



**INSTITUTO
FEDERAL**
Pernambuco

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO - *Campus Recife*

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DOS CURSOS SUPERIORES (DACS)

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA
(CGEO)

ISAAC DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE RÍTMICA EM CLIMATOLOGIA APLICADA A EVENTOS EXTREMOS DE
PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DO RECIFE-PE**

Recife - PE

2024

ISAAC DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE RÍTMICA EM CLIMATOLOGIA APLICADA A EVENTOS EXTREMOS DE
PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DO RECIFE-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - *Campus Recife*, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Geografia.

Orientador: Prof^o. Me. Joazadaque Lucena de Souza

Recife - PE

2024

Catálogo na fonte: Danielle Castro da Silva CRB4/1457

F383a
2024

Ferreira, Isaac da Silva

Análise rítmica em climatologia aplicada a eventos extremos de precipitação no município do Recife-PE. / Isaac da Silva Ferreira. --- Recife: O autor, 2024.
72f. il. Color.

Trabalho de Conclusão (Curso Superior Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

Inclui Referências e Apêndices.

Orientador: Profº. Me. Joazadaque Lucena de Souza.

1. Dinâmica climática. 2. Análise Rítmica. 3. Eventos Extremos de Precipitação.
I. Título. II. Silva, Maciel Henrique Carneiro da (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD 910.7 (21ed.)

ISAAC DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE RÍTMICA EM CLIMATOLOGIA APLICADA A EVENTOS EXTREMOS DE
PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DO RECIFE – PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Recife, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Geografia.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e **APROVADO** em 10 de outubro de 2024 pela Banca Examinadora:

Joazadaque Lucena de Souza (IFPE/CGEO)
Orientador
Mestre em Geografia – UFPE

Wemerson Flávio da Silva (UFPE/DCG)
Examinador Externo
Doutor em Geografia – UFPE

Manuella Vieira Barbosa Neto (IFPE/CGEO)
Examinadora Interna
Doutora em Geografia – UFPE

Recife – PE
2024

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por me guiar até aqui. A minha família, em especial minha mãe que me deu apoio e me incentivou todos esses anos para que eu pudesse chegar nesse momento.

A Joazadaque Lucena de Souza que prontamente aceitou embarcar nesse trabalho e muito me ajudou na construção desse TCC.

A Adriano Duarte pela ajuda na obtenção dos dados usados neste trabalho e por todo apoio, principalmente nos momentos em que eu mais precisava de motivação.

Aos professores do Curso da Licenciatura em Geografia que fazem muito mais que ensinar, transformam a maneira como enxergamos o mundo.

Aos meus colegas de turma, com os quais tanto aprendi ao longo dos anos.

RESUMO

Investigar os eventos extremos de precipitação tornou-se uma tarefa imprescindível no atual contexto de alteração do comportamento climático desencadeado pelas atividades antrópicas que se dá de forma predatória e desconsidera os limites que o planeta consegue suportar. Os eventos extremos de precipitação representam potenciais chances de perdas materiais e humanas. Sendo assim, analisou-se os eventos extremos de precipitação que ocorreram no município do Recife estabelecendo a série histórica 1994-2023. A investigação que se pautou na técnica da Análise Rítmica teve como principal objetivo analisar a dinâmica climática a partir da variação do ritmo dos elementos climáticos e eventos extremos de precipitação no município do Recife-PE. Os dados utilizados foram coletados junto a instituições de pesquisas e monitoramento climático como a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados mostraram que no período-padrão habitual (2006) foi marcado pela atuação da Massa Tropical Atlântica, da Zona de Convergência Intertropical e do Sistema de Brisas. O período-padrão chuvoso (2011) evidenciou a majoritária participação da Massa Equatorial Atlântica, além dos Distúrbios Ondulatórios de Leste e da ZCIT nas elevadas quantidades de chuva que o município recebeu nos meses analisados. Já no período-padrão seco (2018) mostrou que Massa Equatorial Atlântica e Tropical Atlântica e os Distúrbios Ondulatórios de Leste também foram predominantes. A aplicação da Análise Rítmica demonstrou ser um importante instrumento de análise da dinâmica climática e da variação espaço-temporal dos componentes meteorológicos que atuam no município do Recife.

Palavras-chave: dinâmica climática; análise rítmica; eventos extremos de precipitação.

Abstract

Investigating extreme precipitation events has become essential in the current context of climate behavior changes triggered by anthropogenic activities, which often occur in a predatory manner and disregard the limits the planet can withstand. Extreme precipitation events pose potential risks of material and human losses. Accordingly, extreme precipitation events occurring in the municipality of Recife were analyzed, establishing a historical series from 1994 to 2023. This investigation, grounded in the Rhythmic Analysis technique, primarily aimed to analyze climate dynamics by examining the variation in the rhythm of climate elements and extreme precipitation events in Recife-PE. Data used in this study were gathered from climate research and monitoring institutions, including the Pernambuco Water and Climate Agency (APAC), the National Institute for Space Research (INPE), and the National Institute of Meteorology (INMET). The results showed that the standard habitual period (2006) was marked by the influence of the Tropical Atlantic Air Mass, the Intertropical Convergence Zone, and the Breeze System. The rainy standard period (2011) highlighted the predominant influence of the Equatorial Atlantic Air Mass, as well as the Eastern Wave Disturbances and the ITCZ, which contributed to the substantial rainfall amounts received by the municipality in the analyzed months. In the dry standard period (2018), the Equatorial Atlantic and Tropical Atlantic Air Masses and the Eastern Wave Disturbances were also predominant. The application of Rhythmic Analysis proved to be an important tool for analyzing climate dynamics and the spatiotemporal variation of meteorological components impacting the municipality of Recife.

Keywords: climate dynamics; rhythmic analysis; extreme precipitation events.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: modelo de circulação dos ventos a partir de células de convecção.

Figura 2: localização da Zona de Convergência Intertropical.

Figura 3: ocorrência do Distúrbio Ondulatório de Leste no litoral do Nordeste.

Figura 4: ocorrência de Linhas de Instabilidade (LI) sobre partes das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Figura 5: VCAN em ocorrência sobre o Nordeste do Brasil.

Figura 6: CCM atuando sobre o NEB.

Figura 7: processo de formação das brisas marinhas e terrestres.

Figura 8: imagem de uma Frente Fria sobre o Sudeste através de imagem de satélite e carta sinótica.

Figura 9: direção dos ventos sobre o oceano Atlântico associados à MTA

Figura 10: localização territorial e divisão administrativa do município do Recife

Figura 11: climatologia da precipitação mensal (mm) do Estado de Pernambuco.

Figura 12: notícia publicada no dia 21/06/2006 sobre os transtornos causados pelas chuvas intensas no município do Recife

Figura 13: atuação do Distúrbio Ondulatório de Leste sobre o Leste de Pernambuco no dia 21/06/2006.

Figura 14: imagens do satélite Meteosat canal 01 referente às 12 horas evidenciando a atuação do Distúrbio Ondulatório de Leste sobre a costa leste do Nordeste do Brasil.

Figura 15: monitor de secas do Nordeste em Julho de 2018.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: médias de precipitação mensais de Recife (1994-2023)

Gráfico 2: totais pluviométricos anuais do município do Recife (1994-2023)

Gráfico 3: atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em Recife (maio a julho de 2006)

Gráfico 4: altura pluviométrica do trimestre chuvoso de 2006 do município do Recife.

Gráfico 5: atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em Recife (maio a julho de 2011)

Gráfico 6: altura pluviométrica do trimestre chuvoso de 2011 do município do Recife.

Gráfico 7: atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em Recife (maio a julho de 2018)

Gráfico 8: altura pluviométrica do trimestre chuvoso de 2018 do município do Recife.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Climatologia trimestral do município do Recife - PE

Quadro 2: divisão dos dados em quatro partes

Quadro 3: categorias e probabilidade da precipitação em relação à ordem quantílica

Quadro 4: totais pluviométricos da série histórica classificados a partir da aplicação da técnica dos Quantis.

Quadro 5: Classificação mensal do trimestre chuvoso da série histórica (1994-2023) do município do Recife

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações meteorológicas e postos pluviométricos utilizados e suas descrições de nome, código, latitude, longitude e altitude

Tabela 2: média mensal da precipitação com a participação em porcentagem em relação à normal da série histórica

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

AB - Alta da Bolívia

APAC - Agência pernambucana de águas e Climas

ASAN - Anticiclone Semifixo do Atlântico Norte

ASAS - Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul

ATS - Atlântico Tropical Sul

ATSM - Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar

BDMEP - Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa

CCM - Complexo Convectivo de Mesoescala

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

CPTEC - Centro de Previso do Tempo e Estudos Climáticos

DOL - Distúrbio Ondulatório de Leste

ENOS - El Niño Oscilao Sul

FF - Frente Fria

FPA - Frente Polar Atlântica

HN - Hemisfério Norte

HS - Hemisfério Sul

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IOS - ndice de Oscilao Sul

LI - Linha de Instabilidade

MEA - Massa Equatorial Atlântica

MTA - Massa Tropical Atlântica

NEB - Nordeste brasileiro

POA - Perturbao Ondulatória nos Alísios

RMR - Regio Metropolitana do Recife

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

VCAN - Vrtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCA - Zona de Confluência dos ventos Alísios

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ZEPA- Zona Especial de Preservao Ambiental

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. As bases teórico-metodológicas da Climatologia Dinâmica	13
2.2. A dinâmica climática do nordeste brasileiro (NEB).....	19
2.3. Sistemas atmosféricos e massas de ares atuantes no Nordeste brasileiro	22
3. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
4. METODOLOGIA	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1. Análise pluviométrica da série histórica (1994-2023) do município do Recife.....	45
5.2. Análise trimestral da precipitação do Recife e seleção do trimestre-padrão.....	46
5.3. Análise Rítmica ao período-padrão habitual	49
5.3.1. Análise do episódio do dia 21/06/2006.....	53
5.4. Análise Rítmica aplicada ao período-padrão chuvoso	55
5.4.1. Análise do episódio do dia 17/07/2011.....	58
5.5. Análise Rítmica aplicada ao período-padrão seco.....	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÊNDICE	71

1. INTRODUÇÃO

A análise dos fenômenos atmosféricos que desencadeiam eventos de precipitação, fator chave para a determinação dos climas, tem sido o foco de inúmeros estudos acadêmicos em diversos centros de pesquisa ao redor do mundo. No Brasil, devido ao fato deste ser o componente meteorológico que mais claramente reflete as características climáticas de nosso território, as precipitações são frequentemente o centro das investigações no campo da Climatologia.

A investigação sobre a distribuição espacial e temporal dos elementos e fatores climáticos, com ênfase nos eventos pluviométricos, representa uma tarefa essencial para os geógrafos. Estes profissionais buscam entender a origem de tais eventos e os impactos que suas ocorrências provocam em diferentes ambientes.

Apesar da realidade das estiagens e da escassez hídrica, o Nordeste brasileiro (NEB) enfrenta também os eventos hidrológicos extremos que em muito superam as médias climatológicas. De acordo com Aragão e Duarte (2023), esses fenômenos são caracterizados por volumes de precipitação que excedem 49,17 mm em 24 horas, capazes de causar impactos significativos, especialmente nos grandes centros urbanos da região.

De acordo com Nimer (1989), os elementos físico-naturais, como a posição geográfica, o relevo e os diversos sistemas de circulação atmosférica, tornam a climatologia NEB uma das mais complexas do mundo. Essa complexidade é especialmente evidente na variabilidade climática, refletida em índices de pluviosidade que, segundo Nimer, são "sem igual em outras Regiões brasileiras" (Nimer, 1989, p. 315).

Com o objetivo de investigar a gênese dos diferentes tipos de tempos atmosféricos, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro estabeleceu as bases da Climatologia Sintética no Brasil. Essa abordagem tem o ritmo climático como seu paradigma central e leva em consideração os eventos extremos, originados pela ação dos sistemas atmosféricos e massas de ar.

A Análise Rítmica em Climatologia, técnica desenvolvida por Monteiro (1971) e aprimorada ao longo de sua carreira acadêmica, busca compreender o clima através do encadeamento dos tipos de tempos atmosféricos analisados em escalas diárias e, sempre que possível, horárias. Esse método oferece uma visão mais acurada das

realidades climáticas em diferentes recortes regionais, facilitando, assim, a compreensão dos climas locais.

Nesse contexto, os eventos extremos de precipitação, que causam impactos significativos, especialmente nas populações que vivem em áreas de risco, assumem um papel crucial na Análise Rítmica. Tais eventos são fundamentais para evidenciar a realidade climática de determinadas localidades, permitindo uma análise mais detalhada e precisa da dinâmica climática na escala local.

A Análise Rítmica é o paradigma da Climatologia Dinâmica, utilizando os procedimentos metodológicos propostos por Monteiro. Este método investiga o ritmo climático em sua sucessão habitual, considerando tanto os eventos excepcionais quanto os habituais como expressões das características climáticas.

Tendo em vista que a forma de apropriação do solo urbano da capital pernambucana se deu de forma inadequada para garantir a segurança da população, somado aos problemas de drenagem da cidade, os eventos extremos de precipitação representam uma ameaça direta para a população, sobretudo aquelas residentes em áreas que apresentam riscos.

Sendo assim, a presente teve por objetivo geral analisar a dinâmica climática a partir da variação do ritmo dos elementos climáticos e eventos extremos de precipitação no município do Recife-PE. Para alcançar esse propósito foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: 1) Analisar a variação pluviométrica do município do Recife numa escala anual, mensal e estacional da série histórica que compreende os anos de 1994 a 2023; 2) Selecionar anos-padrão (seco, habitual e úmido) a partir da variação anual de precipitação e 3) Analisar a influência espaço-temporal dos sistemas atmosféricos atuantes na gênese dos eventos extremos de precipitação no município do Recife - PE.

O capítulo de fundamentação teórica faz uma análise histórica da Climatologia geográfica brasileira evidenciando a constituição da Análise Rítmica e sua importância nos estudos geográficos do clima. Em seguida, foi realizada uma breve caracterização geoambiental do município do Recife. O capítulo dos resultados e discussão realizou a análise pluviométrica anual e trimestral da precipitação do Recife e expôs os resultados da aplicação da técnica da Análise Rítmica nos períodos- padrão analisados nesta pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Climatologia geográfica brasileira muito se transformou ao decorrer das décadas. Atualmente, múltiplas formas de investigação acerca da dinâmica climática são utilizadas com o objetivo primordial de desvendar o mecanismo de funcionamento das forças que atuam na atmosfera terrestre.

A Análise Rítmica em Climatologia se tornou o paradigma da Climatologia brasileira através dos esforços de Monteiro (1971), reconduzindo gerações de pesquisadores que se interessam pelo tema.

2.1. As bases teórico-metodológicas da Climatologia Dinâmica

A geografia constitui-se como um importante campo do conhecimento científico que busca identificar e compreender as interseções entre as análises da conjuntura social e a dinamicidade físico-natural do nosso planeta. Inserida num amplo universo epistemológico da ciência geográfica, a Climatologia se configura como uma área que concentra esforços na investigação da dinâmica atmosférica e nos padrões climáticos.

A necessidade de compreender o funcionamento da dinâmica atmosférica surge, a partir, da tomada de consciência pelos seres humanos de que intervindo, ou até mesmo, moldando o meio natural poderiam obter melhores condições de atender aos seus anseios, lançando-se na investigação dos elementos que compõe o sistema climático (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

Segundo Sant'Anna Neto (2008) a construção da Climatologia, enquanto ciência, está correlacionada ao desenvolvimento da Meteorologia, que ergue suas bases conceituais e concepções metodológicas numa perspectiva tradicional de cunho neopositivista e neokantiano e “apoia-se no conceito que Hann atribuiu ao clima.” (Barros; Zavattini, 2009, p. 257). Zavattini (2000) realizou uma discussão dos limites existentes entre os campos conceituais e práticos da Meteorologia e da Climatologia, com o intuito de elucidar as fronteiras de seus exercícios.

Considerando que a Climatologia fundamenta suas pesquisas e análises a partir dos dados e em alguns dos procedimentos metodológicos que a Meteorologia também utiliza, é importante destacar que ambas se sustentam sobre os avanços do pensamento científico e do aprimoramento das técnicas de obtenção de dados e de análise de alguns dos elementos que compõe o clima.

Zavattini (2000, p.28) esclarece uma distinção que está presente no objeto de análise dos campos da Climatologia e da Meteorologia.

Os geógrafos e os meteorologistas possuem interesses diversos, embora usem dados colhidos em instrumentos idênticos (anemógrafo, pluviômetro, termômetro, higrógrafo, evaporímetro, pluviógrafo, barômetro, etc.) e observem os mesmos fenômenos atmosféricos [...] estes últimos, preocupados com a justeza e a sensibilidade dos aparelhos, com a crítica matemática das séries temporais de dados e de suas variações, acabam se limitando a buscar a previsão.

A distinção entre os objetos de investigação da Climatologia e da Meteorologia, passou a ser expressamente delimitada a partir da década de 1960, com o aprimoramento dos estudos no campo da física. Esses avanços forneceram os meios necessários para o desenvolvimento da Meteorologia e seus estudos de cunho essencialmente estatístico-matemático (Sant'Anna Neto, 2004). O autor ainda relata que no caso do Brasil, a Climatologia é quem ganha maior destaque, sendo o foco das observações.

A Meteorologia debruça seus esforços sobre análises das condições do tempo e clima numa perspectiva diferente daquelas que são aceitas pelos geógrafos, que adotam abordagens próprias para atender aos objetivos geográficos. “O inevitável confronto entre a Climatologia e a Meteorologia envolve os geógrafos numa discussão - sobre o uso e a aplicação de cada uma delas – que se deve iniciar, essencialmente, pelas definições de “tempo” e “clima” (Barros; Zavattini, 2009, p.256). Nesse sentido, deve-se, primeiramente, identificar qual conceito se alinha ajustadamente aos interesses das investigações geográficas. Dessa forma, entende-se que a definição do conceito é extremamente importante para o progresso das análises ambientais empreendidas pela Geografia.

Conforme enfatizado, a Climatologia se desenvolve paralelamente aos avanços conceituais e metodológicos da Meteorologia que segundo Barros e Zavattini (2009) apresenta dois domínios de pesquisa: a Meteorologia Tradicional e a Meteorologia Dinâmica. Equiparadamente, observa-se que os desdobramentos do campo da Climatologia compreendem tanto o domínio tradicional quanto o dinâmico.

A Meteorologia Tradicional abarca um conjunto de técnicas que em consonância com as referências conceituais de “Clima” e “Tempo”, concebe suas análises apoiadas nas obras de Julius Hann e Köppen “que até os dias atuais está

vinculado ao uso (e abuso) dos valores médios no estudo dos tipos climáticos.” (Sant’Anna Neto, 2004, p. 55).

Barros e Zavattini (2009, p. 257) tece as seguintes observações acerca da Meteorologia Tradicional, também denominada analítico-separatista:

No método analítico-separatista cada elemento do clima (temperatura, pressão atmosférica, umidade, precipitações, vento, insolação, nebulosidade, dentre outros) é considerado de forma isolada e, com base nas observações meteorológicas realizadas, calculam-se médias que são utilizadas para a elaboração de cartas e gráficos.

Os autores levantam críticas importantes no que diz respeito ao método tradicional e ressalta que:

O problema deste método refere-se aos valores extremos e aos menos ocasionais, que são totalmente mascarados pelo uso das médias aritméticas, que colocam os elementos numa situação de uniformidade que, na verdade, não existe (Barros; Zavattini, 2009, p. 257).

A utilização dos valores médios dos elementos climáticos apresenta-se como um meio viável para a realização dos estudos, sobretudo quando os dados são escassos, decorrentes da precariedade da rede de monitoramento e medição dos componentes atmosféricos. Contudo, ao se utilizar os valores médios, as excepcionalidades são desconsideradas o que impossibilita a compreensão da realidade atmosférica e, portanto, não seria possível chegar ao ritmo dos tempos (Barros; Zavattini 2009).

Outra observação levantada pelos autores se refere à desconformidade ao se utilizar o conceito de clima numa perspectiva tradicional, pois seria custoso aos geógrafos chegar a uma realidade palpável nos estudos climatológicos quando somente os valores médios são considerados e cada elemento é analisado isoladamente, ou seja, “embora recomende o estudo do conjunto de fenômenos em contato com a superfície terrestre, a concepção de Hann encara o clima como sendo uma média, transformando-o numa abstração” (Barros; Zavattini, 2009, p. 256).

Monteiro (1962), ao analisar a circulação atmosférica da região sudeste e a dinâmica das massas de ar em associação com os processos frontogenéticos, é quem melhor evidencia a deficiência da abordagem analítico-separativa quando se pretende realizar observações que atendam aos interesses da Geografia. Esse método apresenta suas falhas ao fragmentar o complexo climático e ao analisar separadamente cada constituinte do clima, abandonando a interconexão que configura a essência da análise geográfica do clima.

Assim, ao se adotar os valores médios dos elementos climáticos como temperatura, precipitação, pressão, radiação solar e umidade, todas as oscilações às quais o tempo atmosférico está submetido são mascaradas. A utilização dessas médias e o desprezo dos extremos, que são essenciais para os estudos geográficos por evidenciar a verdadeira identidade do clima de determinada localidade, resulta no desconhecimento das particularidades fundamentais para a compreensão do clima.

Nesse sentido, o entendimento da dinâmica climática através da utilização de valores médios que ofuscam a realidade climática transformando-a numa abstração, revela-se imprecisa aos propósitos geográficos. Sendo assim, tornou-se necessário uma revisão conceitual capaz de superar as limitações colocadas pela abordagem tradicional.

Maximilien Sorre desenvolveu seus estudos durante a primeira metade do século XX. Francês de nascimento, sua obra foi fortemente influenciada por Paul Vidal de La Blache, um dos maiores expoentes da Geografia francesa. Sorre desenvolveu um amplo trabalho que contribuiu para a difusão da corrente Possibilista de La Blache em oposição ao Determinismo alemão. De acordo com Sant'Anna Neto (2008), Sorre explorou os mais variados temas da ciência geográfica e propôs novos rumos teóricos ainda num contexto da Geografia tradicional.

Tencionado a aprofundar a compreensão acerca da Geografia e, estreitando os vínculos de seus estudos com a Biologia, Sorre concebe novas definições para “tempo” e “clima”, inaugurando novas concepções para esses conceitos-chave nos estudos climatológicos. A proposta de revisão conceitual sorreana aspira tornar tais conceitos livres do caráter estático das médias que foi, e continua sendo na atualidade, um paradigma importante no escopo dos estudos da Climatologia geográfica brasileira Sant'Anna Neto (2004), além de visar atribuir uma dimensão dinâmica, de relação mútua entre os constituintes do clima.

Ainda segundo Barros e Zavattini (2009, p. 257) “a evolução da Meteorologia Dinâmica e a proposta climática de Sorre (1951) possibilitaram novas formas de abordagem em Climatologia” e apesar de não ter desenvolvido pesquisas aplicadas especificamente na área conforme Sant'anna Neto (2015), Sorre foi um dos autores que mais contribuiu para galgar novas perspectivas conceituais na Climatologia, lançando mão de uma definição que privilegia uma abordagem crítica e dinâmica do clima em detrimento da concepção Analítico-Separativa.

Monteiro (1962) ressalta a importância da conceituação marcadamente crítica elaborada por Sorre em seus primeiros estudos climatológicos, e comenta que:

A Sorre devemos uma monumental revisão geográfica do conceito de clima. Desde sua obra "Les Fondements de la Géographie Humaine" advoga êle a necessidade de encarar o clima como "o ambiente atmosférico constituído pela série de estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual" o que só é possível segundo as normas da metodologia dinâmica (Monteiro, 1962, p.29).

Ao estudar a influência do clima no organismo humano e se deparar com a necessidade de estabelecer um conceito que coubesse nos propósitos dos estudos geográficos que, segundo ele, teria o interesse em compreender a localização dos tipos de clima ao redor do globo. Desse modo, em resposta a essa demanda, o estudioso propôs uma definição de clima como sendo o "ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera acima de um lugar em sua sucessão habitual" (Sorre, 1951, p. 14).

A definição proposta por Sorre estava mais preocupada com a sequência dos estados da atmosfera em detrimento dos valores médios, tão aceito em sua época. A concepção sorrenana enfatizava a necessidade de análise individual de cada um dos estados atmosféricos sobre um dado local conforme elucidado por Sant'Anna Neto (2008).

"Ao definir o complexo climático (ou meio climático), concebeu a noção de ritmo, argumentando que é exatamente o ritmo da sucessão de tipos de tempo que deveria nos interessar, uma vez que expressaria de forma global a variação do clima" (Sant'anna Neto, 2008, p. 54) e o ajustamento de diferentes elementos atmosféricos que uma vez atuando em conjunto sobre determinado lugar, originaria uma condição singular ao qual definiria como tempo atmosférico. Portanto, a interpretação dos fatores genéticos dos tipos de tempo se configura como o relevante papel do geógrafo na análise dos tipos de climas, conforme apontado pelo autor.

Nesse sentido, Maximilien Sorre criticou fervorosamente as propostas de classificação climática de Köppen por seu caráter estático e pela incapacidade de demonstrar a dinamicidade envolvida no meio atmosférico, que ocorre sob a influência de diferentes elementos simultaneamente. Sendo assim, as considerações de Sorre foram determinantes para a superação do entendimento do clima através dos estudos de cunho Analítico-separativo. Além disso, contribuiu significativamente para o

estabelecimento das bases conceituais direcionadas às pesquisas de caráter genético, fundamentadas na percepção da sucessão de tipos de tempo.

A abordagem sorreana e seus elaborados pressupostos foram responsáveis por transformações profundas no âmbito da Climatologia, além de contribuir consideravelmente para uma integração das investigações dos fenômenos climáticos aos estudos geográficos. As contribuições de Max Sorre influenciaram profundamente diversas gerações de pesquisadores em todo o mundo, e, no Brasil, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro destacou-se ao interpretar e aplicar os princípios sorreanos. Monteiro propôs uma análise do meio climático que se conecta às questões sociais. Dessa forma, “as noções de dinâmica, gênese e ritmo passaram a constituir os fundamentos do entendimento do fenômeno atmosférico como categoria de análise geográfica” (Sant’Anna Neto, 2008, p. 55).

Em contraste com a abordagem separatista, a Climatologia Dinâmica almeja uma apreensão holística do clima. Essa perspectiva busca compreender o funcionamento do clima a partir da própria circulação atmosférica, dos centros de ação e da atuação das massas de ar (Ribeiro, 2000). Seu principal objetivo reside na observação integrada dos elementos do clima, impossíveis de serem analisados de forma isolada quando o intuito é a compreensão da realidade (Cunha; Vecchia, 2007).

A fundamentação da Climatologia Dinâmica no Brasil foi estabelecida a partir do conceito de “ritmo” que pode ser entendido como a dinâmica climática a partir da sucessão dos tempos atmosféricos percebida através das variações mensais dos elementos, que levaria automaticamente ao conceito de “habitual”, quando a combinação dos elementos do clima caracteriza determinado tipo de tempo que tende a se repetir. Porém, os desvios daquilo que é considerado habitual para uma dada localidade poderia gerar distorções até chegar aos padrões extremos (Monteiro, 1971).

Neste mesmo estudo, o professor Monteiro ressalta sua inquietação quanto à necessidade de realizar uma decomposição cronológica nas análises do ritmo climático:

Apenas a partir da escala diária é possível associar à variação dos elementos do clima os tipos de tempo que se sucedem segundo os mecanismos de circulação regional. Associando-se, nesta escala, a variação de todos os elementos, concomitantemente, a interpretação é sobremodo enriquecida pelo dinamismo a que se reveste (Monteiro, 1971, p. 9).

Monteiro (1971) desenvolveu um inovador método de pesquisa baseado na compreensão dos padrões climáticos, analisando o clima por meio da interação entre

os diversos sistemas atmosféricos e massas de ar. Segundo Fontão *et al.* (2018) a análise rítmica emerge como um método renomado, amplamente adotado por inúmeros trabalhos dentro do domínio da Climatologia Geográfica no Brasil, representando uma eficaz síntese dos conceitos propostos por Monteiro.

A análise rítmica se destaca como uma importante abordagem do clima por não se limitar a considerar as oscilações em escala do tempo diárias, mas estende sua análise sobre a ocorrência de eventos extremos que denotam a verdadeira expressão do clima e auxilia numa interpretação mais precisa da dinâmica atmosférica. A metodologia que pode ser considerada o paradigma da Climatologia Geográfica brasileira segundo (Ribeiro, 2000; Fontão *et al.*, 2018), permite uma análise a partir da observação simultânea dos elementos que compõem o tempo atmosférico, e busca sua gênese na atuação dos sistemas atmosféricos que operam em escala regional.

2.2. A dinâmica climática do nordeste brasileiro (NEB)

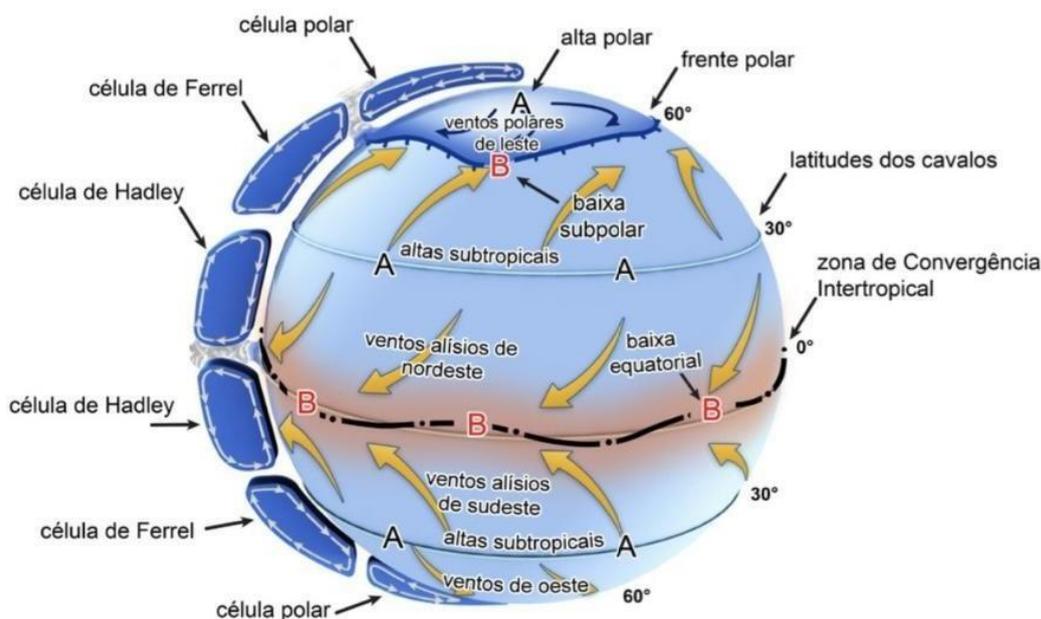
A circulação atmosférica exerce uma função extremamente importante na determinação dos diversos tipos climáticos existentes ao longo do globo terrestre. A movimentação do ar atmosférico, regido pelas leis da mecânica dos fluidos, ocorre devido a desigual distribuição de radiação solar na superfície terrestre, conseqüentemente ocasionando a formação das zonas climáticas do globo terrestre (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007).

Através da circulação do ar, o sistema climático busca seu equilíbrio dinâmico e os ventos desempenham um papel crucial nesse processo, atuando como um mecanismo de redistribuição de calor. Isso acontece, principalmente, através do transporte de ar quente das regiões equatoriais (ou latitudes baixas), onde a incidência de radiação solar é mais intensa, para as regiões polares (ou latitudes altas), que recebem menos calor.

A representação da movimentação do ar atmosférico é uma tarefa difícil de ser alcançada, por isso é adotado como referência os centros de ação - ou centros de pressão - como os mecanismos impulsionadores do ar. Esses centros “exercem o controle climático do planeta, são reconhecidos como de alta pressão (anticlonais) ou de baixas pressões (clonais ou depressões) (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007, p. 84).

O deslocamento do ar das altas para as baixas pressões gera células de convergência e divergência de ventos (figura 1) que se organizam a partir do fluxo típico do ar (Sanchez; Pereira, 2020).

Figura 1: modelo de circulação dos ventos a partir de células de convecção.



Fonte: midia.atp.usp.br

Próximo à superfície cerca de 30° nos hemisférios Norte e Sul, formam-se as altas subtropicais que são áreas de subsidência de ar sobre o oceano Atlântico e a convergência do ar, em altitude, advindo do equador. Esse sistema de circulação norte-sul forma a célula de Hadley que se individualiza a partir da Zona de Convergência Intertropical (Mendonça-Danni-Oliveira, 2007).

Nas altas latitudes o ar polar entra em contato com as massas de ares mais quentes que saem dos trópicos, originando os sistemas frontais. As frentes são um importante instrumento de redistribuição do calor, auxiliando na redução dos excessos térmicos e são classificadas em dois tipos: “quando o ar frio avança sobre determinado setor terrestre, a frente é denominada frente fria; quando o ar quente se sobrepõe sobre outro setor terrestre, denomina-se frente quente” (Sanchez; Pereira, 2020, p.11).

Devido ao aquecimento diferencial entre os continentes e oceanos, forma-se também na região equatorial um gradiente horizontal de pressão que dá origem à célula de Walker.

O ar úmido oriundo do oceano entra em contato com o continente quente, é aquecido e ascende. Durante sua ascensão, resfria-se adiabaticamente e condensa, formando nuvens e causando precipitação. O ar, ao alcançar altos níveis, diverge e desce sobre o oceano, em uma superfície relativamente fria, completando, desse modo, a circulação leste-oeste (Sanchez; Pereira, 2020, p.13).

O NEB, inserido na zona intertropical do planeta, apresenta uma grande variedade de climas, se configurando, segundo Nimer (1979, p. 315), numa das “Regiões mais complexas do mundo”, sendo fortemente afetada por três centros de ações principais: o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), o Anticiclone Semifixo do Atlântico Norte (ASAN) e a Zona de Convergência Intertropical (Wanderley, 2020).

Nimer (1979) ressalta que a complexidade climática do Nordeste não está relacionada diretamente com a temperatura, visto que pela posição geográfica a região recebe grandes quantidades de radiação solar durante todo o ano. A configuração geográfica somada com a exposição aos diferentes sistemas atmosféricos torna a pluviosidade a grande responsável por justificar tais contrastes climáticos no Nordeste brasileiro.

Silva, Pereira e Almeida (2012) analisaram a variação da precipitação do NEB utilizando como ferramenta o Coeficiente de Variação e constataram que a região apresenta alta variedade dos períodos chuvosos assim como no número de dias com chuvas. Os resultados da investigação mostraram que a costa Leste do NEB apresenta baixo Coeficiente de Variação e um maior número de dias com chuva (entre 9 e 20 dias no período chuvoso e entre 3 e 10 dias no período seco).

A precipitação da costa leste nordestina está diretamente ligada aos processos termodinâmicos nos oceanos. Um destaque da relação oceano-atmosfera está nos inúmeros fenômenos que são desencadeados por meio dessa interface onde ocorre constante trocas de energia e matéria.

As interações oceânicas e os processos atmosféricos controlam o tempo e o clima em virtude do domínio da energia, água e carbono na Terra. Essas flutuações no sistema oceano-atmosfera podem resultar em mudanças no clima, que, por sua vez, de forma cíclica, causam mais mudanças no oceano e na atmosfera. Portanto, essas interações têm significativas consequências físicas, químicas, biológicas, econômicas e sociais (Sanchez; Pereira, 2020, p. 35).

Um dos principais fenômenos que ocorrem através do acoplamento oceano-atmosfera ocorre devido às alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no pacífico equatorial. Segundo Costa (2012), o El Niño Oscilação Sul (ENOS) pode ser identificado em sua ocorrência através das Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) bem como pelo Índice de Oscilação Sul (IOS) que representa a alteração no campo da pressão ao nível do mar entre o Taiti e Darwin (Austrália).

Quando as temperaturas das águas do Pacífico Equatorial excedem os valores médios, dá-se início ao fenômeno conhecido como El Niño. Este evento se distingue primordialmente pelo atenuamento dos ventos Alísios. Os padrões de circulação da célula de Walker, que geralmente tem seu ramo ascendente no Pacífico Oeste, são modificados, e a ascensão do ar mais quente passa a ocorrer no Pacífico central e o ramo descendente se localiza no “Norte e Nordeste do América do Sul inibindo a formação de nuvens, dificultando também a atuação de certos sistemas sobre esta região” (Pereira, p. 67, 2018).

No caso contrário, quando ocorre o resfriamento abaixo da média da TSM do Pacífico leste, presenciaremos um fortalecimento da célula de Walker, o que favorecerá a subsidência do ar sobre este setor do pacífico, esta situação configura a La Niña. Tais circunstâncias passam a permitir melhores condições para a ascensão do ar sobre o Nordeste brasileiro, bem como favorecerá a circulação atmosférica local (Pereira, 2018, p. 67).

Moura *et al.* (2009) desenvolveram um estudo com o objetivo de compreender a influência das ATSM dos oceanos Pacífico e Atlântico e sua relação com a precipitação na costa Leste do NEB. Os resultados mostraram a influência negativa (diminuição da precipitação nos episódios de El Niño e positiva em anos de La Nina “com aceleração dos movimentos verticais ascendentes, intensificação dos sistemas meteorológicos atuantes, formação de mais nuvens e aumento da precipitação” (Moura *et al.*, 2009, p. 468).

Esses fenômenos geram potenciais repercussões no clima global e modificam os padrões de atuação dos sistemas atmosféricos em diferentes escalas.

2.3. Sistemas atmosféricos e massas de ares atuantes no Nordeste brasileiro

De acordo com Molion e Bernardo (2002), os mecanismos responsáveis por produzir as chuvas da região Nordeste podem ser classificados de acordo com a sua

escala de atuação. As escalas destacadas pelos autores são: macroescala, responsáveis pela maior parte da precipitação na região; mesoescala, perturbações no campo dos ventos, sistemas convectivos e os sistemas de brisa marinha e terrestre; além dos mecanismos de microescala, pequenas células convectivas e circulação atribuída à orografia.

1) Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (figura 2) é considerada o sistema de maior importância para a faixa equatorial do planeta (macroescala), atuando tanto sobre os continentes como sobre os oceanos Atlântico, Índico e Pacífico (Melo; Cavalcanti; Souza, 2009) e pode ser caracterizada como uma zona de confluência dos ventos alísios (ZCA) de sudeste provenientes do Hemisfério Sul (HS) e os alísios de nordeste procedentes do Hemisfério Norte (HN).

A convergência dos ventos que partem dos sistemas de alta pressão subtropicais de ambos os hemisférios terrestres (Pereira, 2018), provocando o levantamento do ar quente e úmido ao chegar no equador térmico, e, ao ganhar altitude, se resfria ocasionando a condensação do vapor d'água promovendo o cinturão de umidade na região equatorial.

A ZCIT executa um movimento migratório sazonal, podendo chegar aproximadamente 14° N no HN durante os meses de agosto-setembro e em torno de 2° S nos meses de março e abril, em anos habituais (Melo; Cavalcanti; Souza, 2009; Pereira, 2018), apesar de seu caráter migratório, a ZCIT tende a se localizar no hemisfério norte, aproximadamente 10°.

No NEB, a sua influência é marcante nos meses de março e abril, que corresponde ao início da quadra chuvosa em determinadas posições da região. O deslocamento sazonal da ZCIT ocorre em associação com os fatores que causam o fortalecimento ou enfraquecimento dos alísios e é de fundamental importância para a formação de nuvens de chuva no nordeste setentrional.

Santos et al. (2019) investigaram a atuação da ZCIT no Recife em abril de 2016 e constataram que o sistema semifixo foi responsável por 101,8 mm de precipitação em apenas 12 horas. O resultado de chuvas tão volumosas num curto período de tempo foi responsável por alagamentos e enchentes, “além de quedas de árvores e inúmeros deslizamentos em áreas de encosta” (Santos et al., 2019).

Figura 2: localização da Zona de Convergência Intertropical.

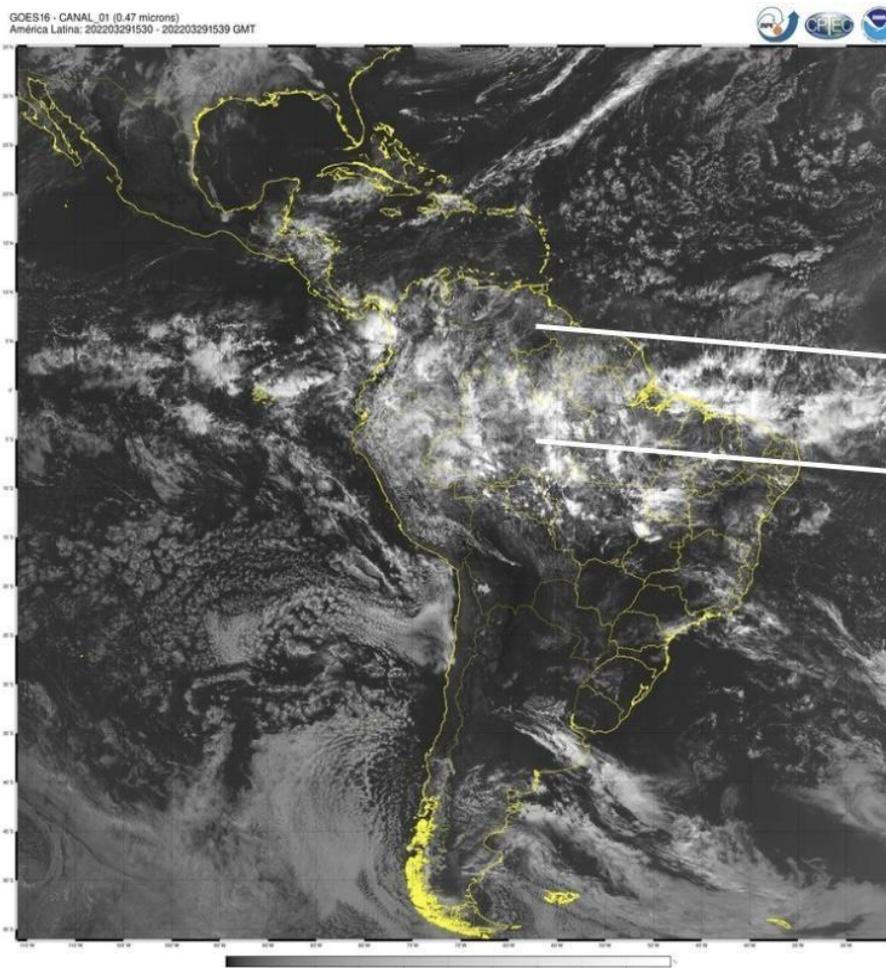


Imagem do Goes-13, Canal 4, Projeção: Retangular, Setor: América do Sul - 12:00 GMT. Data: 05/12/2017. Fonte: CPTEC/INPE.

2) Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs)

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste - ou Ondas de Leste (OL) - “se propagam desde o oeste da África até o Atlântico Tropical, e sua atividade máxima ocorre no inverno austral” (Machado *et al.*, 2009). Os DOLs (figura 3) são sistemas de mesoescala que ocorrem na baixa troposfera dos trópicos e quando formados sobre o oceano Atlântico Sul apresenta deslocamento para oeste, influenciado pelo percurso dos Alísios de Sudeste.

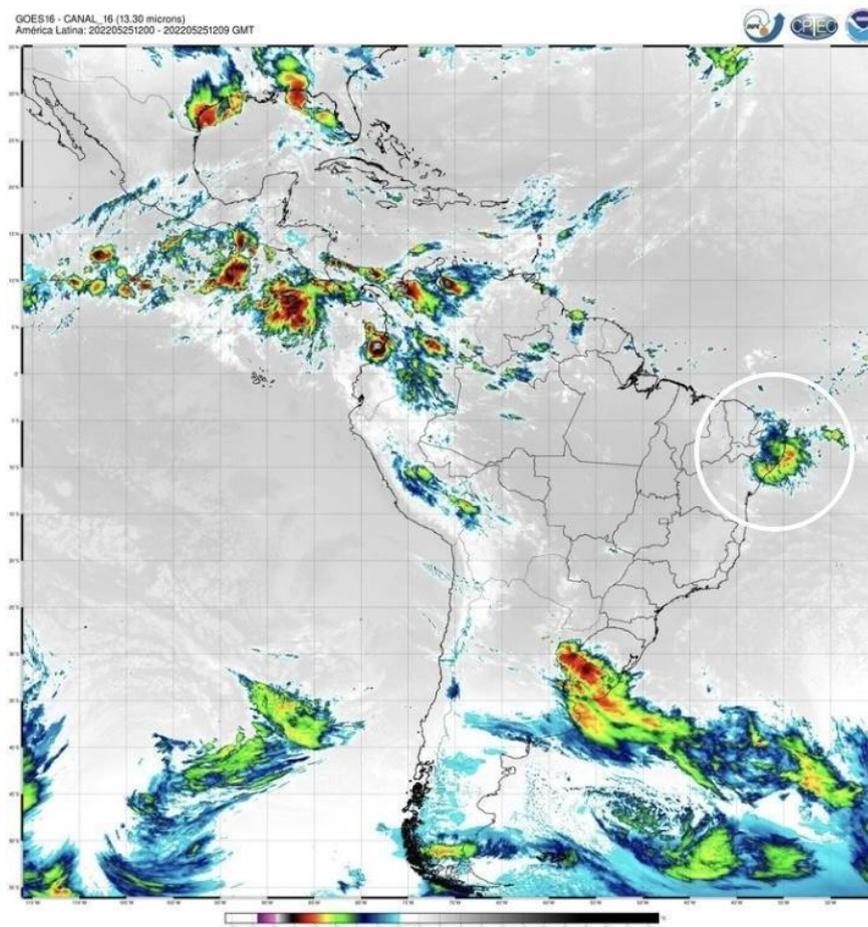
Segundo Molion e Bernardo (2002), a formação desses distúrbios no continente africano está associada à penetração dos mecanismos das frentes advindas do HN, que ao atingir latitudes menores geram distorções barométricas que se propagam de

6° a 8° por dia. Esse sistema é de fundamental importância para a caracterização da estação chuvosa, sobretudo na costa leste do NEB.

Machado *et al.* (2012) analisaram a ocorrência de um Distúrbio Ondulatório de Leste sobre a Zona da Mata Sul pernambucana nos dias 17, 18 e 19 de junho de 2010. O sistema que chegou a atingir 320 km de diâmetro foi responsável por um acumulado superior a 250 mm de chuva em áreas da Mata Sul em apenas três dias, ocasionando uma situação devastadora para a população, sobretudo aquela que habita próximo, e em alguns casos, como evidenciado no referido trabalho, dentro do rio Una.

Os impactos de eventos extremos como esse põe em risco a população menos abastada e que conseqüentemente estão mais propensas a sofrer com as enchentes, alagamentos e deslizamentos de vertentes.

Figura 3: Ocorrência do Distúrbio Ondulatório de Leste no litoral do Nordeste.



Fonte: CPTEC/INPE. Imagem do Goes - 16, Canal 16, Projeção: Retangular, Setor: América do Sul - 12:00 GMT. Data: 25/05/2022.

3) Linhas de Instabilidade (LI)

As Linhas de Instabilidade (Figura 4) são bandas de nuvens que se formam com frequência sobre a costa norte-nordeste da América do Sul ao se desenvolver próximo ao litoral, as Lis podem adentrar o continente e gerar chuvas em quantidades consideráveis quando ocorrem em perpendicular à linha da costa (Cohen *et al.*, 2009).

Ferreira e Melo (2005), assim como Cohen *et al.* (2009), destacam a existência de uma relação entre as Linhas de Instabilidade e o sistema de brisa. Eles observam que, devido à atividade convectiva ser mais acentuada no final da tarde e início da noite, há uma maior contribuição para a formação de nuvens do tipo cúmulos. Além disso, nessas ocasiões em que a convecção atinge seu ponto máximo, são observadas precipitações.

Nota-se que as Linhas de Instabilidade mais intensas predominam no início do ano, estendendo-se até março, a partir do mês de abril observa-se este sistema de intensidade média. Ultrapassando o mês de setembro, o sistema demonstra uma tendência à menor intensidade. A posição da ZCIT mais ao sul nos meses de março-abril definida próximo ao litoral do NEB é de fundamental importância para a formação de Linhas de Instabilidade (Cavalcanti, 1982; Cohen *et al.*, 2009).

Cavalcanti (1982) ainda destaca que a formação das LI sofre influência do escoamento médio dos alísios que interagem com a circulação das brisas marinha e terrestre na costa norte-nordeste do Brasil provocando um intenso processo de convecção responsável pela formação de nuvens de chuvas.

De acordo com Ferreira (2006, p. 122) “a mudança do tempo é mais rápida onde a linha cruzar um limite frontal ou uma linha seca”. O autor ainda destaca a possibilidade das LI que se formam nas proximidades dos centros de baixas ou dos ciclones nas médias latitudes podem se desenvolver até originar tempestades de grande potencial.

Figura 4: ocorrência de Linhas de Instabilidade (LI) sobre partes das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

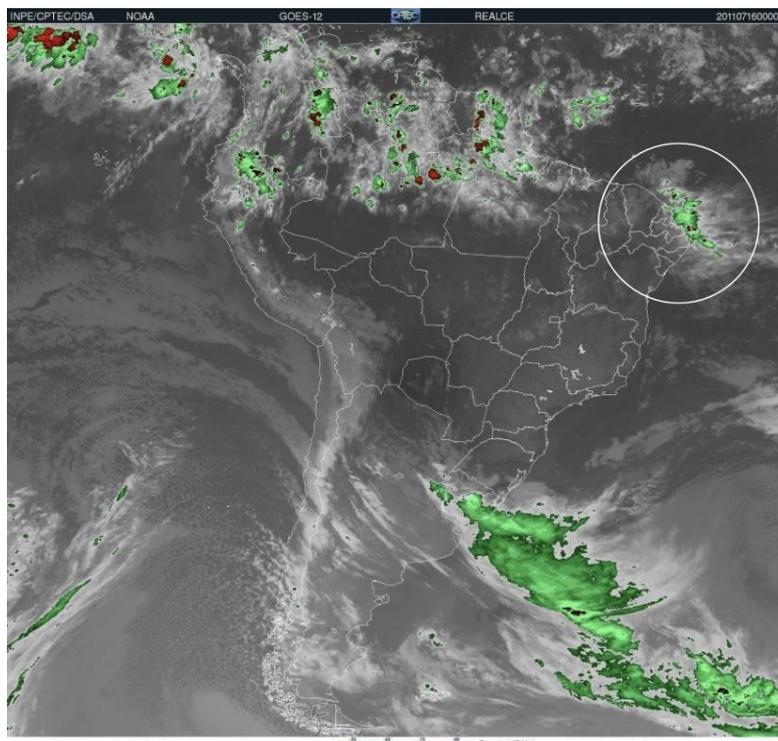


Imagem do Goes - 12, Canal 4,, Setor: América do Sul - 00:00 GMT. Data: 16/07/2011. Fonte: CPTEC/INPE.

4) Vórtice Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN)

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) (Figura 5), também conhecidos como Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, constituem sistemas atmosféricos de baixa pressão originários das altas camadas da troposfera e que se estendem até os níveis médios. Esses sistemas são caracterizados por seu comportamento que pode ser quase estacionário ou se mover até 10° de longitude por dia (Pereira, 2018), com a capacidade de se mover tanto para leste quanto para oeste, e sua possibilidade de permanecer ativos por vários dias, no Brasil, podem permanecer ativos por um período de 4 a 11 dias (Ferreira; Ramírez; Gan, 2009)

De acordo com Santos (2005), os Vórtices Ciclônicos podem ser classificados em dois tipos em relação a sua posição de ocorrência: o tipo Palmén ocorre nas latitudes subtropicais; o tipo Palmer origina-se nas latitudes tropicais. Ferreira, Ramirez e Gan (2009) destaca que os efeitos do sistema são consideráveis sobre o NEB, especialmente quando se forma sobre o continente, quando provoca chuvas intensas

nas áreas que estão sob a periferia do vórtice, onde a convecção é mais intensa do que o seu centro que apresenta o movimento de subsidência do ar mais frio e por isso o tempo atmosférico permanece estável.

Gan e Kousky (1986) foram responsáveis por desenvolver estudos que explicou a formação do sistema sobre o ATS, segundo os autores:

Quando uma frente fria penetra nas latitudes subtropicais provocando forte advecção de ar quente no seu lado leste, há a amplificação da crista em 200mb e, conseqüentemente, o cavado a jusante também é intensificado, formando-se assim o vórtice ciclônico na alta troposfera (Gan; Kousky, 1986, p. 23).

Ferreira, Ramírez e Gan (2009) ressaltam a interação do VCAN com outros dois sistemas meteorológicos significativos na América do Sul: a Alta da Bolívia (AB)¹ e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Segundo Santos (2005) compreender a influência do Vórtice Ciclônico para o período chuvoso é extremamente necessário pois o sistema tem capacidade de alterar o regime pluviométrico da costa Leste do NEB, onde a cidade do Recife está localizada. O autor aponta ainda que com a passagem da periferia dos sistemas, determinadas localidades podem ter registros de precipitação muito superior à normal climatológica ou ainda favorecer a ocorrência de secas, para os locais que estão sob seu centro.

Santos (2005) detalha ainda as consequências adversas, evidenciando sua capacidade de desencadear ou intensificar eventos catastróficos, tais como perdas humanas e animais, deslizamentos de terra, destruição de infraestrutura crítica como pontes, além de provocar impactos econômicos negativos.

¹A AB é uma circulação anticiclônica de grande escala que ocorre na troposfera superior, centrada em média no platô boliviano. No período do verão, a AB contribui para as chuvas que ocorrem principalmente nas regiões Norte, parte do Nordeste e Centro-Oeste do Brasil (Ferreira; Ramírez; Gan, 2009, p. 44).

Figura 5: VCAN em ocorrência sobre o Nordeste do Brasil.

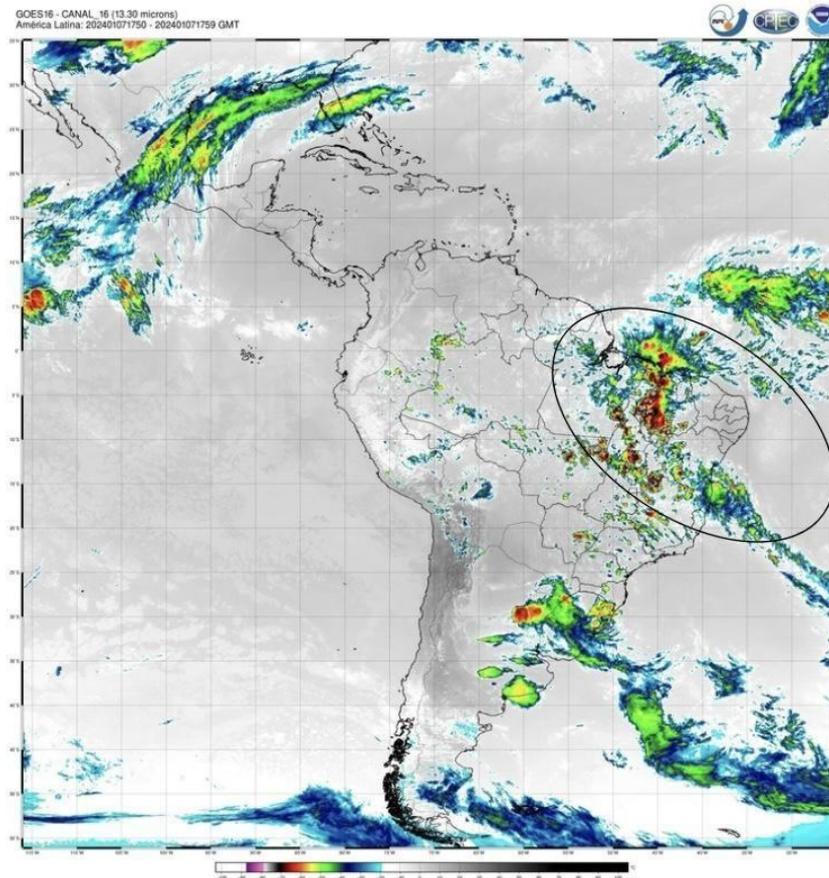


Imagem do Goes-16, Canal 16, Projeção: Retangular, Setor: América do Sul - 17:50 GMT. Data: 07/01/2024. Fonte: CPTEC/INPE.

5) Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs)

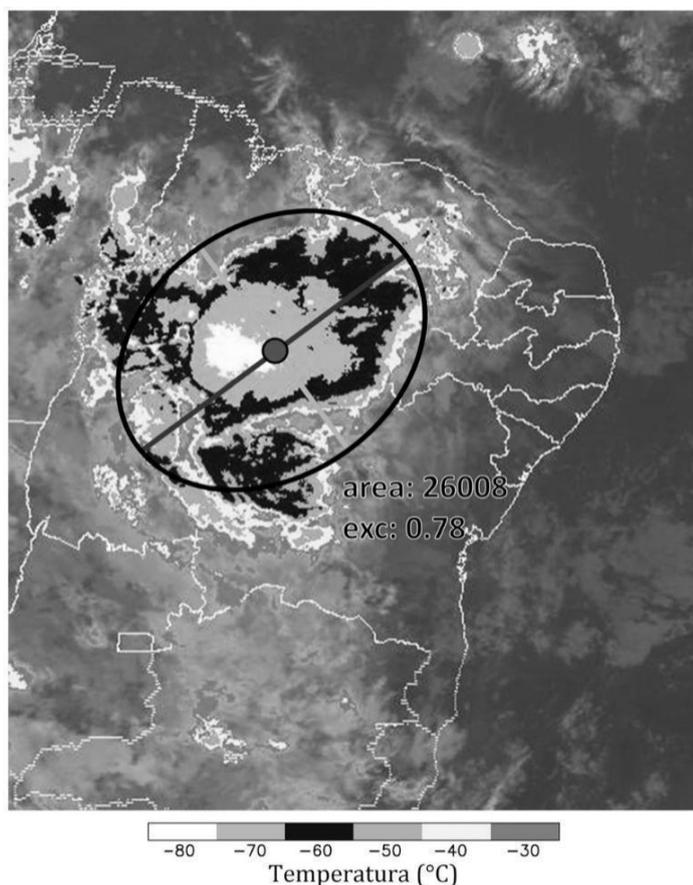
O processo convectivo pode ocorrer em diferentes escalas espaciais e são responsáveis por produzir nuvens que muito diferem a depender das condições favoráveis ou não. Segundo Ferreira e Melo (2005, p. 22) “os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) são aglomerados de nuvens que se formam devido às condições locais favoráveis como temperatura, relevo, pressão, etc., e provocam chuvas fortes e de curta duração, normalmente acompanhadas de fortes rajadas de vento”.

Segundo Dias, Rozante e Machado (2009) existem alguns critérios que foram estabelecidos para definir um CCM levando em consideração o seu tamanho, temperatura, a forma e o seu tempo de vida.

O sistema deve apresentar cobertura de nuvens com temperatura no infravermelho menores que -32°C e com área de 100.000 Km^2 , sendo que a região mais interna da nuvem deve apresentar temperaturas menores do que -52°C com área de 50.000 Km^2 . No que diz respeito à forma, o sistema deve ter formato circular com excentricidade de (eixo maior/ eixo menor) maior que 0,7. O tempo de vida é caracterizado quando as duas condições descritas na classificação do tamanho ocorrem por um período superior a seis horas (Dias; Rozante; Machado, 2009, p. 182).

Lyra *et al.* (2020) investigaram a ocorrência dos CCMs (figura 6) na Região Nordeste durante o período de 2008 a 2017 e atuação de 65 Complexos Convectivos sendo 2008 o ano de maior ocorrência, 12 casos no total. Os autores indicaram uma correlação entre o sistema convectivo e ATSM no Pacífico que impulsionam a frequência do sistema no ano de 2008 e 2011.

Figura 6: CCM atuando sobre o NEB.



Fonte: Lyra *et al.* (2020). Imagem do satélite METEOSAT. Data: 15/01/2013.

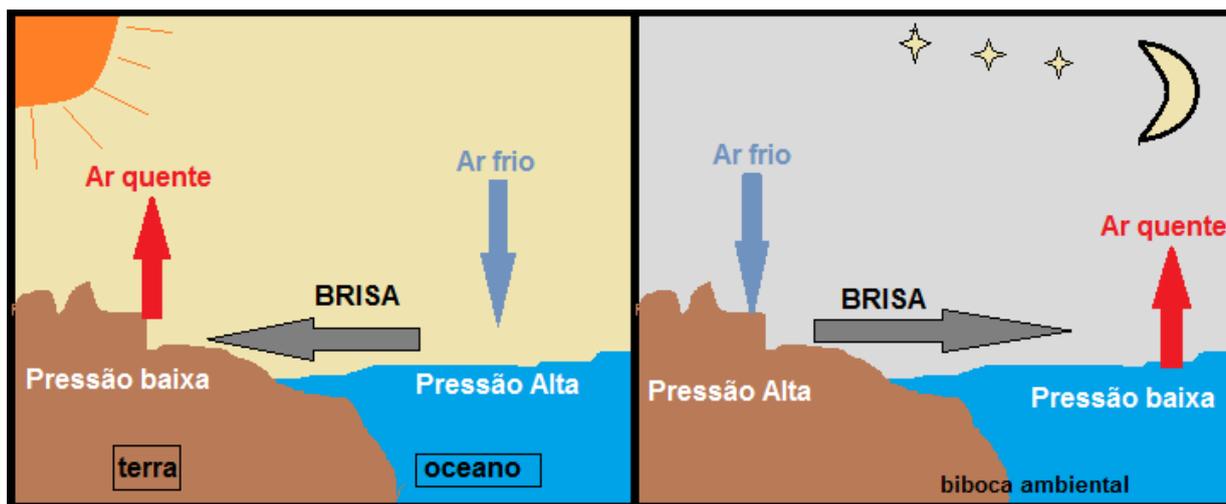
6) Brisas marinhas e terrestres

As brisas marítimas e terrestres (Figura 7), fenômenos de mesoescala resultantes da dinâmica de aquecimento e resfriamento diferencial entre terra e mar, desempenham um papel crucial no contexto das precipitações da costa leste nordestina. Nas regiões costeiras, o continente, por se aquecer mais rapidamente que o mar, estabelece um gradiente térmico que impulsiona a formação dos ventos.

Durante o dia, a porção continental mais quente permite a formação de uma baixa pressão que recebe ventos advindos do oceano mais frio, e, portanto, responsável por gerar uma alta pressão sobre o mar. Uma célula convectiva é formada a partir das diferenças de pressão entre o mar e o continente. Tal processo se inverte durante a noite quando o continente mais frio (alta pressão) transporta os ventos em direção ao oceano mais aquecido (baixa pressão) (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007; Pereira, 2018).

Segundo Ferreira e Melo (2005, p. 23) “as brisas terrestre e marítima nem sempre são percebidas. No nordeste do Brasil, por exemplo, onde os ventos alísios são persistentes e intensos durante todo o ano, quase sempre as brisas apenas contribuem para mudar um pouco a direção e a velocidade dessas”.

Figura 7: processo de formação das brisas marinhas e terrestres.



a) brisa marinha e b) brisa continental.

Fonte: bibocaambiental

7) Frentes Frias

As Frentes Frias (FF) - também denominada Frente Polar Atlântica (FPA) - são formadas a partir do encontro de massas de ar com propriedades térmicas diferentes. De acordo com Pereira (2018) as principais massas de ar envolvidas na formação do sistema são a Massa Polar Atlântica que se origina no Anticiclone Migratório Polar (mais fria) e a Massa Tropical Atlântica (mais quente).

Segundo Cavalcanti e Kousky (2009), as FF (figura 8) ocorrem na América do Sul durante todo o ano e seu deslocamento se dá no sentido sudeste-nordeste e apesar de ser marcadamente um sistema típico das latitudes médias com maior ocorrência no Sul e Sudeste do Brasil, as Frentes Frias podem alcançar latitudes baixas.

Nimer (1979) descreve a dinâmica das Frentes Frias no período do inverno que ao entrar em contato com o continente sul-americano se divide em duas trajetórias balizadas pelo relevo: a primeira trajetória segue na direção Oeste rumo aos Andes: a segunda devido às descontinuidades térmicas além do relevo, se dividem em dois ramos diferentes; o da depressão continental (Chaco) a Oeste e o ramo que segue pelo oceano Atlântico a Leste

No inverno, em virtude do forte gradiente térmico equador-pólo, é muito mais vigorosa a circulação secundária, as massas frias atingem mais facilmente os alísios de SE (lat. 10°S) podendo, por vezes, alcançar latitudes mais baixas (Recife). Na primavera, atingem geralmente o trópico de Capricórnio, São Paulo-Rio, podendo cobrir o norte capixaba. No verão, em virtude do forte aquecimento do continente, a energia frontal é geralmente muito fraca e o ramo marítimo da frente toma, via de regra, uma orientação NE-SW sobre o oceano, raramente ultrapassando o trópico. (Nimer, 1979, p. 16).

Além das FF existem os sistemas frontais denominados Frentes Quentes, Frentes Oclusas e Frentes Estacionárias, sendo as Frentes Frias e Frentes Oclusas as mais comumente observadas na América do Sul (Ferreira, 2006).

Figura 8: imagem de uma Frente Fria sobre o Sudeste através de imagem de satélite.

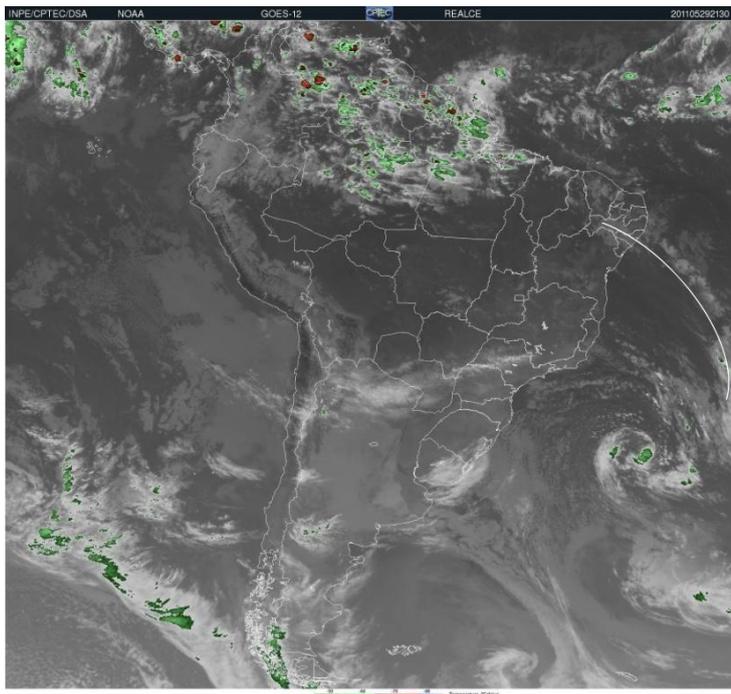


Imagem do Goes-12, realçada, Projeção: Retangular, Setor: América do Sul - 21:30 GMT. Data: 29/005/2011. Fonte: CPTEC/INPE.

8) Massa Tropical Atlântica (MTA)

A Massa Tropical Atlântica (Figura 9) tem sua origem na Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Conforme explicitado por Borsato (2016, p. 94), “a ASAS exerce influência direta no clima do Brasil, intensamente na costa para as latitudes que se estendem a partir do trópico de Capricórnio até além da linha equatorial”. Segundo o mesmo autor, essa influência é ampliada durante os meses de inverno, período em que a massa aérea se aproxima mais do continente, afetando-o de maneira mais intensa.

Apesar do aquecimento continental intenso durante o verão, a massa de ar consegue projetar algumas de suas cristas sobre o litoral brasileiro, e quando atua em associação com os sistemas atmosféricos provocam instabilidades (Borsato, 2016)

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) a massa de ar Tropical Atlântica tem como características principais as altas temperaturas e alta umidade e sua atuação mais expressiva se dá no verão austral. Pereira (2018) em conformidade com os autores em relação ao período de maior intensidade da MTA sobre o Brasil e acrescenta que “devido à presença da corrente marítima quente na

costa do Brasil e o contato da massa de ar com o relevo brasileiro, esta passa a sofrer grande aquecimento, sobretudo no verão, o que a torna mais instável, porém, com menor expressão” (Pereira, 2028, p. 53).

Figura 9: direção dos ventos sobre o oceano Atlântico associados à MTA.

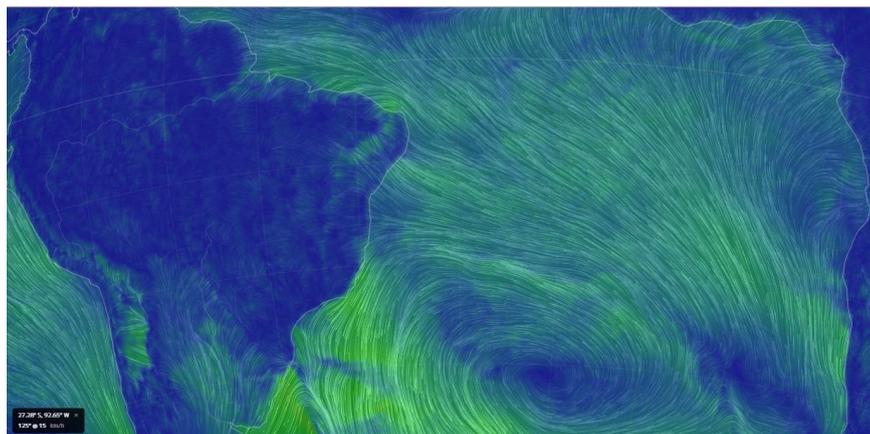


Imagem da direção dos ventos a 1000 hectopascals. Data: 09/09/2022 – 21:00. Fonte: nullschool.net

9) Massa Equatorial Atlântica

As massas de ar migratórias tendem a se chocar com outras massas com características de temperatura, umidade relativa e pressão distintas, a MEA, assim como a MTA, surge a partir da ASAS e segundo Borsato (2016) a dinâmica de sua atuação é pouco pronunciada, sobretudo pela influência da MTA que por se originar do mesmo centro de ação acaba sendo menos fácil caracterizar sua influência.

A Alta do Atlântico Sul (ASAS), anticiclone semifixo do Atlântico Sul, impulsiona, em nível de superfície, os ventos alísios. Uma parcela desses ventos abastece a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e outra avança para o interior do Brasil pelas costas do Nordeste e do Norte, essa parcela constitui a mEa (Borsato, 2016, p. 85).

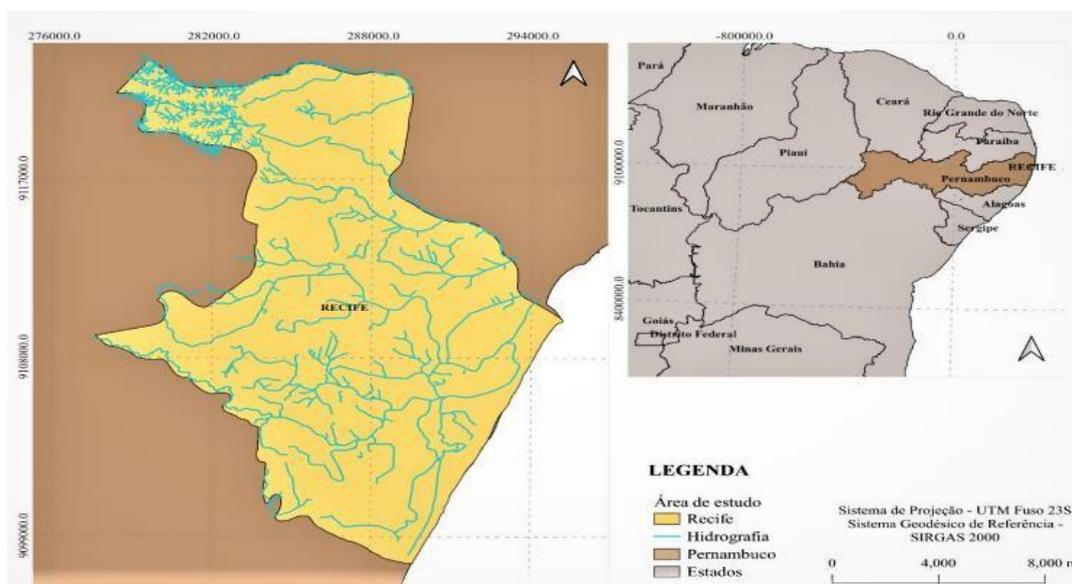
Pereira (2018) corrobora o argumento de Borsato e acrescenta que poucos trabalhos na literatura brasileira tentaram distinguir as características da MEA da MTA, bem como a forma como se dá a atuação na Região Nordeste.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

O município do Recife (figura 10) compreende uma área de 218,843 Km² e encontra-se de 2,5 a 5 metros acima do nível do mar (ICLEI, 2022). Limitado ao Norte

pelos municípios de Paulista e Olinda, ao Sul por Jaboatão dos Guararapes, a Oeste pelo município de Camaragibe e a Leste pelo Oceano Atlântico, Recife conta com uma população de 1.488.920 habitantes de acordo com o Censo Demográfico 2022 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Figura 10: localização territorial e divisão administrativa do município do Recife



Fonte: Rodrigues et al. (2023)

O município é composto predominantemente por morros, 67,43%, apresentando também 23,26% de áreas de planícies, 9,31% de áreas alagadas e 5,58% de Zonas Especiais de Preservação Ambiental (ZEPA) (PLAC, 2020).

A base econômica da capital pernambucana foi a partir do período colonial a cultura da cana-de-açúcar para exportação. Com a presença dos holandeses no Recife no período que se estendeu de 1630 a 1654, “Recife se torna o centro do Nordeste açucareiro, inicia um processo de urbanização e lança as raízes de seu DNA terciário” (Santos, 2022).

Atualmente, do ponto de vista da economia, Recife é a terceira maior capital do Nordeste, “tendo como principais atividades econômicas a construção civil, saúde privada e serviços de alimentação, sendo também polo estadual de comércio atacadista” (PLAC, 2020).

Do ponto de vista da climatologia, o município possui uma configuração climática marcada por uma variabilidade da precipitação comum nos climas tropicais do planeta e devido a infraestrutura do município, o Recife enfrenta sérios problemas com a

ocorrência de eventos climáticos (Wanderley et al., 2018) que colocam em risco a vida de uma parcela considerável da população.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o município do Recife apresenta o clima caracterizado como AS', que indica o clima tropical quente e úmido com chuvas de outono-inverno. O quadro 1 demonstra que o trimestre chuvoso da Região Metropolitana do Recife se estende do mês de maio a julho, enquanto o período mais seco compreende os meses de outubro, novembro e dezembro, sendo junho o mês mais chuvoso e novembro o mais seco.

Quadro 1: Climatologia trimestral do município do Recife – PE

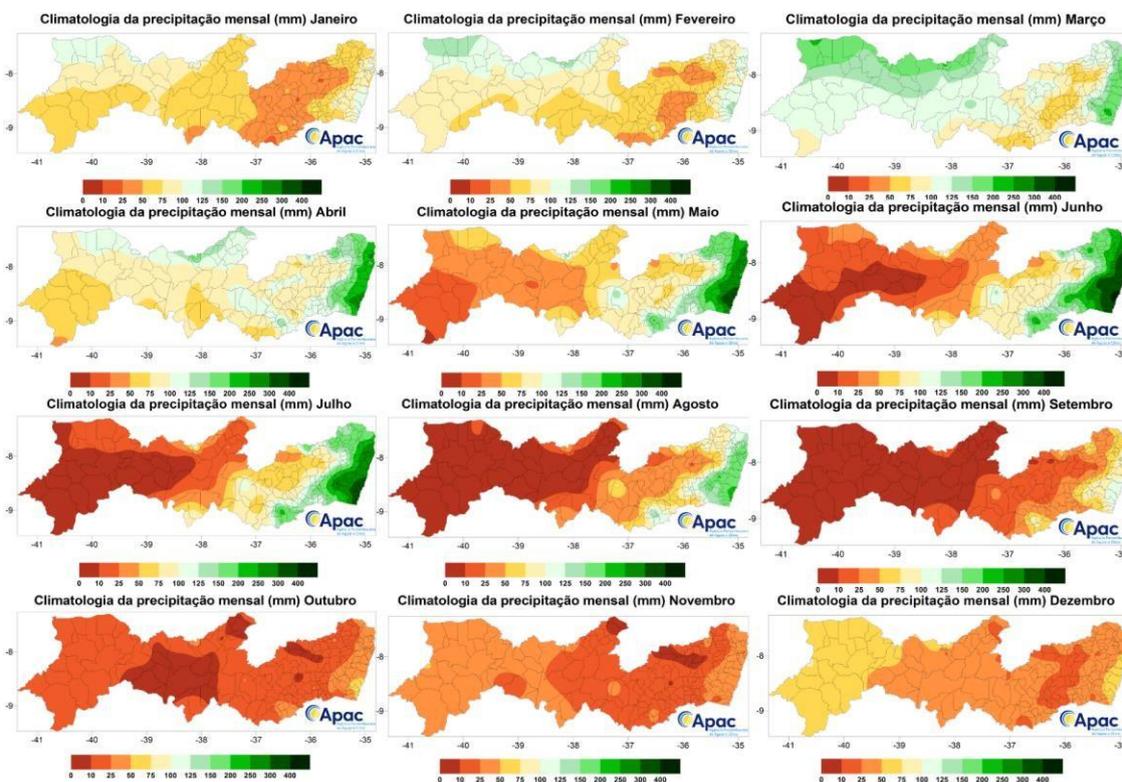
TRIMESTRE	RMR	
	SOMA	% (ANUAL)
JFM	436	21%
FMA	604,3	29%
MAM	775,7	37%
AMJ	901,1	43%
MJJ	945,9	46%
JJA	828,5	40%
JAS	593	29%
ASO	328,7	16%
SON	190,5	9%
OND	144,6	7%
NDJ	195,8	9%
DJF	280	13%

Fonte: adaptado da APAC.

É a partir do mês de abril que o município recebe os maiores acumulados de precipitação anualmente, concomitantemente, “nos ambientes urbanos, as inundações causadas por chuvas intensas são os impactos mais comuns ocasionados por eventos climáticos” (Wanderley et al., 2018). A partir do mês de agosto, a precipitação reduz consideravelmente, até atingir os menores registros de precipitação pluvial no mês de novembro.

A análise da precipitação acumulada mensal (figura 11) apresenta os valores médios que são influenciados pela atuação dos sistemas meteorológicos em diferentes escalas (Silva; Mandu, 2020).

Figura 11: climatologia da precipitação mensal (mm) do Estado de Pernambuco.



Fonte: banco de dados da APAC.

Apesar das médias mensais demonstrarem certa regularidade, a precipitação se configura como uma das variáveis meteorológicas que mais sofre alterações interanuais. Os eventos extremos de precipitação são comumente registrados, sobretudo no litoral pernambucano, onde se situa o município do Recife (Moreira et al., 2022).

A ocorrência dos eventos extremos gera desastres que variam de magnitude a depender não somente do fenômeno atmosférico, mas também na configuração do “uso e ocupação do solo ao longo da história do município do Recife” (Anjos et al. 2024).

4. METODOLOGIA

- Pesquisa bibliográfica

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em bibliotecas, acervos pessoais, revistas e periódicos que tratam das perspectivas teóricas e dos procedimentos metodológicos que formaram a base deste estudo. Para a realização de pesquisas, segundo a abordagem da Climatologia dinâmica, é imprescindível levar em consideração a influência dos mecanismos de circulação e dos sistemas meteorológicos. Com isso, foi realizado um levantamento referente à atuação das massas de ar e sistemas atmosféricos que atuam sobre o município do Recife. Também foram consultados os sites das seguintes organizações: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) e o banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

- Aquisição de dados

Para a execução desta pesquisa, foram utilizados dados meteorológicos mensais dos postos pluviométricos APAC. Essas informações são disponibilizadas, de forma gratuita, através do site de monitoramento pluviométrico da referida agência². Os registros da precipitação mensal coletados são referentes à série temporal de trinta anos (1994 - 2023). Também foram coletados os dados diários (temperatura, precipitação, radiação solar, pressão atmosférica, direção e velocidade dos ventos) do banco de dados do INPE e o do INMET, através do Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa (BDMEP) disponível de forma gratuita no site³ do referido Instituto.

A escolha dos postos de coleta pode ser justificada a partir do critério de disponibilidade dos dados diários e mensais. A Agência Pernambucana de Águas e Climas tem em seu catálogo o total de dez postos no município do Recife, destes, apenas dois possuem uma série de dados capaz de servir ao propósito da pesquisa. Os postos localizados nos bairros da Várzea e em Santo Amaro apresentam dados

² <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>

³ <https://bdmep.inmet.gov.br>

mensais sem falhas a partir do ano de 1994, o que justifica o limite da série temporal selecionada para a realização da pesquisa.

Tabela 1 – Estações meteorológicas e postos pluviométricos utilizados e suas descrições de nome, código, latitude, longitude e altitude.

Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Recife-Várzea (APAC)	30	-8.038	-34.959	5
Recife-Santo Amaro (APAC)	196	-8.044	-34.875	6
Recife (INMET)	A301	-8.060	-34.960	15
Recife (INPE)	32568	-8.059	-34.922	10

Fonte: elaborado por Isaac da Silva Ferreira.

- **Análise sinótica**

Segundo Borsato (2016) as cartas sinóticas são mapas do tempo atmosféricos que cobrem uma grande área e que têm por objetivo informar as condições meteorológicas aos navegantes no ar ou na água sobre as condições do tempo para aquela região.

O autor ressalta ainda que essas cartas têm valor efêmero para a Meteorologia decorrente da rápida mudança dos atributos do tempo, o que leva a necessidade de serem produzidas ao menos duas vezes por dia, às 6h e 12h. Já do ponto de vista da Climatologia, “elas tornam-se fundamentais na interpretação dos tipos de tempos, na dinâmica dos sistemas atmosféricos, assim como na posição, ou seja, onde estão localizados os centros de ação para um dado momento” (Borsato, 2016, p. 44).

Para esta pesquisa foram utilizadas cartas sinóticas solicitadas à Marinha do Brasil, todas correspondentes ao horário 12h (horário local). As cartas tiveram papel fundamental para o reconhecimento dos sistemas e das massas de ares que atuaram sobre a área de estudo.

Também foram utilizadas as imagens de satélites do CPTEC/INPE referente ao horário 12h (horário local) para a identificação dos sistemas atmosféricos em associação com as cartas sinóticas da Marinha do Brasil, quando necessário utilizamos

as imagens dos horários posteriores às 12h para auxiliar na caracterização dos sistemas atmosféricos. As imagens utilizadas são provenientes do satélite meteorológico Goes, na banda do infravermelho 4, projeção América do Sul da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do INPE.

- Tratamento dos dados

Para a aplicação correta da Análise Rítmica é necessário selecionar anos-padrão a partir da análise interanual da precipitação da área de estudo, essa seleção se deu através da utilização de procedimentos matemático-estatísticos. Os dados coletados receberam tratamento estatístico (média, mediana, máximo e mínimo) através da planilha eletrônica *Google Planilhas* e, para categorizar os anos da série histórica de acordo com a precipitação anual e selecionar o quadrimestre chuvoso que recebeu a técnica da Análise Rítmica utilizou-se a técnica dos Quantis.

A técnica dos quantis foi pioneiramente utilizada por Xavier (2001) ao estudar as condições climáticas no Ceará. A técnica em questão permite caracterizar uma série de dados atmosféricos e definir anos chuvosos e secos que auxilia no monitoramento dos períodos de chuva e de estiagem. Segundo Ananias *et al.* (2010), quanto maior o banco de dados levantado para a realização da pesquisa, melhor será a qualidade dos resultados obtidos em função da densidade e probabilidade do fenômeno em foco.

Segundo Xavier, Ambrizi e Silva (2017 ao considerarmos uma variável aleatória contínua X com função densidade $f = f_x$ e função de distribuição de probabilidades $F = F_X$. Então, para cada $p \in [0 ; 1]$ (ou $0 < p < 1$) certa quantidade $x = Q_p$ (número real) diz-se o quantil (ou fractil) de ordem quantílica p se satisfaz à condição):

$$Prob(X < Q_p = p) \tag{1}$$

onde:

X = valor da variável

Q_p = valor do quantil

p = ordem quantílica

O valor da altura da precipitação acumulada num intervalo de tempo escolhido arbitrariamente não pode ser previsto com exatidão determinística, sendo assim considerada de natureza probabilística. Os intervalos dos quantis representam as

probabilidades que cada evento ocorre numa série de tempo representada pela variável X (Ananias *et al.* 2010).

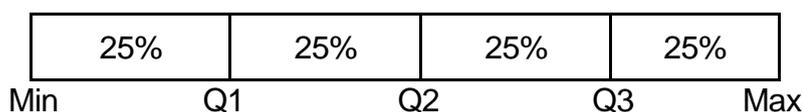
De acordo com Silvestre (2013) os quantis podem ser divididos em partes diferentes e por isso receberão nomeação diferenciadas a depender do número de divisões as quais o conjunto de dados for submetido. Para se ter como exemplo um conjunto de dados divididos em quatro partes, tem-se:

Quantil 1, 0,25 ou 25% - a primeira parte contém 25% dos dados ordenados de forma crescente e os 75% restantes acima de seu valor.

Quantil 2, 0,50 ou 50% - a segunda parte contém 50% dos dados ordenados e equivale à mediana da amostragem.

Quantil 3, 0,75 ou 75% - a terceira parte contém 75% dos dados ordenados.

Quadro 2: divisão dos dados em quatro partes



Fonte: Silvestre, Sant'Anna Neto e Flores (2013).

Para alcançar uma análise estatística ainda mais confiável, os trabalhos que têm como foco de estudo os eventos extremos de precipitação propõem como referência para a divisão dos dados as seguintes ordens quantílicas: (0,15), (0,35), (0,65) e (0,85). A divisão nesses intervalos permite a definição de cinco categorias, sendo elas respectivamente: Muito seco, Seco, Habitual, Chuvoso e Muito chuvoso.

As categorias com as respectivas ordens quantílicas podem ser observadas no quadro 3 e os valores resultantes da aplicação da técnica dos quantis para série histórica analisada nesta pesquisa podem ser vistos no quadro 4

Quadro 3: categorias e probabilidade da precipitação em relação à ordem quantílica

CATEGORIAS	PROBABILIDADE
Muito seco	$p(x) < Q 0,15$
Seco	$Q 0,15 \leq p(x) < Q 0,35$
Normal	$Q 0,35 \leq p(x) < Q 0,65$
Chuvoso	$Q 0,65 \leq p(x) < Q 0,85$
Muito chuvoso	$p(x) \geq Q 0,85$

Fonte: adaptado de Pereira (2018).

Segundo Monteiro, Rocha e Zanella (2012) a aplicação da técnica quantílica pode ser efetuada com êxito ao seguir os passos descritos a seguir:

- Realiza-se a soma da precipitação anual do(s) posto(s) individualmente;
- Ordena-se os valores correspondentes à precipitação anual em ROL em uma planilha para a aplicação da técnica estatística;
- Aplica-se a técnica e é estabelecido os valores correspondentes ao quantis utilizando a seguinte fórmula:

$$Q(P) = y_i + \{[P - P_i] / [P_{i+1} - P_i] * [y_{i+1} - y_i] \} \quad (2)$$

- Ordena-se em uma tabela os anos da série histórica analisada com seus respectivos valores de precipitação e suas categorias correspondentes.

Quadro 4: totais pluviométricos da série histórica classificados a partir da aplicação da técnica dos Quantis.

Ordem	Ano	P_Anuar (mm)	Categoria	Ordem	Ano	P_Anuar (mm)	Categoria
1	1994	2627,2	Muito chuvoso	16	2009	2556,1	Chuvoso
2	1995	1856,5	Seco	17	2010	1919	Normal
3	1996	2216,3	Normal	18	2011	3218,1	Muito chuvoso
4	1997	1829,7	Seco	19	2012	1611,8	Muito seco
5	1998	1255,4	Muito seco	20	2013	2441,4	Chuvoso
6	1999	1462,7	Muito seco	21	2014	2445,1	Chuvoso
7	2000	3482	Muito chuvoso	22	2015	1885,6	Seco
8	2001	1918,4	Normal	23	2016	1665,6	Seco
9	2002	2356,6	Chuvoso	24	2017	2149,2	Normal
10	2003	2160,4	Normal	25	2018	1560,1	Muito seco
11	2004	2506,8	Chuvoso	26	2019	2048,4	Normal
12	2005	2295,3	Normal	27	2020	1638,1	Seco
13	2006	1969,2	Normal	28	2021	2306,4	Normal
14	2007	2109,8	Normal	29	2022	2705,6	Muito chuvoso
15	2008	2452,2	Chuvoso	30	2023	1869	Seco

Fonte: dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

Legenda:

	Muito chuvoso		Chuvoso		Normal		Seco		Muito seco
-------------------------------------------------------------------------------------	---------------	-------------------------------------------------------------------------------------	---------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------	-------------------------------------------------------------------------------------	------	---------------------------------------------------------------------------------------	------------

- Anos-padrão e Análise Rítmica

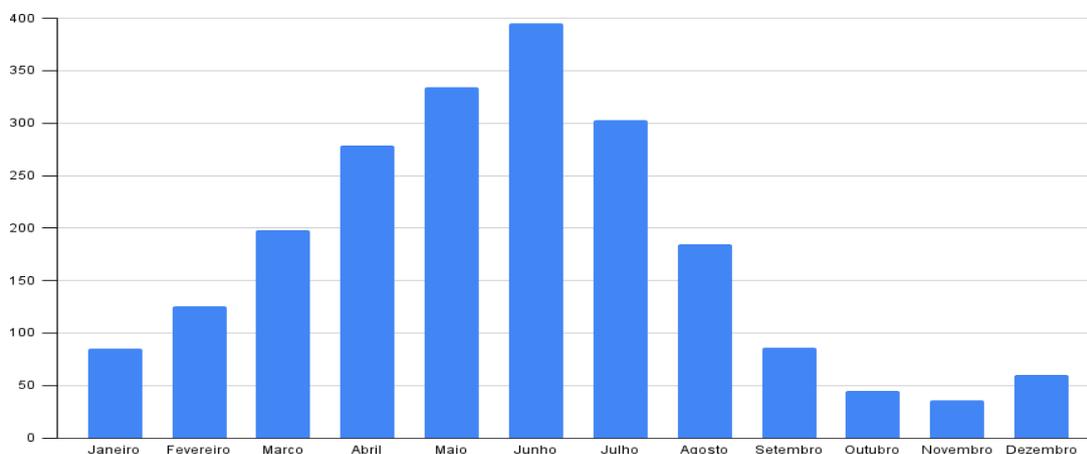
A Análise Rítmica sugere o emprego de dados brutos em contraposição aos dados médios, frequentemente utilizados nas análises meteorológicas, como forma de melhor representar a sucessão dos estados habituais da atmosfera, com exceção dos dados de temperatura que são fornecidos em médias diárias. A utilização desse tipo de dado para períodos maiores de um ano dificulta a realização da pesquisa devido ao extenso volume de informações necessárias. Nesse sentido, são estabelecidos recortes dentro da série temporal examinada que foram os representantes das características climáticas de determinado local (Silva; Souza, 2017).

A seleção dos anos-padrão nesta pesquisa se deu através da observação dos totais anuais de precipitação que foram categorizados através da técnica quantílica. Com isso, adotamos como anos representativos ou anos-padrão aqueles considerados Muito seco, Normal e Muito chuvoso nas estações atmosféricas analisadas.

A pluviosidade é tomada como o elemento que baseou o critério de seleção dos anos-padrão pois segundo Silva e Souza (2017) “a seleção por pluviosidade é comum, tendo em vista que esse dado é absoluto, e pode ser calculado mensal e anualmente com os totais acumulados, ou seja, mantendo a característica absoluta do dado, coadunando com o conceito não mediano do clima”.

Projetando que o trimestre que historicamente acumula os maiores índices de precipitação do município do Recife se estende do mês de Maio a Julho (gráfico 1), aplicou-se a técnica da análise Rítmica para o trimestre chuvoso dos anos 2018 (Muito seco), 2006 (habitual) e 2011 (Muito chuvoso).

Gráfico 1: médias de precipitação mensais de Recife (1994-2023)



Fonte: dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

Após a seleção dos anos-padrão foram construídos os gráficos de Análise Rítmica mediante utilização do *software* RitmoAnálise desenvolvido pelo Prof. Dr. Victor de Assunção Borsato. “Nesse programa, entra-se com os dados diários para períodos mensais, estacionais ou anuais, e o *software* produz o gráfico em conjunto” (Borsato, 2016, p. 159) a utilização dessa ferramenta permitirá observarmos a dinâmica climática a partir da sucessão dos tipos de tempos e do comportamento dos elementos e fatores do clima sobre o município do Recife.

O software permite a inserção dos dados diários dos elementos (precipitação, umidade, temperatura, pressão, direção do vento) assim como o(os) sistema(as) atuante(es) nos respectivos dias. A utilização do RitmoAnálise como ferramenta permitiu observar o ritmo diário das condições do tempo atmosférico através dos dados diários.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação da Análise rítmica foi possível perceber as singularidades dos períodos-padrão selecionados a partir da técnica dos Quantis. Os trimestres chuvosos dos anos analisados apresentaram acentuadas diferenças nos acumulados pluviométricos.

O período-padrão habitual (2006) foi marcado pela atuação da Massa Tropical Atlântica, da Zona de Convergência Intertropical e do Sistema de Brisas. O período-padrão chuvoso (2011) evidenciou a majoritária participação da Massa Equatorial Atlântica, além dos Distúrbios Ondulatórios de Leste e da ZCIT nas elevadas quantidades de chuva que o município recebeu nos meses analisados. Já no período-padrão seco (2018) mostrou que Massa Equatorial Atlântica e Tropical Atlântica e os Distúrbios Ondulatórios de Leste também foram predominantes.

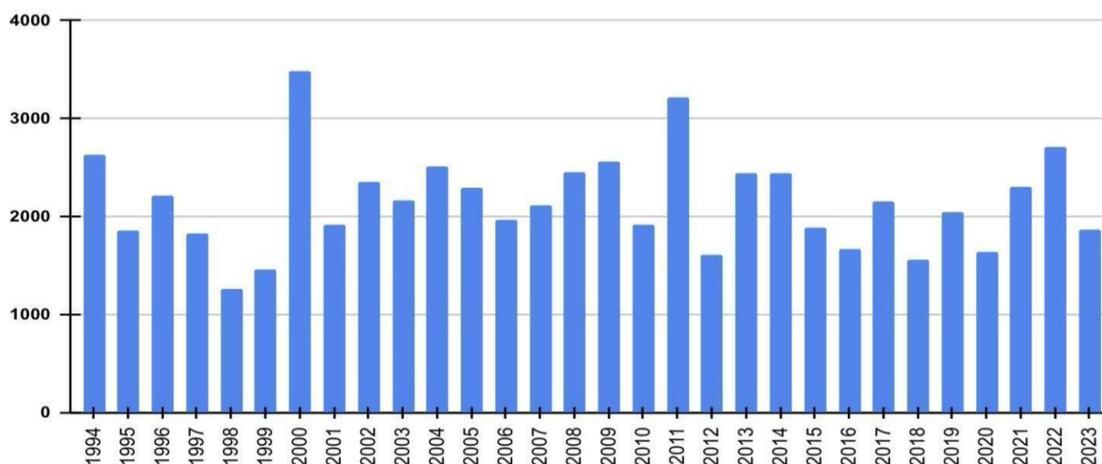
5.1. Análise pluviométrica da série histórica (1994-2023) do município do Recife

Os climas tropicais são fortemente marcados por uma acentuada variabilidade espaço-temporal da precipitação (Wanderley *et al*, 2018) que frequentemente se converte em episódios de chuvas extremas que ultrapassam os 50 mm e rapidamente causam transtornos em cidades que não receberam um planejamento urbano de convívio com os extremos pluviométricos.

A precipitação, por representar a variável que melhor evidencia as mudanças rítmicas, tem se destacado em diversos estudos que pretendem analisar a dinâmica atmosférica. Esta importância se dá pelo fato da precipitação estar intrinsecamente ligada a uma variedade de fatores climáticos e meteorológicos que influenciam diretamente o clima de uma região. Assim sendo, trabalhou-se com os índices de precipitação no município do Recife dos últimos trinta anos (1994-2023) com o objetivo de compreender a variabilidade pluviométrica interanual do Recife.

O município recifense registra um elevado acumulado anual de precipitação. A normal pluviométrica da série analisada é de 2150,60 mm. O gráfico 2 ilustra a variação registrada nos anos que compõem a série histórica. A técnica dos quantis, descrita anteriormente, classificou em categorias distintas os anos de acordo com a quantidade de precipitação acumulada no período de um ano. Os anos que apresentaram os maiores índices de precipitação, sendo categorizados como extremamente chuvosos foram, respectivamente, 2000 que registrou 3482 mm, 2011 com 3218,1, 2022 com 2705,6 mm e 1994 com 2627,2 mm.

Gráfico 2: totais pluviométricos anuais do município do Recife (1994-2023)



Fonte: Banco de dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

O ano 2000 registrou o maior acumulado anual de toda a série histórica, sendo por esse motivo categorizado como extremamente chuvoso. Alguns trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de investigar as causas e os impactos que a enorme quantidade de chuva causou sobre o Recife. Destacamos o trabalho de Girão, Corrêa e Guerra (2008) que analisaram as repercussões dos eventos extremos ocorridos nos anos 2000 e 2001 utilizando para tal a técnica da Análise Rítmica.

Em contrapartida, os anos que registraram os índices de precipitação anuais mais baixos, sendo categorizados como anos extremamente secos, foram respectivamente 1998 com o acumulado total de 1255,4 mm, 1999 com 1462,7 mm, 2018 com 1560,1 e, por fim, 2012 com 1611,8.

Sobre o ano de 1998, Duarte (2000) publicou um trabalho onde destacou a recorrência das secas e as descontinuidades das ações pelo poder público sobre o fenômeno no semiárido nos anos 1993 e 1998 que inicialmente havia uma previsão de estiagem entre 0% e 20%, no entanto, o quadro real foi consideravelmente mais grave, levando as autoridades a declarar estado de emergência.

Já o ano 2017 foi considerado habitual, registrando o acumulado anual de 2149,2 mm, muito próximo à normal da série histórica e apresentando acumulados mensais dentro da climatologia do município. Compartilham da mesma categoria de ano habitual os anos 2001 que registrou 1918,4 mm anuais, 2010 com 1919 mm, 2006 com 1969,2 mm, 2019 com 2048,4 mm, 2007 com 2109,8 mm, 2003 com 2160,4 mm, 1996 com 2216,3 mm, 2005 com 2295,3 mm e 2021 com 2306,4 mm.

Os demais anos da série histórica compõem as categorias anos secos e anos chuvosos, sendo eles:

- Anos secos: 2020, 2016, 1997, 1995, 2023 e 2015.
- Anos chuvosos: 2002, 2013, 2014, 2008, 2004 e 2009.

Os valores dos totais anuais e suas respectivas categorias podem ser consultados no quadro 4.

5.2. Análise trimestral da precipitação do Recife e seleção do trimestre-padrão

A Região Metropolitana do Recife (RMR) possui uma climatologia com características que a diferencia das outras regiões do Estado. Os maiores acumulados de precipitação ocorrem em poucos meses do ano, que representam o período chuvoso

do município. Existe uma concentração da precipitação nos meses de Maio, Junho e Julho que representam quase 50% do total anual (tabela 2) ao passo que a maioria dos meses restantes representam menos de 10% do total anual.

Tabela 2: média mensal da precipitação com a participação em porcentagem em relação à normal da série histórica.

Mês	MÉDIA MENSAL	%	Mês	MÉDIA MENSAL	%
Janeiro	85,05	3,9	Julho	302,69	14,2
Fevereiro	125,90	5,9	Agosto	302,69	8,6
Março	198,43	9,3	Setembro	86,50	4,05
Abril	278,49	13,06	Outubro	44,72	2,09
Maio	333,98	15,67	Novembro	35,75	1,6
Junho	394,95	18,53	Dezembro	60,18	2,82

Fonte: dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

A partir de uma análise geral dos dados disponíveis, se faz a seleção dos “períodos padrão (anos, estações, meses e episódios), que são aqueles que melhor representam um quadro dinâmico das situações concretas, por demonstrarem bem a ocorrência dos tipos de tempos habituais ao lado daqueles afetados por irregularidades” (Pereira, 2018, p. 83).

É somente após a escolha do período padrão que se aplica a técnica da Análise Rítmica em Climatologia. A seleção desses períodos pode ser feita de formas diferentes a depender do propósito da pesquisa (Silva e Souza, 2017). Neste trabalho, foi aplicada a técnica proposta pelo professor Monteiro ao trimestre chuvoso dos anos que apresentaram os maiores, os menores e os habituais valores totais correspondente ao trimestre chuvoso.

Uma observação importante que baseou a seleção do período que recebeu a aplicação da técnica foi feita por Pereira (2014, p. 62).

A escolha dos anos-padrão pode ser feita de dois modos válidos, a partir dos valores quantitativos e dos qualitativos. Por meio dos valores quantitativos, a pesquisa consideraria aqueles anos com a pluviosidade mais elevada, mais reduzida e a mais próxima da normal histórica da série, porém, como já mencionado, devido às irregularidades pluviométricas intra-anuais na região nordeste, esse critério poderia não ser o mais válido, visto que num ano

considerado habitual, a pluviosidade poderia ser concentrada em uma das estações, sendo reduzida nas outras, desta forma, a pluviosidade concentrada compensaria a falta de chuva nas outras estações.

Ao adotar o critério quantitativo, seria selecionado o trimestre chuvoso dos anos que apresentaram os maiores, menores e habituais totais anuais na série histórica. Desse modo, o trimestre chuvoso do ano de 2000 seria considerado representativo de um ano chuvoso, o trimestre chuvoso de 1998 seria representativo de um ano seco, e o trimestre chuvoso de 2007 de um ano considerado habitual.

No entanto, uma análise qualitativa dos dados permitiu a visualização de algumas singularidades em relação ao total precipitado nos trimestres dos referidos anos. O ano 2000, que registrou o maior acúmulo anual - 3482 mm - nos trinta anos que compõem a série analisada, não teve o trimestre chuvoso (Maio, Junho e Julho) com o maior acumulado. Para o melhor entendimento da distribuição temporal da precipitação, foi aplicada a técnica dos Quantis também para os meses que compõem o trimestre chuvoso (Quadro 5) do município do Recife, assim como a classificação trimestral.

A análise qualitativa dos dados trimestrais nos levaram para um redirecionamento na escolha dos períodos-padrão. Com isso, apesar do ano 2000 obter um registro anual superior a qualquer outro ano da série, optamos por aplicar a Análise Rítmica ao ano que apresentou o maior registro trimestral da série histórica como representativo do período-padrão chuvoso, ao trimestre com o menor registro de chuvas como representativo do trimestre como período-padrão seco e o trimestre que registrou o acúmulo da precipitação dentro da climatologia do município como representativo do período-padrão habitual. Dessa forma, pudemos compreender a ocorrência dos extremos no período de maior ocorrência de chuvas do município recifense em anos com comportamentos pluviométricos distintos.

Quadro 5: Classificação mensal do trimestre chuvoso da série histórica (1994-2023) do município do Recife.

ANO	MESES				ANO	MESES			
	MAIO	JUNHO	JULHO	TRIMESTRE		MAIO	JUNHO	JULHO	TRIMESTRE
1994	Chuvoso	Chuvoso	Normal	Chuvoso	2009	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Normal
1995	Normal	Chuvoso	Normal	Chuvoso	2010	Muito seco	Chuvoso	Normal	Normal
1996	Seco	Seco	Chuvoso	Seco	2011	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Chuvoso
1997	Chuvoso	Muito seco	Seco	Seco	2012	Seco	Seco	Normal	Muito seco
1998	Muito seco	Seco	Muito seco	Muito seco	2013	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
1999	Chuvoso	Muito seco	Normal	Seco	2014	Normal	Seco	Normal	Normal
2000	Normal	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	2015	Muito seco	Normal	Chuvoso	Normal
2001	Muito seco	Normal	Chuvoso	Seco	2016	Chuvoso	Muito seco	Muito seco	Muito seco
2002	Normal	Chuvoso	Normal	Normal	2017	Normal	Normal	Chuvoso	Chuvoso
2003	Seco	Chuvoso	Normal	Normal	2018	Seco	Muito seco	Muito seco	Muito seco
2004	Normal	Chuvoso	Normal	Chuvoso	2019	Seco	Normal	Normal	Normal
2005	Chuvoso	Chuvoso	Muito seco	Chuvoso	2020	Normal	Normal	Seco	Seco
2006	Normal	Normal	Seco	Normal	2021	Chuvoso	Seco	Seco	Normal
2007	Seco	Normal	Chuvoso	Normal	2022	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Chuvoso
2008	Chuvoso	Normal	Chuvoso	Chuvoso	2023	Normal	Normal	Seco	Seco

Fonte: banco de dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira

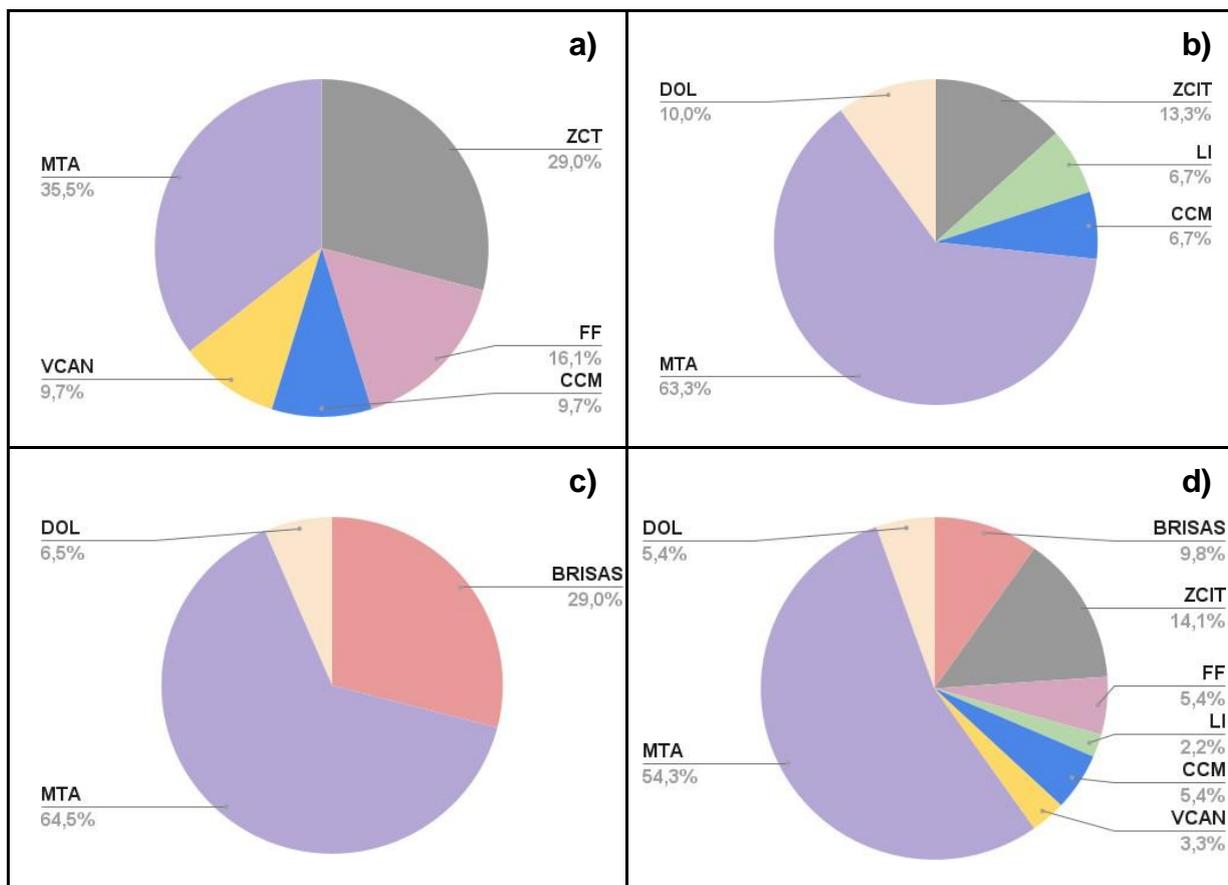
Legenda:  Muito chuvoso  Chuvoso  Normal  Seco  Muito seco

O trimestre chuvoso de 2011 registrou o maior acumulado da série histórica para esse período do ano, 1570,7 mm, sendo classificado como muito chuvoso pela técnica dos Quantis e representativo do período-padrão chuvoso. O trimestre chuvoso do ano 2006 registrou 990,7 mm, o que pode ser considerado dentro do esperado para o período, sendo classificado como normal e representativo do período-padrão habitual. Já o trimestre chuvoso de 2018 registrou o menor acumulado trimestral da série histórica, 410,9 mm, sendo classificado como muito seco e representativo do período-padrão seco.

5.3. Análise Rítmica ao período-padrão habitual

O trimestre chuvoso de 2006 obteve o acumulado de precipitação que mais se aproximou da média da série histórica. A MTA se destacou por atuar em mais de 50% do trimestre chuvoso de 2006 (gráfico 3), seguido pela ZCIT que se posicionou ao norte do equador térmico nos meses analisados e atuou em 14% do trimestre.

Gráfico 3: atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em Recife (maio a julho de 2006)



Fonte: Banco de dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

- a) atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em maio;
- b) atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em junho;
- c) atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em julho;
- d) atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares no trimestre

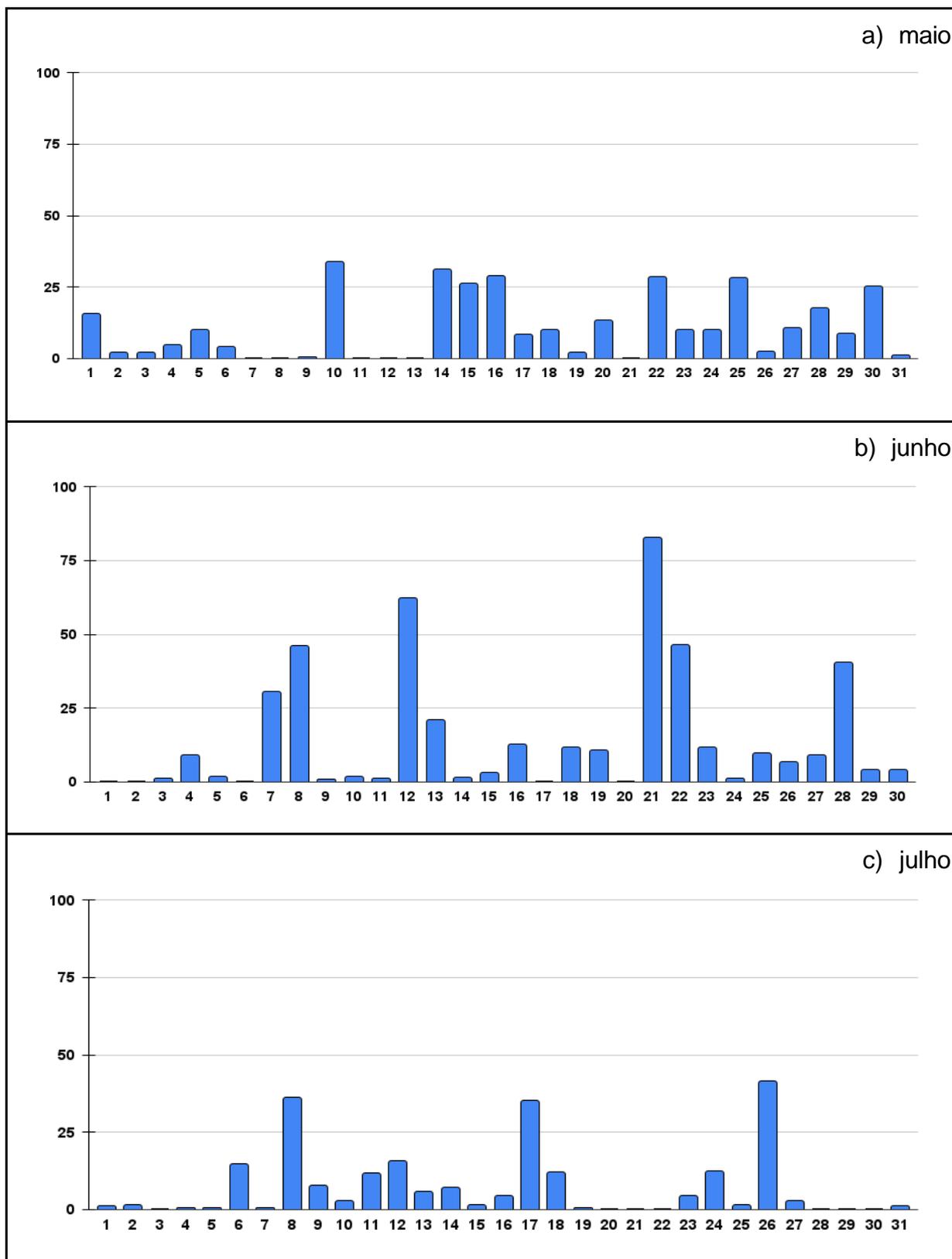
As Brisas marinhas representaram 9,8% de atuação, sendo seguida pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste, que representou 5,4%. O destaque para esse período é a atuação de Complexos Convectivos de Mesoescala e as Frentes que foram os grandes responsáveis pelos maiores totais pluviométricos, sobretudo no mês de Maio.

Siqueira et al. (2010) investigaram a incursão de um forte sistema frontal que atingiu a costa Leste do NEB no mês de Maio de 2006. O sistema que atuou principalmente nos dias 15 e 16 do referido mês “atingiu o NEB e interagiu com o campo dos ventos, gerando uma perturbação ondulatória nos Alísios de Sudeste (POA)” (Siqueira et al., 2010).

Junho foi responsável por concentrar os maiores totais pluviométricos do trimestre, 431,4 mm, ultrapassando a média climatológica para esse mês, 394,95 mm. Em relação ao mês de Julho, o posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul próximo da costa Leste do NEB contribui para a subsidência de ar. A alta pressão atmosférica inibiu a formação de nuvens de chuvas ocasionando a diminuição da precipitação esperada para o mês que registrou 222,9 mm, “conseqüentemente, as chuvas estiveram abaixo da média em grande parte dos setores norte e leste do Nordeste, em particular entre o leste do Rio Grande do Norte e Pernambuco, onde os valores observados estiveram baixo média em até 100 mm” (Climanálise, 2006, p. 17).

Em relação aos dias com registros de precipitação, o gráfico 4 exibe a altura pluviométrica distribuída ao longo trimestre chuvoso do ano 2006. É perceptível a melhor distribuição da precipitação ao longo do trimestre chuvoso de 2006, o que diferencia este dos demais períodos analisados, sobretudo o trimestre chuvoso de 2011.

Maio foi o segundo mês mais chuvoso do trimestre e teve apenas 6 dias sem qualquer registro de precipitação. Junho registrou precipitação pluviométrica em 27 dias. Julho apresentou índices de precipitação em 26 dos 31 dias do mês.

Gráfico 4: altura pluviométrica do trimestre chuvoso de 2006 do município do Recife.

Fonte: banco de dados da Apac. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

Durante o trimestre analisado, apenas o mês de Junho apresentou eventos de precipitação que ultrapassou 50 mm. Os dias 21/06 e 12/06 registraram respectivamente 82,8 mm e 62,2 mm de precipitação. A partir da análise sinótica foram identificados que sistemas diferentes estiveram atuantes nos referidos dias, sendo os responsáveis pelos elevados acumulados registrados.

5.3.1. Análise do episódio do dia 21/06/2006

A passagem de um Distúrbio ondulatório de Leste ocasionou, nos dias 21/06 e 22/06 de 2006, episódios de chuvas intensas sobre o município do Recife. O sistema que atuou sobretudo no dia 21/06 foi responsável pelo elevado acumulado registrado no mês de junho.

Os veículos de comunicação locais relataram os transtornos que atingiram diversas partes do município (figura 12) resultando em longos congestionamentos e falhas no funcionamento dos semáforos, tais problemas se tornaram recorrentes em dias de fortes chuvas.

Figura 12: Notícia publicada no dia 21/06/2006 sobre os transtornos causados pelas chuvas intensas no município do Recife.



🕒 Leitura: 3min

Do JC OnLine

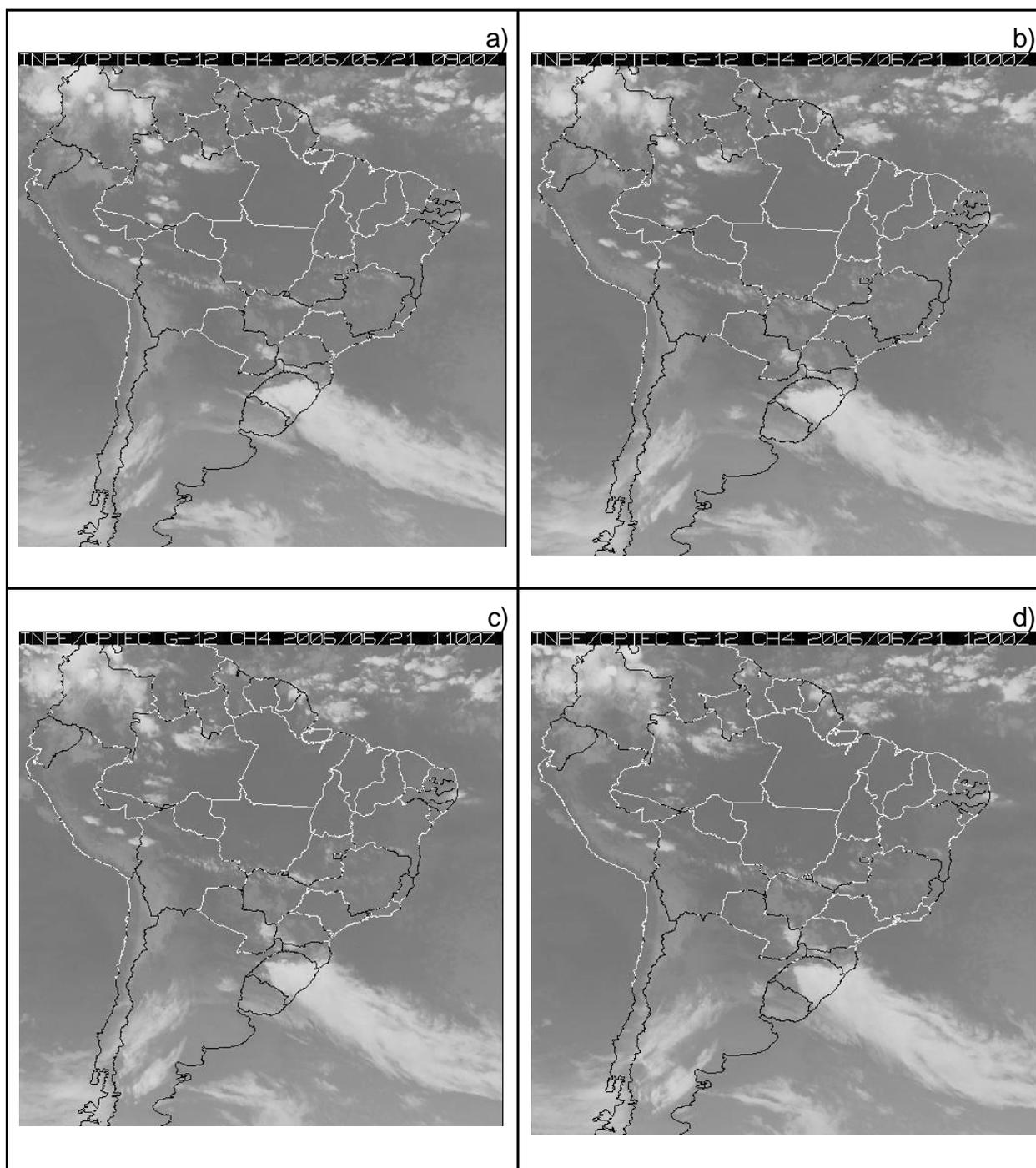
Com informações da Rádio Jornal

Motoristas e pedestres encontram dificuldades em transitar por algumas vias públicas do Grande Recife na manhã desta quarta-feira. As chuvas fortes que atingem a região metropolitana desde a noite dessa terça-feira deixaram alagadas ruas de Jaboatão, Recife, Olinda e Paulista. Desta forma, os motoristas devem ter atenção redobrada para evitar acidentes.

Fonte:ne10.uol.com.br

O sistema atingiu a costa Leste do NEB no início da manhã e foi se intensificando ao longo do dia (figura 13). As imagens do satélite Goes 8 registraram a ocorrência do sistema sobre o litoral pernambucano.

Figura 13: atuação do Distúrbio Ondulatório de Leste sobre o Leste de Pernambuco no dia 21/06/2006.



a) imagem referente às 09:00, b) Imagem referente às 10:00, c) Imagem referente às 11:00 e d) Imagem referente às 12:00.

5.4. Análise Rítmica aplicada ao período-padrão chuvoso

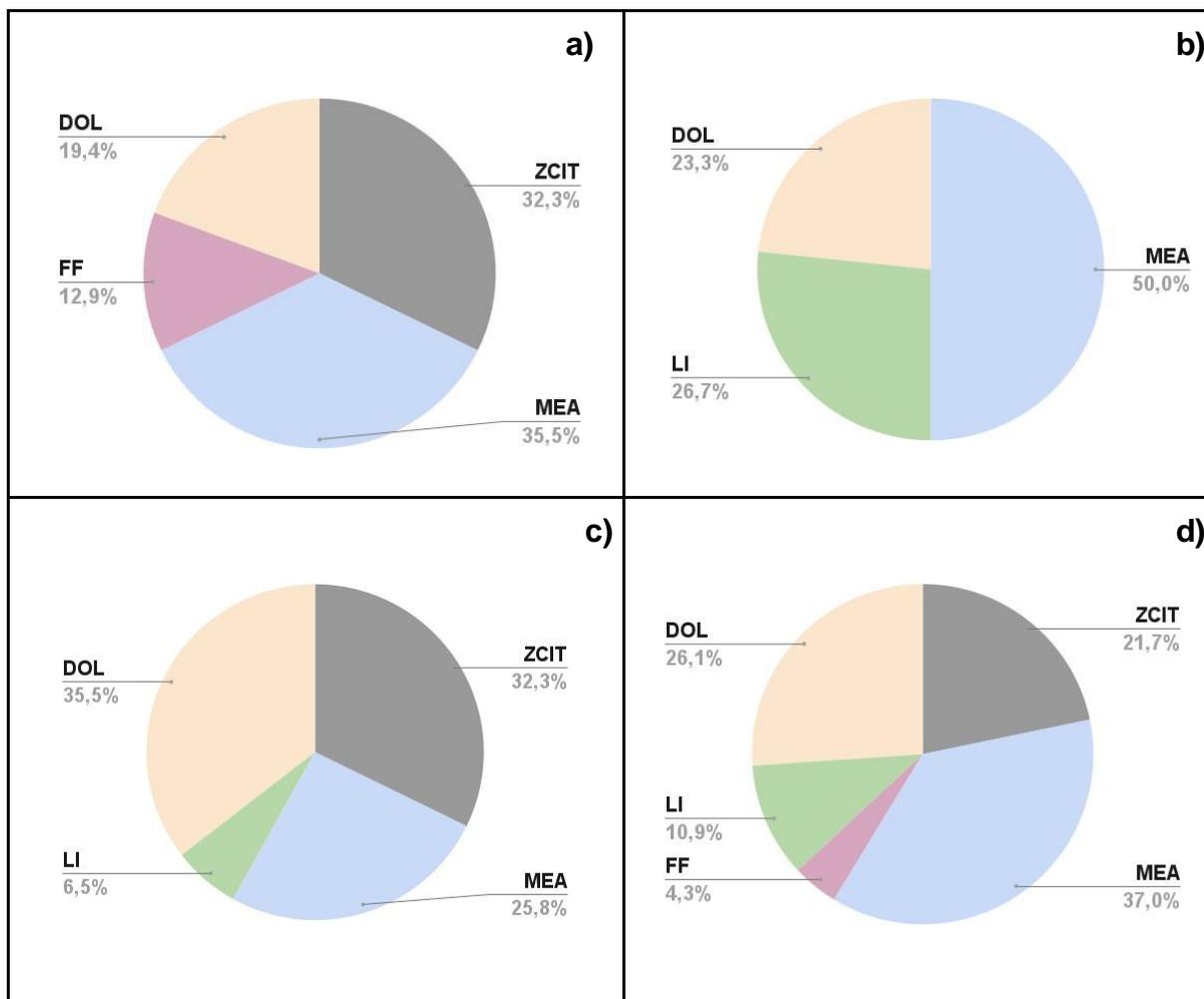
A MEA teve uma expressiva participação na qualidade pluviométrica no período, 37%, seguido pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste que obteve 26,1% de participação no trimestre. Em seguida, a ZCIT foi responsável por atuar em 21,7% dos dias do período-padrão chuvoso, as Linhas de Instabilidade atuaram 10,9% enquanto as Frentes Frias obtiveram a menor porcentagem de participação, 4,3%.

Em termos mensais, Maio se perpetuou como o mais chuvoso do período-padrão, seguido por Julho com 710,9 mm e 556,2 mm respectivamente. A ZCIT desempenhou um papel importante para a pluviometria de Maio de 2011. O deslocamento da zona de confluência dos ventos alísios para o Sul de sua atuação habitual para esse período do ano foi responsável por extremos de precipitação que marcou a climatologia do município, consagrando o mês de Maio mais chuvoso dos trinta anos analisados nesta pesquisa.

Junho, apesar de ser o mês mais chuvoso do ano, obteve o menor registro de precipitação do trimestre, sendo ainda categorizado como seco ao registrar 303,6 mm. O deslocamento da ZCIT ao norte do equador térmico é uma das explicações apresentadas pelo Boletim Climático da APAC e confirmada pelo gráfico de Análise Rítmica para o mês de Junho.

O gráfico 5 de participação dos sistemas atmosféricos para o período demonstra em porcentagem os sistemas que foram atuantes naquele trimestre, e, apesar de não haver uma alternância acentuada entre sistemas e massas de ar, os poucos sistemas que passaram pela área de estudo trouxeram quantidades significativas de precipitação para o município do Recife.

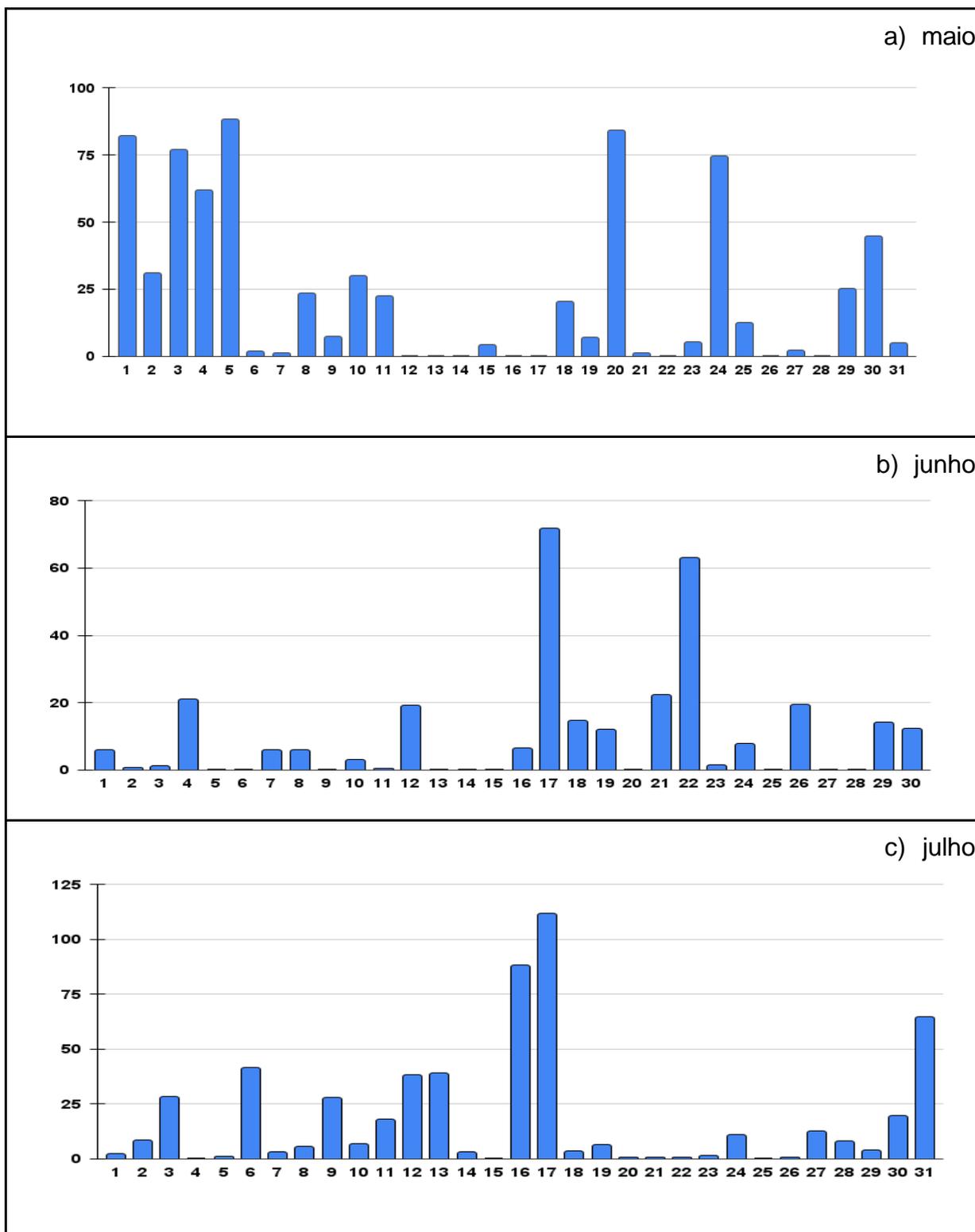
Gráfico 5: atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em Recife (maio a julho de 2011)



Fonte: Banco de dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

- a) atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em maio;
- b) atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em junho;
- c) atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em julho;
- d) atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares no trimestre.

Em relação à quantidade de dias com chuva, Maio teve 23 dias com registro de precipitação no Recife, Junho teve 20 dias com registro de chuva enquanto Julho teve precipitação em 29 dos 31 dias do mês, o gráfico 6 ilustra a altura pluviométrica dos referidos meses.

Gráfico 6: altura pluviométrica do trimestre chuvoso de 2011 do município do Recife.

Fonte: banco de dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

Através do gráfico da altura pluviométrica do trimestre chuvoso do ano de 2011, é possível visualizar os dias que houve ocorrências de eventos extremos de

precipitação no município do Recife. No primeiro mês do trimestre chuvoso, 6 dias registraram chuvas que ultrapassaram os 50 mm: dias 01/05, 03/05, 04/05, 05/05, 20/05 e 24/05, sendo o dia 05/05 mais chuvoso, 88,4 mm.

No segundo mês do trimestre chuvoso, os dias com registro de precipitação que ultrapassaram os 50 mm foram: dias 17/06 e 22/06. Já no último mês do trimestre chuvoso os dias com mais de 50 mm de precipitação foram: 16/07, 17/17 e 31/07. O dia 17/17 obteve o maior registro diário de precipitação de todo o trimestre.

5.4.1. Análise do episódio do dia 17/07/2011

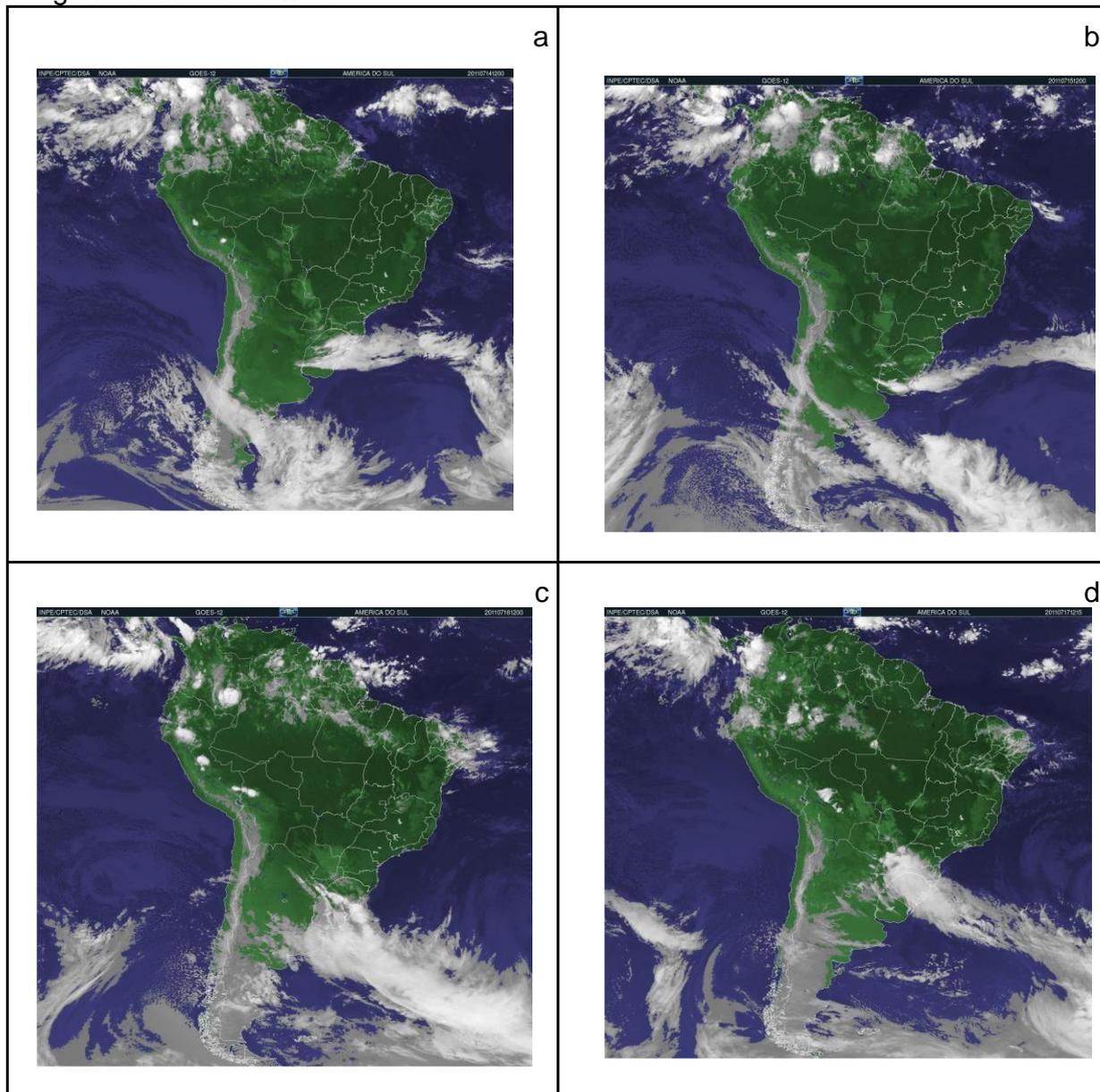
A ocorrência de um evento de DOL foi responsável por enormes danos e prejuízos, além de perdas humanas no município recifense. O sistema que atuou do dia 14/07 a 17/07 trouxe enormes impactos sociais e econômicos. A imagem do satélite Meteosat-9 (figura 14), canal 01, dos referidos dias, mostraram a intensa formação de nebulosidade sobre o Leste do NEB. É possível também visualizar a atuação da ZCIT ao norte do litoral Norte do NEB.

As imagens a, b, c, e d referentes às 12:00 horas GTM capturaram o estado de formação, atuação e dissipação do Distúrbio Ondulatório de Leste. A somatória da precipitação nos quatro dias de atuação do sistema passou dos 200 mm no município do Recife, sendo o dia 17/07 o que registrou a maior quantidade de chuva.

Os efeitos da expressiva quantidade de chuva sobre o município recifense foram noticiados por diversos veículos de comunicação. Destacamos a notícia publicada no dia 17/07/2011 pelo jornal Diário do grande ABC⁴ que divulgou as condições catastróficas ocorridas após a passagem do DOL que ocasionou o fechamento da BR 101, uma das principais ligações interestaduais que passa pelo município do Recife, deslizamentos de barreiras e até mesmo perdas de vidas humanas.

⁴ <https://www.dgabc.com.br/Noticia/1000981/chuvas-provocam-seis-mortes-no-recife>

Figura 14: imagens do satélite Goes 12 referente às 12 horas evidenciando a atuação do Distúrbio Ondulatório de Leste sobre a costa leste do Nordeste do Brasil. a) imagem do dia 14/07/2011, b) imagem do dia 15/07/2011, c) imagem do dia 16/07/2011 e d) imagem do dia 17/07/2011.



Fonte: INPE.

5.5. Análise Rítmica aplicada ao período-padrão seco

O trimestre chuvoso de 2018, considerado o mais seco da série histórica, registrou a atuação de diferentes sistemas atmosféricos e massas de ar. Dentre eles,

a MTA se destacou por atuar em 45,7% do trimestre, seguida pela MEA e pelos Distúrbio Ondulatórios de Leste que obtiveram ambos 17,4% de atuação no período mais chuvoso do ano do município do Recife. Ademais, houve ainda nesse período a atuação de outros sistemas (gráfico 7) que registraram irrisórias quantidades de precipitação pluviométrica sobre o município.

O mês de maio de 2018 teve a maior quantidade de precipitação acumulada mensal do trimestre com 183,1 mm e foi marcado pela atuação predominante da MTA que representou mais de 50% dos sistemas que passaram pelo município naquele mês. O Boletim Climático de maio divulgado pela APAC apontou redução das chuvas para todo o Estado pernambucano e apresentou como alguns dos motivos para a diminuição da quantidade de chuvas esperadas para o começo do período chuvoso, o enfraquecimento dos ventos Alísios de Sudeste e a diminuição da temperatura do oceano Atlântico próximo da costa leste do Nordeste, que dificulta a formação de nuvens de chuva.

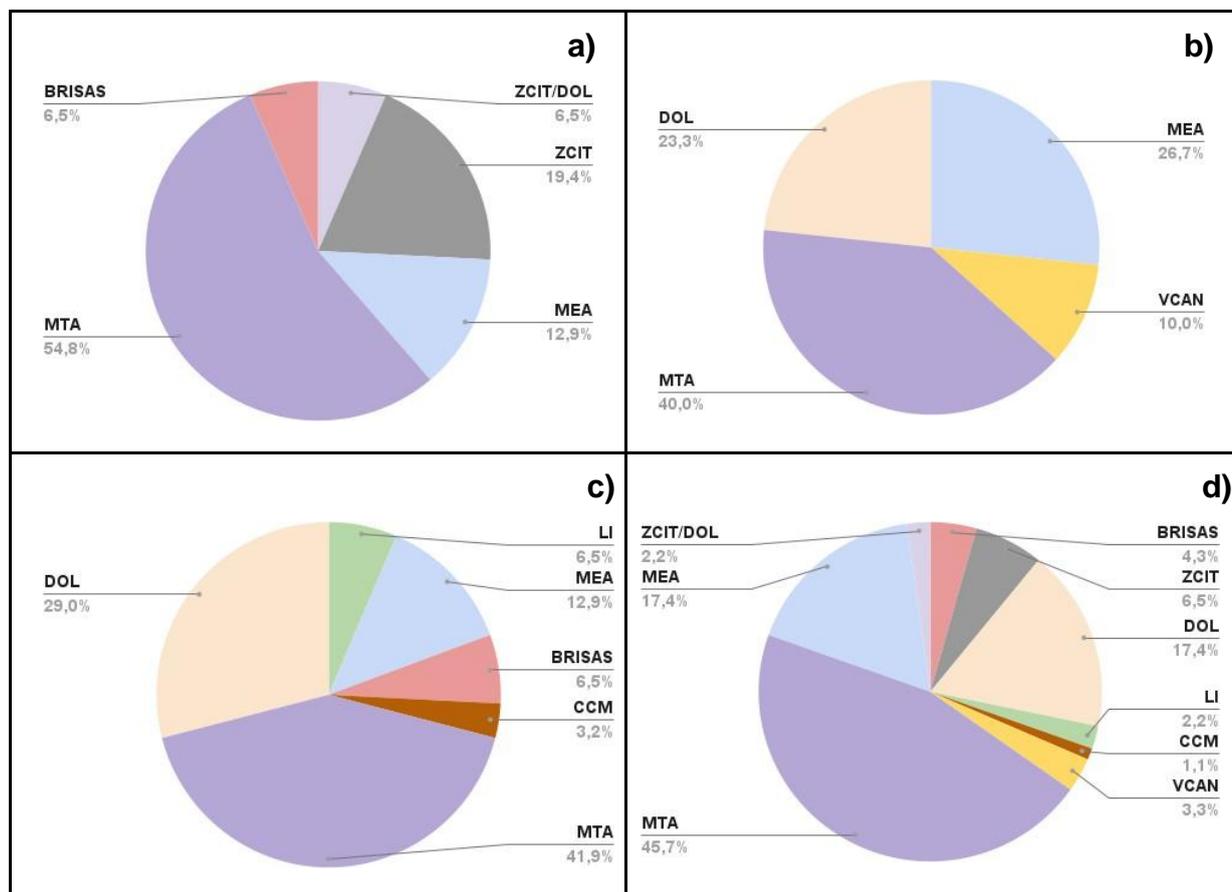
O mês de junho registrou uma diminuição de precipitação em relação a maio, o total mensal foi apenas 133,6 mm, muito distante dos 394,9 mm da média para esse mês. O mês presenciou a atuação do VCAN, sendo o único em que o sistema se fez presente e esteve atuante em 10% dos dias naquele mês. O Boletim Climático mensal justificou a pouca precipitação acumulada como consequência da neutralidade da TSM do Atlântico próximo a costa Leste do NEB e a circulação dos ventos em grandes escalas, que inibiu a formação de nuvens de chuva em todo território pernambucano.

Julho se configurou como o mês mais seco do trimestre chuvoso de 2018. Com um total de 94,2 mm de precipitação, assim como junho, foi classificado como mês extremamente seco. Outra importante observação a ser feita em relação ao referido mês é a menor quantidade de precipitação registrada para esse mês da série histórica, levando a condições extremas de secas no território estadual.

De acordo com o Monitor de Secas do Nordeste, este mês de julho houve um aumento da seca no Sertão do São Francisco para a categoria de seca extrema, e nas demais áreas do Sertão ocorreu expansão da seca grave com efeito de curto e longo prazo. **O destaque foi o surgimento de uma seca no Litoral em pleno final do período chuvoso, ainda com duração de curto prazo e categoria fraca** (Boletim Climatológico APAC, p 07, 2018, grifo nosso).

O mesmo padrão de circulação dos ventos em grandes escalas verificado nos outros meses desse período se repetiu no mês de julho, além do registro de uma leve diminuição da TSM no Atlântico.

Gráfico 7: atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em Recife (maio a julho de 2018)

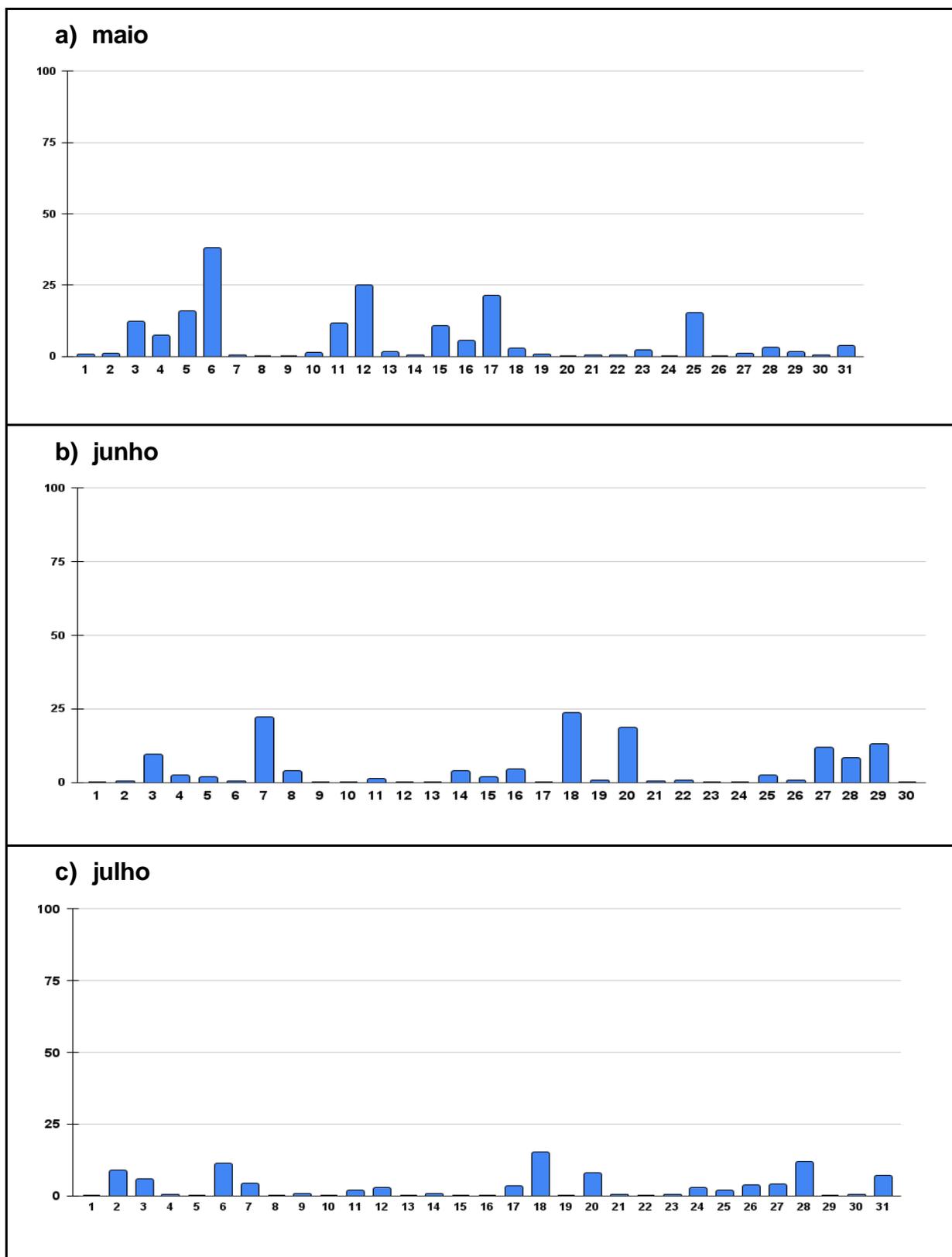


Fonte: Banco de dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

- atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em maio;
- atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em junho;
- atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares em julho;
- atuação dos sistemas atmosféricos e massas de ares no trimestre.

O gráfico com a quantidade de dias com alguma precipitação registrada (gráfico 8) mostram a altura pluviométrica nos meses que compõem o trimestre chuvoso. Maio teve 26 dias com chuva, Junho registrou alguma quantidade de precipitação em 23 dos 30 dias do mês enquanto Julho teve chuva em 21 dos 31 dias.

Gráfico 8: altura pluviométrica do trimestre chuvoso de 2018 do município do Recife.

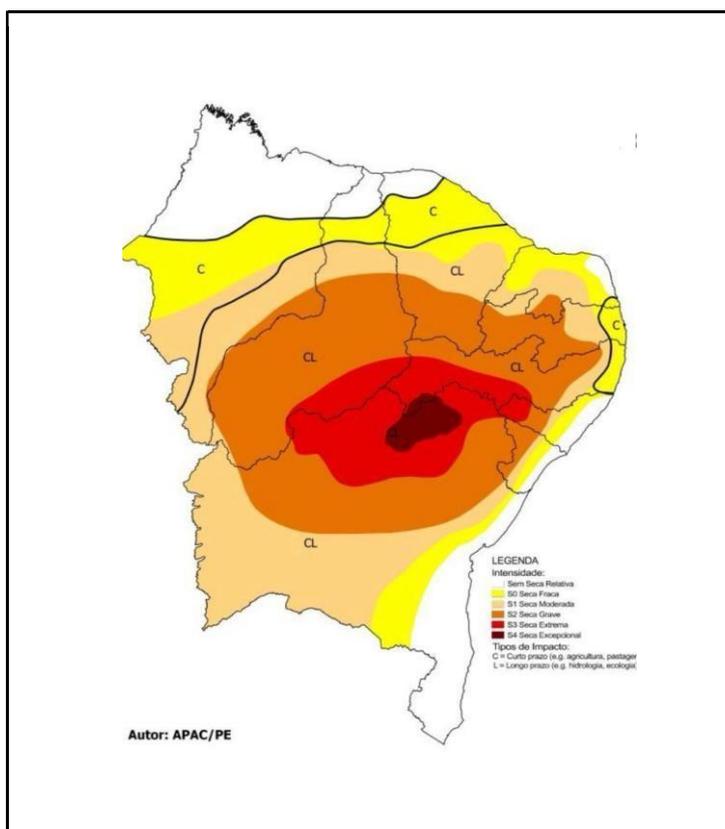


Fonte: Dados da APAC. Organizado por Isaac da Silva Ferreira.

Segundo o trabalho de Cunha et al. (2019), a seca pluviométrica iniciou em 2012 e desde então foi acompanhada pelo Governo Federal através do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) monitorou e identificou os municípios em situações mais graves com o objetivo de fornecer auxílio. De acordo com as estimativas do órgão citado, a precipitação ficou cerca de 20% abaixo do esperado para o ano de 2018.

A situação pareceu bem mais dramática no Boletim Climático para o mês de Julho. Segundo a APAC, houve um desvio de -68,3% da climatologia neste mês. O baixo acumulado de precipitação culminou na piora do quadro de seca em todas as regiões do Estado (figura 15).

Figura 15: monitor de secas do Nordeste em Julho de 2018.



Fonte: APAC.

Os veículos de imprensa noticiaram a ocorrência de fenômeno das secas que ocasionou a situação de emergência em diversos municípios do Estado de Pernambuco.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos períodos-padrão demonstrou a variabilidade temporal da precipitação pluviométrica do município do Recife. A partir da seleção e análise dos períodos-padrão, constatou-se as diferentes dinâmicas dos sistemas atmosféricos e massas de ares.

O período-padrão habitual (2006) foi marcado pela atuação da Massa Tropical Atlântica, da Zona de Convergência Intertropical e do Sistema de Brisas. A ZCIT que atuou ao norte de sua climatologia nesse período provocou chuvas menos abundantes. A combinação dos diferentes sistemas possibilitou que a qualidade pluviométrica do trimestre chuvoso do ano 2006 fosse o mais próximo da normal da série histórica analisada.

O ano 2011, apesar de não ser o mais chuvoso dos 30 anos analisados, registrou a maior quantidade de milímetros precipitados no período que corresponde ao trimestre chuvoso do município, sendo por esse motivo selecionado como período-padrão chuvoso. A análise dos meses evidenciou a majoritária participação da Massa Equatorial Atlântica, além dos Distúrbios Ondulatórios de Leste e da ZCIT para as elevadas quantidades de chuva que o município recebeu no trimestre chuvoso.

Já o período-padrão seco (2018) foi principalmente marcado pela atuação da Massa Equatorial Atlântica e Tropical Atlântica, os Distúrbios Ondulatórios de Leste também foram predominantes para o trimestre chuvoso do ano 2018 que obteve o menor acumulado trimestral de precipitação.

A utilização da Análise Rítmica como procedimento metodológico permitiu a compreensão do dinamismo climático da área de estudo levando em conta que os eventos extremos são componentes essenciais da realidade climática e afeta diretamente quase 1,5 milhão de pessoas que residem no município do Recife.

A presente pesquisa abre possibilidades para o desenvolvimento de trabalhos futuros que visem compreender a influência dos fenômenos climáticos

em escala global e sua influência na dinâmica climática em escala local a fim de contribuir para o melhor entendimento dos efeitos das mudanças climáticas no município do Recife e as formas de mitigação dos impactos advindos das alterações no mecanismo do clima.

Como afirmou Melo et al. (2021, p. 3) a cidade do Recife, assim como as metrópoles do Brasil, apresenta situações de vulnerabilidade socioambiental “decorrente de um modelo excludente e de falta de investimento na infraestrutura urbana”. No atual contexto das mudanças climáticas, compreender o clima levando em consideração os eventos extremos se torna imperativo devido a suas recorrências.

A Climatologia Geográfica tem desempenhado um papel crucial ao buscar entender as consequências a nível local dos impactos das transformações que o ser humano imprime na natureza. O atual ritmo de consumo e a falsa necessidade de acumulação de riquezas engendrado no atual modelo de produção tem levado o planeta ao limite.

Tendo em vista que uma mudança de postura está distante de se materializar, é necessário continuarmos desempenhando nosso papel de pesquisador e compreender a complexa relação sociedade X natureza levando em consideração os elementos que impactam a vida e o cotidiano das pessoas, como os eventos extremos de precipitação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, Maria Letícia. DUARTE, Cristiana Coutinho. **Dinâmica climática, eventos extremos e impactos associados no município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil.** Revista Brasileira de Geografia Física v.16, 2023.

BARROS, Juliana Ramalho; ZAVATTINI, João Afonso. **BASES CONCEITUAIS EM CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA.** Mercator - Revista de Geografia da UFC, vol. 8, n. 16, 2009, pp. 255-261 Universidade Federal do Ceará Fortaleza, Brasil.

BORSATO, Victor de Assunção. **A DINÂMICA CLIMÁTICA DO BRASIL E MASSAS DE ARES.** CRV; 1ª edição. Curitiba, 2016.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque. **UM ESTUDO SOBRE AS INTERAÇÕES ENTRE SISTEMAS DE CIRCULAÇÃO DE ESCALA SINÓTICA E CIRCULAÇÕES LOCAIS.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 1982.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; KOUSKY, Vernon Esgar. Frentes Frias Sobre o Brasil. in: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. (org.) **TEMPO E CLIMA NO BRASIL.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CLIMANÁLISE. **BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA.** Cachoeira paulista - SP. Volume 2, número 07, 2006.

COHEN, Julia; CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; BRAGA, Rodrigo H. M.; NETO, Luiz santos. Linhas de Instabilidade na Costa N-NE da América do Sul. in: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. (org.) **TEMPO E CLIMA NO BRASIL.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

COSTA, José de Araújo. **O FENÔMENO EL NIÑO E AS SECAS NO NORDESTE DO BRASIL.** Revista Científica do IFAL, v.1, n.4, p. 71-82. jan./jul. 2012.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; VECCHIA, Francisco. **AS ABORDAGENS CLÁSSICA E DINÂMICA E CLIMA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA APLICADA AO TEMA DA COMPREENSÃO DA REALIDADE CLIMÁTICA.** Ciência e Natura, vol. 29, núm. 1, p. 137-149 Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

DIAS, Maria Assunção F. da Silva; ROZANTE, José Roberto; MACHADO, Luiz Augusto T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. in: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. (org.) **TEMPO E CLIMA NO BRASIL**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

FERREIRA, Antonio Geraldo; MELO, Namir Giovanni da Silva. **PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES SOBRE A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL E A INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO CLIMA DA REGIÃO**. Revista Brasileira de Climatologia, Vol. 1, No 1, 2005.

FERREIRA, Artur Gonçalves. **METEOROLOGIA PRÁTICA**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

FERREIRA, Nelson J; RAMÍREZ, Maria Valverde; GAN, Manoel Alonso. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que Atuam na Vizinha do Nordeste do Brasil. in: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. (org.) **TEMPO E CLIMA NO BRASIL**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda; ZAVATTINI, João Afonso; SHERIDAN, Scott Christopher; ARMOND, Núbia Beray. **GÊNESE DAS CHUVAS EM SÃO PAULO (SP): ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A “SPATIAL SYNOPTIC CLASSIFICATION” E A “ANÁLISE RÍTMICA EM CLIMATOLOGIA**. Revista Brasileira de Climatologia - vol. 23, 2018.

GAN, Manoel Alonso; KOUSKY, Vernon Esgar. **VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTA TROPOFERA NO OCEANO ATLÂNTICO SUL**. Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE - São José dos Campos - SP, 1986.

GIRÃO, Osvaldo; CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; GUERRA, Antonio José Teixeira. **INFLUÊNCIA DA CLIMATOLOGIA RÍTMICA SOBRE ÁREAS DE RISCO: O CASO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE PARA OS ANOS DE 2000 E 2001**. Revista de Geografia, v. 23, n. 1, 2008.

ICLEI – Local Governments for Sustainability. **Plano de Ação Climática da Cidade de Recife 2020**.

Recife. <<https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2020/12/20-recife-acaoclimat-1.pdf>> acesso em 28 mai. de 2024.

LYRA, Matheus José Arruda; FEDOROVA, Natalia; LEVIT, Vladimir; FREITAS, Ismael Guidson Farias de. **CARACTERÍSTICAS DOS COMPLEXOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA NO NORDESTE BRASILEIRO**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. Especial, 727 734, 202

MACHADO, Célia Cristina Clemente; NÓBREGA, Ranyére Silva; OLIVEIRA, Tiago Henrique de; ALVES, Keyla Manuela Alencar da Silva. **DISTÚRBO ONDULATÓRIO DE LESTE COMO CONDICIONANTE A EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM PERNAMBUCO**. Revista Brasileira de Climatologia, vol. 11 – JUL/DEZ, 2012.

MACHADO, Luiz Augusto T.; FERREIRA, Nelson J.; LAURENT, Henri; DIEDHIU, Arona. Distúrbios Ondulatórios de Leste. in: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. (org.) **TEMPO E CLIMA NO BRASIL**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MELO, Anna Bárbara C. de; CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; SOUZA, Paula Pereira. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. in: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. (org.) **TEMPO E CLIMA NO BRASIL**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MELO, Santos Inamara; CARVALHO, Renata Maria Caminha M. O de; SOBRAL, Maria do Carmo Martins; LYRA, Marília Regina Costa Castro; SILVA, Hernande Pereira. **ADAPTAÇÃO AOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PERSPECTIVA DO PLANO DIRETOR DA CIDADE DO RECIFE**. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v.23, 2021.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **CLIMATOLOGIA: NOÇÕES BÁSICAS E CLIMAS DO BRASIL**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero; BERNARDO, Sergio de Oliveira. **UMA REVISÃO DA DINÂMICA DAS CHUVAS DO NORDESTE BRASILEIRO**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.17, n.1, 1-10, 2002.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **ANÁLISE RÍTMICA EM CLIMATOLOGIA**: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho, São Paulo, USP/ Instituto de Geografia, 1971. (Série Climatologia,1)

_____. **DA NECESSIDADE DE UM CARÁTER GENÉTICO À CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA** (Algumas considerações metodológicas a propósito do estudo do Brasil Meridional). Revista Geográfica, 31: p.29-44, IPGH, Rio de Janeiro, 1962.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; SANT'ANNA NETO, João Lima; MENDONÇA, Francisco de Assis; ZAVATTINI, João Afonso. **A CONSTRUÇÃO DA CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA NO BRASIL**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2015.

MOURA, Geber Barbosa de A.; ARAGÃO, José Oribe Rocha de; MELO, José S. P. de; SILVA, Ana P. N. da; GIONGO, Pedro R.; LACERDA, Francinete F. **RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO DO LESTE DO NORDESTE DO BRASIL E A TEMPERATURA DOS OCEANOS**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.4, p.462–469, Campina Grande, 2009.

NIMER, Edmon. **CLIMATOLOGIA DO BRASIL**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

OGASHAWARA, Igor. **ANÁLISE RÍTMICA E A CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA BRASILEIRA**. Revista Eletrônica Georaguaiá. Barra do Garças-MT. v2, n.2, p 57 - 72. agosto/dezembro. 2012.

PEREIRA, Michael Douglas Barbosa. **DINÂMICA CLIMÁTICA E AS CHUVAS NA REGIÃO DA ZONA DA MATA, NORDESTE DO BRASIL**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

SANCHES, Rafael Grecco; PEREIRA, Diego Narciso Buarque. **CLIMATOLOGIA: CONTRIBUIÇÕES À DINÂMICA CLIMÁTICA**. in: VECCHIA, Francisco Arthur da Silva; TECH, Adriano Rogério Bruno; NEVES, Gustavo Zen de Figueiredo. **CLIMATOLOGIA DINÂMICA: conceitos, técnicas e aplicações**. São Carlos: RiMa Editora, 2020. p. 4-53.

SANT'ANNA NETO, João Lima. **A HISTÓRIA DA CLIMATOLOGIA NO BRASIL: GÊNESE, PARADIGMAS E A CONSTRUÇÃO DE UMA GEOGRAFIA DO CLIMA**. Cadernos Geográficos, Florianópolis, Nº 7. Maio de 2004.

_____. **DA CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA À GEOGRAFIA DO CLIMA: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico**. Revista da ANPEGE, v. 4, p. 61-68, 2008

SANTOS, Alexandre Silva dos. **ALGUNS ASPECTOS DINÂMICOS E TERMODINÂMICOS DE UM VÓRTICE CICLÔNICO DE ALTOS NÍVEIS (VCAN) SOBRE SUA REGIÃO DE ATUAÇÃO**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2005.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da; SOUZA, Lucas Barbosa e. **SELEÇÃO DE ANOS-PADRÃO PARA ANÁLISE RÍTMICA EM ESTUDOS DE CONFORTO TÉRMICO: UMA PROPOSTA DE "CONFORTOGRAMAS" A PARTIR DE ÍNDICES**. Revista Brasileira de Climatologia, Ano 13 – Vol. 20 – JAN/JUL 2017.

SILVA, Vicente de Paulo Rodrigues da; PEREIRA, Emerson Ricardo Rodrigues; ALMEIDA, Rafaela Silveira Rodrigues. **ESTUDO DA VARIABILIDADE ANUAL E INTRA-ANUAL DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.2, 163 - 172, 2012.

SILVESTRE, Miriam Rodrigues. **Técnicas estatísticas utilizadas em climatologia geográfica: diagnóstico e propostas**. Tese de doutorado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2016.

SORRE, Maximilien. **LES FONDEMENTS DE LA GÉOGRAPHIE HUMAINE**. Paris: Armand Colin, p.13-43, 1951

RIBEIRO, Antonio Giacomini. **A CLIMATOLOGIA DINÂMICA NA PERSPECTIVA DA ANÁLISE RÍTMICA**. Sociedade e Natureza 12 (24), Uberlândia: p 47-62, 2000.

WANDERLEY, Lucas Suassuna Albuquerque. **PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL BASEADA NA ABORDAGEM SINÓTICA DOS TIPOS DE TEMPOS.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 217. 2020.

XAVIER, Teresinha de marinha Bezerra Sampaio; AMBRIZZI, Tércio; SILVA, Maria Elisa S. **APLICAÇÕES DE MODELOS E TÉCNICAS NA DETECÇÃO DE VARIABILIDADE NO CLIMA E EXTREMOS.** Fortaleza, CE : Banco do Nordeste S.A, 2017.

ZAVATTINI, João Afonso. **CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA:** teoria e prática de pesquisa. Campinas, SP: Editora Alínea, 2013.

ZAVATTINI, João Afonso. **O PARADIGMA DA ANÁLISE RÍTMICA E A CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA BRASILEIRA.** Revista Geografia, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 25-43, 2000.

APÊNDICE

Gráfico de Análise Rítmica de maio de 2006

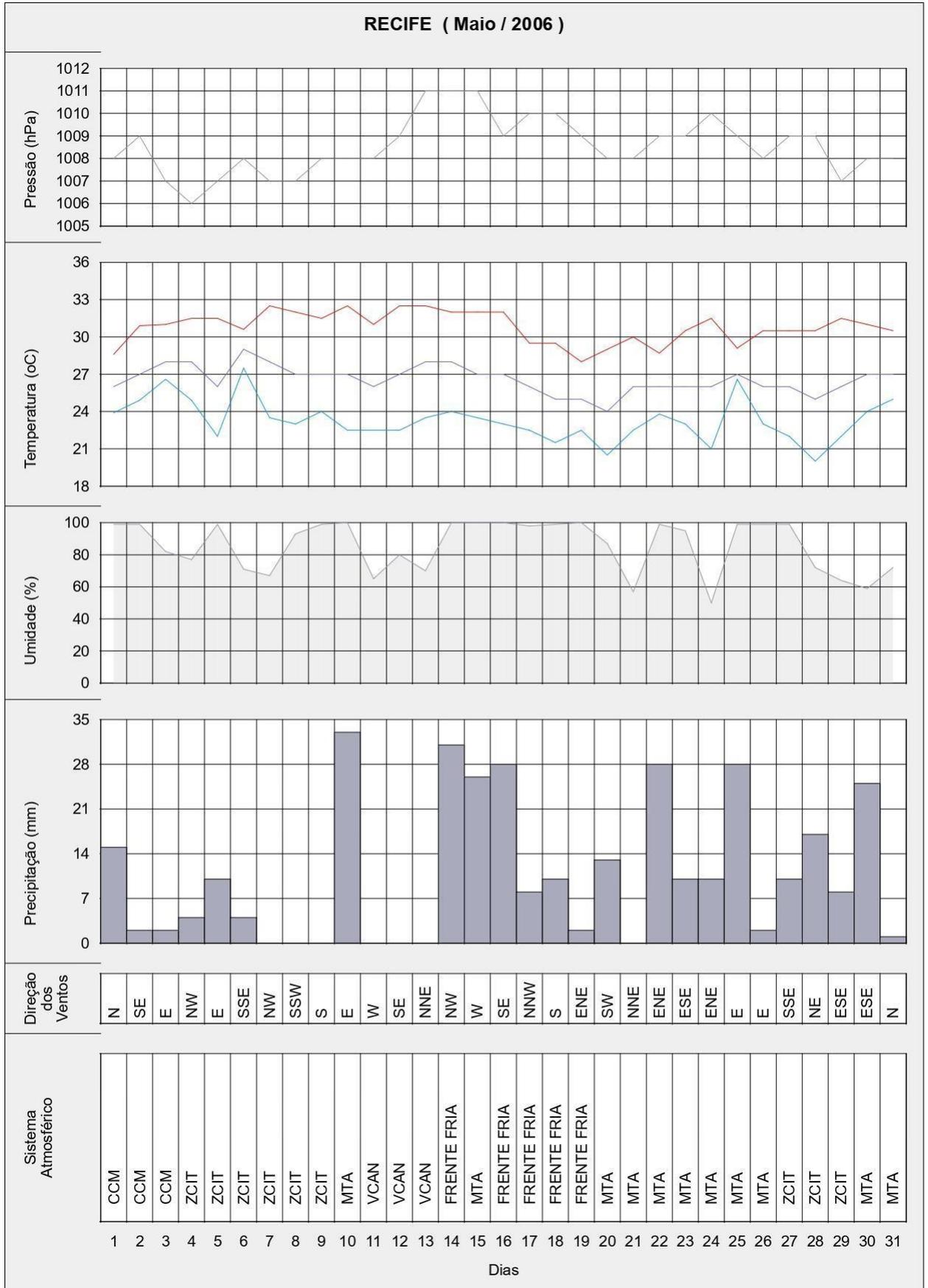


Gráfico de Análise Rítmica de junho de 2006

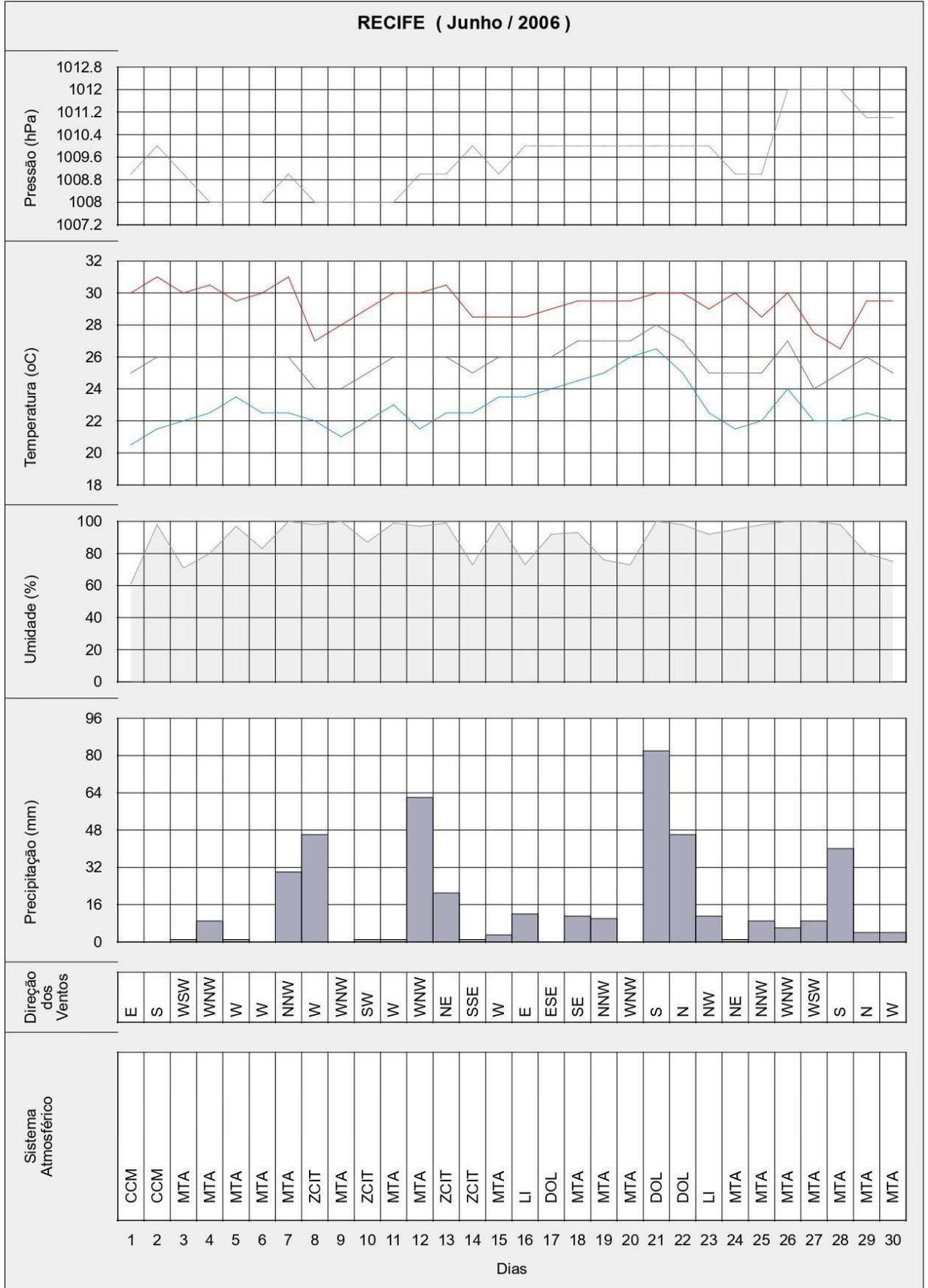


Gráfico de Análise Rítmica de julho de 2006

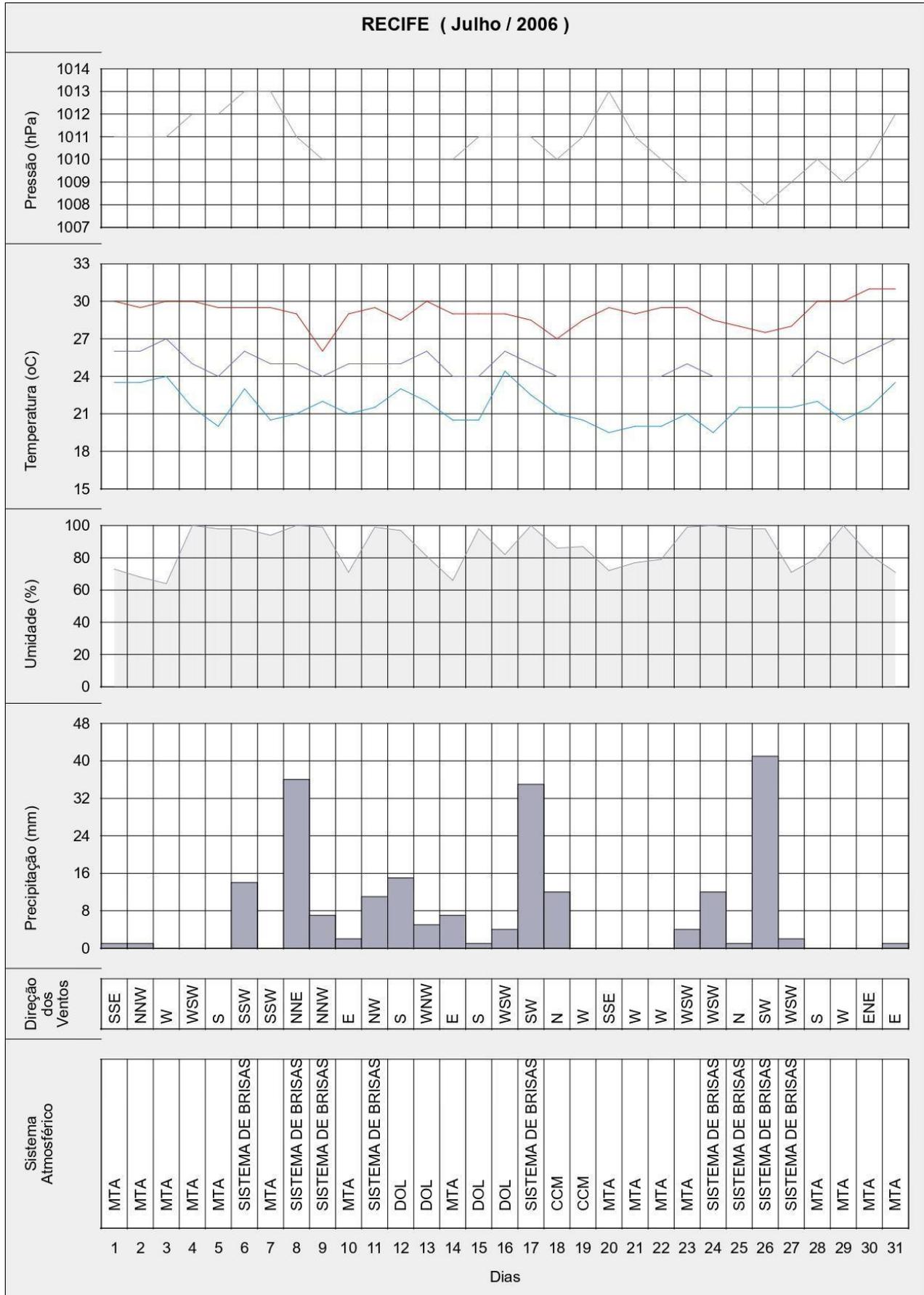


Gráfico de Análise Rítmica de maio de 2011

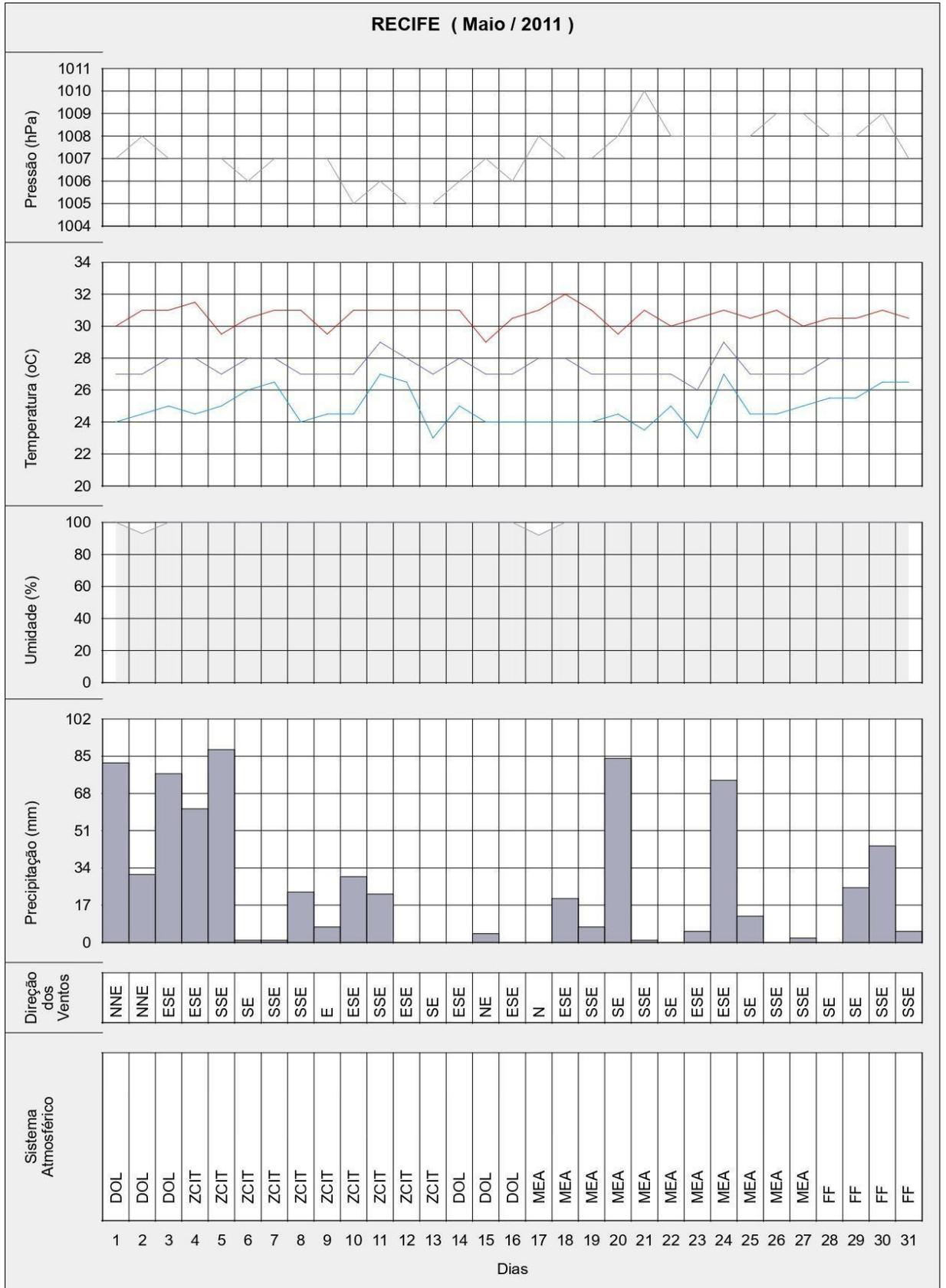


Gráfico de Análise Rítmica de junho de 2011

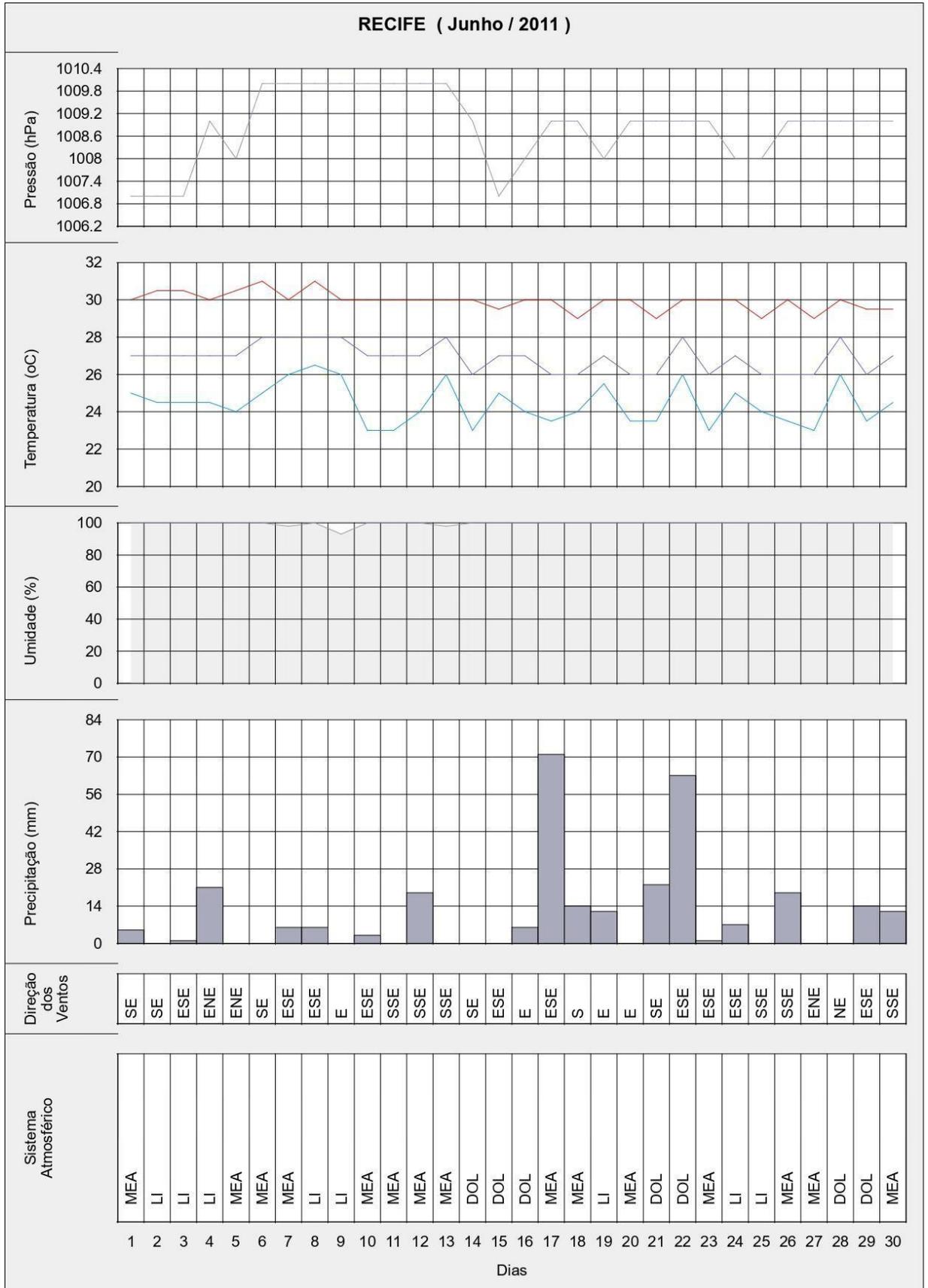


Gráfico de Análise Rítmica de julho de 2011

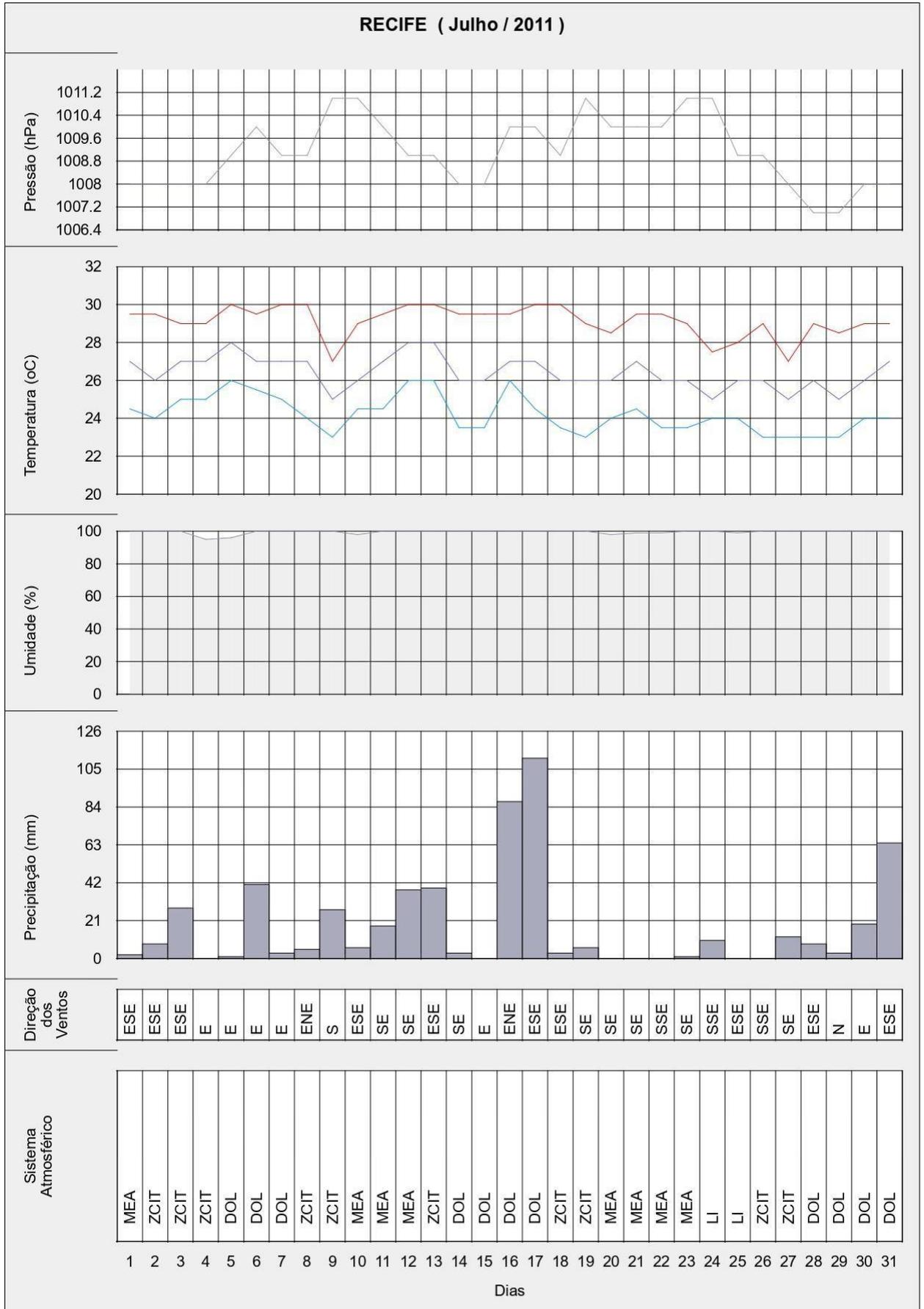


Gráfico de Análise Rítmica de maio de 2018

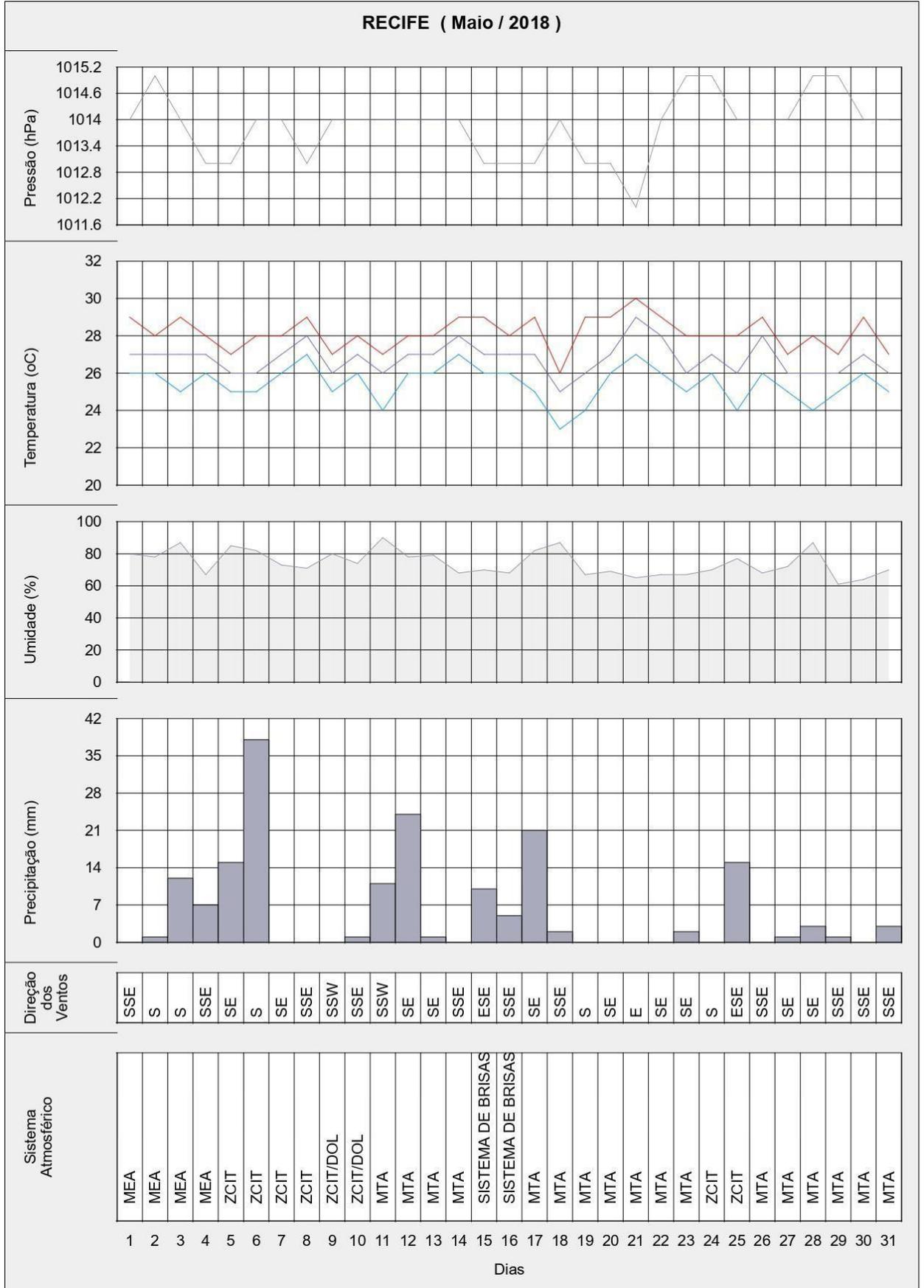


Gráfico de Análise Rítmica de junho 2018

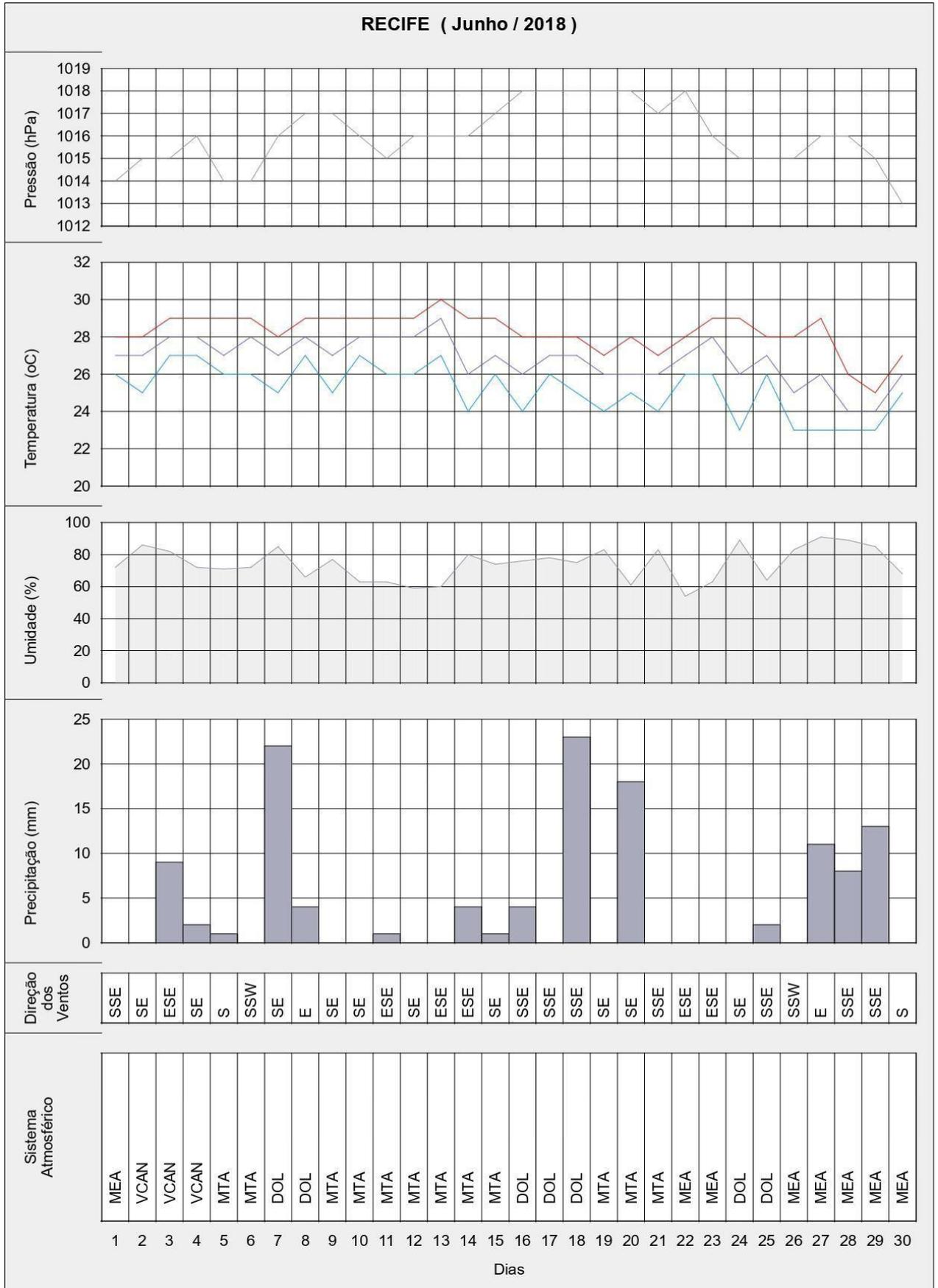


Gráfico de Análise Rítmica de julho de 2018

