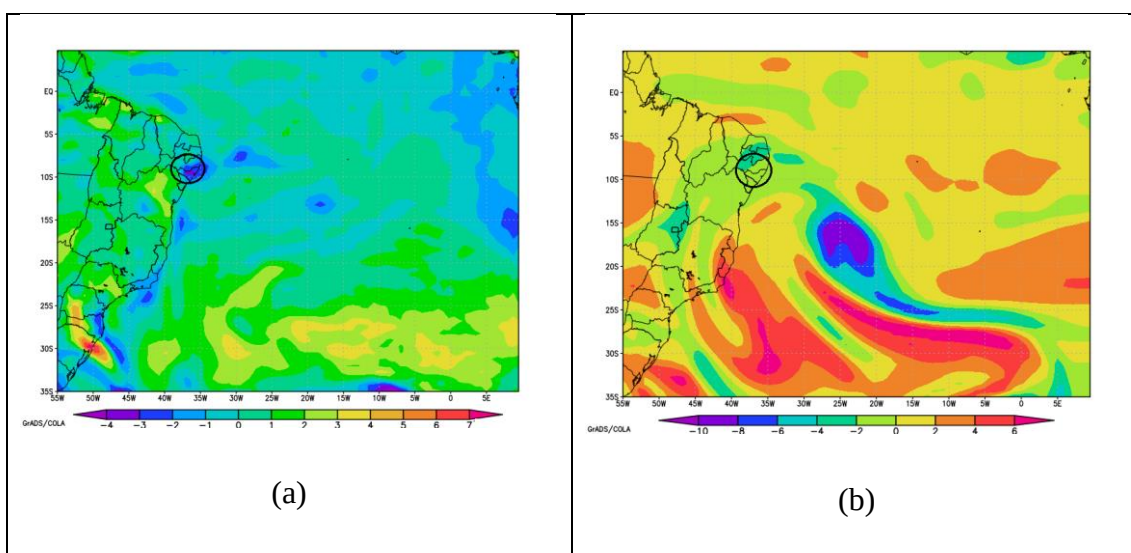
Figura 22 - Linhas de corrente para o dia 19 de junho de 2006 nos níveis de 300 hPa(a); 400 hPa(b); 500 hPa (c) e 600 hPa (d) às 00UTC.



Fonte: Autor, 2022.

Já no campo de vorticidade relativa, é possível observar que em baixos níveis (Figura 23a) é observado valores entre -4 e $-3 \times 10^{-5} s^{-1}$, que caracteriza uma região com vorticidade ciclônica, e propensa a formação de nuvens. E em médios níveis (Figura 23b) valores entre -2 e $-4 \times 10^{-5} s^{-1}$. Assim pode-se compreender que com estes valores registrados de vorticidade é um comportamento típico da borda oeste de um VCAN.

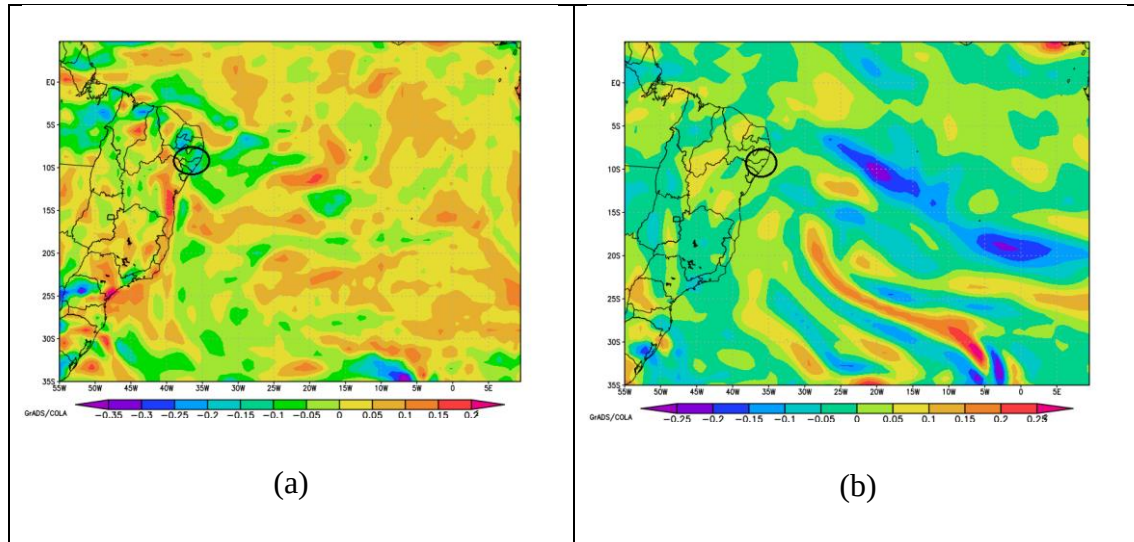
Figura 23 - Vorticidade Relativa (s^{-1}) para o dia 19 de junho de 2006 às 00UTC, 925 hPa (a) e 400 hPa (b).



Fonte: Autor, 2022.

No campo de divergência observa-se valores de divergência negativa em baixos níveis (Figura 24a) o que representa assim convergência dos ventos nesta região. Já em altos níveis (Figura 24b) apresenta divergência positiva, isso é resultado de convecção profunda uma vez que há convergência em baixos níveis a com divergência em altos níveis.

Figura 24 - Campo de Divergência para o dia 19 de junho de 2006 às 00UTC, em 925 hPa (a) e 400 hPa (b).

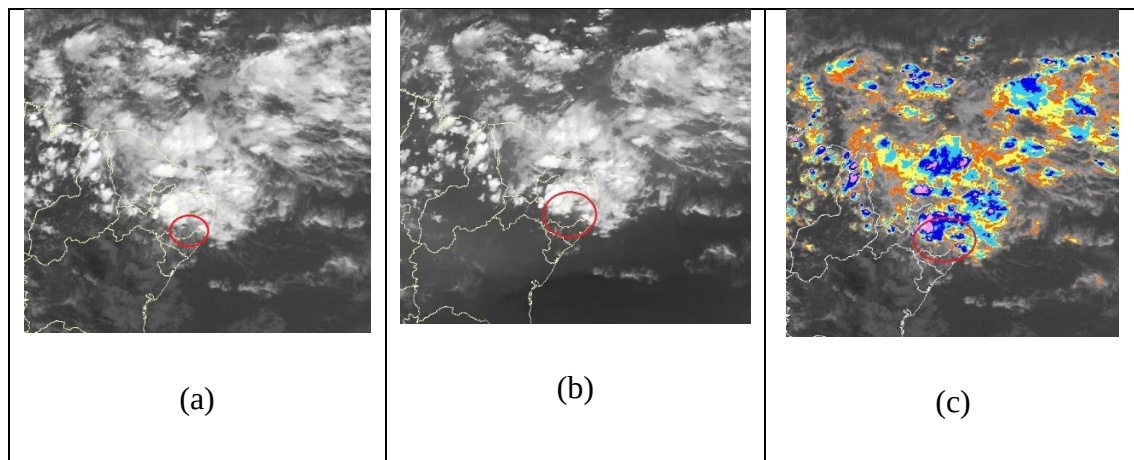


Fonte: Autor, 2022.

5.6.3 Ondas de Leste - OL

Pelas imagens de satélite do GOES – 12 foi possível identificar pelo Infravermelho (Figura 25a) nuvens com textura granulosa, indicando convecção profunda que é característica das nuvens do tipo Cumulonimbus na região norte da BHRM. Já pelo Vapor d'água foi identificado tons brancos na região norte da BHRM, indicando muita umidade desde 600 hPa até altos níveis. No infravermelho realçado (Figura 25c) comprova a convecção profunda, tendo -80°C em algumas áreas, indicando uma instabilidade intensa na região.

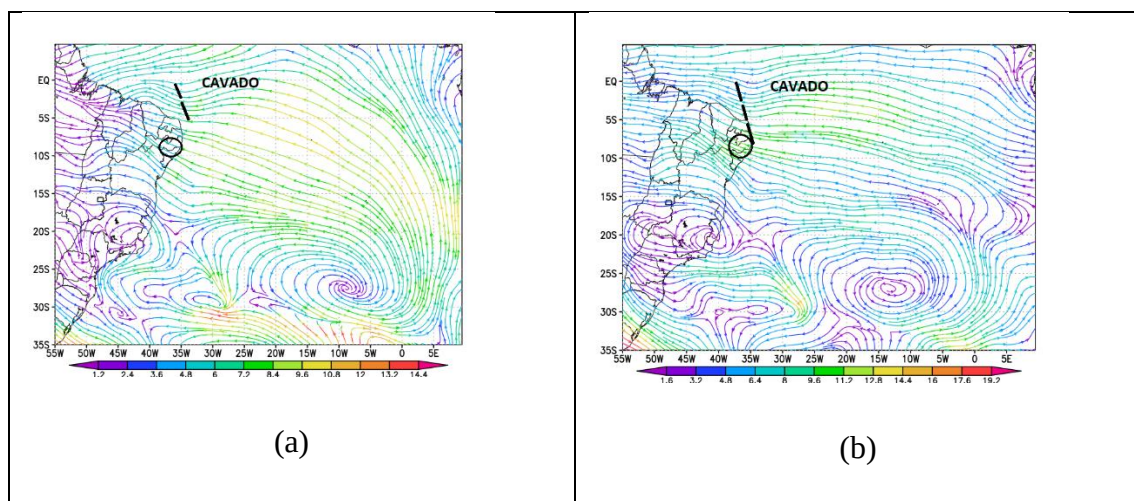
Figura 25 - Imagens de satélite do GOES 12 do dia 04 de maio de 2011 às 18:30UTC nos canais Infravermelho (a); Vapor d'água (b) e Infravermelho Realçado (c).



Fonte: Adaptado de INPE/CPTEC/DSA., 2022.

Pelo campo de linhas de corrente é possível notar que há um cavado tanto em 1.000 hPa (Figura 26a) e em 850 hPa (Figura 26b), porém sendo mais intenso em 850 hPa, o que é uma característica de um distúrbio deste tipo, sendo observado até 700 hPa.

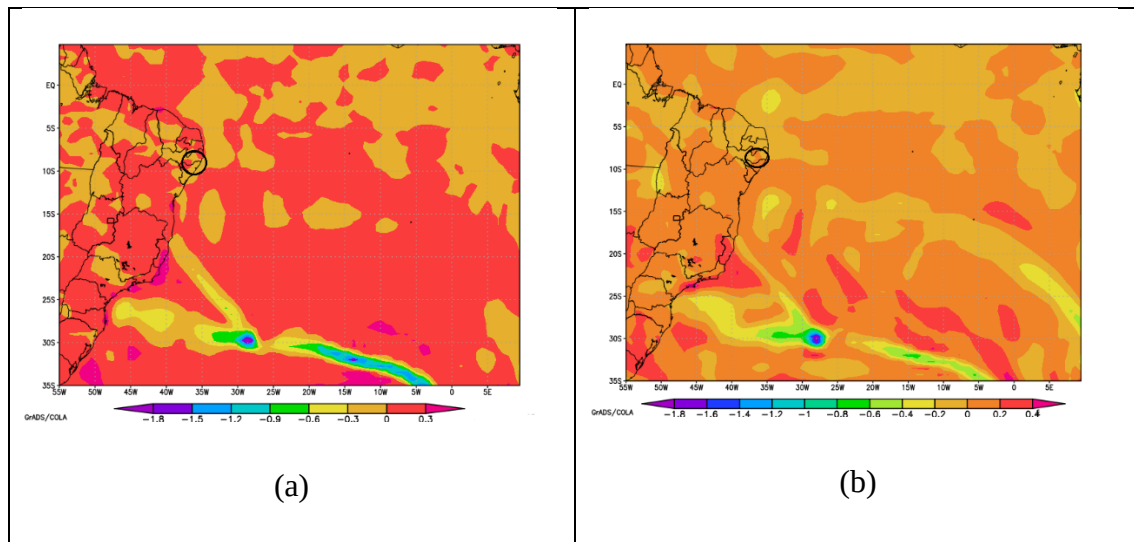
Figura 26 - Linhas de Corrente para o dia 04 de maio de 2011 às 18UTC, nos níveis de 1000 hPa (a) e 850 hPa (b).



Fonte: Autor, 2022.

No campo de vorticidade relativa (Figura 27) foram identificados valores negativos na região da BHRM, porém variando entre 0 e -0.3 o que é considerado um valor muito baixo de vorticidade, e em 850 hPa há valores semelhantes que oscilam entre 0 e -0.2.

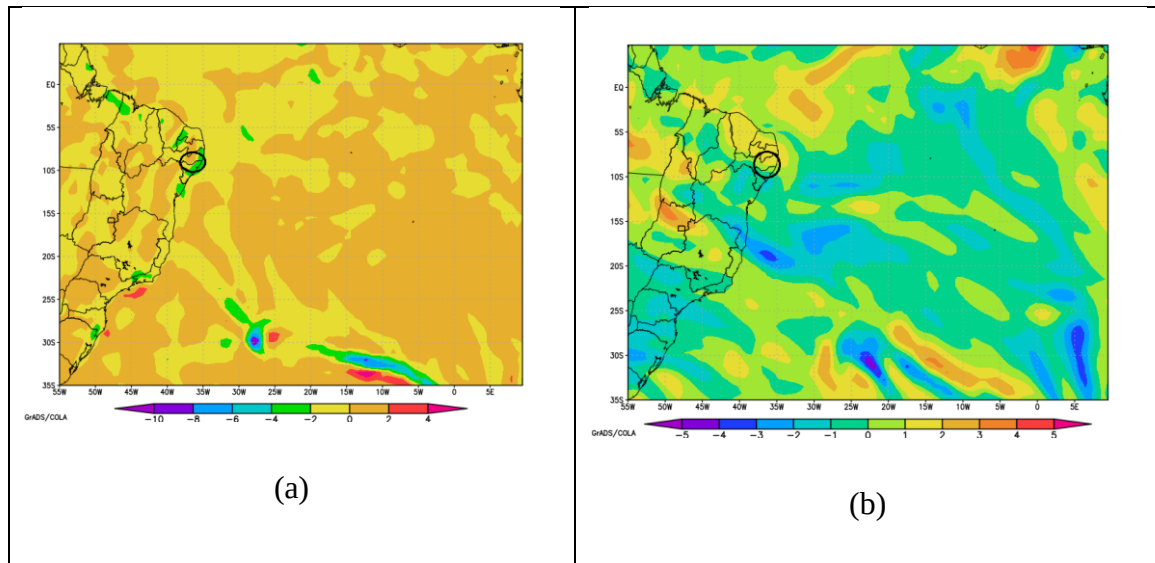
Figura 27 - Campo de vorticidade relativa para o dia 04 de maio de 2011 às 18UTC, em 1000 hPa (a) e 850 hPa (b).



Fonte: Autor, 2022.

Para o campo de divergência (Figura 28) foi encontrado valores entre -4 e -2 na região da BHRM, o que indica convergência em baixos níveis. E para os altos níveis, foram identificados valores positivos, entre o que indica uma região propícia a formação de convecção profunda que foi ilustrada anteriormente pelas imagens de satélite.

Figura 28 - Campo de divergência para o dia 04 de maio de 2011 às 18UTC, em 1000 hPa (a) e 200 hPa (b).

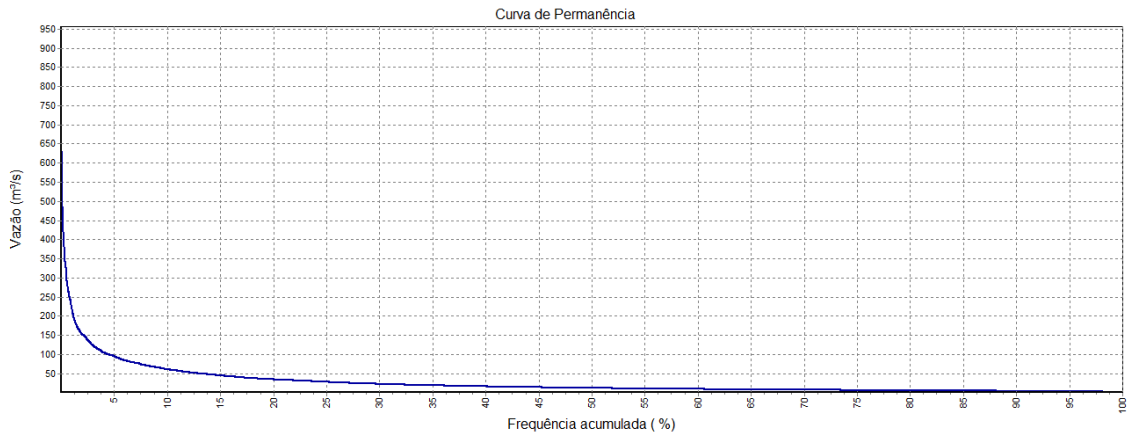


5.2 Curva de Permanência

5.2.1 Murici

Com os dados da variação temporal das vazões máximas observou-se que as maiores cheias que ocorreram em agosto de 2000; agosto de 1991; junho de 2005; junho de 1994 e maio de 1997, e de acordo com a curva de permanência (Figura 29) estes eventos representam um valor de 0,03%. Já a vazão máxima média ($99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) foi igualada ou superada em apenas 4,5% dos casos, e em 90% do período estudado a vazão máxima teve valores abaixo de $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Figura 29 - Curva de Permanência para a estação fluviométrica de Murici.

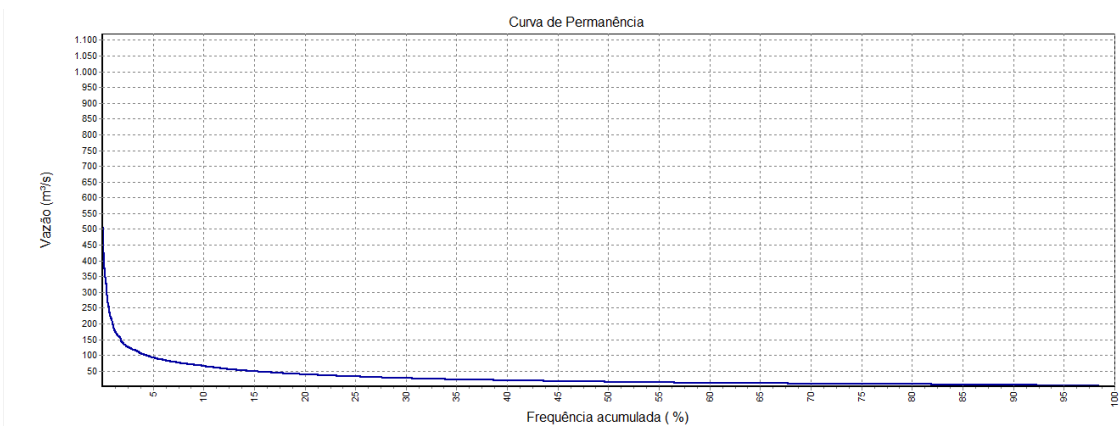


Fonte: Autor, 2022.

5.2.2 Rio Largo

Pelos os dados da variação temporal das vazões máximas observou-se que as maiores cheias que ocorreram em: agosto de 2000; maio de 1997; junho de 1994; agosto de 1991 e novembro de 1993. De acordo com a curva de permanência (Figura 30) estes eventos representam um valor de 0,03%. Já a vazão máxima média ($104 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) foi igualada ou superada em apenas 3,9% dos casos, e em 90% do período estudado a vazão máxima teve valores abaixo de $65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Figura 30 - Curva de Permanência para a estação fluviométrica de Rio Largo.

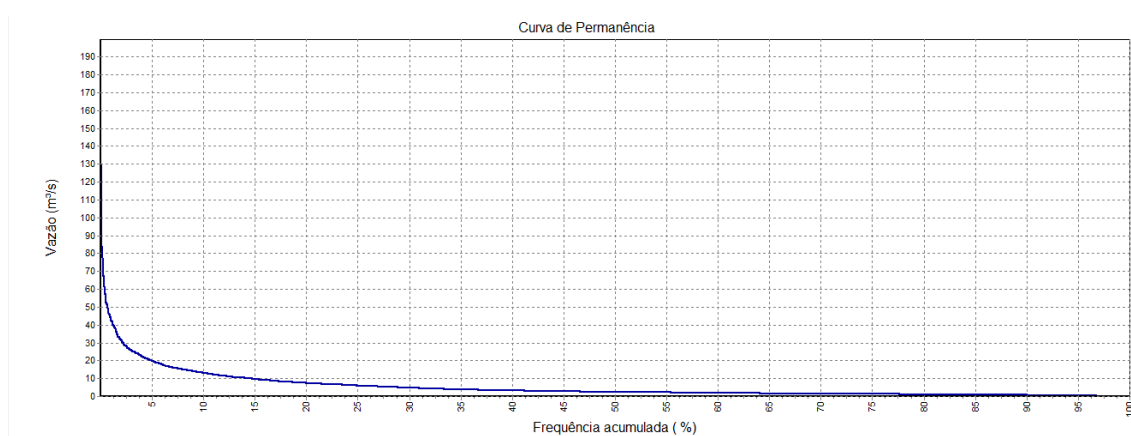


Fonte: Autor, 2022.

5.2.3 Santana do Mundaú

Segundo os dados da variação temporal das vazões máximas observou-se que as maiores cheias que ocorreram em: junho de 1994; agosto de 2000; junho de 2009; setembro de 2000 e maio de 2017. De acordo com a curva de permanência (Figura 31) estes eventos representam um valor de 0,08%. Já a vazão máxima média ($18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) foi igualada ou superada em apenas 5,8% dos casos, e em 90% do período estudado a vazão máxima teve valores abaixo de $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Figura 31 - Curva de Permanência para a estação fluviométrica de Santana do Mundaú.

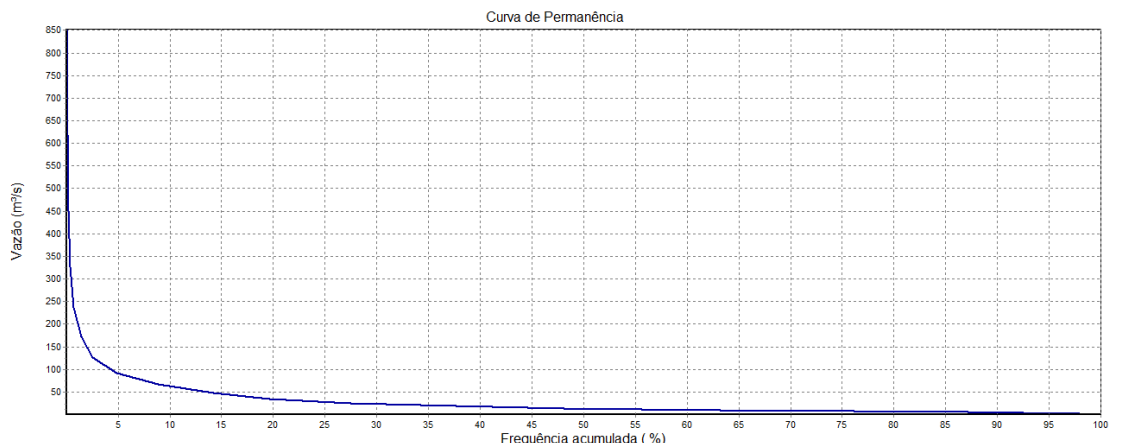


Fonte: Autor, 2022.

5.2.4 União dos Palmares

Segundo os dados da variação temporal das vazões máximas observou-se que as maiores cheias que ocorreram em: agosto de 2000; maio de 1997; junho de 2005; junho de 1994 e junho de 2009. De acordo com a curva de permanência (Figura 32) estes eventos representam um valor de 0,1%. Já a vazão máxima média ($60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) foi igualada ou superada em apenas 5,8% dos casos, e em 90% do período estudado a vazão máxima teve valores abaixo de $44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Figura 32 - Curva de Permanência para a estação fluviométrica de União dos Palmares.



Fonte: Autor, 2022.

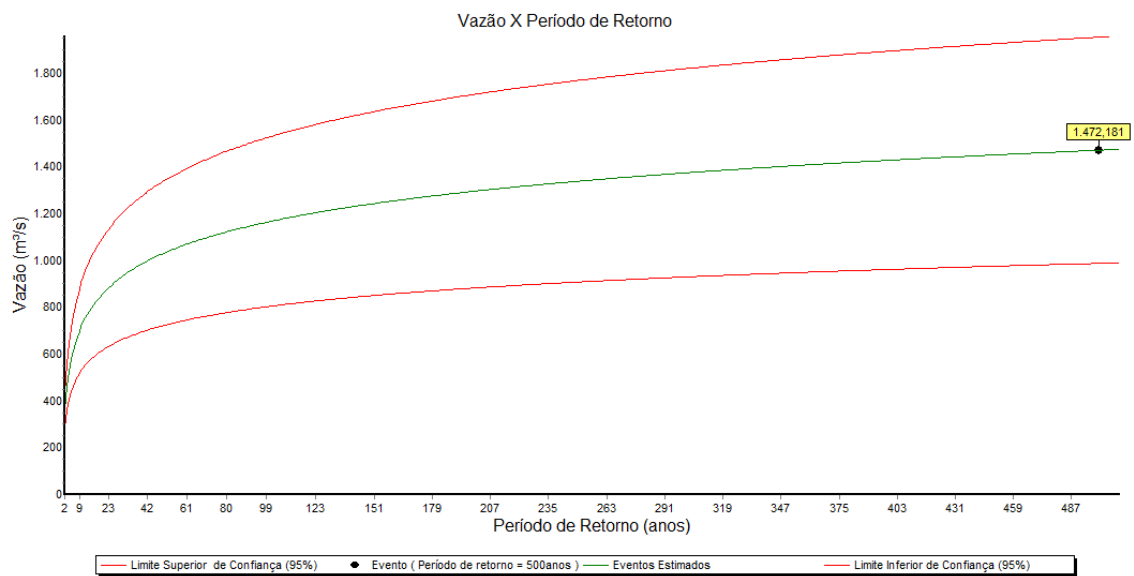
Para Barros et al. (2007) que fez análise do tempo de permanência com dos dados diários por 33 anos de vazão no rio Mundaú, encontrou o valor de $6,99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para a estação fluviométrica de Rio Largo, sendo este valor igualado ou superado em 90% dos casos. Já Cruz e Tucci (2007) com dados de 1969 a 1999 de vazão encontraram a curva de permanência para a bacia do rio Baixo Jacuí, e com ela foi identificado que esta bacia possui um tempo de permanência de 90% de $21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ou seja, este valor é igualado ou superado em 90% dos dados, e esta bacia tem uma área de drenagem superior a 12.000 km^2 . E Pereira (2007) com o estudo da bacia do rio dourados no Mato Grosso do Sul encontrou que para este rio há um período de permanência de 95% estimado em $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, isto levando em consideração que a área de drenagem da bacia é de 9.240 km^2 .

5.4 Período de Retorno

5.4.1 Murici

Pela a distribuição de Gumbel para as vazões máximas na estação de Murici mostra que o evento com o maior valor registrado na estação foi o de agosto de 2000 ($1.472 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e tem período de retorno de a 500 anos (Figura 21).

Figura 33 - Vazão máxima (m³/s) na estação fluviométrica de Murici em função do período de retorno (anos).



Fonte: Autor, 2022.

Já os eventos de agosto de 1991 (902 m³.s⁻¹); junho de 2005 (880 m³.s⁻¹) e junho de 1994 (871 m³.s⁻¹) tem um período de retorno de aproximadamente 25 anos (898 m³.s⁻¹) como pode ser visualizado na Tabela 3. A vazão média (99 m³.s⁻¹) é superada em todas as simulações, uma vez que a de 2 anos já aponta uma vazão de 370 m³.s⁻¹.

Tabela 3 - Estimativa das vazões máximas (m³/s) da estação fluviométrica de Murici com diferentes períodos de retorno (anos) obtido através da distribuição de probabilidade de Gumbel.

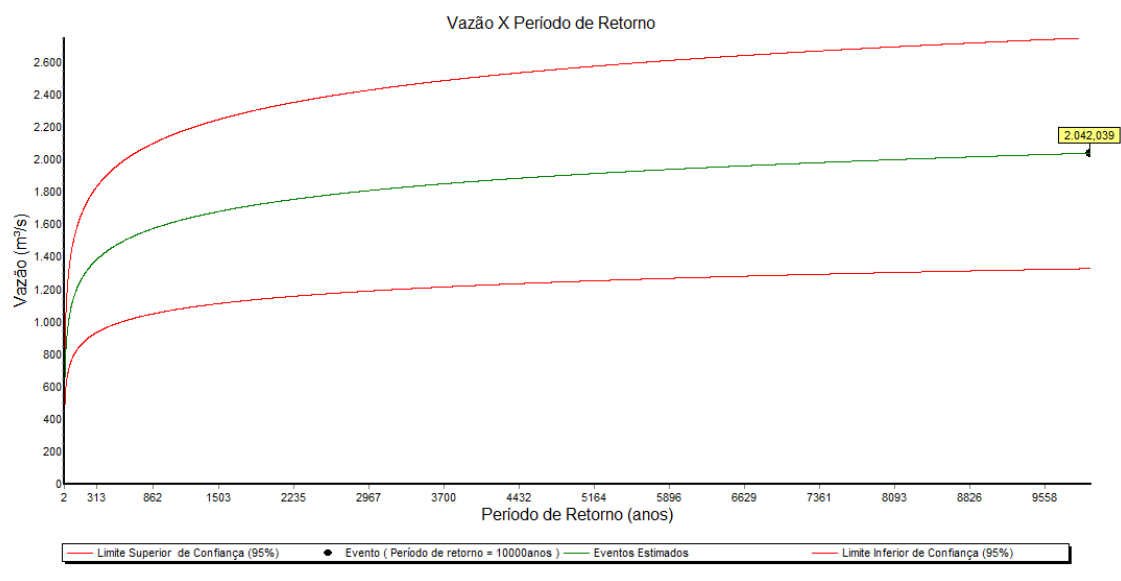
Murici	
Período de Retorno (anos)	Vazão (m³.s ⁻¹)
2	360
10	718
25	898
100	1.170

Fonte: Autor, 2022.

5.4.2 Rio Largo

A distribuição de Gumbel para as vazões máximas na estação de Rio Largo mostra que o evento com o maior valor registrado na estação foi o de agosto de 2000 ($2.319 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) tem um período de retorno superior a 10.000 anos (Figura 34), o que já ilustra bem a gravidade do evento.

Figura 34 - Variação da vazão máxima na estação fluviométrica de Rio Largo em função do período de retorno (anos).



Fonte: Autor, 2022.

Já os eventos de maio de 1997 ($1.008 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); junho de 1994 ($880 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e agosto de 1991 ($829 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) tem períodos de retorno de 45; 23 e 18 anos respectivamente. A vazão média ($104 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) é superada em todas as simulações (Tabela 4), uma vez que a de 2 anos já aponta uma vazão de $338 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tabela 4 - Estimativa das vazões máximas (m^3/s) da estação fluviométrica de Rio Largo com diferentes períodos de retorno (anos) obtido através da distribuição de probabilidade de Gumbel.

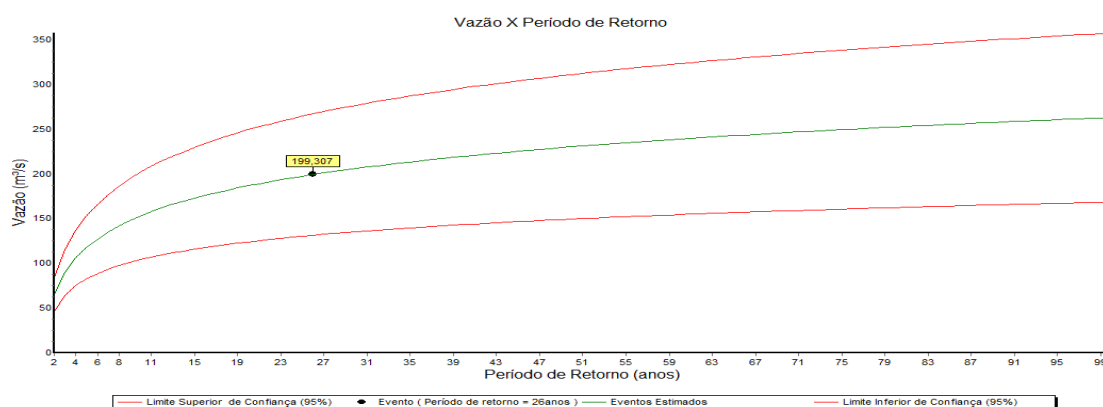
Rio Largo	
Período de Retorno (anos)	Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
2	338
10	553
25	695
100	1.440

Fonte: Autor, 2022.

5.4.3 Santana do Mundaú

A distribuição de Gumbel para as vazões máximas na estação de Santana do Mundaú mostra que o evento com o maior valor registrado na estação foi o de junho de 1994 ($199 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) tem um período de retorno de 26 anos ($199 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) (Figura 35).

Figura 35 - Variação da vazão máxima na estação fluviométrica de Santana do Mundaú em função do período de retorno (anos).



Fonte: Autor, 2022.

Os eventos de agosto de 2000 ($183 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$); junho de 2009 ($160 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) e setembro de 2000 ($130 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) tem períodos de retorno de 19; 12 e 7 anos respectivamente. A vazão média ($18 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) é superada em todas as simulações, já que o período de retorno (Tabela 5) de 2 anos aponta uma vazão de $64 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Tabela 5 - Estimativa das vazões máximas (m^3/s) da estação fluviométrica de Santana do Mundaú com diferentes períodos de retorno (anos) obtido através da distribuição de probabilidade de Gumbel.

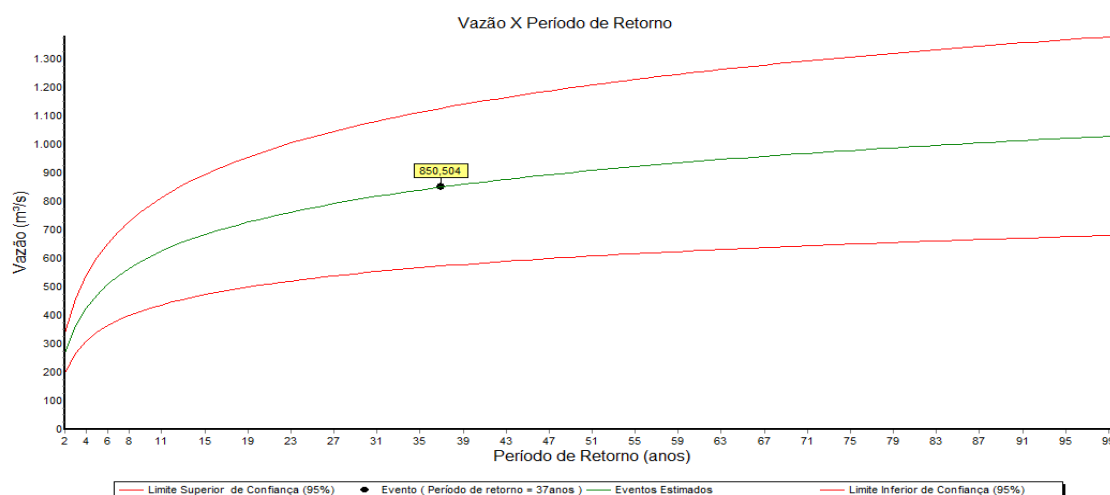
Santana do Mundaú	
Período de Retorno (anos)	Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
2	64
10	153
25	197
100	263

Fonte: Autor, 2022.

5.4.4 União dos Palmares

A distribuição de Gumbel para as vazões máximas na estação de União dos Palmares mostra que o evento com o maior valor registrado na estação foi o de agosto de 2000 ($852 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) tem um período de retorno de 37 anos ($850 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$) (Figura 36).

Figura 36 - Variação da vazão máxima na estação fluviométrica de Santana do Mundaú em função do período de retorno (anos).



Fonte: Autor, 2022.

Os eventos de maio de 1997 ($543 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); junho de 2005 ($543 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e junho de 1994 ($539 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) tem período de retorno de 7 anos. A vazão média ($60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) é superada em todas as simulações, já que o período de retorno (Tabela 6) de 2 anos aponta uma vazão de $267 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tabela 6 - Estimativa das vazões máximas (m^3/s) da estação fluviométrica de União dos Palmares com diferentes períodos de retorno (anos) obtido através da distribuição de probabilidade de Gumbel.

União dos Palmares	
Período de Retorno (anos)	Vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
2	267
10	607
25	778
100	1.031

Fonte: Autor, 2022.

Segundo Oliveira (2014) que teve como objetivo identificar o período de retorno do evento extremo de junho de 2010, que na ocasião não houve registro oficial devido as estações fluviométricas terem sido danificadas com a onda de cheia, sendo a vazão de $1.177 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ estimada por modelagem, e para a estação de Rio Largo utilizando a distribuição de Gumbel com dados diários de vazão de 1965 a 2010, e foi definido um tempo de retorno de 117 anos, já para a estação de Murici 99 anos. Freire (2011) utilizou o mesmo método, mas com dados de vazão entre os anos de 1995 a 2008 como base, então teve o seu tempo de retorno para a estação de Rio Largo em 79 anos.

Da Silva (2016) definiu alguns tempos de retorno para o rio Paraíba, sendo eles: 5 anos: $188 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 10 anos: $237 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 25 anos: $299 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; 50 anos: $354 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e 100 anos – $391 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, que são valores baixos comparados com os encontrados para a BHRM, uma vez que o período de retorno de 100 anos para a estação fluviométrica de Rio Largo foi de $1.440 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

6. CONCLUSÕES

As vazões máximas registradas nas quatro estações foram em Murici; Rio Largo e União dos Palmares no evento de agosto de 2000, tendo registrado $1.472\text{m}^3.\text{s}^{-1}$; $2.319\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ e $852\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ respectivamente. Já na estação fluviométrica de Santana do Mundaú foi no evento de junho de 1994, com $199\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.

Os extremos foram definidos para cada estação sendo $468\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ para Murici; $462\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ para Rio Largo; $68\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ para Santana do Mundaú e $258\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ para União dos Palmares.

Após a definição dos valores considerados extremos de vazão foram identificados 19 eventos onde em pelo menos uma estação foi ultrapassado este valor. E com a plotagem dos campos meteorológicos e análise com as imagens de satélite foram registrados dentre os eventos: quinze (15) Perturbações Ondulatórias nos Alísios; dois (02) Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis e duas (02) Ondas de Leste.

De acordo com a curva de permanência das estações fluviométricas entendeu-se que os cinco maiores eventos de vazão extrema em Murici e Rio Largo apresentaram o mesmo tempo de permanência na série histórica (0,03%). Os valores de vazão máxima em 90% da série em Murici permaneceram igual ou abaixo de $60\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ e em Rio Largo este valor foi de $65\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Para Santana do Mundaú os cinco maiores eventos de vazão extrema tiveram um tempo de permanência de 0,08%. Já em 90% da série histórica das vazões máximas foi registrado valores iguais ou abaixo de $13\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. No caso de União dos Palmares foi a estação que registrou o maior tempo de permanência dos seus eventos de vazão extrema (0,1%), e as vazões máximas ficaram em 90% dos casos iguais ou abaixo de $44\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.

Pelo período de retorno podemos identificar que o evento extremo de agosto de 2000 apresentou valores diferente para cada uma das três estações: para Murici o evento teve um período de retorno de 500 anos, já em Rio Largo foi o com o maior valor da série superando os 10.000 anos, e em União dos Palmares foi identificado o menor valor de período de retorno (37 anos). E para o evento de junho de 1994 em Santana do Mundaú teve o menor tempo de retorno (26 anos) dentre as quatro estações. As vazões máximas médias nas estações foram: Murici: $99\text{m}^3.\text{s}^{-1}$; Rio Largo $104\text{m}^3.\text{s}^{-1}$; Santana do Mundaú $18\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ e União dos Palmares $60\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, e segundo a distribuição de Gumbel indicou a superação deste valor em

no mínimo 2 anos para todos os casos, sendo: $370\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para Murici; $338\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para Rio Largo; $64\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $267\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para União dos Palmares.

Pode-se concluir que é de suma importância que os tomadores de decisão e defesa civil tenham estas informações encontradas como os sistemas sinóticos e os períodos de retorno, pois são cruciais para auxiliá-los nas análises e no planejamento interno, e assim conseguir mitigar ao máximo os desastres provocados por esses sistemas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acessado em 2 de junho de 2019.

ARAGÃO, J. O. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1975. (INPE-789-TPT/017).

BARROS, T. T.; RODRIGUES, D. F.; PIMENTEL, I. M. C.; HOLZ, J.; VIEIRA, L. L. A.; SOUZA, V. C. B.; FEIRE, C. C. & SANTANA, A. G. **Análises Metodológicas de Avaliação dos Pedidos de Outorga de Uso das Águas Superficiais na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú/Alagoas** In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007, São Paulo.

CALHEIROS, A. J. P., MOLION, L. C. B., Vaz, J. C. M., & TENÓRIO, R. S. (2006). **Um evento de precipitação extrema sobre a costa leste do nordeste do Brasil**. In Congresso Brasileiro De Meteorologia, XIV-(CBMET), Florianópolis, SC. Proceedings.

CAMPOS, A. M. V. **Modelos conceituais de formação da corrente de jato no nordeste brasileiro**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2010.

CATTO, J. L.; JAKOB, C.; BERRY, G.; NICHOLLS, N. **Relating global precipitation to atmospheric fronts**. Geophysical Research Letters, Local de Publicação, v. 39, n. 10, doi: 10.1029/2012GL051736, 2012.

CUNHA, M. A. C. **Notas de aula sobre Hidrometria-Operação e Manutenção de Estações Automáticas de Coleta de Dados**. 2011.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. London: Routledge, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980). Geomorfologia. 2 ed., São Paulo, SP: Edgard Blucher. 188 p.

DA SILVA, M C.; FEDOROVA, N. **Processo de Formação do Vórtice Ciclônico de Médios Níveis na Região Continental e Fenômenos Associados** (Process of formation of the cyclonic

vortex of middle levels in the continental region and associated phenomena). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 2, p. 365-379, 2019.

DA SILVA, P. V. R. M.; JUNIOR, R. A. F. C.; DE NORONHA, G. C. **Mapeamento e análise de risco de inundação da Bacia do Rio Paraíba/AL: estudo de caso**. *Sistemas & Gestão*, v. 11, n. 4, p. 431-443, 2016.

DIAZ, C. C. F. **Precipitação e produtividade agrícola na bacia hidrográfica do Rio Pajeú-PE: variabilidade anual e interanual**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

DOS SANTOS, F. de A.; MENDES, L. M. S.; DA CRUZ, M. L. B. **Análise estatística dos anos secos e chuvosos da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, divisa entre os estados do Ceará e do Piauí, Brasil**. *Revista GEOgrafias*, v. 28, n. 1, p. 43-61, 2020.

FEDOROVA, N.; CARVALHO, M. H.; FEDOROV, D. **Formação de vórtices no campo de nebulosidade sobre a América do Sul**. *Rev. Bras. Met*, v. 14, n. 2, p. 15-27, 1999.

FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; RODRIGUES, L. R. L.; FONSECA, A. R. **Corrente de jato no NEB e múltiplos fenômenos meteorológicos adversos no Estado de Alagoas, Brasil, no dia 15 de junho de 2003**. In: IX Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires, Anais..., 2005.

FEDOROVA, N. **Precipitation forecast problems for Maceió city in the northeastern Brazil**. 9th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography – Melbourne Australia 9 to 13 February 2009.

FENNESSEY, N.; VOGUEL, R. M. (1990). **Regional flowduration curves for ungauged sites in Massachusetts**. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 116, n° 4, p. 530-549. Jul/Aug. 1990.

FIALHO, W. M. B.; MOLION, L. C. B. **Extremos de chuva na costa leste do NEB: o evento de maio de 2009**. *Revista Ambientale*, v. 3, n. 3, p. 65-72, 2012.

FRAGOSO JÚNIOR, C. R.; PEDROSA, V. A.; SOUZA, V. C. B. **Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba**. X Simpósio Regional Brasileiro de Recursos Hídricos. Fortaleza/CE, 2010.

FRANCISCO, A. B.. **ANÁLISE DAS SÉRIES HISTÓRICAS ENTRE 1979 E 2019 DAS PRECIPITAÇÕES E VAZÕES MÁXIMAS E MÉDIAS NA BACIA DO RIO CAPIVARA-SP.** GEOFRONTER, v. 6, n. 1, 2020.

FRANK, N. L. **The weather distribution with upper tropospheric cold lows in the tropic:** U. S. Weather Bureau, Southern Region. Thechnical Memorandum. n. 28, Oct. 1966.

FREIRE, P. A. F.; CHAVES, M. B.; AMORIM, A. G. S. DE; OLIVEIRA, D. L.; FRAGOSO JR., C. R. F. **Modelagem chuva - vazão para a cheia de junho de 2010 no município de Rio Largo/AL.** Maceió: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias de alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil.** 1982. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Joasé dos Campos, 1982. (INPE-2685-TDL/126).

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. **Vórtices ciclônicos da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 1, p. 19-28, 1986.

GOMES, Daniel Dantas Moreira et al. **Mapeamento e caracterização dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio Mundaú-PE/AL.** Caderno de Geografia, v. 26, n. 2, p. 272-299, 2016.

GOVERNO DE PERNAMBUCO - Secretaria de Recursos Hídricos. **“Bacia do Rio Mundaú”.** 1999.

HORTON, R.E. (1945). **“Erosional development of streams their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology”** in Bulletin of the Geological Society of America, Colorado, v. 56, pp. 275-370

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: Março de 2020.

JACOBS, J. M.; VOGUEL, R. M. (1998). **Optimal allocation of water withdrawals in a river basin.** In: **Journal of Water Resources Planning and Management.** Vol. 124, nº 6, p. 357-363. Nov/Dec., 1998.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klima kunde: Outline of climate science.** Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388 p.

KOUSKY, Vernon E. **Frontal influences on northeast Brazil**. Monthly Weather Review, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper **Tropospheric cyclonic vortex in the subtropical South Atlantic**. Tellus, v.3, p. 538-551. 1981

LACERDA, F. F.; SILVA JÚNIOR, H. D. da, ASSAD, E. D., ASSIS, J. M. O., MOURA, M. S. B. **Extremos e variabilidade climática no Nordeste brasileiro e em Pernambuco**. Em: Mudanças Climáticas e Impactos Ambientais / organizador Josicleda Domiciano Galvêncio – Ed. Universitária da UFPE, Recife, 2010.p. 1-23.

LAMB, H. **Hydrodynamics**. 6th Edition, Cambridge – England, Cambridge University Press, 738 pp., 1932.

LIMA, M. C. **A importância sócio-econômica, cultural e ambiental do sururu (Mytella charruana) na terra de Alagoas: como se valorizar esse recurso à luz de princípios da economia ecológica?**. Revista Incelências, v.4, n.1, 2015.

LYRA, M. J. A.; DE FREITAS, I. G. F.; DE BARROS SANTIAGO, D. **Evento de Precipitação Intensa Associado às Perturbações Ondulatórias dos Alísios Sobre o Estado de Alagoas**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 07, p. 3195-3205, 2020.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V.; CARDOSO, M. R. D. **Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Mundaú**. 2011.

MUANZA, Gomes Antonio et al. **Padrões de circulação atmosférico associados á ligação da extremidade frontal com a ZCIT**. 2018

NOBRE, M. R. P. DE SOUSA PEREIRA, M.; CAMPOS, R. **Estudo de vazões máximas de projeto usando uma distribuição de Gumbel**. Research, Society and Development, v. 10, n. 12, p. e140101220098-e140101220098, 2021.

OLIVEIRA, D. L.; SOUZA, V. C. B.; FRAGOSO JÚNIOR, C. R. **Análise hidrológica da cheia excepcional ocorrida em junho de 2010 nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco**. RBRH–Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 3, p. 279-293, 2014.

PEREIRA, S. B., ALVES SOBRINHO, T., FEDATTO, E., PEIXOTO, P. P., & BONACINA, R. (2007). **Variação temporal do comportamento hidrológico na bacia do Rio Dourados no período de 1973 a 2002**. Engenharia Agrícola, 27(2), 560-568.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. da; KOETZ, M. **Estudo da vazão em cursos d'água**. Viçosa: Engenharia na Agricultura. Caderno didático: 43. Associação Mineira de Engenhos Agrícolas, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 151p.

QUIMPO, R. G.; McNALLY, T.A. (1983). **Regionalized flow duration for Philippines**. In: Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 109, nº 4, p. 320-330. Oct. 1983.

RANTZ, S.E. 1982. **Measurement and computation of streamflow: Volume 2. Computation of discharge**. Geological Survey Water-Supply Paper 2175. Washington, United States Government Printing Office, 118p.

ROSSBY, C. G. **Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-centers of action**. Journal of Marine Research, v. 2, n.1, p. 38-55, 1939.

SILVA, S.A., CANDEIAS, A. L. B., GOMES, D. D. M., & DE SOUZA, W. M. **Variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Mundaú (PE/AL)**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 23, n 14, 2018.

SILVA, S. de A.. **Análise das interações entre variabilidade climática e cobertura da terra no regime hidrológico da Bacia Hidrográfica Interestadual do Rio Mundaú (Pernambuco/Alagoas)**. 2020.

TENÓRIO, R. S. **Estudo Hidrometeorológico da Bacia do Rio Mundaú**. Universidade Federal de Alagoas. MET. Maceió - Alagoas, Trabalho de conclusão de curso, Fevereiro, 1985.

TORRICO, J.J. T. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 119p.

VOGUEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. (1994). **Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals**. In: Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 120, nº 4, p. 485-504. Jul/Aug. 1994.