

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas

Iuri Valério Graciano Borges

**Dengue em Recife: Análise da inter-relação
entre a precipitação e os casos confirmados
sob uma perspectiva climática, geográfica e
de saúde pública**

São Paulo

2022

Versão corrigida. A original está disponível no Serviço de Pós-Graduação do IAG/USP

Iuri Valério Graciano Borges

**Dengue em Recife: Análise da inter-relação
entre a precipitação e os casos confirmados
sob uma perspectiva climática, geográfica e
de saúde pública**

Dissertação apresentada ao Departamento de Meteorologia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.
Versão corrigida. A original está disponível no Serviço de Pós-Graduação do IAG/USP.

Área de Concentração: Meteorologia
Orientador: Prof. Dr. Tércio Ambrizzi

São Paulo

2022

Aos meus pais e irmão

Agradecimentos

À minha família, por todo apoio e carinho que recebi ao longo dos anos;

Ao orientador, Tercio Ambrizzi, pela paciência, ensinamentos e oportunidades dadas;

Aos pesquisadores e professores do IAG que, apesar da pandemia, tornaram este processo de mestrado acolhedor e didático;

À CAPES, pelo apoio financeiro, sob o projeto nº: 88887.470153/2019-00;

Às Instituições e aos pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal de Campina Grande, University College London e Boğazici University, pelo apoio e aprendizados obtidos ao longo destes anos.

“Que ninguém demore a filosofar por ser jovem, tampouco se encontrando velho de filosofar se canse. Pois não há quem esteja pouco ou muito maduro para a saúde da alma. E dizer ou que a hora de filosofar ainda não chegou, ou que já passou da hora é igual a dizer não estar ou não ser mais a hora para a felicidade”

Epicuro

Resumo

Epidemias em larga escala de arboviroses como, por exemplo, a dengue, tem levantado um alerta para a sociedade no que diz respeito ao combate de seus principais vetores de transmissão, além da busca pelo entendimento dos ambientes propícios para os mesmos e as condições e parâmetros que têm maior peso e casualidade na forma como estes vetores vem se espalhando pelo mundo nos últimos anos. O *Aedes aegypti* é o principal vetor de transmissão no Brasil de arboviroses como dengue e zika, e sua presença e crescimento populacional está intimamente ligada com o clima tropical e as condições geográficas das cidades brasileiras. Este trabalho analisa a inter-relação entre a precipitação e os casos confirmados de dengue na cidade de Recife (PE), buscando em conjunto um paralelo com as condições de saneamento básico das cidades próximas e com a própria clínica da doença avaliando as contagens de sorotipos do dengue. É visto que a correlação direta entre a precipitação e os casos confirmados só é vista ao serem avaliadas suas médias mensais sem levar em conta os anos de picos epidêmicos, mostrando que os meses com maiores (menores) números de casos ocorrem na estação chuvosa (seca) da cidade. Também é evidenciado que as precipitações do tipo fraca, moderada e forte são as que apresentam maior ligação com os períodos de aumentos de casos na cidade. Ao serem avaliados os dados através de uma regressão multivariada, observa-se que a meteorologia tem maior influência na manutenção do ambiente propício para proliferação do mosquito através do provimento de criadouros por água da chuva e falta de coleta de lixo adequada nos municípios próximos, enquanto que os sorotipos interferem diretamente nas epidemias, de forma a elevar de forma acentuada o número de casos e sendo independente das condições meteorológicas.

Abstract

Large-scale epidemics of arboviruses, such as dengue, have raised an alert for society regarding the effort against their main transmission vectors, making the search for understanding the environments conducive and the conditions and parameters that have greater weight and causality in the way these vectors have been spreading around the world a highly targeted topic. *Aedes aegypti* is the main transmission vector in Brazil of arboviruses such as dengue and zika, and its presence and population growth is closely linked to the tropical climate and geographic conditions of Brazilian cities. This work analyzes the interrelationship between precipitation and confirmed cases of dengue in the city of Recife (PE), jointly seeking a parallel with the basic sanitation conditions of nearby cities and with the disease clinic itself, evaluating the serotype counts of dengue. It is seen that the direct correlation between precipitation and confirmed cases is only seen when their monthly averages are evaluated without taking into account the years of epidemic peaks, showing that the months with the highest (lower) numbers of cases occur in the rainy season (dry season) of the city. It is also evidenced that the weak, moderate and strong precipitations are the ones that have the greatest connection with the periods of increase cases. When evaluating the data through a multivariate regression, it is observed that the meteorology has a greater influence on the maintenance of an environment conducive to the proliferation of the mosquito through the creation of breeding sites for rainwater and lack of adequate garbage collection in nearby municipalities, while the serotypes interfere directly in the epidemics, in a way to increase sharply the number of cases and regardless of the weather conditions.

Lista de Figuras

2.1	Esquema simplificado do ciclo de vida do mosquito <i>Aedes aegypti</i>	28
2.2	Médias mensais do número de ovos coletados em ovitrampas comparados com a precipitação nos bairros do município de Recife e no arquipélago de Fernando de Noronha.	29
2.3	Imagem do dorso do <i>Aedes aegypti formosus</i> (Aaf) e <i>Aedes aegypti aegypti</i> (Aaa).....	30
2.4	Fatores que influenciam no aumento/decrécimo da população de <i>Aedes aegypti</i> , determinando sua competência vetorial para transmissão de doenças.	32
3.1	Localização geográfica da região de estudo com destaque para o município de Recife - PE	35
3.2	Regionalização dos ciclos anuais de precipitação para toda a América do Sul	36
3.3	Médias mensais de Recife - PE da estação convencional do INMET (Curado) de Precipitação, Temperatura e UR	38
3.4	Histograma das séries temporais de casos dengue em Recife-PE	43
3.5	Domínio para os experimentos com o RegCM (incluindo a topografia).....	46
4.1	Séries temporais de precipitação e casos confirmados de dengue para a cidade de Recife-PE dos anos de 2001-2019.....	48
4.2	Média mensal em Recife-PE para casos confirmados de dengue e precipitação	49
4.3	Diagramas de caixas das séries temporais de casos de dengue e precipitação em Recife-PE do ano de 2001 até o ano de 2019	52
4.4	Esquema do ciclo de vida e transmissão do Dengue com média de duração para cada período em dias	53

4.5	Distribuição das classes da série temporal de precipitação diária de 2001-2019; Histograma da classificação adotada para a série temporal da precipitação diária; Diagrama de pizza com percentual das ocorrências pelo número total de dias da série	55
4.6	Distribuição da média da contagem de ocorrência das classes de precipitação diária de 2001-2019 para Recife (PE) considerando a média calculada nas quatro estações do ano	56
4.7	Comparação entre a contagem de dias nas classes de precipitação diária para um dado mês com epidemia explosiva e a média de contagem de seu respectivo mês calculada por toda a série temporal desde 2001 até 2019	59
4.8	Porcentagem de domicílios dentro do município que recebem abastecimento de água	64
4.9	Porcentagem de domicílios dentro do município que realizam descarte de lixo em terreno baldio ou logradouro.....	65
4.10	Informações da distribuição espacial da população nas cercanias de Recife (PE) para cada município proveniente da combinação dos dados coletados no Censo IBGE 2010 e DATASUS	66
4.11	Mapeamento do uso da terra através de dados do IBGE para 2018 focalizado no município de Recife (PE) com grades de 1 km x 1 km.....	67
4.12	Previsões de casos de dengue mensais para a cidade de Recife (PE) no período de 2001 a 2019 através da regressão multivariada não binomial	69
4.13	Diagrama de Taylor das séries temporais geradas para previsão de casos de dengue mensais na cidade de Recife (PE) para as rodadas 1 e 2 comparadas com os valores observados nos postos de saúde	70
4.14	Previsões de casos de dengue diários para a cidade de Recife (PE) no período de 2013 a 2019 através da regressão multivariada não binomial	75
4.15	Diagrama de Taylor das séries temporais geradas para previsão de casos de dengue diários na cidade de Recife (PE) para as rodadas 1 e 2 comparadas com os valores observados nos postos de saúde	76
4.16	Comparação das médias mensais de precipitação para a climatologia de 1980 a 2018 na cidade de Recife (PE) entre os dados pluviométricos da estação convencional do INMET	77

4.17	Diagramas de caixas das séries temporais de precipitação mensal calculada em uma grade centrada em Recife (PE) do ano de 1980 a 2018	78
4.18	Diagrama de Taylor das séries temporais geradas pelas simulações dos modelos climáticos regionais RegERA, RegHAD e RegMPI	79
4.19	Viés de precipitação (mm/dia) comparando entre as simulações do RegCM pelas estações do ano	80
4.20	Viés de precipitação (mm/dia) comparando entre a reanálise ERA-Interim e a simulação RegERA pelas estações do ano	81
4.21	Viés de precipitação (mm/dia) comparando entre a reanálise HadGEM2-ES e a simulação RegHAD pelas estações do ano	82
A.1	Esquema simplificado de cada componente do modelo climático MPI-ESM	98

Lista de Tabelas

3.1	Ordem de classificação da precipitação diária do período de 2001 a 2019 através da técnica dos quantis para a cidade de Recife - PE com as devidas classes e probabilidades	40
3.2	Ordem de classificação da precipitação mensal do período de 2001 a 2019 através da técnica dos quantis para a cidade de Recife - PE com as devidas classes e probabilidades	41
3.3	Esquema das variáveis explanatórias utilizadas nas rodadas do modelo Binomial Negativo em cada uma das séries temporais	44
3.4	Descrição dos dados utilizados como condições iniciais e de fronteira para a realização das simulações climáticas regionais com o RegCM4.	46
4.1	Categorização da precipitação em Recife-PE da série temporal diária de 2001-2019 através da classificação pelos quantis.	54
4.2	Categorização da precipitação em Recife-PE da série temporal mensal de 2001-2019 através da classificação pelos quantis.	60
4.3	Eventos de picos epidêmicos de dengue em Recife (PE) registrados entre 2001 e 2019 com sua devida classificação de precipitação no mês e contagem de casos.....	61

Sumário

1. <i>Introdução</i>	21
1.1 Objetivo.....	22
1.1.1 Objetivos específicos	23
2. <i>Revisão Bibliográfica</i>	25
2.1 Meteorologia e seu impacto nos seres vivos.....	25
2.2 O <i>Aedes aegypti</i>	27
2.3 A arbovirose dengue	32
3. <i>Base de dados</i>	35
3.1 Área de estudo	35
3.1.1 Principais eventos que causam precipitação e climatologia de Recife	36
3.2 Dados.....	37
3.3 Classificação da precipitação	39
3.4 Modelos de Regressão	41
3.4.1 Modelo de regressão Binomial Negativo	42
3.5 Análise dos modelos regionais	45
4. <i>Resultados</i>	47
4.1 Observação	47
4.1.1 Estimativa do ciclo da doença	51
4.2 Classificação da precipitação em Recife	53
4.3 Condições de saneamento	62
4.4 Previsões e análise do modelo de regressão	65

4.5	Análise do modelo regional para precipitação	71
4.5.1	Avaliação das simulações em Recife	71
4.5.2	Comparação das simulações com dados do CPC	73
5.	<i>Conclusões</i>	83
5.1	Perspectivas para futuros trabalhos	85
	<i>Referências</i>	87
	<i>Apêndice</i>	95
A.	<i>Dados globais utilizados nas simulações do RegCM4</i>	97
A.1	ERA-Interim	97
A.2	HadGEM2-ES	97
A.3	MPI-ESM-MR	97

Capítulo 1

Introdução

Epidemias em larga escala de arboviroses como, por exemplo, a dengue, tem levantado um alerta para a sociedade no que diz respeito ao combate de seus principais vetores de transmissão (Hopp e Foley, 2001; Andrioli et al., 2020; Freire, 2021), além da busca pelo entendimento dos ambientes propícios para os mesmos e as condições e parâmetros que têm maior peso e casualidade na forma como essas doenças vem se espalhando pelo mundo nos últimos anos.

O *Aedes aegypti* é um dos principais e mais eficientes vetores de transmissão de arboviroses Hopp e Foley (2001), sendo responsável pelas grandes epidemias ocorridas no Brasil referentes a doenças como zika, dengue e chikungunya. Sua competência vetorial se dá justamente por sua altíssima capacidade adaptativa aos ambientes geográficos humanos e, em especial, nos grandes centros urbanos (Teixeira et al. (1999); Barreto e Teixeira (2006); Freire (2021)). Por esta razão, o combate a proliferação das populações de larvas deste inseto é de extrema dificuldade, uma vez que o mesmo se utiliza de fontes e utensílios de água parada para a geração de criadouros, os quais estão presentes desde locais e logradouros de acesso públicos até residências, sendo necessário grande investimento do governo em campanhas de combate ao mosquito e a cooperação de toda a comunidade de moradores. A arbovirose dengue no Brasil tem se tornado um problema epidemiológico a partir dos anos 90, havendo aumento do número de casos e presença em escala nacional nos anos seguintes (Teixeira et al., 1999; Barreto e Teixeira, 2006; Freire, 2021). Desde então, a busca pelo entendimento epidemiológico e patológico da doença foi levantada, um exemplo deste empenho é o projeto MEWAR (Mosquito population modelling for early warning system and rapid health authority response), que tem como objetivo desenvolver um Sistema de Alerta Precoce (SAP) para controlar as populações dos mosquitos responsáveis pela trans-

missão de arboviroses como Dengue, Zika e Chikungunya. A criação deste SAP depende fundamentalmente da construção de modelos espaço-temporais preditivos dos pontos de reprodução dos mosquitos (PRs), a partir de dados extraídos de várias fontes, incluindo bases de dados climaticos, epidemiológicos e de infraestrutura de água local.

A dengue é uma doença causada por um vírus, possuindo 4 formas de infecção que causam diferentes respostas imunes no indivíduo infectado, chamadas de sorotipos. A inserção dos mesmos em uma população virgem de contato precedente tem o potencial de causar epidemias explosivas, e a inter-relação entre eles numa mesma população ainda está longe da total compreensão, mas estudos apontam que a co-circulação dos mesmos tem o potencial de causar formas mais graves da doença e até epidemias (Teixeira et al. (1999); Barreto e Teixeira (2006); Silva et al. (2018)).

Na cidade de Recife (PE), localizada na costa da região nordeste do Brasil, a precipitação se mostra como variável meteorológica mais preponderante em estudos que correlacionam a mesma com o aumento e declínio de populações de larvas do mosquito *Aedes aegypti* (Santos et al. (2020)). Desta forma, torna-se de interesse público compreender de que maneira a precipitação influencia no aumento e declínio de casos de arboviroses na localidade impulsionados pelas populações de vetores.

Investigações buscando identificar os pontos de convergência entre as forçantes meteorológicas e de saúde ainda são esparsas. Entretanto, o trabalho de Lima et al. (2008), por exemplo, mostra uma boa correlação da precipitação e condições oceânicas com os casos de dengue, buscando prever esta variável nos estados de Alagoas e Paraíba através da técnica da regressão linear múltipla com dados de temperatura do oceano e precipitação. Silva et al. (2021) também apresenta bons resultados na previsão de casos desta arbovirose na cidade de Recife (PE), também aplicando a técnica da regressão linear múltipla combinada com aprendizado de máquina aos dados meteorológicos de precipitação, temperatura e umidade.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente estudo é buscar um maior entendimento da influência da precipitação para o aumento e declínio de casos da arbovirose dengue na cidade de Recife (PE), avaliada em conjunto com a influência dos sorotipos presentes na população.

1.1.1 *Objetivos específicos*

Como objetivos específicos, é buscado:

- I. Analisar as séries temporais de casos de dengue e precipitação buscando as possíveis concordâncias e discordâncias;
- II. Classificar as precipitações diária e mensal e avaliar a correspondência das respectivas classes formadas com períodos de alta e baixa de casos confirmados;
- III. Utilizar um modelo de regressão, simulando 2 cenários envolvendo apenas influência de variáveis meteorológicas e com acréscimo de informações dos sorotipos, observando os limiares de influência na contagem de casos para ambas as condições;
- IV. Mapear as condições de saneamento do município de Recife e arredores, de forma a se verificar as condições espaço geográficas dentro de cada municipalidade que podem servir para formação de criadouros de vetores;
- V. Avaliar os resultados de simulações climáticas regionais para precipitação com foco na cidade de Recife para possível uso em futuras ferramentas prognósticas de casos de dengue;

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Meteorologia e seu impacto nos seres vivos

A meteorologia é a ciência que estuda a atmosfera, ou seja, os gases que a compõem e todos os processos de transformação e movimento associados a mesma. O interesse por esta área se dá desde o início da humanidade, com a necessidade de se prever chuvas para cultivo, problemas com inundações, alagamentos e a condição ideal para viagens marítimas. Sociedades e civilizações inteiras foram fundadas com o alicerce inicial daqueles indivíduos que conseguiram compreender os padrões da atmosfera, fazendo com que se preparassem e se organizassem conforme o entendimento destes padrões avançava. Este conhecimento tornou possível o florescimento das primeiras grandes sociedades humanas, como a egípcia, aproveitando-se das cheias do rio Nilo, e a chinesa, controlando as mesmas no rio Amarelo a partir da dinastia Xia (Chen (2019); Lü et al. (2019); Su e Kidder (2019); Feng et al. (2019)).

Com o passar dos séculos, a procura pelo entendimento dos padrões do tempo foi deixando de ser uma prática puramente empírica e com tendências a interpretações no misticismo para se tornar de fato uma área a ser abordada de forma científica, introduzindo-se a utilização de instrumentos para medições de variáveis da atmosfera como, por exemplo, temperatura. Galileu Galilei teria sido um dos primeiros a inventar o termômetro e outros instrumentos no século XVII e que moldaria a forma como a meteorologia seria lidada nos anos seguintes (Camuffo (2021)). Mais tarde, no século XX, haveria um massivo desenvolvimentismo tecnológico de equipamentos voltados para esta área, como balões, barômetros, pluviômetros, entre outros, usados de forma organizada e metódica para estudar exclusivamente a atmosfera. Ao final da Segunda Guerra Mundial, radares

com finalidades militares foram sendo voltados para a sociedade civil possibilitando as previsões de curto prazo (nowcasting) de precipitação, bem como a utilização dos primeiros computadores para análises e formulações dos primeiros modelos de previsão do tempo.

Atualmente, a meteorologia é uma área do conhecimento humano sólida e estritamente científica, servindo diversos setores da sociedade como aviação, agricultura, defesa civil, geração de energia e abastecimento de água. Embora o campo seja vasto, a precipitação ainda vem sendo uma das questões de maior interesse da sociedade. Mesmo após todos estes anos de observação e estudo, ainda existem muitas dúvidas e questões a serem respondidas a respeito desta variável, não somente por ter uma alta variabilidade espacial e temporal (Calvetti et al. (2017); Borges et al. (2019)), o que a torna extremamente difícil de ser prevista e simulada em modelos computacionais de forma satisfatória, como também por esta afetar diretamente o dia-a-dia das pessoas, seja pelo impacto na disponibilidade de água para consumo, quanto pela criação do ambiente de proliferação de doenças.

A área da meteorologia interessada nestas relações entre fenômenos do tempo e clima e os seres vivos é relativamente recente, conhecida como biometeorologia. Por serem dois tópicos de complexidades muito grandes e trabalharem com variáveis de difícil isolamento, isto é, meteorologia e biologia, ainda existem muitas questões que estão longe de serem totalmente respondidas. O trabalho de Lima et al. (2008) é um exemplo deste esforço, pois mostra uma boa correlação entre a previsão de precipitação e a previsão de casos de dengue nos estados brasileiros de Alagoas e Paraíba, tendo sido possível prever de maneira satisfatória os casos nestes estados com base em dados meteorológicos. O estudo de Hopp e Foley (2001) é outro exemplo disto, constatando que fortes variações interanuais no clima afetam significativamente a ecologia de vetores de doenças. Eles apresentaram uma análise de modelagem mostrando, em escala global, conexões entre clima e desenvolvimento, distribuição potencial e dinâmica populacional do *Aedes aegypti*, o vetor principal do Dengue. Os autores encontraram boa concordância entre a distribuição global observada e modelada do mosquito.

As doenças causadas por vetores de transmissão têm recebido uma atenção especial nos últimos anos, as arboviroses, que são doenças causadas por vírus que são transmitidas por um vetor de transmissão que, no caso, são o grupo dos artrópodes (Freire (2021)). Recentemente, foram observados diversos surtos epidêmicos ao redor do mundo de doenças como Dengue, Zika e Chikungunya, doenças estas anteriormente não vistas de forma tão

alarmante por pelo menos 30 anos por conta do esforço mundial para erradicar seu principal vetor de transmissão, o mosquito *Aedes aegypti*, no combate à febre amarela, arbovirose também transmitida por este vetor (Teixeira et al. (1999); Barreto e Teixeira (2006)).

O contexto atual das mudanças climáticas tem deixado um alerta na maior parte das nações do planeta, gerando preocupação a respeito do aumento da temperatura média global, aumento da ocorrência de eventos extremos e a mudança em toda a dinâmica do planeta, inclusive nos regimes de chuva. Essas mudanças causarão uma melhor condição ambiental para vetores de doenças (Hopp e Foley (2001); Lima et al. (2016)), podendo não só aumentar o número de casos em localidades onde estes vetores já estão estabelecidos, como também por ampliar a distribuição espacial destes insetos em regiões em que não se apresentavam antes.

2.2 *O Aedes aegypti*

O *Aedes aegypti* é uma espécie de mosquito da família dos Culicidae, de origem africana, mais especificamente do Egito, de onde se origina parte de sua nomenclatura taxonômica *aegypti*, que significa “do Egito”. No Brasil é conhecido como mosquito rajado, devido a suas listras brancas na parte dorsal do corpo, ou mosquito da dengue, uma vez que é o principal vetor de transmissão desta doença no país. Seu ciclo de vida é essencialmente dependente da presença de água parada e limpa, com suas fases de ovo e larval ocorrendo dentro deste meio (figura 2.1)(Teixeira et al. (1999); Neves et al. (2000); Sobral e Sobral (2019)). Para a deposição dos ovos, estudos recentes apontam que as fêmeas deste artrópode analisam diversos fatores do ambiente, tais como a temperatura, claridade e composição da água. Quando chega a fase adulta, o mosquito tem sua fase ativa durante o período do dia, podendo percorrer uma distância de até 2.500 m para a realização da hematofagia (Neves et al. (2000)). Além disso, este inseto possui uma excelente capacidade de adaptação aos ambientes urbanos, tomando como ambientes de criadouro diversos recipientes presentes em domicílios e outras regiões das cidades.

Seu habitat ideal são regiões de clima tropical úmido (Teixeira et al. (1999); Freire (2021); Kawada et al. (2016)), sendo preferível temperaturas entre 12 °C a 36 °C (Neves et al. (2000); Farnesi et al. (2009)), elevados índices de umidade do ar e ocorrência de precipitação durante todo o ano. Por estas exigências, o mosquito é encontrado principalmente

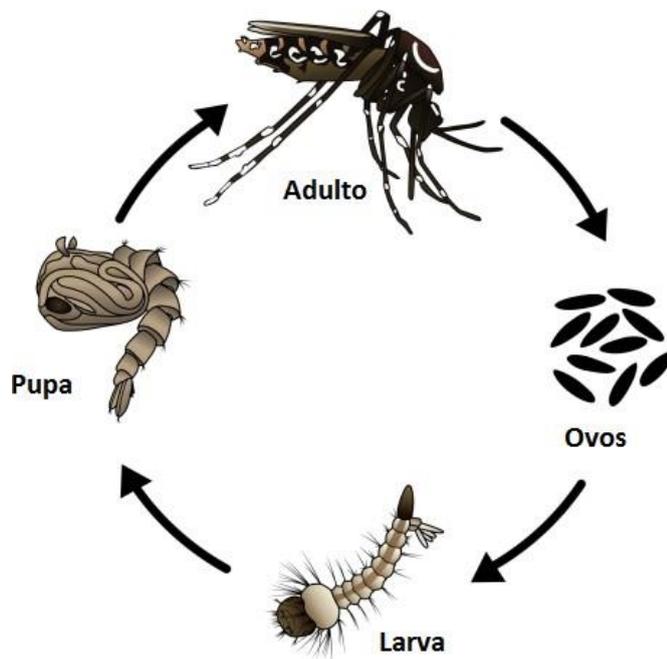


Figura 2.1: Esquema simplificado do ciclo de vida do mosquito *Aedes aegypti*. Fonte: Fundação Oswaldo Cruz. Disponível em (FIOCRUZ.)

nas regiões tropicais e subtropicais do globo, havendo nos últimos anos a presença dos mesmos em faixas mais extratropicais como, por exemplo, Argentina e região nordeste dos Estados Unidos. Nestas regiões em que há uma maior variabilidade do clima de acordo com as estações do ano, nota-se que a precipitação é o principal fator para aumento e declínio das populações do mosquito, provocando aumento de registros de casos de arboviroses nas épocas de chuva e declínio nas épocas de seca. O mesmo se observa para a temperatura, com queda de casos nos períodos de inverno (temperaturas mais baixas) e aumento de casos no verão (temperaturas mais altas). Nos trópicos, por não haver uma grande variabilidade anual de temperatura, a precipitação acaba sendo o único fator determinante para proliferação do inseto. Esta dinâmica é discutida no trabalho de Santos et al. (2020), que realizou um estudo em Recife e Fernando de Noronha e aponta a precipitação como parâmetro meteorológico com correlação mais significativa ao crescimento e proliferação de populações de larvas do mosquito *Aedes aegypti* coletados em ovitrampas localizadas em diferentes regiões destas localidades, conforme mostrado na figura 2.2.

O estudo feito por Ferreira et al. (2018) na cidade de Araraquara, interior do estado de São Paulo, também aponta para esta relação entre o aumento do número de casos da ar-

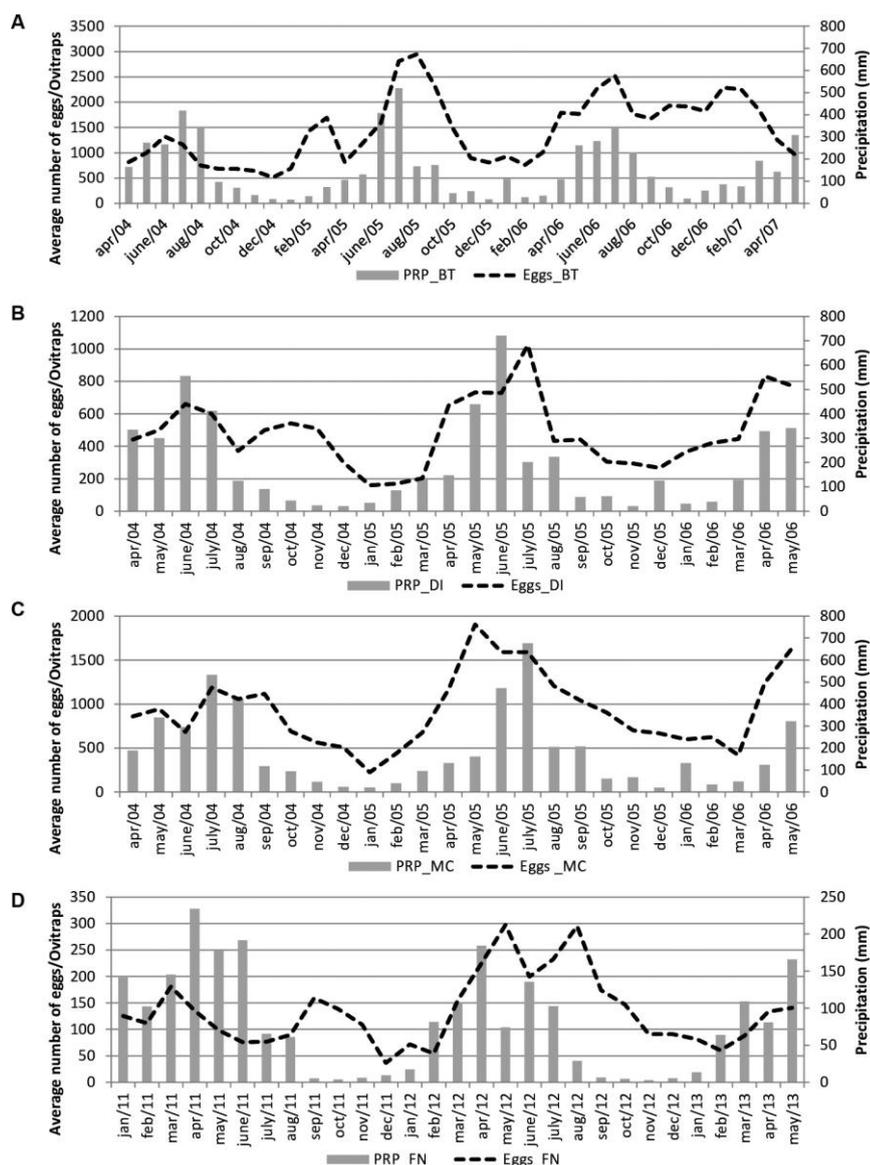


Figura 2.2: Médias mensais do número de ovos coletados em ovitrampas comparados com a precipitação nos bairros do município de Recife em: (A) Brasília Teimosa (BT), (B) Dois Irmãos (DI), (C) Morro da Conceição (MC) e no (D) Arquipélago de Fernando de Noronha (FN) Fonte: Santos et al. (2020).

bovirose dengue com a chegada das épocas de chuvas, sendo observado maiores incidências ocorrendo com o aumento da pluviosidade na cidade.

Esta espécie inicialmente não possuía hábitos antropofílicos, procurando outros animais para realizar a alimentação e vivia unicamente nas florestas ao norte do continente africano, fazendo seu depósito de ovos em buracos de árvores. Com o início da formação dos primeiros assentamentos humanos, alguns indivíduos desta espécie começaram a se alimentar do sangue dos mesmos, iniciando um lento processo de “domesticação”, conforme iam se

adaptando aos ambientes dos homens os quais se tornavam fonte estável e abundante de alimento.

A desertificação do Saara, ocorrida por volta de 4000 a 6000 anos atrás, fez com que este processo de adaptação fosse intensificado (Powell e Tabachnick (2013)), dividindo as populações do mosquito na parte sul do Saara, com acesso a água e comida nas florestas e animais, e na parte norte, sem acesso a ambos e com a presença majoritária dos assentamentos humanos já estabelecidos nesta localidade. Desta forma, os indivíduos que conseguiram se adaptar melhor ao homem e se alimentarem do sangue do mesmo foram selecionados, dando origem a duas subespécies do *Aedes aegypti*, o *Aedes aegypti formosus* (Kawada et al. (2016)), restrito mais as florestas subsaarianas e não presente em grandes populações nos ambientes urbanos, e o *Aedes aegypti aegypti* (figura 2.3, localizado mais ao norte do continente africano e com uma boa capacidade de adaptação ao homem.



Figura 2.3: Imagem do dorso do *Aedes aegypti formosus* (Aaf) e *Aedes Aegypti aegypti* (Aaa).
Fonte: Kawada et al. (2016).

Devido a este alto grau de adaptabilidade aos ambientes domésticos, o mosquito rapidamente se tornou abundante em cidades e começou a se espalhar para as demais regiões do globo, aumentando desta forma sua competência vetorial para diversos vírus, como, por exemplo, a dengue. O combate a proliferação do mosquito *Aedes aegypti* é de extrema

dificuldade, uma vez que está vinculado com grandes esforços e investimentos do poder público e, ademais, a colaboração de toda a comunidade de moradores e aos padrões sociais da sociedade como um todo, indicando que a proliferação de doenças, como a dengue, tem uma forte ligação com a organização social dentro das comunidades urbanas, sendo a desigualdade social um fator chave para amplificação da proliferação deste vetor (Teixeira et al. (1999); Mendonça et al. (2009)).

Um exemplo do fator da desigualdade e de gerenciamento público aquém do necessário é a falta de serviços de água nas favelas e comunidades de alto risco, o que leva ao armazenamento de água potável nos ambientes domésticos. Recipientes de água descobertos e outros podem se tornar *hotspots* de reprodução, fazendo com que o mosquito transmissor da doença se prolifere com facilidade pelas cidades. Outros desafios para o acesso e gerenciamento da água surgem das águas pluviais durante as frequentes estações das monções no nordeste do Brasil. Essa é uma questão específica nas regiões semiáridas de Pernambuco, onde as populações tendem a armazenar água para consumo nos meses áridos. Apoiar as comunidades com gestão sustentável da água e aumentar sua conscientização sobre riscos e estratégias de controle é essencial para impedir a propagação de doenças.

A condição de saneamento básico e coleta de lixo dentro da cidade também é de suma importância no combate ao vetor. Apesar de uma etapa do ciclo de vida do mosquito depender dos tipos de reservatório de água disponíveis, na ausência de água limpa o mesmo consegue realizar a deposição de ovos em outros ambientes como, por exemplo, esgotos a céu aberto (Beserra et al. (2009)). A falta de coleta de lixo também pode gerar criadouros de mosquito em ambientes das cidades fora dos domésticos, Sobral e Sobral (2019), por exemplo, mostraram que uma melhor coleta de lixo urbano, em especial lixo doméstico e coleta de pneus, causa um decréscimo significativo no número de casos de dengue na cidade de Recife – PE, fato este devido a remoção de potenciais focos de larvas.

A figura 2.4 oferece uma síntese dos fatores que influenciam direta e indiretamente na presença do *Aedes aegypti* em uma dada localidade, afetando na sua competência vetorial que, por consequência, influenciará no aumento de casos de arboviroses. Destaque ao clima que é o único subfator que influencia diretamente na presença do vetor, uma vez que, não importando se há a presença de criadouros em abundância, o clima determinará as reais condições de sobrevivência do mosquito através principalmente da temperatura e precipitação.

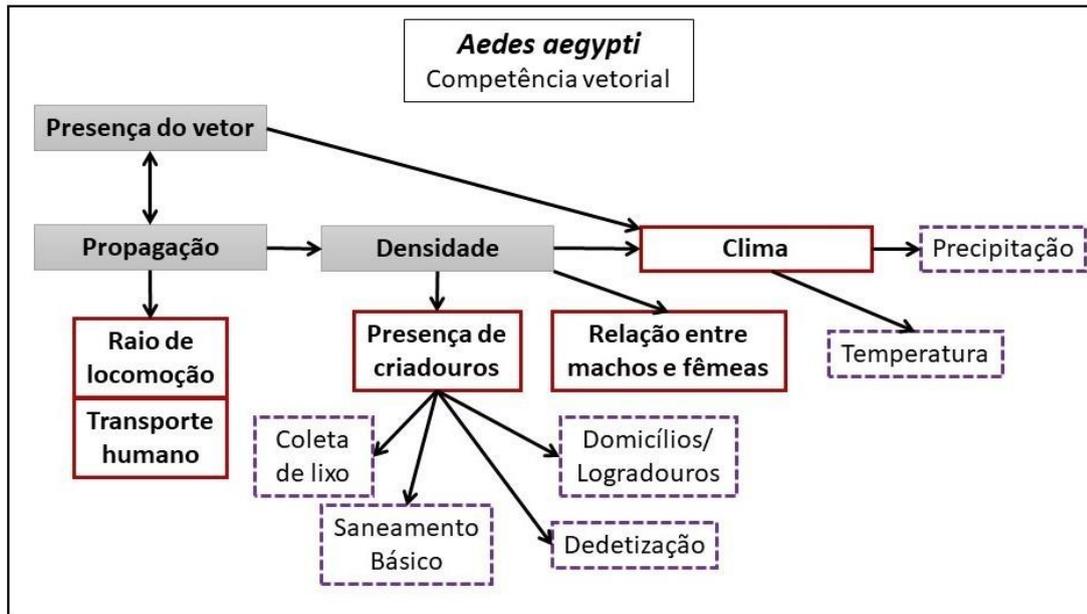


Figura 2.4: Fatores que influenciam no aumento/decréscimo da população de *Aedes aegypti*, determinando sua competência vetorial para transmissão de doenças. A direção das setas indica os fatores que afetam diretamente a caixa correspondente. Fonte: feito pelo autor.

Todos os fatores apresentados interferem na competência vetorial do *Aedes aegypti*, que corresponde a capacidade intrínseca que o mesmo possui de ser infectado e transmitir arbovírus para hospedeiros (Guedes, 2012). Esta capacidade será determinada por diversas variáveis, tais como as características do vírus em questão, as barreiras de imunidade do vetor e do hospedeiro e as condições tanto geográficas quanto climáticas (Gil et al., 2010).

2.3 A arbovirose dengue

As arboviroses são doenças causadas por vírus que são transmitidas por um vetor de transmissão específico: os artrópodes. A dengue, doença que, atualmente, tem causado muitos surtos de epidemia nas américas, inclusive no Brasil, é um exemplo disto. Pertencente à família dos Flaviviridae, esse vírus é transmitido principalmente, mas não unicamente, pelo mosquito *Aedes aegypti*. Com duração de 5 a 7 dias, os sintomas característicos apresentam quadro de febre alta e podem ser seguidos por fenômenos hemorrágicos e insuficiência circulatória (Brasil (2002)).

Nas décadas de 50 e 60 houve um esforço global no combate à febre amarela, o que levou a erradicação do vetor no Mediterrâneo e grande parte das Américas. Entretanto, os

esforços e cuidados técnicos para evitar uma nova infestação do mesmo não foram seguidos de forma satisfatória nos anos seguintes, levando ao ressurgimento deste vetor nos anos 70 o qual, aliado à sua alta adaptabilidade aos ambientes urbanos que favorece sobremaneira sua dispersão e elevação das densidades populacionais, causou, por fim, grandes surtos epidêmicos de dengue no final do século (Teixeira et al. (1999); Neves et al. (2000); Barreto e Teixeira (2006)).

O vírus da dengue foi identificado de fato como um vírus em 1907, sendo um dos primeiros micro-organismos a serem denominados desta forma. O isolamento do mesmo, todavia, só ocorreria 36 anos depois por Hotta (1952). Este isolamento seria o primeiro passo para a identificação das cepas, ou sorotipos, que mais tarde seria identificado como complexo dengue. A primeira seria, inicialmente, chamada de Mochizuki por Hotta em 1944, a segunda seria identificada na Nova Guiné em 1945 por Schlesinger, quando este observou que o vírus neste país gerava uma resposta imune (i.e anticorpos) distinta da comparada com a cepa Mochizuki, sendo possível considerar, desta forma, 2 sorotipos do mesmo vírus: o Mochizuki como sorotipo 1 (DENV-1) e o encontrado na Nova Guiné como sorotipo 2 (DENV-2). Mais tarde, seriam isolados os sorotipos 3 (DENV-3) e 4 (DENV-4) na epidemia de dengue hemorrágico ocorrida em 1956, no Sudeste Asiático (Teixeira et al. (1999); Barreto e Teixeira (2006)).

A dinâmica de inter-relação entre os sorotipos é objeto de estudo de demasiado interesse nos últimos anos, sendo um dos principais fatores que determinará a gravidade e os possíveis surtos futuros da doença (Coelho et al. (2019)). Quando um sorotipo é inserido pela primeira vez em uma população que não havia tido contato anteriormente, é visto em casos históricos a ocorrência de epidemias explosivas, como, por exemplo, a ocorrida em 2002 no Brasil oriunda da chegada do sorotipo DENV-3 no país (Barreto e Teixeira (2006); Castanha (2011); Andrioli et al. (2020)). A relação entre eles enquanto circulam também tem o potencial de causar não só epidemias explosivas, como também, gerar casos mais graves da doença (Tauil (2001); Barreto e Teixeira (2006); Castanha (2011)), conforme os observados nas epidemias ocorridas no Sudeste asiático dos quais registra-se milhares de quadros hemorrágicos (Barreto e Teixeira (2006)). O Brasil atualmente apresenta os 4 sorotipos, mas as maiores epidemias de quadros hemorrágicos registradas só foram ocorrer com a entrada e permanência destes sorotipos, tal qual as epidemias de 2010 e 2015.

Após períodos epidêmicos desta doença, é comum ocorrer um declínio considerável de

casos nos meses seguintes. Este padrão associa-se com a imunidade de grupo obtida pela população a qual foi exposta por determinado sorotipo. Uma vez obtida imunidade, o indivíduo não poderá contrair a doença novamente, não obstante o mesmo pode ainda ser infectado pelos demais sorotipos que podem vir a circular (Teixeira et al., 1999).

Por se tratar do mesmo vírus, mas com 4 tipos antigênicos distintos, não há evidência de imunidade cruzada permanente entre os sorotipos (Singhi et al. (2007)), havendo o risco de contração de forma mais grave da doença caso o indivíduo já tenha sido infectado no passado. As formas de infecção da doença podem ser classificadas como assintomática (quando não há sintomas), doença febril não-diferenciada ou síndrome viral (quando há sintomas, mas sem diagnóstico diferencial), dengue, e dengue hemorrágico (DH), sendo esta última podendo ser dividida em DH sem choque e Síndrome do Choque associada ao Dengue (SCD) (Singhi et al. (2007)). O quadro Dengue Clássico (DC) é classificado quando o paciente é assintomático ou apresenta formas leves dos sintomas, enquanto o DH define-se quando os sintomas evoluem para as formas mais graves da doença, com hemorragias e insuficiência circulatória (Brasil (2002); Tauil (2001); Barreto e Teixeira (2006)).

Pelo fato da doença apresentar quadros assintomáticos ou mesmo leves, a contabilização de casos por parte das agências públicas e privadas de saúde sempre deve ser tratada com cautela considerando uma subestimação da quantidade real de casos, uma vez que esta contabilização se dá quando o paciente sente os sintomas e vai em busca de tratamento em alguma unidade de saúde a qual irá fazer o devido registro. Em quadros assintomáticos ou leves, o paciente muitas vezes não vê necessidade de buscar tratamento, e logo este caso não será considerado no banco de dados, mesmo sendo um quadro de dengue.

Capítulo 3

Base de dados

3.1 Área de estudo

O município de Recife está localizado na região nordeste do Brasil no estado de Pernambuco, sendo destacado na figura 3.1.

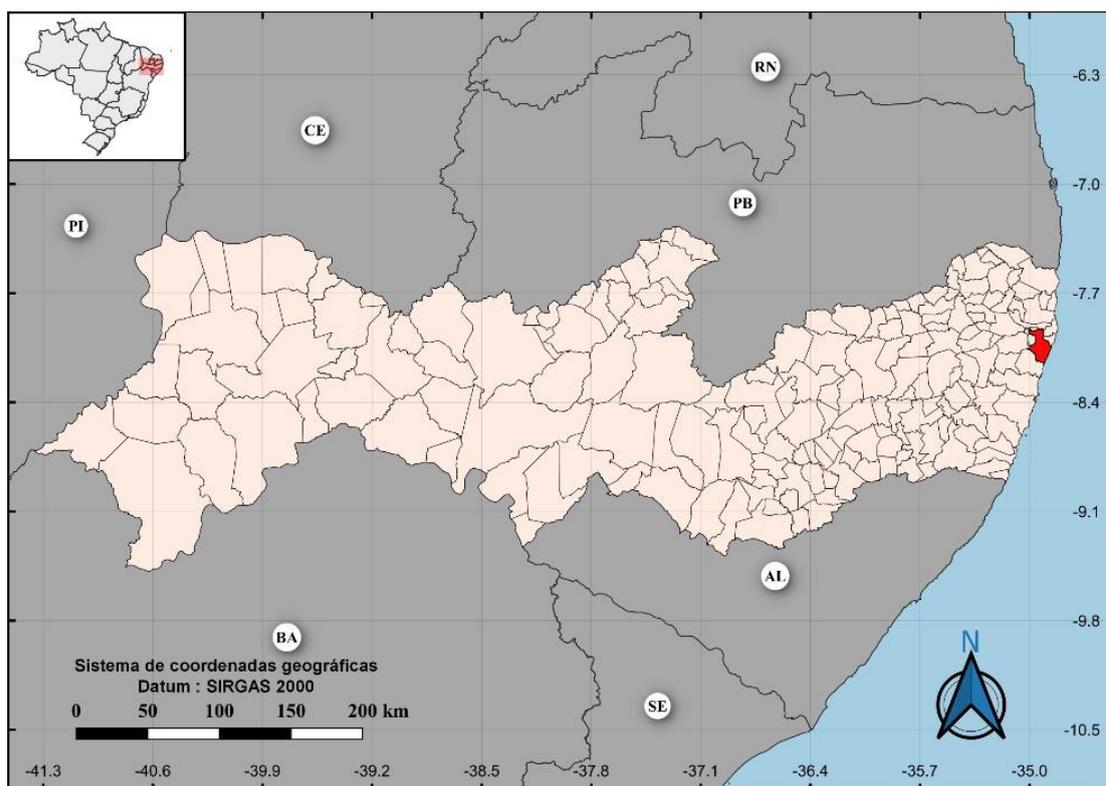


Figura 3.1: Localização geográfica da região de estudo com destaque para o município de Recife - PE (vermelho). Fonte: feito pelo autor.

3.1.1 Principais eventos que causam precipitação e climatologia de Recife

A climatologia de eventos na escala sinótica para a região de Recife - PE é muito diversa. Reboita et al. (2010) realizou um levantamento bibliográfico sobre os regimes de precipitação na América do Sul e descreveu alguns eventos que influenciam no regime anual de chuva para a região de Recife - PE, caracterizada em seu trabalho como Região 6 (R6), conforme a figura 3.2. Os máximos de precipitação nesta localidade ocorrem no primeiro semestre do ano.

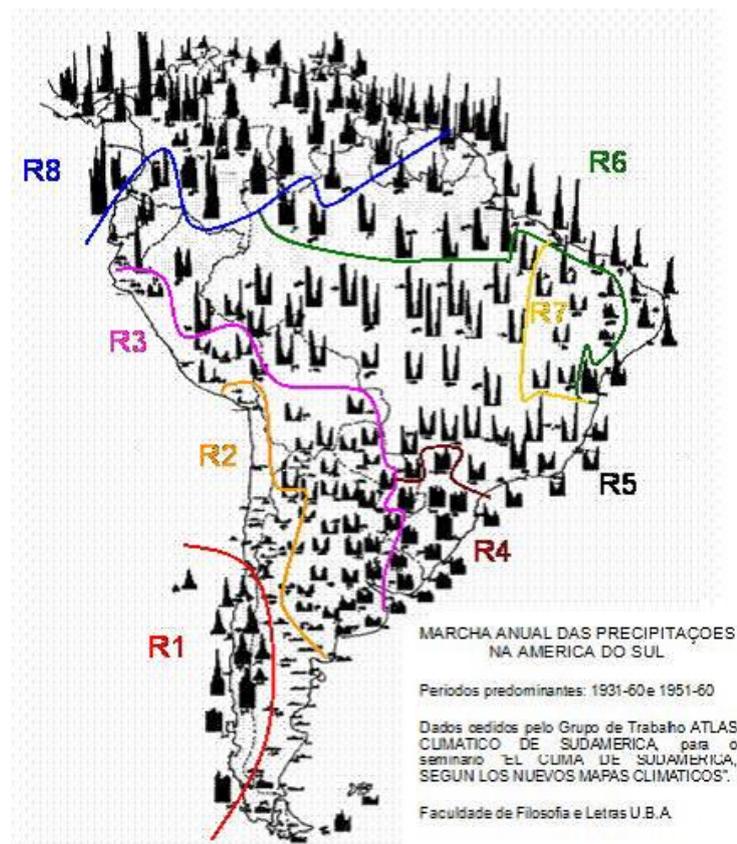


Figura 3.2: Regionalização dos ciclos anuais de precipitação para toda a América do Sul. Fonte: Reboita et al. (2010).

Na região 6 é descrito que a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) tem um papel constante no que diz respeito ao transporte de umidade para esta localidade, podendo variar a intensidade conforme o posicionamento deste sistema sobre o Atlântico (Moscati (1991)). Os distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) também apresentam um papel fundamental em trazer precipitação para a região, sendo definidos como perturbações geradas no campo de pressão com quebra na faixa de nebulosidade na região tropical do globo,

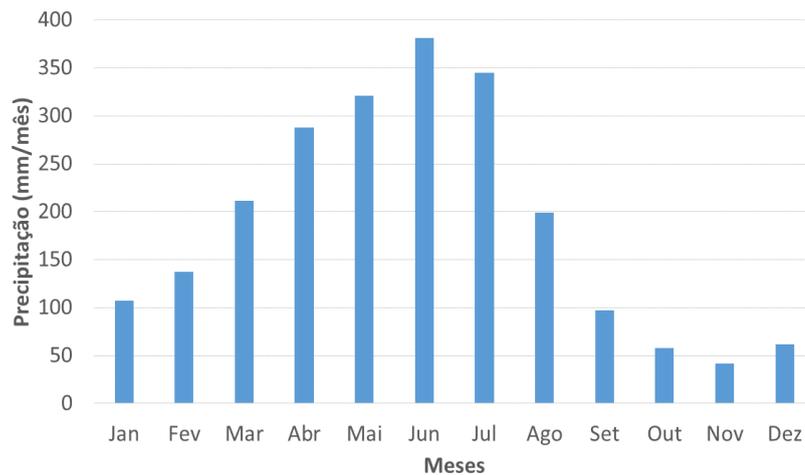
com um deslocamento de leste para oeste (Y. Yamazaki (1977); Ferreira e Schubert (1997); Gomes et al. (2015)). Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) também se mostram importantes para a influência no regime de chuva, sendo definidos como uma região de vórtice em altos níveis impulsionados pelo aumento de advecção quente em 850 hPa na costa sudeste do Brasil ligado ao deslocamento de uma frente fria rumo aos trópicos (Kousky e Gan (1981)).

A cidade de Recife – PE, localizada na região costeira do Nordeste Brasileiro, apresenta sua estação chuvosa nos meses de maio a julho, enquanto que em dezembro, janeiro e fevereiro apresentam os menores índices pluviométricos. Devido a sua posição geográfica (i.e., litoral e próxima a linha do Equador), a temperatura e umidade relativa do ar não apresentam alterações significativas ao longo do ano, mantendo-se praticamente constantes (figura 3.3(b)).

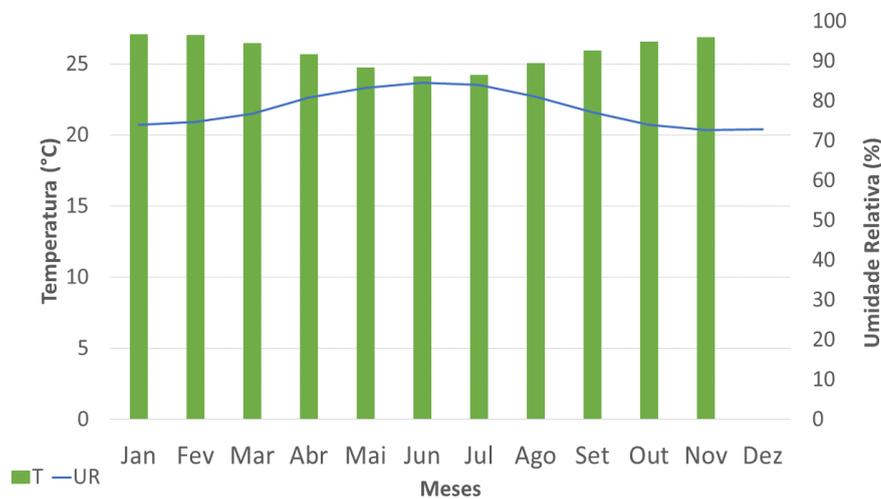
3.2 Dados

Os números de notificações de casos confirmados de dengue são obtidos através da plataforma pública disponibilizada pelo Sistema Único de Saúde brasileiro (SUS), DATASUS, para a cidade de Recife – PE no período de 2001 até 2019. Estes números encontram-se na frequência temporal mensal, representando as notificações por unidade de saúde referentes ao município de residência do paciente (i.e., Recife – PE) considerando apenas os casos confirmados, sendo descartadas da análise as classificações “descartado”, “ignorado/branco” e “inconclusivo”. Dados na frequência diária também são obtidos através do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) que, por sua vez, estão disponíveis do período de 2013 até 2019 e, novamente, referentes ao município de residência do paciente para Recife - PE de forma a se amenizar os casos aloctones.

Com relação a informação referente a contagem de sorotipo isolado por paciente, utiliza-se os dados disponíveis na plataforma pública DATASUS referentes ao período de 2013 a 2019 na frequência mensal. Não foi encontrado um banco de dados que corresponda ao mesmo período e na mesma densidade comparado com os obtidos para os casos confirmados de dengue (i.e., de 2001 a 2019 na frequência mensal e 2013 a 2019 na frequência diária). Desta forma, para a utilização deste tipo de informação nas análises vindouras do presente trabalho, são selecionados, tentando cobrir os anos de 2001 a 2012, os valores medidos



(a) Precipitação



(b) Temperatura e UR

Figura 3.3: Médias mensais de Recife - PE da estação convencional do INMET (Curado) com os dados abrangendo de 1980 a 2018 referentes as variáveis: (a) Precipitação, (b) Temperatura e Umidade Relativa. Fonte: feito pelo autor.

em estudos de caso para a cidade de Recife, sendo considerados os dados obtidos em Montenegro et al. (2006) para o ano de 2002, Castanha (2011) para os anos de 2005 e 2006 e Silva et al. (2018) dos anos de 2007 a 2009.

Nos anos em que a ausência de informação permaneceu, considera-se o sorotipo DENV-1 como predominante nos períodos sem epidemias, conforme discutido na literatura (Barreto e Teixeira (2006)). De forma a se considerar o impacto que cada sorotipo causa na contagem de casos e com o intuito de simular os efeitos de inter-relação e predominância de cada tipo dos mesmos na população, são aplicados os valores percentuais dos sorotipos calculados a

partir da contabilização total de testagem realizada.

Os dados meteorológicos são coletados da estação convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada em Recife (PE) (Curado – cód. 82900) para o mesmo período disponível dos dados de dengue na frequência mensal (2001 a 2019) e diária (2013 a 2019). As variáveis coletadas para análise são: insolação, precipitação, temperatura, dias de precipitação (disponível somente mensalmente), pressão atmosférica, umidade relativa e umidade relativa mínima (disponível somente diário).

Para uma visualização espacial das condições de saneamento básico que favorecem o surgimento de criadouros de mosquito, são obtidos dados do último Censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados referem-se à quantidade de domicílios em cada município do Brasil que utilizam de um determinado tipo de saneamento básico. Para o devido mapeamento, calcula-se a porcentagem destas informações com relação ao número total de domicílios presentes nos respectivos municípios. Os mapas, com foco na cidade de Recife (PE), expõem o abastecimento de água proporcionado por carros-pipas e por armazenamento de água da chuva, bem como avalia-se o descarte de lixo em terreno baldio ou logradouro.

Obtêm-se também dados de uso do solo no ano de 2018 para estado de Pernambuco do produto gerado pelo IBGE intitulado Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil, que utiliza imagens de satélite para compor um mapa que possua grades estatísticas de 1 km² em todo o território nacional, informando nestas grades as classes de cobertura identificadas na área como pastagem com manejo, vegetação florestas, área artificial, etc. (IBGE (2020)).

Também são utilizados para mapeamento da precipitação sobre toda a América do Sul o conjunto de dados do Climate Prediction Center (CPC, Chen et al. (2008)), sendo provenientes de pluviômetros e interpolado para uma grade de 0.50° x 0.50°.

3.3 Classificação da precipitação

Para analisar qual o tipo de precipitação diária tem mais impacto nos casos de dengue em Recife – PE, realizou-se uma classificação desta variável seguindo a técnica dos quantis. Conforme descrito por Monteiro et al. (2012), os quantis tratam-se de medidas de separação para os dados, segmentando a amostra em duas partes com elementos da amostragem

Tabela 3.1 - Ordem de classificação da precipitação diária através da técnica dos quantis para a cidade de Recife - PE com as devidas classes e probabilidades, sendo Q_y ($y = 5\%, 25\%, 50\%, 75\%$ e 95%) o limite quantil utilizado para cada classificação e y o valor de precipitação da amostragem. Fonte: adaptado de Souza et al. (2012).

Classificação	Quantil
Dia Seco	$y < Q_{0,05}$
Muito Fraca	$Q_{0,05} \leq y < Q_{0,25}$
Fraca	$Q_{0,25} \leq y < Q_{0,50}$
Moderada	$Q_{0,50} \leq y < Q_{0,75}$
Forte	$Q_{0,75} \leq y < Q_{0,95}$
Muito Forte	$y \geq Q_{0,95}$

localizados à esquerda e à direita da referente ordem quantílica P , a qual determinará a quantidade de elementos presentes nessas duas partes Xavier et al. (2007).

Este cálculo corresponde a técnica proposta inicialmente por Pinkayan (1966) e utilizada posteriormente por Monteiro et al. (2012) e Souza et al. (2012) aplicando estes princípios para classificar a precipitação em Recife – PE.

Inicialmente, considera-se dia seco todo valor menor que 2 mm/dia, uma vez que valores nesta magnitude não geram impacto significativo no que diz respeito ao abastecimento de água e infiltração no solo (Souza et al. (2012)). Após isso, coloca-se os valores restantes em ordem crescente e aplica-se a equação 3.1, referente a técnica dos quantis:

$$Q(P) = y_i + \left(\frac{P - P_i}{P_{i+1} - P_i} \right) * (y_{i+1} - y_i) \quad (3.1)$$

$$P_i = \left(\frac{i}{(N + 1)} \right) \quad (3.2)$$

Sendo $Q(P)$ o quantil correspondente à ordem quantílica P , i o número da ordem de cada dado organizado em ordem crescente, y o valor de precipitação para cada ordem, N o número de elementos da série e P_i a ordem quantílica.

No estudo de Souza et al. (2012) é definido uma ordem de classificação da precipitação diária com a técnica dos quantis para Recife – PE, conforme ilustrado na tabela 3.1, a qual também foi aplicada no presente trabalho.

Para a caracterização da precipitação mensal, foi utilizado o mesmo método mas para diferentes intervalos quantílicos, seguindo a análise proposta por Monteiro et al. (2012), tais limiares podem ser visualizados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Ordem de classificação da precipitação mensal através da técnica dos quantis para a cidade de Recife - PE com as devidas classes e probabilidades, sendo Q_y ($y = 15\%, 35\%, 65\%$ e 85%) o limite quantil utilizado para cada classificação e y o valor de precipitação da amostragem. Fonte: adaptado de Monteiro et al. (2012).

Classificação	Quantil
Muito seco	$y \leq Q_{0,15}$
Seco	$Q_{0,15} < y \leq Q_{0,35}$
Normal	$Q_{0,35} < y < Q_{0,65}$
Chuvoso	$Q_{0,65} \leq y < Q_{0,85}$
Muito chuvoso	$y \geq Q_{0,85}$

3.4 Modelos de Regressão

Quando procura-se entender a relação entre variáveis e como elas se influenciam, busca-se o que é chamado de análise de regressão. Através de uma expressão matemática, é possível estimar um valor de uma variável dependente Y sendo regida por outras n variáveis independentes X , observando quais destas variáveis é a mais significativa perante a mesma variável dependente. Apesar de inicialmente não existir relação causal entre as variáveis analisadas como, por exemplo, casos de dengue e precipitação no município, é possível fazer esta estimativa por meio desse método (Hoffmann, 2015).

De forma generalizada, a análise de regressão pode ser expressa por:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (3.3)$$

Sendo Y a variável independente a qual desejamos prever, f uma função descrita pelas variáveis independentes ou explanatórias X_n ($n = 1, 2, \dots, n$).

As características da variável dependente e da série temporal determinarão o tipo de análise e modelo de regressão a serem utilizados, uma vez que não existe um método único para aplicação. Por exemplo, no caso de as variáveis apresentarem um comportamento que se aproxime de uma função linear, aplica-se a regressão linear simples ou multivariada, dependendo é claro da quantidade de variáveis explanatórias disponíveis. A própria característica da variável dependente tem um peso, podendo ser quantitativa (discreta ou contínua) ou qualitativa, sendo também para cada caso havendo diversos métodos para realização de uma análise de regressão.

Apesar de ser uma área da estatística bastante estudada, sua aplicação na meteorolo-

gia e saúde ainda é relativamente recente. Lima et al. (2008), por exemplo, fez uso deste método de forma a tentar prever a contagem de casos de dengue nos estados de Alagoas e Paraíba com informações referentes às condições térmicas do oceano Atlântico, índice Oscilação Sul e precipitação através de uma regressão linear múltipla. Ainda que se tenham encontrado resultados satisfatórios para a previsão dos casos (tanto espacial quanto temporalmente), a utilização de um modelo linear acarretou em algumas imprecisões derivadas das próprias limitações do método, sendo levantado a hipótese que a aplicação de um modelo não-linear melhore as previsões.

3.4.1 Modelo de regressão Binomial Negativo

Neste trabalho é utilizado um modelo de regressão do tipo Binomial Negativo através da linguagem de programação Python aplicando a biblioteca Statsmodels na versão 0.13.1. A escolha deste método é feita com base nas características da série temporal de casos de dengue na cidade de Recife – PE. Os dados da série são do tipo quantitativos discretos e apresentam superdispersão na distribuição dos dados (figura 3.4), significando que a variância é maior do que a média, tanto para os dados mensais quanto diários. Estas características são requisitadas para aplicação do tipo de modelo de regressão escolhido (Cameron e Trivedi (1998)).

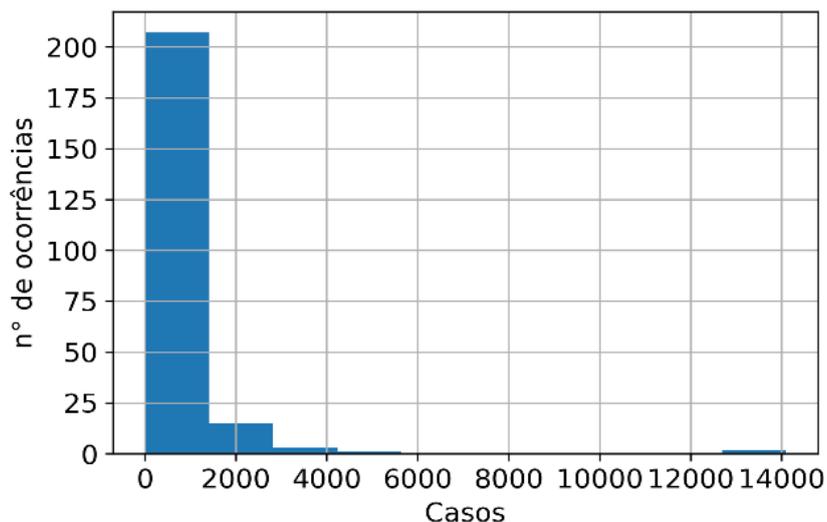
O modelo Binomial Negativo utilizado é o tipo 2 (NB2), que significa que a variância da variável dependente é dada como:

$$V \text{ariância} = \text{media} + \alpha * \text{media}^2 \quad (3.4)$$

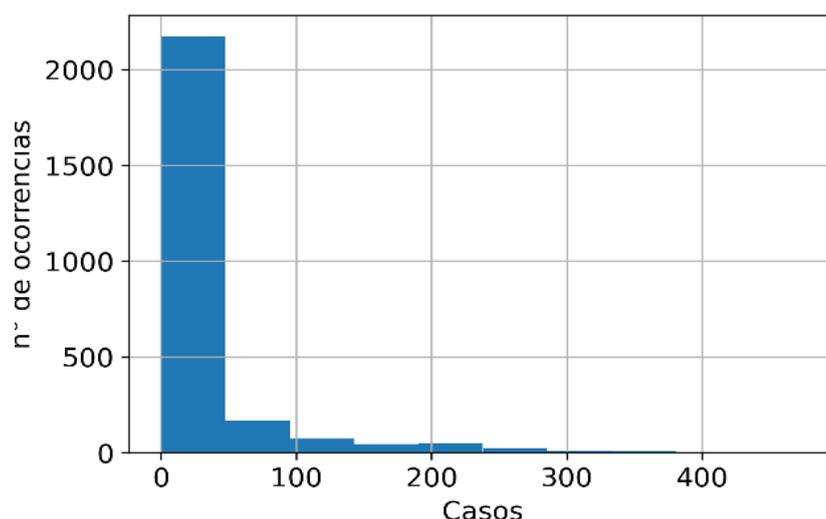
Com α sendo o parâmetro de determinação da variância (Cameron e Trivedi (1998)). Para a obtenção do mesmo, Cameron e Trivedi (1998) descrevem o uso da regressão dos mínimos quadrados ordinários auxiliar sem uma constante, cuja expressão é mostrada na equação 3.5:

$$\frac{(y_i - \mu_i)^2 - y_i}{\mu_i} = \alpha \mu_i + u_i \quad (3.5)$$

Desta expressão, tem-se que y_i seria o i -ésimo valor de casos de dengue, μ_i o vetor de taxa de ocorrência, característico para dados do tipo contagem, e u_i o erro associado. Desta forma, é possível encontrar o parâmetro de variância α isolando-o da expressão, uma



(a) Casos de dengue mensais (2001-2019)



(b) Casos de dengue diários (2013-2019)

Figura 3.4: Histograma das séries temporais de casos dengue em Recife-PE sendo (A) dados mensais do período de 2001-2019 e (B) dados diários de 2013-2019. Fonte: feito pelo autor.

vez os demais termos são conhecidos e calculados no software mencionado acima.

A equação do modelo de regressão binomial negativo multivariado é definida por:

$$y_i^r = \exp(\beta_0^r + \sum_p x_{p,i}^r \beta_{p,i}^r) \quad (3.6)$$

Sendo o parâmetro do modelo y_i o número de casos de dengue registrados no mês ou dia i , β_0 o intercepto e x_p representa as variáveis explanatórias, onde $p = 1, 2, 3, \dots, n$; β_p representa os níveis de associação entre cada variável meteorológica e os casos de dengue.

Tabela 3.3 - Esquema das variáveis explanatórias utilizadas nas rodadas do modelo Binomial Negativo em cada uma das séries temporais. Considera-se as informações referentes a contagem de sorotipos (DENV) como porcentagens do total de testagens realizadas. Fonte: feito pelo autor.

Frequência	Rodada	Variáveis
Mensal	1	Insolação; precipitação; temperatura; dias de precipitação; pressão; umidade relativa
Mensal	2	Insolação; precipitação; temperatura; dias de precipitação; pressão; umidade relativa; DENV-1; DENV-2; DENV-3; DENV-4
Diária	1	Insolação; precipitação; temperatura; pressão; umidade relativa; umidade relativa mínima
Diária	2	Insolação; precipitação; temperatura; pressão; umidade relativa; umidade relativa mínima; DENV-1; DENV-2; DENV-3; DENV-4

Para o presente trabalho, são realizadas 2 rodadas para cada série temporal de casos de dengue, sendo a primeira somente com os dados meteorológicos como variáveis explanatórias e a segunda com a adição das informações de contagem de sorotipo, conforme mostra a tabela 3.3. Em todas as rodadas, cada variável é isolada e as demais variam sistematicamente de forma a se obter o grau de influência das mesmas sobre a variável dependente (Lima et al. (2008)). Obtendo esta informação, o modelo prevê valores de casos de dengue escolhidos de forma aleatoria ao longo da série temporal.

Com isso, mede-se a performance do modelo, nas duas rodadas, através do cálculo da correlação dos casos previstos com os dados de casos observados, medindo também a incerteza da previsão com base nos desvios médios destas mesmas séries conforme descrito por Lima et al. (2008).

$$Desvio_{previsto} - Desvio_{observado} = Erro \quad (3.7)$$

De forma a se avaliar a evolução entre as rodadas, são calculados os desvios padrões e os coeficientes de correlação entre as séries de casos previstos e observados, sendo dados por:

$$R = \frac{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{n=1}^N (C_p - \bar{C}_p)(C_o - \bar{C}_o)}{\sigma_{C_p} - \sigma_{C_o}} \quad (3.8)$$

Sendo N o número de pontos de tempo ou espaço, C_p (C_o) os casos previstos (obser-

vados), $\overline{C_p}$ ($\overline{C_o}$) a média dos casos previstos (observados) e σ_{C_p} (σ_{C_o}) o desvio padrão da série de casos previstos (observados).

Valores de R iguais ou próximos a 1 indicam que as séries temporais avaliadas apresentam o mesmo padrão de variação, mas não significa que sejam idênticas entre si (Taylor, 2001). Para visualização desta análise, são produzidos diagramas de Taylor (Taylor, 2001) que apresentam justamente as correlações e desvios padrões de cada rodada realizada comparadas com o referencial que, neste caso, são os casos confirmados de dengue observados nas unidades de saúde.

3.5 Análise dos modelos regionais

A última etapa do presente trabalho consiste na análise de simulações do modelo climático regional Regional Modeling Climate System (RegCM, versão 4, Giorgi et al. (2012)) com espaçamento de grade de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, de forma a verificar sua capacidade de simular o clima presente na região de estudo. Estas simulações já são realizadas no âmbito do projeto MEWAR para avaliar sua capacidade de prever o clima presente e futuro, possibilitando analisar potenciais impactos das Mudanças Climáticas no Sistema de Alerta Precoce que está sendo desenvolvido no projeto temático

O domínio das simulações inclui toda a América do Sul e oceanos adjacentes (figura 3.5), sendo compatível com os propostos pelo CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment; Giorgi et al. (2009)), garantindo assim um vasto conjunto de referências para estudos adicionais posteriores.

Os dados utilizados para as simulações estão presentes na tabela 3.4, totalizando três simulações com fontes de dados globais distintas. Os dados gerados das mesmas são médias diárias de precipitação calculadas a cada 3 horas, sendo interpolados para a grade de $0.50^\circ \times 0.50^\circ$ no período histórico de 1980 a 2018. Para validar os resultados, são realizados campos espaciais de viés para cada simulação e dados globais comparando-os com o conjunto de dados do Climate Prediction Center (CPC, Chen et al. (2008)). Esse último, disponível somente sobre os continentes, é proveniente de pluviômetros e interpolado para uma grade de $0.50^\circ \times 0.50^\circ$ e, portanto, considerado como a base de dados observacionais para fins de comparação com os demais conjuntos. Para visualização do padrão de precipitação climatológico simulado pelo modelo, também são realizados campos sazonais desta variável

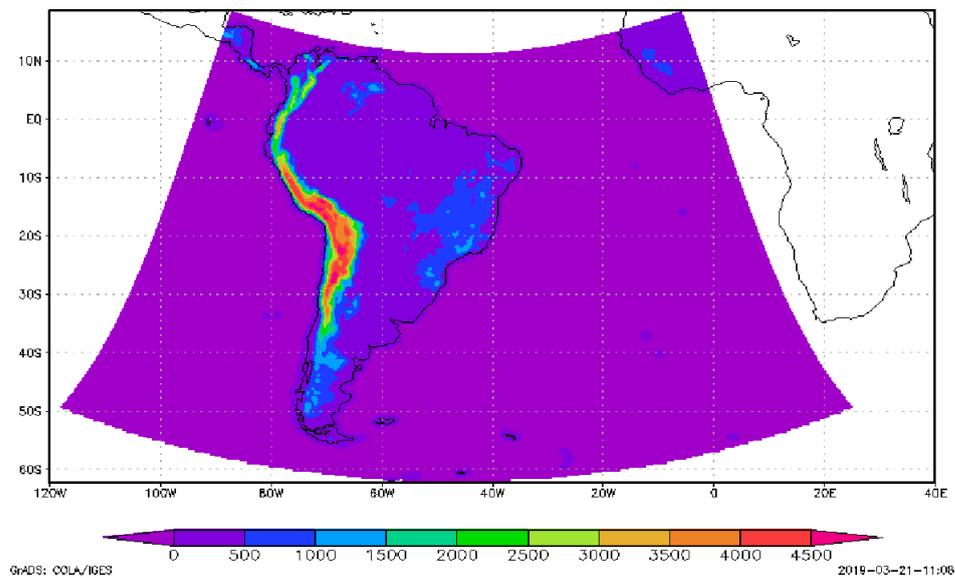


Figura 3.5: Domínio para os experimentos com o RegCM (incluindo a topografia).

Tabela 3.4 - Descrição dos dados utilizados como condições iniciais e de fronteira para a realização das simulações climáticas regionais com o RegCM4.

Fonte de dados globais para as condições iniciais e de fronteira das simulações	Tipo	Simulação gerada
ERA-Interim	Reanálise	RegERA
HadGEM2-ES	Simulação histórica	RegHAD
MPI-ESM-MR	Simulação histórica	RegMPI

para cada uma das simulações.

Resultados

4.1 Observação

A figura 4.1 apresenta a comparação das duas séries temporais ao longo do tempo, da qual é possível observar que os casos de dengue não seguem um padrão bem estabelecido em comparação com a precipitação, havendo períodos com picos elevados de casos (e.g. 2002, 2008, 2010, 2012, 2015 e 2016) que não apresentam um padrão de ocorrência de máximos e mínimos muito bem definido em detrimento com o restante da série temporal. Entretanto, o mesmo não se nota para a precipitação, cujos registros mensais apresentam comportamentos ondulatórios representando os padrões sazonais. Não obstante, nota-se que os maiores valores pluviométricos ocorrem no primeiro semestre do ano, conforme descrito em Reboita et al. (2010).

É visto um grande período epidêmico de casos de dengue no ano de 2002 (figura 4.1). Segundo a literatura, no caso de uma introdução de um novo sorotipo do vírus do dengue, ainda não presente em populações de regiões com elevados números de vetores, há a ocorrência de uma epidemia explosiva na localidade (Teixeira et al. (1999)). Este é o caso do ano de 2002, o qual é caracterizado por grandes surtos epidemiológicos ocorridos por todo o Brasil com a introdução do sorotipo DENV-3 em 2001, sorotipo até então não presente no país (Barreto e Teixeira (2006)). Desta forma, é possível afirmar que a explosão de casos ocorrida neste ano não está relacionada diretamente a um fator de condições de tempo favoráveis para a proliferação do vetor, o mesmo pode ser dito para o ano de 2015, o qual também é justificado na literatura pela introdução do sorotipo DENV-4, causando o aumento exponencial de casos observado neste ano (Recife (2015)). Os anos de 2008, 2010 e 2012 também apontam para esta dinâmica, mas sem o agravante de uma introdução de

um sorotipo, sendo a co-circulação de três sorotipos o fator possível para o aumento de casos (Silva et al. (2018)).

Ademais, alguns anos com elevados valores mensais de precipitação não apresentam ao mesmo tempo grandes contabilizações de casos de dengue. Um exemplo disto são os anos de 2005 e 2011, sendo dois períodos com elevados índices de precipitação mensal, mas sem uma contagem de casos confirmados que correspondessem a estes números, atingindo máximos mensais de 113 casos em 2005 e 515 casos em 2011, números muito aquém se comparados com outros anos epidêmicos como, por exemplo, 2010 com 2677 casos confirmados em apenas um mês.

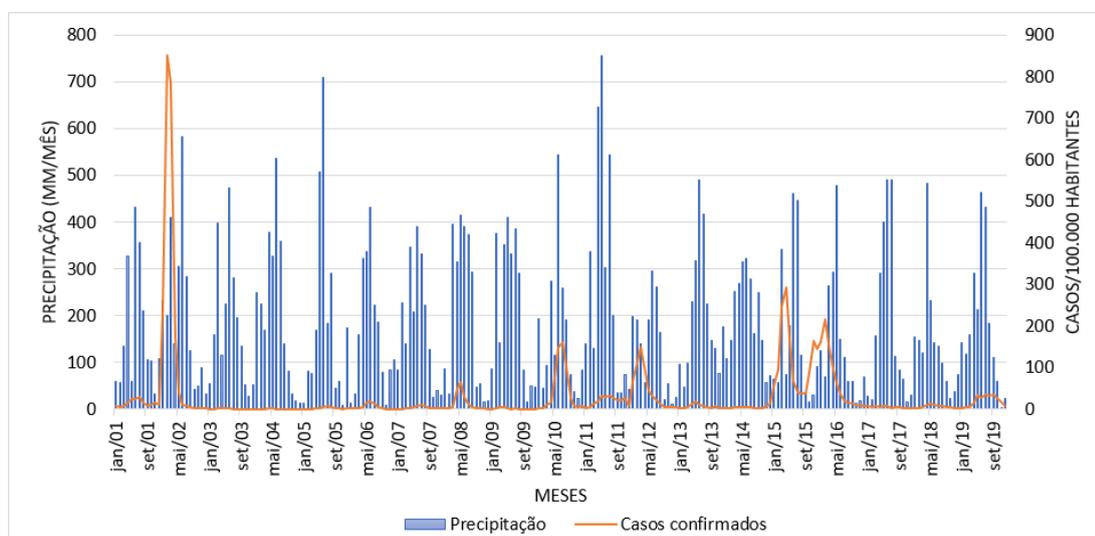


Figura 4.1: Séries temporais de precipitação e casos confirmados de dengue a cada 100 mil habitantes para a cidade de Recife-PE dos anos de 2001-2019. Fonte: Feito pelo autor.

Apesar das discrepâncias entre as duas séries temporais, os períodos com aumento expressivo dos casos de dengue coincidem com o início da estação chuvosa na região. Tal afirmação é complementada nas figuras 4.2 e 4.3 que apresentam uma correlação com os períodos de máximos de ocorrência entre as duas variáveis, sendo, para os casos de dengue, em março, abril e maio (figura 4.2A) e para a precipitação, maio, junho e julho. Esta defasagem pode estar relacionada com a duração do ciclo de vida do vetor e transmissão da doença. De forma análoga, também é observado que os meses com a menor ocorrência de precipitação também são os meses com a menor incidência de casos, sendo setembro, outubro, novembro e dezembro.

Por considerar a possibilidade dos eventos epidemiológicos dos anos de 2002, 2008,

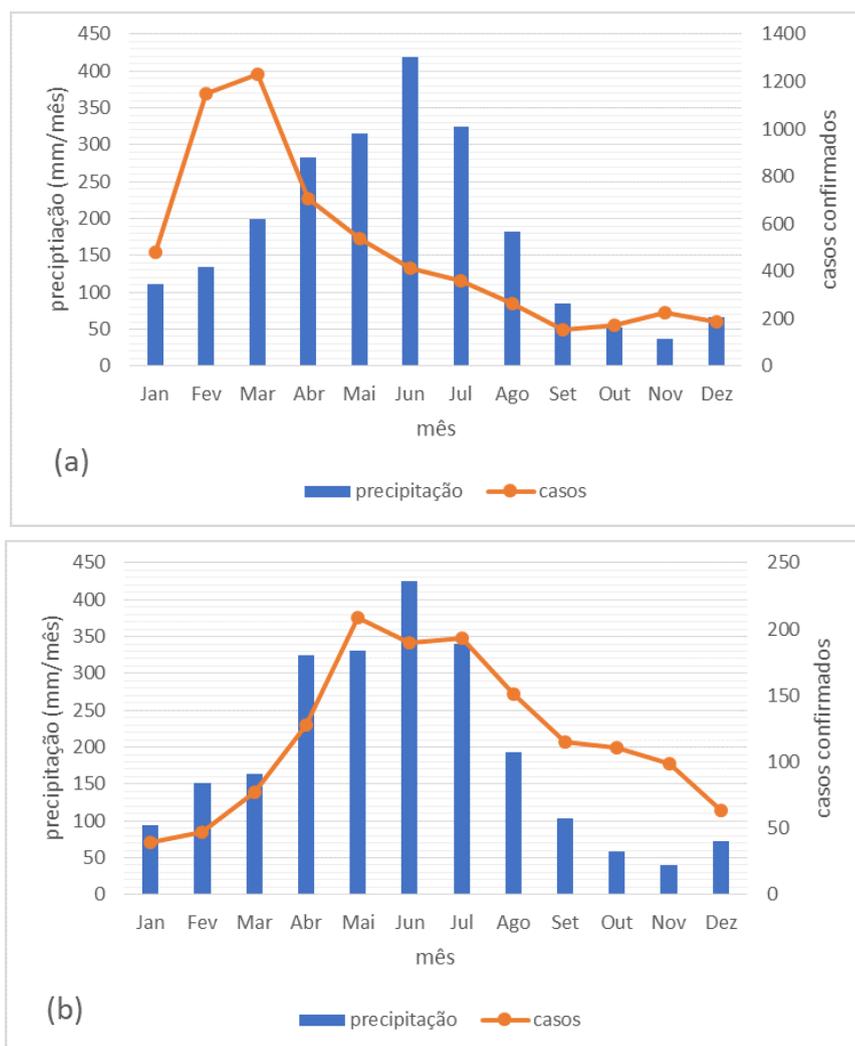


Figura 4.2: Média mensal em Recife-PE para casos confirmados de dengue (laranja) e precipitação (azul), sendo (A) as médias calculadas nos anos de 2001-2019 e (B) para o mesmo período removendo os anos epidemiológicos de 2002, 2008, 2010, 2012, 2015 e 2016. Fonte: Feito pelo autor.

2010, 2012, 2015 e 2016 serem majoritariamente causados por influência da circulação dos sorotipos, removeu-se estes anos das séries temporais, tanto de casos de dengue quanto de precipitação, e foram calculadas novamente as médias mensais, sendo possível observar uma maior correlação com os meses de máximos e mínimos entre as duas variáveis (figura 4.2B) se comparados com os resultados obtidos anteriormente na figura 4.2A, havendo o alinhamento dos períodos de aumentos de casos com a chegada da estação chuvosa (i.e., março, abril e maio) e o declínio de casos com a estação seca (i.e., agosto, setembro e outubro).

Ao serem removidos os anos epidemiológicos das análises e, comparando os dois padrões de médias mensais observadas, é possível supor que o padrão de aumento e declínio de casos

de dengue pode estar atrelado a dois fatores: primeiro, às condições do tempo que estão sujeitas a variações sazonais, que não geram valores explosivos de casos da doença, mas contribuem para a permanência da mesma de forma constante por meio do fornecimento de água em recipientes e reservatórios propícios para a procriação do mosquito; e o segundo seria explicado pelos sorotipos presentes na população. A introdução de um novo ou a inter-relação entre os já presentes tem o potencial de causar aumentos de casos bem mais expressivos, não seguindo padrões sazonais. Esta característica se observa para os anos de 2002 e 2015, os quais apontam um aumento expressivo de casos a partir dos meses de janeiro e fevereiro, meses estes com um dos menores índices pluviométricos e de ocorrência de casos mensal.

O primeiro fator tem uma maior possibilidade de ser previsto que o segundo, uma vez que está atrelado a padrões do clima que podem ser descritos e prognosticados no que se refere aos sistemas que causam precipitação na região de estudo. O segundo, em contrapartida, é muito mais difícil de ser descrito e avaliado, uma vez que as informações de sorotipos não são abundantes e coletadas de forma automática e unificada como as de tempo e clima. Além disso, o real impacto e os potenciais perigos que a co-circulação dos diferentes tipos de dengue pode causar está longe do total entendimento (Freire (2021)), tornando ainda mais complexa a construção de uma ferramenta prognóstica para este fator. Vale ressaltar que, apesar do comportamento da série temporal referente a casos de dengue estar sendo explicado por dois fatores, ambos não atuam de forma separada, uma vez que as epidemias causadas pelo segundo só ocorreriam em números alarmantes se houvesse de fato a presença massiva de vetores da doença, condição esta imposta e condicionada na manutenção de água nos reservatórios e recipientes mantida pelo primeiro fator caso não haja nenhum controle ou remoção dos potenciais criadouros

Os diagramas de caixa apresentados na figura 4.3 mostram que os meses de abril, maio, junho e julho apresentam os maiores valores de máximos das séries nas duas variáveis analisadas. Esta semelhança se repete para os meses com a menor incidência de casos nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro. A análise descartando os anos epidemiológicos segue o mesmo padrão de meses com aumento e queda de casos da análise considerando estes anos, uma vez que esta última apresenta os maiores outliers, significando, justamente, os períodos epidêmicos que fogem do padrão caracterizado pelo primeiro fator discutido anteriormente. A mesma correlação pode ser observada ao se analisar os dados pelas estações

do ano, com os maiores valores da série, para ambas as variáveis, ocorrendo no outono e inverno, conforme indicado pela posição dos valores máximos e do terceiro quartil e, não obstante, os menores valores encontram-se nas estações do verão e primavera.

De forma analoga à análise das médias mensais, os diagramas de caixa referentes as estações do ano também indicam que as epidemias explosivas, como, por exemplo, a ocorrida em 2002, ocorrem de modo que a conjunção dos fatores epidemiológicos e de saúde (i.e., influência dos sorotipos), atuam de forma a diluir o poder de correlação estatística para com os parâmetros do tempo (neste caso, precipitação). Esta epidemia é indicada pelo outlier de 14000 casos, conforme mostra a figura 4.3D, representando um índice de incidência de 852 novos casos a cada 100 mil habitantes em apenas um mês, ocorrendo no verão e a partir do mês de fevereiro, cujos valores médios para ambos apresentam os menores índices tanto de precipitação (figura 4.3F) quanto de casos (figura 4.3E). Este resultado confirma a não existência de uma relação direta proporcionada pelas condições do tempo nas epidemias explosivas, o indício desta relação se mostraria com os outliers, referentes a estes episódios, ocorrendo nos meses com maiores índices pluviométricos e com altas de casos que, no estudo em questão, referem-se ao outono e inverno, uma vez que estas epidemias seguiriam as melhores condições do tempo proporcionadas nesta época do ano.

4.1.1 *Estimativa do ciclo da doença*

Das fases do ciclo de transmissão do dengue, foram buscados na literatura valores médios de duração para cada trecho do ciclo, sendo encontrados de 7-10 dias para o período de eclosão de ovos até a fase adulta do mosquito (FIOCRUZ), de 8-10 dias correspondendo desde a infestação do vírus no mosquito fêmea e incubação para infestação (Singhi et al. (2007)) e de 3-14 dias de incubação até a manifestação dos sintomas em um humano infectado (Singhi et al. (2007)). Destes valores estimados, foram selecionados os valores médios para cada período de cada trecho apontado no ciclo e somou-se o total de dias, chegando a um valor de aproximadamente 26 dias de duração (figura 4.4).

Vale ressaltar que, no caso do *Aedes aegypti*, existem evidências de transmissão viral transovariana das fêmeas infectadas para os novos indivíduos gerados (Teixeira et al. (1999); Leandro (2015)), de forma que todo o processo de incubação e infecção do mosquito adulto ao consumir sangue de um humano infectado pode ser descartado do processo e en-

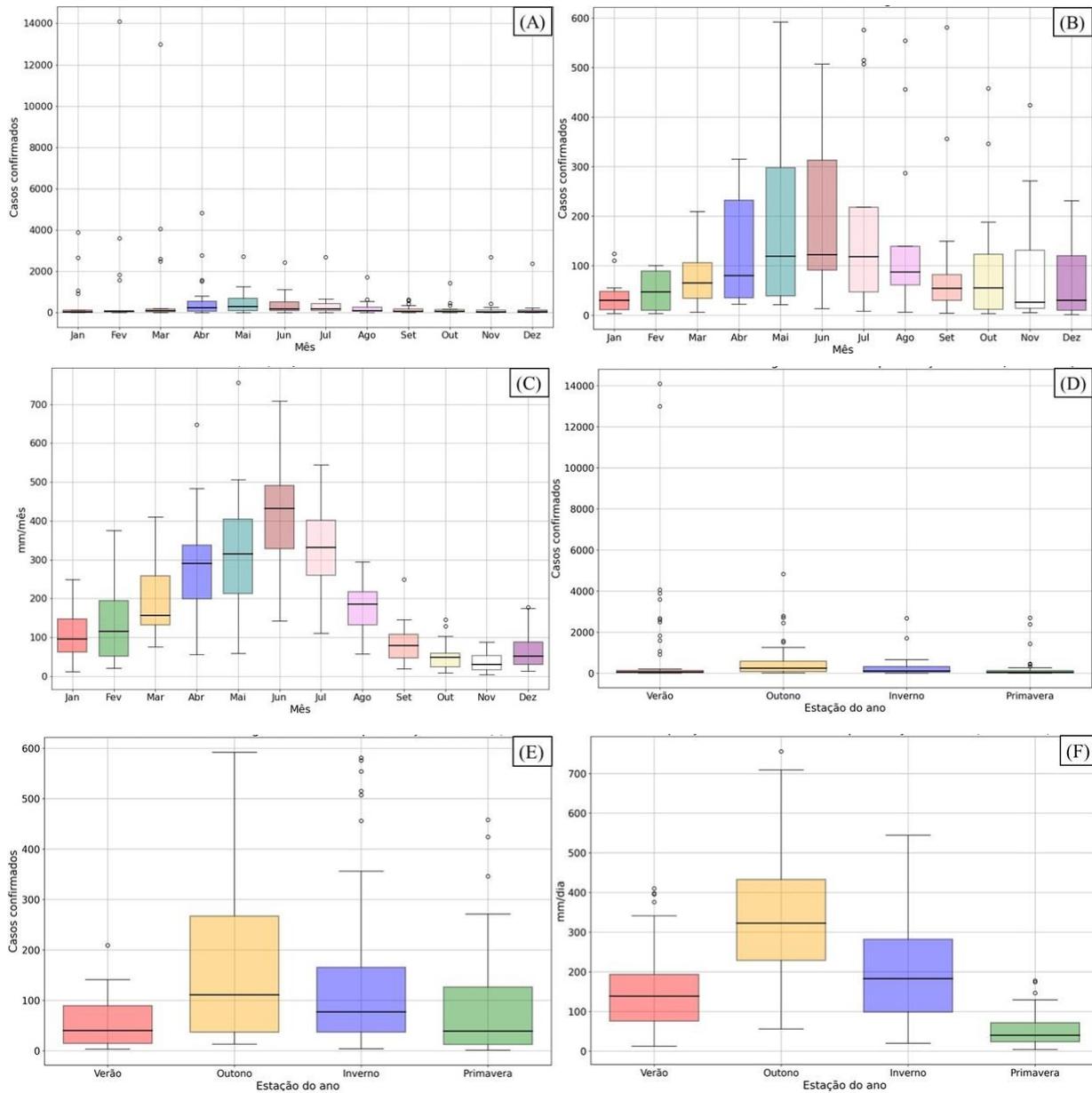


Figura 4.3: Diagramas de caixas das séries temporais de casos de dengue e precipitação em Recife-PE do ano de 2001 até o ano de 2019, havendo também o cálculo da média calculada após a remoção dos anos epidemiológicos de 2002, 2008, 2010, 2012, 2015 e 2016; (A) média mensal dos casos confirmados de dengue, (B) média mensal dos casos confirmados de dengue sem os anos epidemiológicos, (C) média mensal da precipitação, (D) média por estações do ano dos casos confirmados de dengue, (E) média por estações do ano dos casos confirmados de dengue sem os anos epidemiológicos e (F) média por estações do ano da precipitação. Fonte: feito pelo autor.

curtar o período estimado de 26 dias para 17 dias, uma vez que podem ser geradas novas larvas já com o vírus.

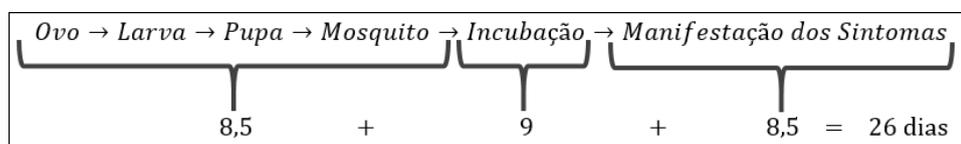


Figura 4.4: Esquema do ciclo de vida e transmissão do Dengue com média de duração para cada período em dias. Fonte: Feito pelo autor.

Este valor obtido torna possível estimar o tempo entre a criação do ambiente de proliferação das larvas, proporcionado pela precipitação, e a manifestação dos sintomas no paciente que procurou uma unidade de saúde a qual registrou a ocorrência do caso. Desta forma, dentro desta margem de dias é importante considerar que o aumento de casos no respectivo mês poderá estar atrelado com o aumento de vetores proporcionado por um evento de precipitação ocorrido em um período de aproximadamente 26 dias, podendo ser tanto no próprio mês de ocorrência do caso quanto no anterior. Vale ressaltar que a dengue é uma doença cujo porcentual majoritário de casos é de quadros assintomáticos à leves (Brasil (2002)), fazendo com que grande parte dos infectados não procurem uma unidade de saúde por não apresentarem sintomas alarmantes. Isto posto, é importante considerar um alto grau de subestimação nos valores registrados nas plataformas públicas de saúde, não por ineficiência na coleta ou ausência de unidades, mas sim pela própria clínica da doença.

4.2 Classificação da precipitação em Recife

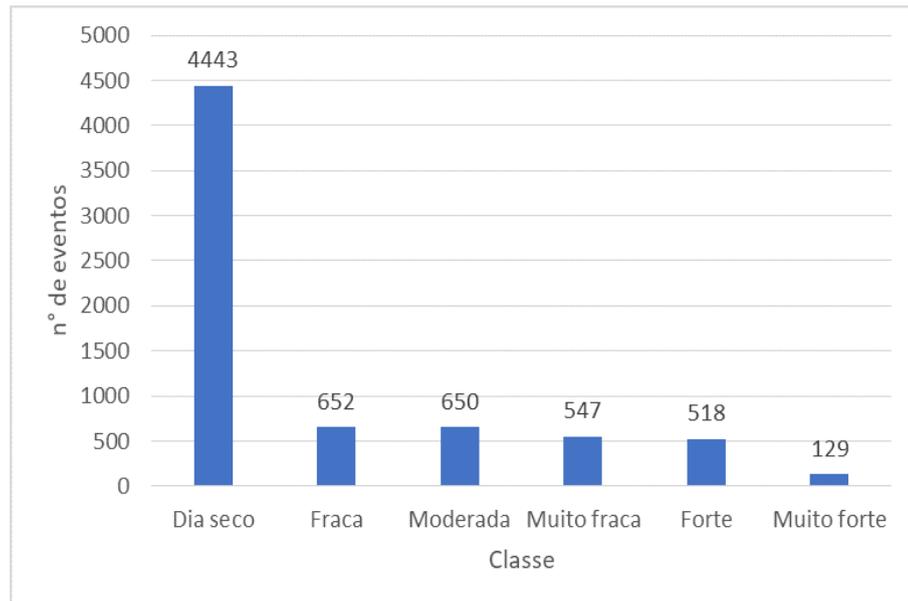
Os valores para a definição das classes da precipitação diária obtidos através da análise quantílica são expostos na tabela 4.1. Das classes, é possível avaliar inicialmente o perfil de distribuição dos tipos de precipitação definidos na cidade, conforme mostra o histograma na figura 4.5. A maior parte da série temporal é representada pela classe dia seco, que é descrita por valores de precipitação diária abaixo de 2,4 mm/dia, com 64% das ocorrências na série temporal, seguido por precipitações fracas (9,40%) e moderadas (9,37%). As classificações definidas por muito fraca e forte representam 15,35% da série temporal (7,88% e 7,47%, respectivamente), sendo por último a classificação muito forte indicada por 1,86%.

Tabela 4.1 - Categorização da precipitação em Recife-PE da série temporal diária de 2001-2019 através da classificação pelos quantis.

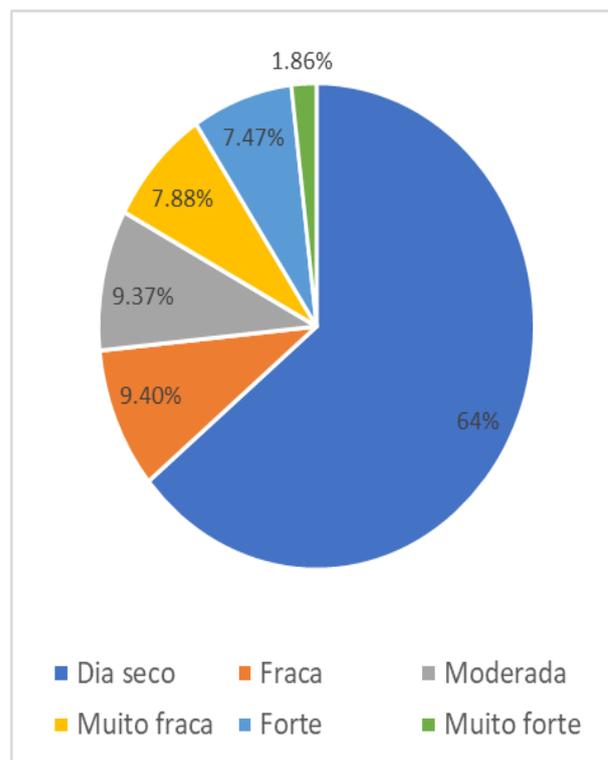
Classificação	Precipitação medida (mm/dia)
Dia Seco	$y < 2,4$
Muito Fraca	$2,4 \leq y < 4,4$
Fraca	$4,4 \leq y < 8,4$
Moderada	$8,4 \leq y < 19$
Forte	$19 \leq y < 54$
Muito Forte	$y \geq 54$

Conhecer estes limiares é importante para outros setores da sociedade como, por exemplo, nas atividades da Defesa Civil que necessitam deste conhecimento para o planejamento e controle de diversas regiões da cidade que podem estar em situação de risco (Souza et al. (2012)). Desta forma, as características gerais para o perfil de precipitação em Recife apontam para o predomínio de dias secos, eventos fracos e moderados. Tal padrão pode estar atrelado a posição geográfica da área de estudo, uma vez que se localiza em uma região costeira a qual recebe influência diária de eventos de brisa que causam precipitação conforme a distribuição observada. Além disso, a região também apresenta a atuação frequente da ASAS que proporciona transporte de umidade ao longo de todo o ano (Moscati (1991); Reboita et al. (2010)). O posicionamento próximo ao equador, que estabelece pouca variação de temperatura ao longo do ano, em conjunto com estes dois sistemas, podem ser os principais fatores para manutenção da precipitação em regimes fracos e moderados. Eventos fortes e muito fortes podem atrelar-se a outros sistemas que não apresentam uma atuação tão constante ao longo de todo o ano como os citados anteriormente, de forma que os índices pluviométricos associados a esses se apresentam em menor frequência. São exemplos destes fenômenos os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), que ocorrem tipicamente no inverno (Cavalcanti et al. (2009); Machado et al. (2012); Gomes et al. (2015); Wanderley et al. (2018)), e os VCANs na primavera, outono e verão, sendo mais recorrentes nesta última estação (Cavalcanti et al. (2009)).

Analisando o perfil de classes pelas estações do ano (figura 4.6), nota-se a relação entre o maior número médio de ocorrências de eventos moderados, fortes e muito fortes com os meses de maiores índices pluviométricos mensais presentes nas estações do outono (MAM) e inverno (SON). Ambas as estações apresentam a menor média de dias secos no ano e



(a)



(b)

Figura 4.5: Distribuição das classes da série temporal de precipitação diária de 2001-2019; (A) Histograma da classificação adotada para a série temporal da precipitação diária (2001-2019) em Recife PE adotando a análise de quantis e (B) Diagrama de pizza com percentual das ocorrências pelo número total de dias da série. Fonte: feito pelo autor.

as maiores médias nas classes subsequentes, sendo o inverno com os maiores valores com exceção do outono, o qual mostra a maior incidência de eventos de precipitação diária

muito fortes. De forma análoga, a primavera e o verão, caracterizados por baixos índices pluviométricos mensais, apresentam as maiores incidências de dias secos e baixa ocorrência das classes subsequentes. Sobre estes cenários, é possível sugerir qual classe de precipitação diária tem maior impacto na contabilização de casos de dengue que, por sua vez, sinalizam o aumento e declínio da população de vetores da doença.

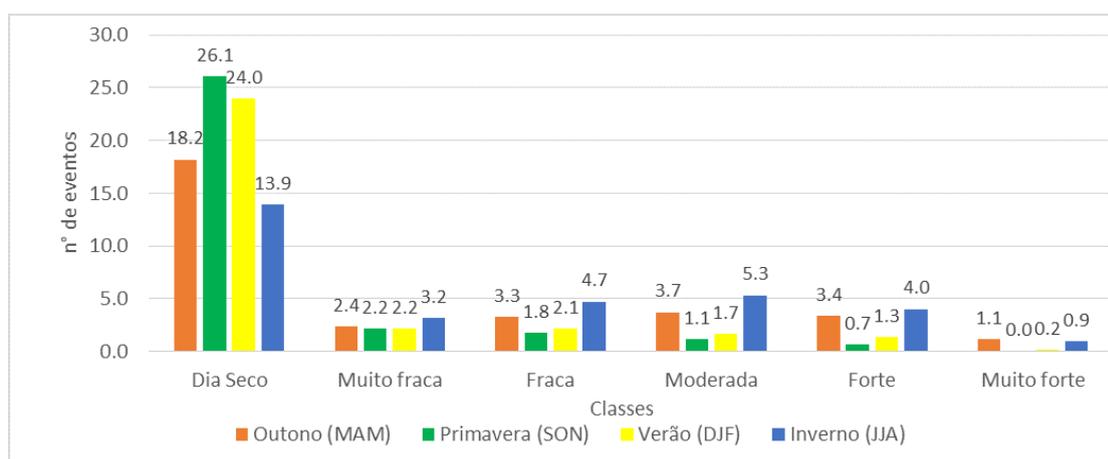


Figura 4.6: Distribuição da média da contagem de ocorrência das classes de precipitação diária de 2001-2019 para Recife (PE) considerando a média calculada nas quatro estações do ano, sendo outono dos meses de: março, abril e maio; primavera: setembro, outubro e novembro; verão: dezembro, janeiro e fevereiro; inverno: junho, julho e agosto. Fonte: Feito pelo autor.

Conforme visto nas figuras 4.2 e 4.3, o pico médio mensal de casos no ano ocorre com a chegada da estação chuvosa dos meses de março a agosto (i.e., outono e inverno). A precipitação neste período é de grande parte composta pelas classes fraca, moderada e forte, pois, comparando com a estação seca, é vista uma diferença na média de 3 a 4 dias. Sendo assim, a maior incidência destas categorias de precipitação na estação chuvosa aponta para um maior favorecimento da formação e manutenção dos criadouros do *Aedes aegypti*, levando, conseqüentemente, a um aumento no registro de casos, conforme observado no respectivo período. Da mesma forma, afere-se que a maior ocorrência de dias secos se relaciona com a queda e baixos valores de casos de dengue. Esta relação é observada nas estações da primavera e verão, as quais sinalizam grandes contagens de dias secos e queda nos registros de casos.

Segundo o estudo de Souza et al. (2012), a consideração de dia seco para o registro diário abaixo de 2 mm/dia se faz necessária pelo fato deste ser um valor de pouca importância para trabalhos que avaliam a infiltração e permanência da água no solo, uma vez que tais

quantias acabam sendo evaporadas rapidamente devido as elevadas temperaturas presentes no ano todo na localidade estudada. Tal afirmação também se mostra presente no que diz respeito a formação de criadouros para o vetor *Aedes aegypti* por meio do fornecimento de água pela precipitação, uma vez que os dias secos, considerados neste estudo como valores abaixo de 2,4 mm/dia, apresentaram uma relação indiretamente proporcional com os casos da doença.

De modo a complementar a análise, calculou-se a média de contagem das classes de precipitação para cada mês do ano e, com estes valores, é feita a comparação destas contagens com os períodos epidêmicos, citados anteriormente, referentes aos anos de 2002, 2008, 2010, 2012, 2015 e 2016, conforme apresentado na figura 4.7. Os meses para análise da condição de precipitação nos respectivos anos foram escolhidos de forma a se considerar a duração completa do ciclo da doença, desde a ocorrência da precipitação e colocação dos ovos pelo vetor até a manifestação dos sintomas e registro dos casos, o qual apresentaria uma duração de aproximadamente 26 dias. Com o conhecimento deste valor, é escolhido no ano com epidemia o mês com maior ocorrência de casos e seu mês antecessor de forma a se considerar toda a clínica e transmissão da doença.

Dos 6 anos avaliados, 4 deles apresentam seus máximos de casos de dengue em meses com média de baixa ocorrência de precipitação, são estes os anos de 2002 (janeiro e fevereiro), 2012 (fevereiro e março), 2015 (março) e 2016 (janeiro e fevereiro). Em janeiro e fevereiro de 2002, observa-se um menor registro de dias secos comparado com a média para os respectivos meses (figura 4.7A e 4.7B), com destaque para os 15 dias secos registrados em janeiro de 2002 que se apresentam próximos da média do mês de junho, de 11.9 dias (figura 4.7F), que é característico por poucos dias secos e grandes índices pluviométricos. Não obstante, a menor ocorrência desta classe também mostra um número maior de registros para precipitações fraca, moderada e forte, sendo janeiro de 2002 o mês que mais ultrapassou a média 4.7A.

Conforme discutido anteriormente, o ano de 2002 é marcado pela introdução do sorotipo DENV-3 ao território nacional e é o principal responsável pela magnitude de casos registrados para este período. Entretanto, o perfil de classes da precipitação diária encontrado aponta para uma maior condição de aumento de casos visto que houve uma menor incidência de dias secos e maior para precipitação fraca, moderada e forte se comparado com a média. Tais fatores podem ter influenciado no aumento expressivo de casos, uma vez

que, para doenças que dependem de um vetor de transmissão, tal qual a arbovirose dengue, tais epidemias só seriam possíveis com a presença massiva de vetores que é possibilitada pela criação e manutenção do ambiente de proliferação proporcionado pelas condições do tempo destacadas. Tais características são observadas em primazia no mês de janeiro e seguidas no mês de fevereiro, registrando neste último 14094 casos confirmados.

Um padrão similar pode ser observado para maio de 2008 (figura 4.7D). Apesar de ser um mês tipicamente mais chuvoso se comparado com fevereiro, registra-se uma quantidade de dias secos menor do que a média, havendo a ultrapassagem da mesma nas classes de precipitação muito fraca, muito forte, forte e moderada, com destaque para as duas últimas. Seu mês antecessor (figura 4.7C) manteve-se na média para os dias secos, mas apresenta a ocorrência de três eventos muito fortes que, em contrapartida, acabam deixando as classes fraca e forte abaixo da média. Estes meses apresentam-se no início da estação chuvosa para Recife, tornando mais suscetível a contabilização de eventos de precipitação muito fortes que podem proporcionar o desvio da média nas demais classes. De forma similar ao observado no período de 2002, a criação de mais ambientes adequados para proliferação dos vetores pode estar atrelada a menor contagem de dias secos e maior para precipitações moderada e forte em maio de 2008.

Os eventos analisados do ano de 2010 (figura 4.7E e 4.7F) também ocorrem na estação chuvosa nos meses de maio e junho, porém ambos apresentam maior ocorrência de dias secos do que suas respectivas médias, havendo uma ultrapassagem considerável desta última apenas em junho (figura 4.7F) para as classes moderada e muito forte.

Os bimestres de 2012 e 2015 apresentam contagens próximas da média com exceção de março de 2015, o qual contabilizou 3 eventos de precipitação muito fortes e março de 2012 com dias secos acima da média do mês. Entretanto, as classes subsequentes para este período não superam de maneira considerável a média e inclusive encontram-se abaixo nas classes fraca, moderada e forte, tanto para o mês de fevereiro quanto março (Figura 4.7I e 4.7J).

Janeiro de 2016 (figura 4.7K) apresenta uma menor contabilização de dias secos e maior para precipitações muito fracas, mantendo-se praticamente na média nas demais classes do bimestre.

Destes últimos quatro anos descritos, é possível conjecturar que o padrão de distribuição das classes não interferiu de maneira consistente com os aumentos de casos, uma vez que

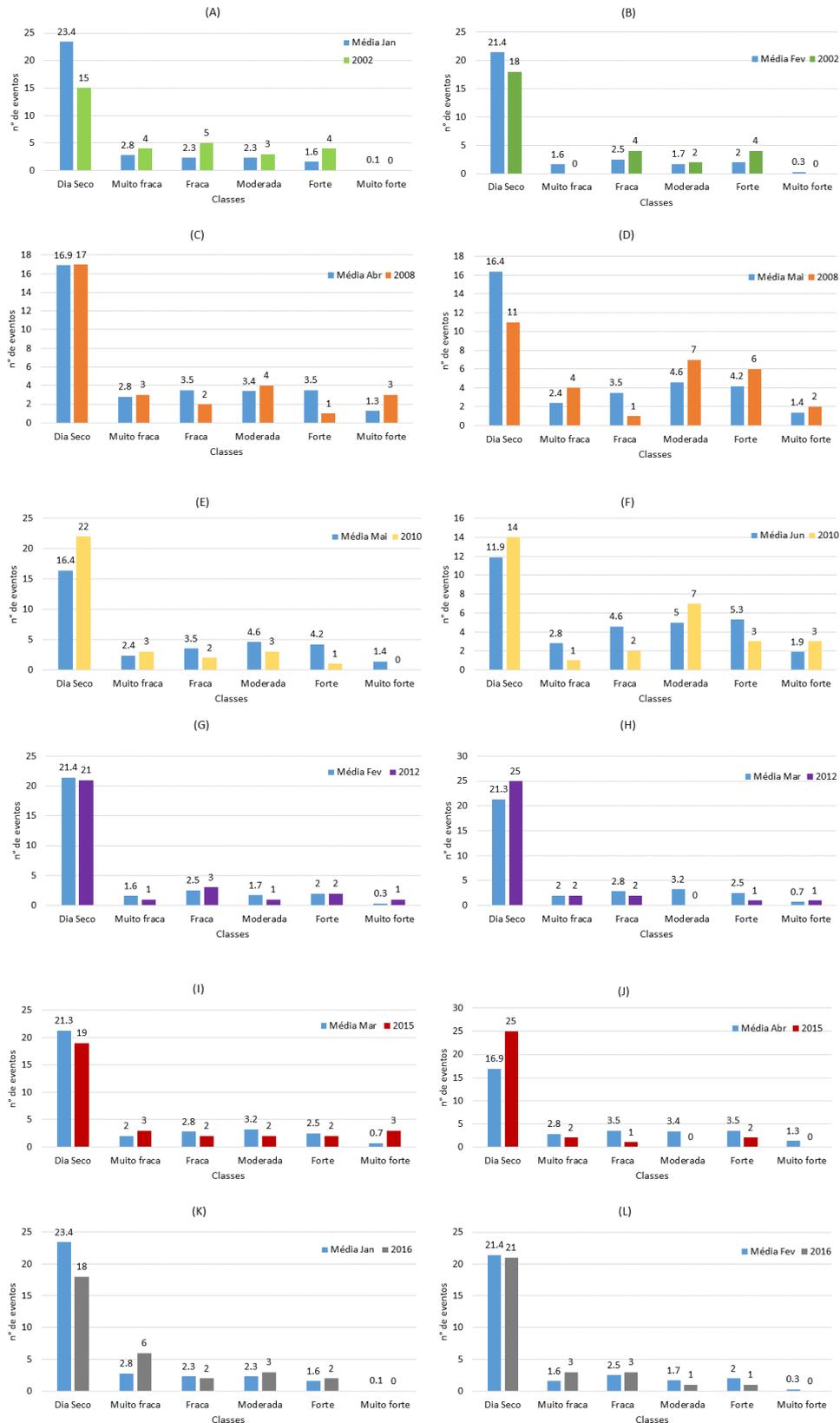


Figura 4.7: Comparação entre a contagem de dias nas classes de precipitação diária para um dado mês com epidemia explosiva e a média de contagem de seu respectivo mês calculada por toda a série temporal desde 2001 até 2019, sendo (A) janeiro de 2002, (B) fevereiro de 2002, (C) abril de 2008, (D) maio de 2008, (E) maio de 2010, (F) junho de 2010, (G) janeiro de 2012, (H) fevereiro de 2012, (I) fevereiro de 2015, (J) março de 2015, (K) janeiro de 2016, (L) fevereiro de 2016. Fonte: feito pelo autor.

Tabela 4.2 - Categorização da precipitação em Recife-PE da série temporal mensal de 2001-2019 através da classificação pelos quantis.

Classificação	Precipitação medida (mm/mês)
Muito seco	$y \leq 34,5$
Seco	$34,5 < y \leq 84,6$
Normal	$84,6 < y < 210,6$
Chuvoso	$210,6 \leq y < 354,7$
Muito chuvoso	$y \geq 354,7$

foram registrados dias secos na média ou superior no caso do bimestre de 2010 e abril de 2015. As demais classes, salvo as ponderações feitas anteriormente, apresentam-se na média ou não apontam para um grande desvio que sinalize, ao menos no quesito ligado a precipitação, os elevados aumentos de casos registrados nestes períodos. Vale ressaltar que o ano de 2015 é marcado pela introdução do sorotipo DENV-4 em escala nacional, de forma que o aumento expressivo no registro de casos neste período se dá de maneira majoritária ao segundo fator exposto em tópicos anteriores.

Os valores dos intervalos quantílicos obtidos para a classificação da precipitação mensal podem ser visualizados na tabela 4.2. Desta classificação, ressalta-se na tabela 4.3 os 6 períodos epidêmicos destacados na análise anterior de forma a se avaliar os bimestres selecionados pelos acumulados mensais, tornando possível o entendimento se estes meses foram mais secos ou chuvosos se comparados com um limiar obtido através dos valores de toda a série temporal.

Dos 6 bimestres avaliados, apenas 2 períodos obtiveram a classificação seco, sendo o mês de abril de 2015 e fevereiro de 2016. Ambos se apresentam como meses de pico de casos nos referentes anos e, não obstante, são antecidos por meses com classificação chuvoso (março de 2015) e normal (fevereiro de 2016). Além disso, abril de 2015 apresenta um dos maiores valores de casos da série temporal mesmo sendo classificado como mês seco. Para os demais bimestres da tabela 4.3, seus respectivos picos de casos ou são precedidos por um mês chuvoso ou muito chuvoso ou os mesmos já apresentam esta classificação como, por exemplo, fevereiro de 2002 que é classificado como normal, mas é precedido por um mês chuvoso e, ainda como exemplo, junho de 2010, que é definido como muito chuvoso sendo precedido por maio de 2010, com acumulado mensal normal. A exceção se aplica ao bimestre de 2012 o qual apresenta-se como normal em ambos os meses.

Tabela 4.3 - Eventos de picos epidêmicos de dengue em Recife (PE) registrados entre 2001 e 2019 com sua devida classificação de precipitação no mês e contagem de casos.

Mês/Ano	Classificação	Precipitação medida (mm/mês)	Casos confirmados
Jan/2002	Chuvoso	231,6	3886
Fev/2002	Normal	199,5	14094
Abr/2008	Chuvoso	314,2	800
Mai/2008	Muito chuvoso	415,7	1090
Mai/2010	Normal	114,3	1252
Jun/2010	Muito chuvoso	543,9	2442
Fev/2012	Normal	189,8	1831
Mar/2012	Normal	138,8	2495
Mar/2015	Chuvoso	341,2	4059
Abr/2015	Seco	74,6	4833
Jan/2016	Normal	124	2670
Fev/2016	Seco	70	3589

Os anos de 2015 e 2016 são marcados pela influência do sorotipo DENV-4 na população de forma a se declarar o predomínio do fator de sorotipo sobre as condições de tempo, uma vez que a classificação da precipitação mensal destes bimestres foram as únicas, dos 6 períodos avaliados, que apresentam meses secos (i.e, fevereiro de 2015 e 2016), juntamente com a análise para as classes de precipitação diária, apresentando-se majoritariamente dentro da média ou até mesmo abaixo dela nos tipos de precipitação que, pela hipótese apresentada até então, favoreceriam o aumento de casos, como precipitações fracas, moderadas e fortes.

Todavia, o pico de casos referente ao ano de 2002 mostra-se como sendo regido concomitantemente pelos dois fatores, tanto de sorotipos, representado pela introdução do DENV-3 cuja imunidade a população não possuía até então, quanto pelas classificações apontadas para a precipitação mensal, com um mês chuvoso antecedendo o máximo de casos, e para a diária, que apresentou valores das contagens de eventos das classes anômalos para o bimestre em questão. A atuação simultânea destes fatores (i.e., sorotipo e precipitação nas classes corretas) pode ser a causa do episódio ter a maior magnitude de casos confirmados de dengue de toda a série temporal.

Salienta-se que os anos de 2002, 2015 e 2016 foram os 3 anos que obtiveram os maiores registros mensais de casos confirmados de dengue de toda a série temporal, sendo discre-

pantes de forma a serem registrados como “outliers” nas análises de diagramas de caixa da figura 4.3. Tais valores foram atingidos pelo agravante da inserção de sorotipos novos na população, conforme já descrito. Os anos restantes, por não apresentarem esta mesma particularidade, apresentam-se com os valores dos picos de casos bem menores mesmo medindo índices de precipitação favoráveis para explosão da população de vetores. Um exemplo disto é o bimestre formado pelos meses de abril e maio do ano de 2008, os quais classificam-se como chuvoso e muito chuvoso, respectivamente, mas apresentam dois dos menores valores de casos registrados entre os períodos epidemiológicos avaliados. Desta forma, é possível afirmar que somente o fator descrito pela dinâmica dos sorotipos na população tem o potencial de elevar a contagem de casos aos níveis observados nos anos de 2002 e 2015.

4.3 Condições de saneamento

Os dados referentes aos casos confirmados de dengue em cada município são obtidos através da plataforma pública DATA-SUS, disponibilizada pelo Ministério da Saúde, para os anos de 2001 até 2019 na frequência temporal mensal. Os dados de notificações referem-se aos casos de dengue para pacientes residentes dentro do município de notificação. Com estes dados, é feito o acumulado de 18 anos de forma a se identificar os municípios mais vulneráveis nas epidemias e nos ciclos anuais, calculando, para este intuito, a taxa de casos por 10 mil habitantes para tornar possível a comparação entre municípios com diferentes populações (Bonita et al. (2010); São Paulo. (2022)). As informações sobre as condições de saneamento básico também foram obtidas pela plataforma DATA-SUS, porém com origem dos dados do próprio IBGE do último censo nacional realizado em 2010, com exceção dos mapas de uso do solo dos quais são realizados levantamentos a cada 2 anos, sendo o último disponível no período de análise do presente trabalho no ano de 2018.

Ambos os tipos de abastecimento de água avaliados na figura 4.8 praticamente não são utilizados em Recife e nem nos municípios vizinhos, registrando de 0% a 2% dos domicílios que são abastecidos por carro-pipa e de 0% a 0,25% por armazenamento de água da chuva. Valores consideráveis para ambos os tipos só são encontrados no interior do estado nos municípios de Glória do Goitá e Vitória de Santo Antão, os quais localizam-se a mais de 20 km da região de estudo. Entretanto, o mesmo não pode ser dito sobre o descarte

de lixo (figura 4.9). Recife e Olinda apresentam baixos valores de 0% a 3,5% para o descarte em terreno baldio ou logradouro, tendo um grande contraste com os municípios próximos como Jaboatão dos Guararapes, Paudalho, Camaragibe, São Lourenço da Mata e Araçoiaba, sendo o último com índices de 20% a 35%.

Apesar dos grandes centros urbanos, como Recife e Olinda, apresentarem melhores condições sanitárias, seus arredores não possuem estas mesmas infraestruturas, fazendo com que estes municípios acabem gerando mais criadouros para o vetor de transmissão, de forma a, não só, aumentarem os casos dentro do próprio município, como também contribuir para o deslocamento tanto do vírus, através do trânsito de pessoas infectadas para as regiões com melhores condições, quanto do próprio mosquito vetor da doença.

A figura 4.10 mostra a taxa de casos de dengue a cada 10 mil habitantes (figura 4.10A) e a densidade demográfica dos municípios ao redor de Recife (PE) (figura 4.10B). A área com maior densidade populacional apresenta-se nos municípios de Recife, Olinda, Paulista e Camaragibe, com uma diminuição gradual em direção ao interior do estado. Entretanto, apesar da maior concentração de habitantes, estes municípios não apresentam taxas de casos de dengue proporcionais a mesma, com destaque para Olinda e Paulista. Localidades com baixa densidade demográfica e maiores taxas de casos indicam a falta de saneamento e coleta de lixo adequada, tornando mais frequente a criação de criadouros do *Aedes aegypti* no município e colocando em risco a população local e próxima. Além disso, ressalta-se que, de forma análoga, regiões com alta densidade demográfica e pequenas taxas de casos apontam para a presença de infraestrutura e medidas de mitigação da população do mosquito.

Por se tratar de uma doença que depende de um vetor de transmissão para disseminação dos casos, os valores elevados em determinada localidade só podem ser atribuídos a presença de grandes concentrações de vetores na mesma ou nas proximidades, de modo que a emigração e imigração de pessoas infectadas de grandes distâncias não teria tanta relevância sem a presença dos mesmos, sendo mais importante considerar o raio de deslocamento dos próprios vetores.

Os dados referentes ao tipo de uso de solo (figura 4.11) apresentam uma ligação entre a presença de área artificial nos municípios e taxas de casos, padrão este esperado tendo em vista que o *Aedes aegypti* é muito adaptado aos ambientes urbanos. O município de Recife apresenta predomínio de área artificial e a presença de outras classes como

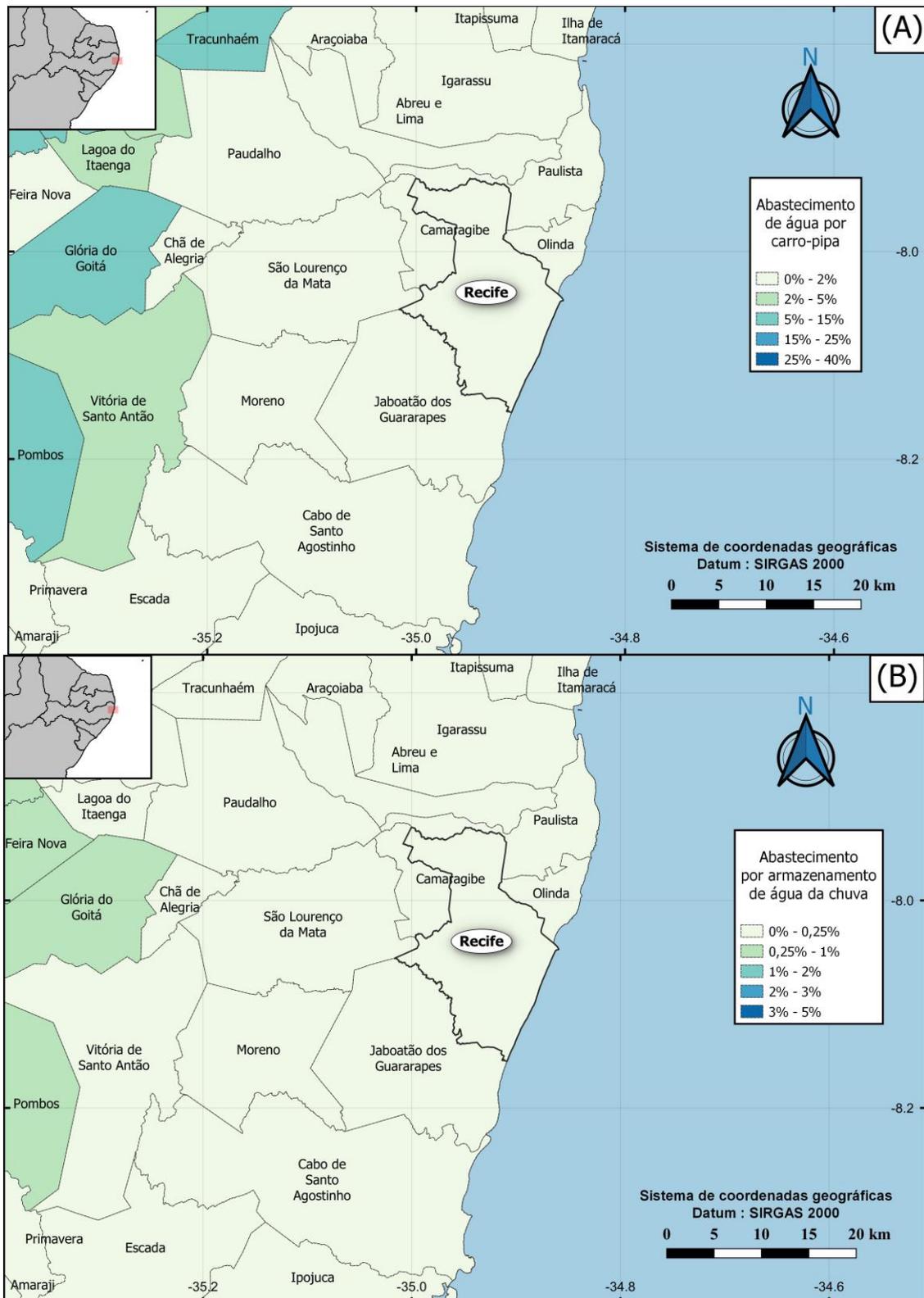


Figura 4.8: Porcentagem de domicílios dentro do município que recebem abastecimento de água por: (A) carro-pipa; (B) armazenamento de água da chuva. Fonte: feito pelo autor.

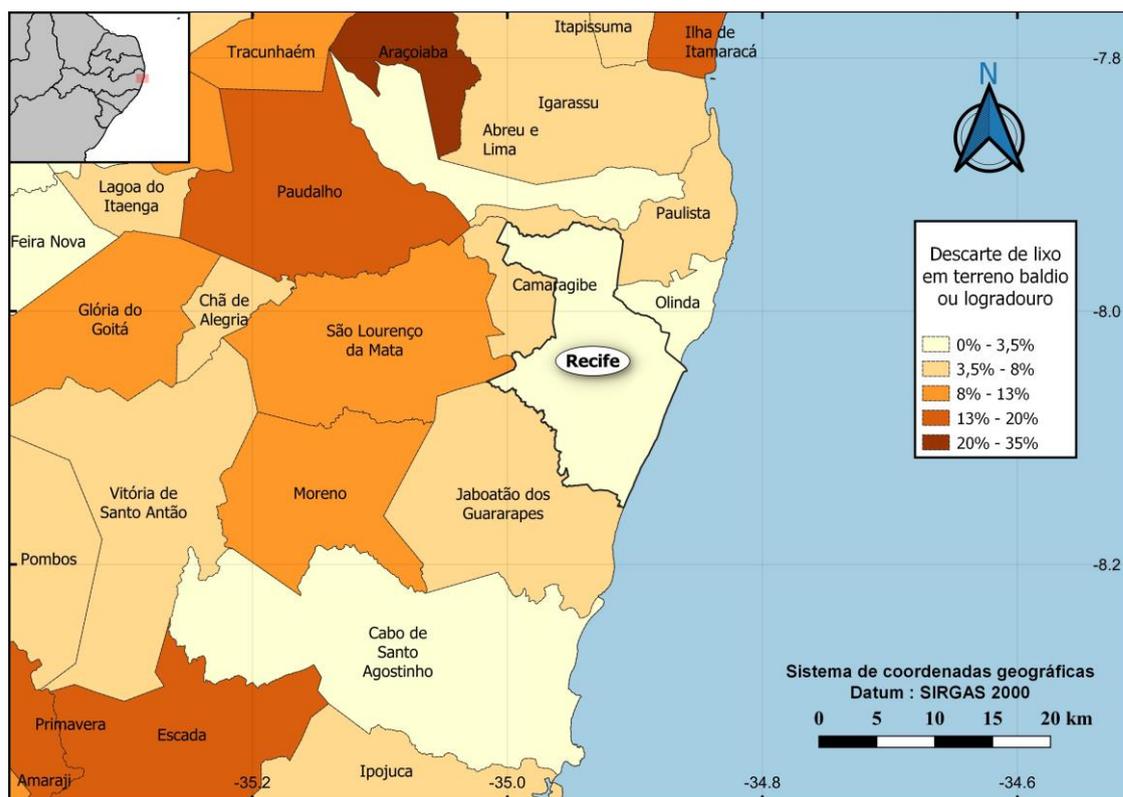


Figura 4.9: Porcentagem de domicílios dentro do município que realizam descarte de lixo em terreno baldio ou logradouro. Fonte: Feito pelo autor.

vegetação florestal, ocupações em área campestre e florestal e, não obstante, corpos d'água continentais e costeiros. Esta heterogeneidade dentro da municipalidade tem o caráter de prejudicar o controle e a aplicação de medidas mitigatórias nas populações dos vetores (Teixeira et al. (1999); Mendonça et al. (2009)), o que talvez explique a maior ocorrência de casos de dengue neste município do que, por exemplo, Olinda, que é igualmente denso na população, mas apresenta uma taxa de casos a cada 10 mil habitantes bem menor e com cobertura de uso da terra predominantemente de área artificial.

4.4 Previsões e análise do modelo de regressão

As previsões de contagens de casos de dengue realizadas pelo modelo de regressão podem ser visualizadas na figura 4.12. Após o ajuste do modelo, o programa seleciona de forma aleatória um conjunto de dados de teste da série de contagens observada e efetua previsões para estes valores. Por conta disto, não estão presentes na figura 4.12 todos os períodos de picos de casos descritos nas análises anteriores, destacando-se somente as

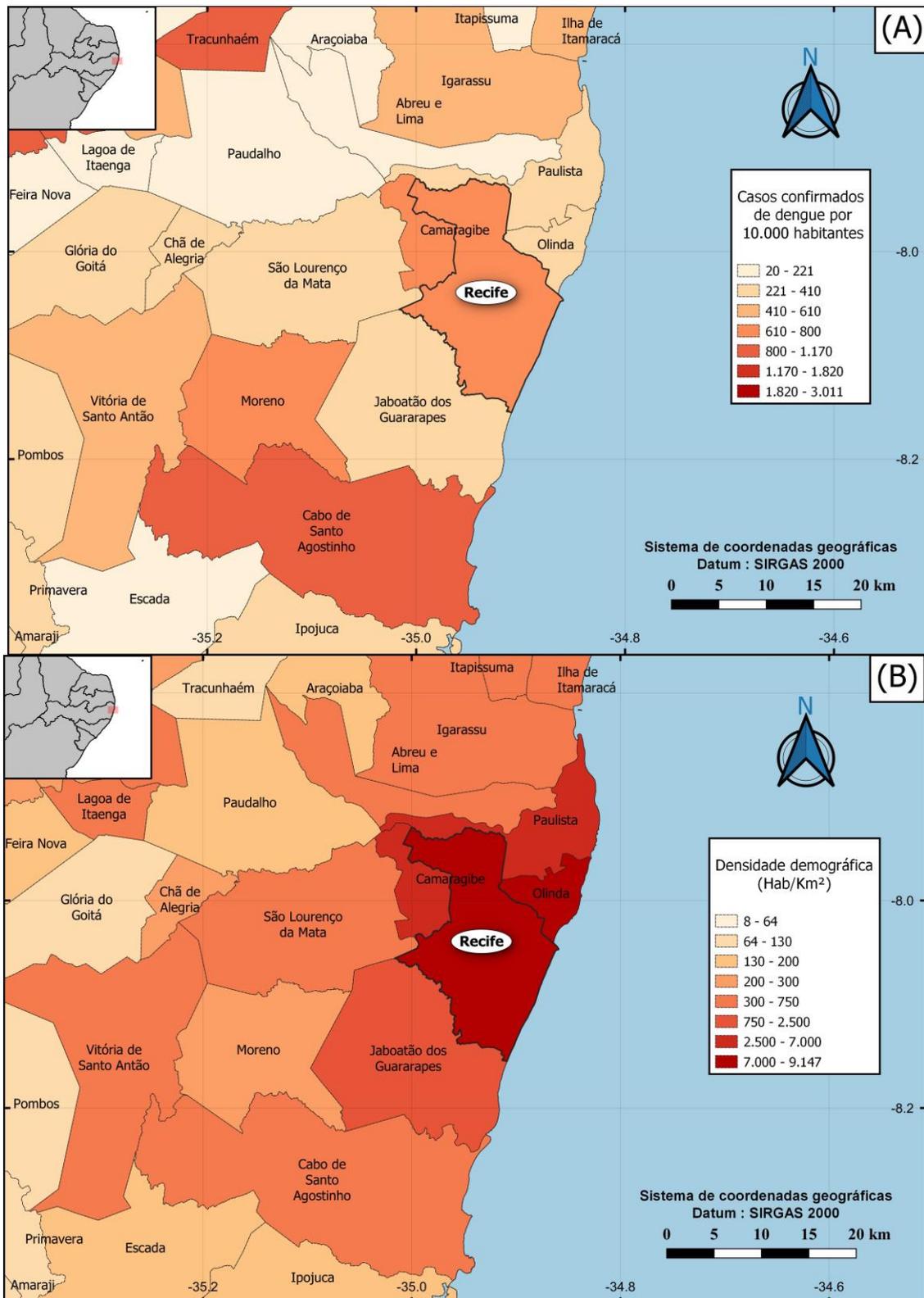


Figura 4.10: Informações da distribuição espacial da população nas cercanias de Recife (PE) para cada município proveniente da combinação dos dados coletados no Censo IBGE 2010 e DATASUS, sendo: (A) Casos confirmados de dengue acumulados em 18 anos (2001 – 2019) por 10 mil habitantes; (B) Densidade demográfica dos municípios. Fonte: Feito pelo autor.

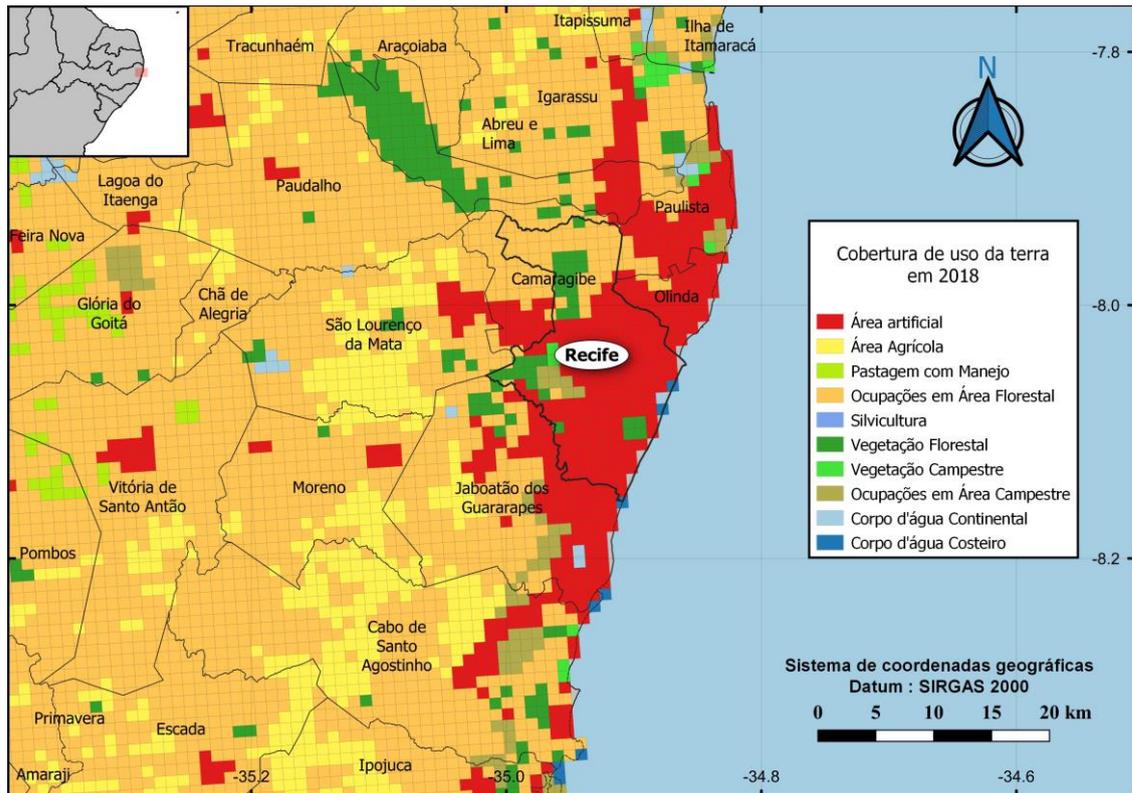


Figura 4.11: Mapeamento do uso da terra através de dados do IBGE para 2018 focalizado no município de Recife (PE) com grades de 1 km x 1 km. Fonte: Feito pelo autor.

epidemias de 2002, 2012, 2015 e 2016. Os valores de dias de precipitação, presentes na série temporal mensal disponibilizada pela estação convencional do INMET em Recife (PE), são substituídos pela soma das contagens de dias de ocorrência das classes de precipitação muito fraca, fraca, moderada, forte e muito forte calculadas no tópico 4.2. Esta troca é feita de modo a desconsiderar os valores de precipitação abaixo de 2.4 mm/dia, contados dentro da classe dia seco, gerando valores corrigidos de dias de precipitação para cada mês.

De forma similar ao observado por Lima et al. (2008), os casos previstos apresentam uma subestimação nos períodos de picos e superestimação nos demais meses da rodada 1 (figura 4.12A), evidenciando a tendência do modelo de não conseguir representar os picos da doença apenas com dados meteorológicos. Em função deste resultado, a correlação calculada entre os casos previstos e observados é igual a 0,37 (figura 4.13), não demonstrando uma representação satisfatória de toda a série. A única variável independentemente significativa para esta primeira rodada é a temperatura, uma vez que seu valor de p é inferior a 0,05, medindo 0,03.

O erro calculado é de -350,1, cujo sinal negativo aponta que a média para os casos

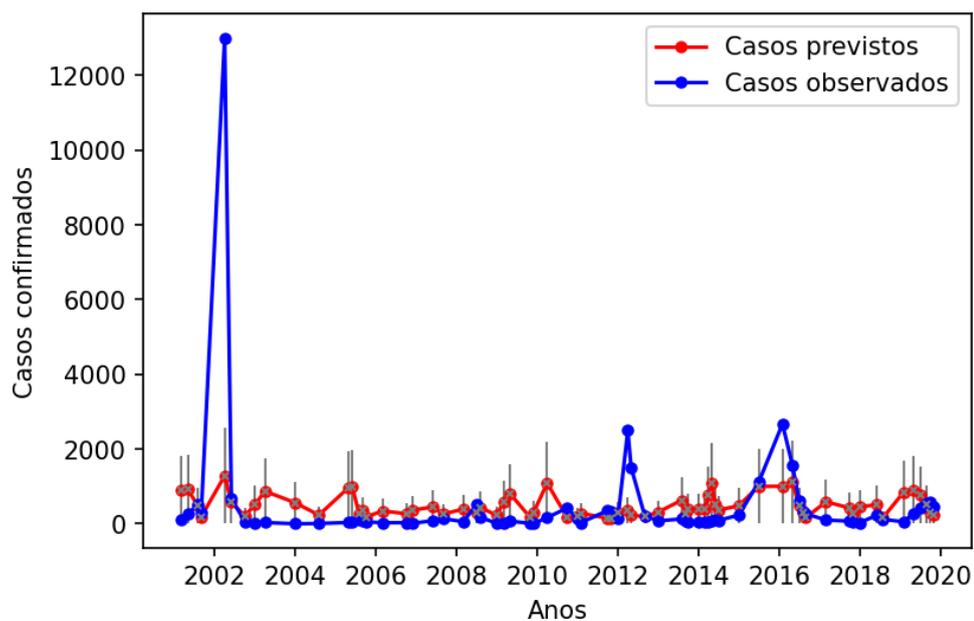
previstos é mais representativa do que para os casos observados, sendo menor do que a última. O desvio médio, em suma, é utilizado para avaliar a variabilidade dos dados em torno da média, quanto maior esta variabilidade, maior o desvio e, por consequência, é menos representativa. O conjunto de dados referente aos casos observados apresenta um maior desvio médio por conta da presença dos picos presentes na série, que acaba elevando este índice. O mesmo não ocorre para os casos previstos na rodada 1, pois não há ocorrência destes picos.

Realizando o teste do χ^2 (Pearson (1900)), verifica-se que o valor do mesmo para os testes calculados, sendo $\chi^2 = 145$, é menor do que seu valor crítico, $\chi^2_c = 182$, considerando o nível de significância de 95% (i.e., $p=0,05$) e 153 graus de liberdade. Desta forma, a distribuição de frequência da série de casos observados é diferente da prevista pelo modelo, mostrando que o mesmo não conseguiu representar de maneira adequada os casos da doença observados.

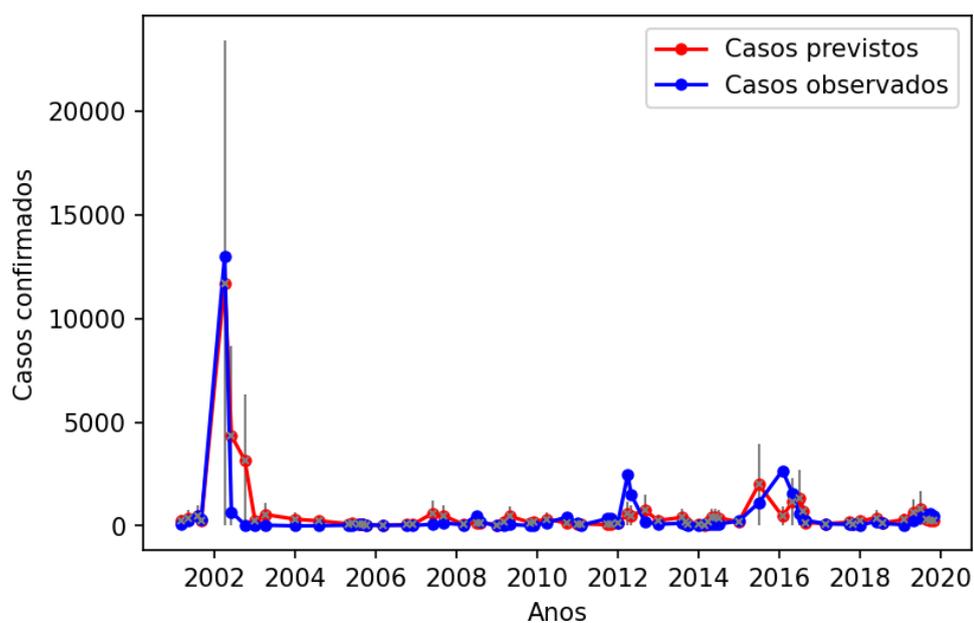
Ao serem adicionadas informações dos sorotipos ao modelo (figura 4.12B), grande parte da superestimação observada na rodada anterior é amenizada, bem como é visto um pico nos casos previstos referente a epidemia de 2002, cuja magnitude se aproxima consideravelmente da observada nos dados de casos confirmados. Entretanto, os demais picos dos anos de 2012 e 2016 ainda não são representados de maneira satisfatória, permanecendo a subestimação. Desta maneira, a correlação encontrada para ambas as séries se apresentou com valor de 0,88 (figura 4.13), valor muito acima da rodada anterior de 0,37, demonstrando uma melhor correlação entre os casos previstos e observados. As variáveis estatisticamente significativas foram insolação, precipitação, DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4.

A rodada 2 apresentou um erro de 22,5, muito menor se comparado com o da rodada anterior. Isto pode estar relacionado com a diminuição das superestimações encontradas nesta última e principalmente com a sinalização de um pico de casos em 2002, sendo este o mais discrepante tanto para a série prevista, quanto observada, provocando o aumento do desvio médio.

O valor de χ^2 encontrado para a série prevista é $\chi^2 = 300$, sendo superior ao seu valor crítico de $\chi^2 = 178$ considerando o nível de significância de 95% (i.e., $p=0,05$) e 149 graus de liberdade. Este resultado indica que a distribuição de frequência da série de casos previstos é igual a prevista pelo modelo, sendo possível afirmar que houve uma representação satisfatória dos casos observados nesta segunda rodada do modelo.



(a) Rodada 1 - Mensal



(b) Rodada 2 - Mensal

Figura 4.12: Previsões de casos de dengue mensais para a cidade de Recife (PE) no período de 2001 a 2019 através da regressão multivariada não binomial. (A) Rodada 1 considerando como variáveis independentes insolação, precipitação, temperatura, dias de precipitação, pressão e umidade relativa. (B) Rodada 2 considerando as mesmas variáveis da rodada anterior com o acréscimo da porcentagem de sorotipos DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4. Fonte: Feito pelo autor.

A evolução entre as duas rodadas pode ser vista na figura 4.13, a qual mostra não só o aumento da correlação entre os casos previstos do modelo e os observados, como também pela aproximação do desvio padrão da série gerada com os dados de referência.

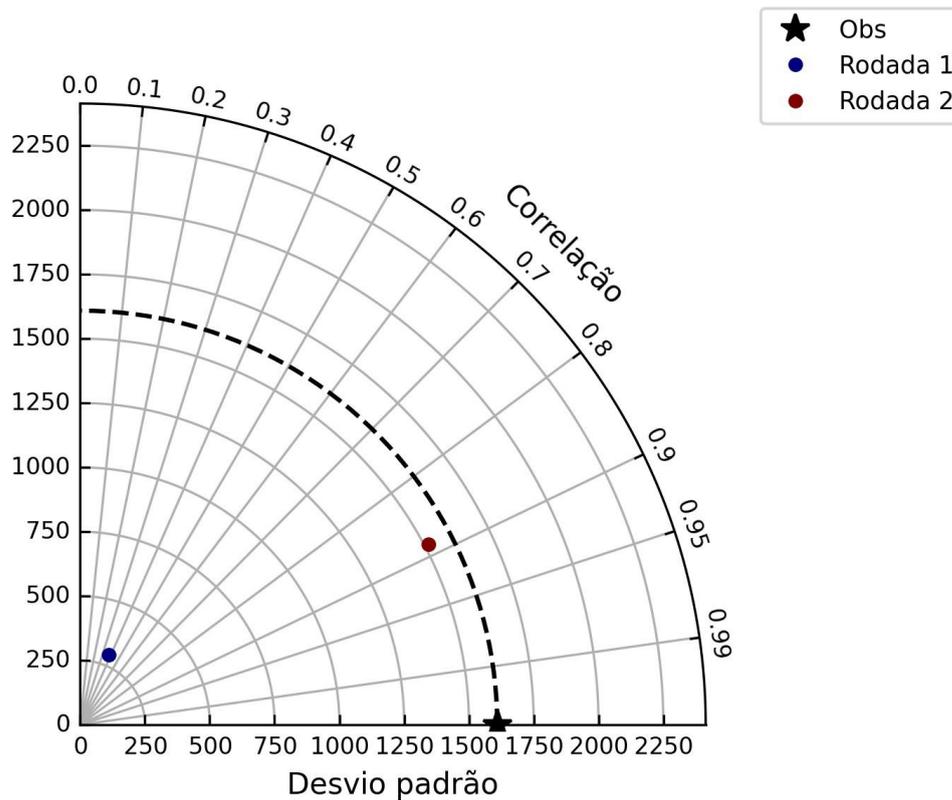


Figura 4.13: Digrama de Taylor das séries temporais geradas para previsão de casos de dengue mensais na cidade de Recife (PE) para as rodadas 1 e 2 comparadas com os valores observados nos postos de saúde. Fonte: Feito pelo autor.

Para as simulações dos casos diários (figura 4.14), observa-se um padrão ondulatório na série de casos previstos (figura 4.14A) que é amenizado pela inserção das informações de sorotipo na simulação (figura 4.14B). Conforme observado para os dados mensais, a rodada 1 indica uma superestimação em grande parte das previsões, com exceção dos picos observados ocorridos em 2015 e 2016, os quais são subestimados. Com o acréscimo das informações mensais de sorotipo, o padrão é modificado e verifica-se uma sinalização nestes 2 anos. Entretanto, devido ao número muito maior de dados e a aplicação de contagens de sorotipo na frequência mensal, uma vez que não há disponível na diária, ambas as simulações não conseguem representar de maneira satisfatória as distribuições presentes na série de casos diários, calculando valores de correlação aquém do satisfatório (figura 4.15), com a primeira rodada atingindo o valor de 0,22 e a segunda 0,59.

Os erros calculados para a rodada 1 e 2 apresentam-se nos valores de -24,6 e -8,6, respectivamente, mostrando uma diminuição do mesmo entre as rodadas. Apesar dos números serem menores do que os registrados para as simulações com dados mensais,

tais magnitudes são expressas pela natureza do próprio dado a ser validado, de forma que os valores de registros diários serão sempre menores do que os acumulados mensais, resultando, portanto, em magnitudes diferentes para as suas respectivas médias e, não obstante, para os desvios médios. Portanto, o erro calculado de 22,5 na segunda rodada para os acumulados de casos mensais é muito mais significativo por ser oriundo de 2 conjuntos de dados cujas médias para os casos previstos e observados são de 589,1 e 481,5, respectivamente, enquanto que para os casos diários os valores médios são bem menores, sendo a média de 30,1 e 31,6 para casos previstos e observados, respectivamente, refletindo desta forma na magnitude encontrada no erro.

Devido à característica dos dados a serem regredidos, avaliar o erro através da análise do desvio médio entre os casos previstos e observados mostra-se importante uma vez que é observado o quão representativa são as médias em ambas as séries. Tal representatividade é afetada pela presença dos picos de epidemia observados anteriormente, os quais elevam o valor do desvio médio. Se no caso do erro ser 0, ou muito próximo de 0, evidencia que as médias de ambas as séries são igualmente representativas e que, portanto, a regressão de casos confirmados de dengue conseguiu representar de maneira satisfatória o desvio da média ao considerar picos epidêmicos tal qual os valores observados.

4.5 Análise do modelo regional para precipitação

4.5.1 Avaliação das simulações em Recife

Comparando as médias climatológicas da precipitação mensal entre as simulações e os dados pluviométricos (figura 4.16), vemos a subestimação das mesmas em todo o ciclo anual, com a única exceção para os meses de janeiro, fevereiro e novembro simulados pelo RegMPI, o qual superestima a precipitação no período. Ademais, também é vista uma defasagem entre os máximos e mínimos da observação com as séries simuladas, havendo um deslocamento para a esquerda do padrão dos gráficos. O RegERA e RegHAD apresentam seu mês mais chuvoso em maio, enquanto o RegMPI mostra o mesmo em abril, sendo diferente do registrado na estação convencional, que indica junho como o mês com maior índice pluviométrico. De forma análoga, o mínimo de precipitação no ano é registrado em novembro pela observação, com 41 mm/mês, sendo correspondido pelo RegHAD, mas com um valor subestimado de 10 mm/mês. Já as simulações do RegERA e RegMPI

apontam para setembro como o mês menos chuvoso, registrando 14 mm/mês e 3 mm/mês, respectivamente, sendo valores muito aquém dos 97 mm/mês medidos na estação.

Apesar desta defasagem, as 3 simulações representam o início da estação chuvosa na mesma época dos dados observados, havendo um crescimento gradual nos índices de precipitação a partir do mês de dezembro, com exceção do RegMPI que tem este início em outubro. Nos registros pluviométricos, os valores da variável analisada começam a diminuir após atingirem junho, o mês mais chuvoso. Tal padrão também está presente nas simulações, porém com o início mais antecipado do que as observações, sendo a partir de junho pelo RegERA e RegHAD e maio pelo RegMPI. Os meses com menores registros de precipitação mensal também correspondem com as simulações do RegERA e RegHAD, sendo setembro, outubro e novembro apesar dos valores subestimados.

Os diagramas de caixa da figura 4.17 apresentam o padrão de distribuição dos acumulados mensais das séries temporais das 3 simulações e estação convencional. Apesar da subestimação, a representação do início da estação chuvosa e os meses com maiores valores pluviométricos apresenta-se em concordância com os dados observados, principalmente para as simulações do RegERA e RegHAD (figura 4.17B e 4.17C), os quais indicam de forma similar à observação o início da estação chuvosa e a estação seca. No entanto, o RegMPI (figura 4.17D), exibe os meses de junho e julho com índices mensais muito abaixo das demais séries temporais, prolongando a estação seca.

O mesmo padrão é exibido para as médias sazonais, nos quais o RegERA e RegHAD (figura 4.17F e 4.17G) indicam a estação do outono (MAM) e inverno (JJA) com os maiores índices pluviométricos, seguido pelo verão (DJF) e primavera (SON), similar aos dados observacionais. Entretanto, o RegMPI (figura 4.17H) apresenta o inverno como a estação mais seca do ano, sendo outono e verão as mais chuvosas, não representando de forma satisfatória a sazonalidade identificada nos dados observados.

Através destas análises, vemos que o RegMPI teve baixa habilidade na representação do clima na região do presente estudo, uma vez que tanto nas médias mensais quanto nas sazonais, o mesmo acaba subestimando os valores de precipitação em uma das épocas mais chuvosas do ano, o inverno, e similarmente durante o período mais seco da simulação. Entretanto, o RegERA e RegHAD representam de maneira satisfatória o ciclo sazonal da precipitação na cidade de Recife, indicando, tal qual os valores observados na estação convencional, o outono e inverno como períodos mais chuvosos do ano, seguido pelo verão

e, por último, a primavera.

Esta correspondência pode ser averiguada nas correlações das simulações com os dados observados expostas na figura 4.18, que para as médias mensais climatológicas, o RegERA apresenta uma correlação de 0,82 com a precipitação observada, seguido pelo RegHAD com 0,74 e, por último, o RegMPI, medindo 0,23. O diagrama de Taylor ainda apresenta o quão próximo as simulações representaram a precipitação através dos valores de desvio padrão das séries, podendo ser indicado que a simulação do RegERA foi a que mais se aproximou da observação seguida novamente pelo RegHAD, cujos valores são de 84,5 e 83,9, respectivamente, sendo 121,2 o desvio padrão da observação.

As informações expostas pelo diagrama de Taylor mostram que a simulação do modelo climático regional RegCM4 com os dados do ERA-Interim apresenta a melhor representação da precipitação mensal na região de estudo dentre as demais simulações avaliadas. Apesar dos valores subestimados, conforme observado nas figuras 4.16 e 4.17, o RegERA consegue simular de maneira satisfatória os ciclos anuais e sazonais da precipitação em Recife (PE), havendo uma boa concordância das estações chuvosas e secas com os dados pluviométricos. Esta concordância é expressa nos valores de correlação e desvio padrão calculados para a simulação e identificados até aqui.

4.5.2 Comparação das simulações com dados do CPC

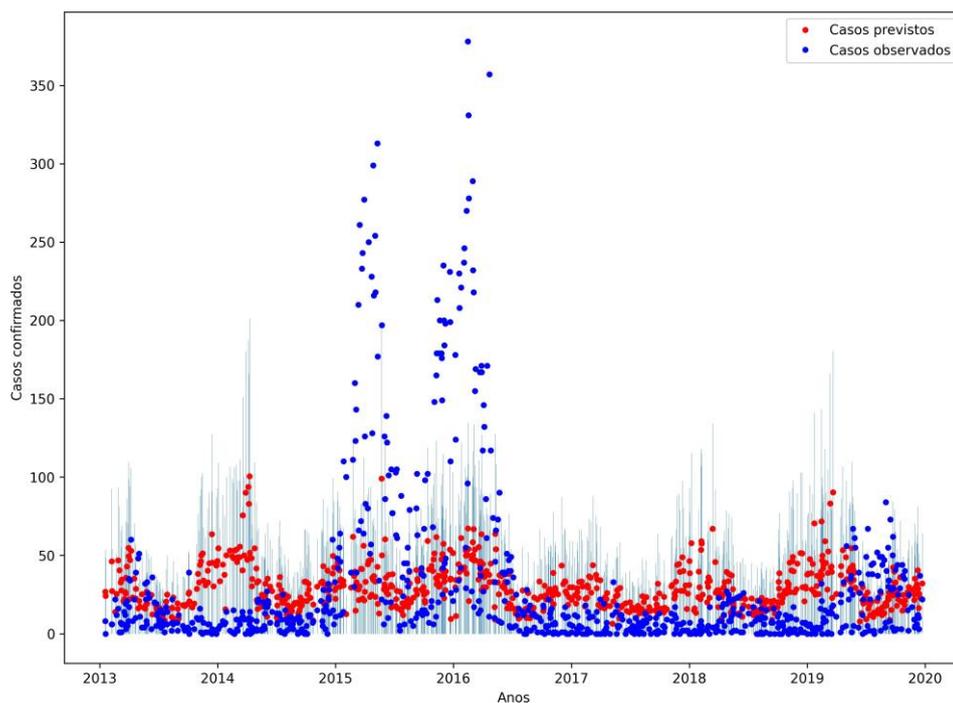
No quesito espacial com foco na região nordeste do Brasil, o desempenho das simulações foi avaliado através de suas médias sazonais para a precipitação diária comparando-as com os dados do CPC, podendo ser visualizado na figura 28. Desta figura, observa-se que as 3 simulações apresentam uma tendência de subestimação dos valores de precipitação nas estações do outono e inverno na região de Recife (PE) e quase toda a costa da região norte e nordeste do Brasil. No verão esta subestimação é amenizada nas simulações do RegERA e RegHAD, mas acaba havendo uma superestimação para o RegMPI em grande parte da região nordeste, incluindo Recife. A estação com o menor VIÉS é a primavera, não havendo valores consideráveis do mesmo na região do presente estudo, com exceção de um leve sinal negativo (i.e., subestimação) na simulação do RegMPI.

Realizando o mesmo tipo de análise para os dados iniciais e de fronteira utilizados para suas respectivas simulações, nota-se na figura 4.20 um valor agregado do RegERA para o verão na região de Recife, o qual não sinalizou a superestimava da precipitação indicada

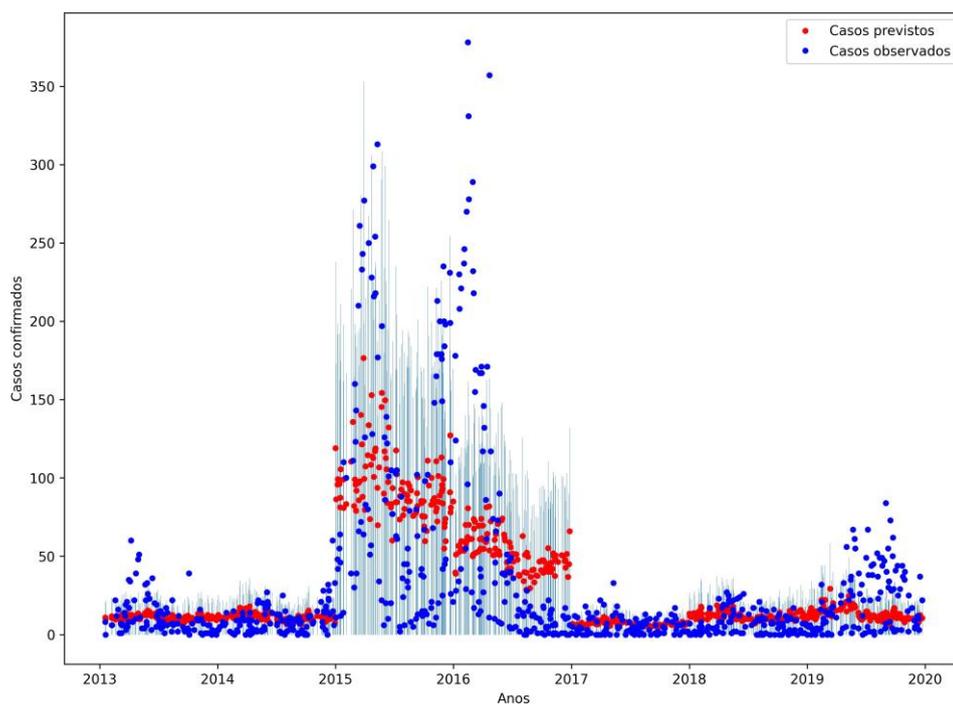
pelos dados de reanálise providos pelo ERA-Interim. Entretanto, a simulação apresenta uma tendência de subestimação ao norte da região nordeste do Brasil e superestimação nos estados da Bahia, Piauí e extremo oeste de Pernambuco.

As demais estações do ano não apresentam diferenças significativas entre os dados de reanálise e a simulação com relação aos arredores da cidade de Recife, demonstrando que o RegERA mantém o sinal de VIÉS negativo para o período de inverno e outono, havendo neste último a ampliação da área de subestimação para grande parte da costa nordeste do Brasil. Ademais, a primavera mostra-se como uma estação bem representada tanto pelos dados de reanálise quanto pelo RegERA, não havendo sinal de VIÉS para ambos na região de estudo.

A simulação do RegHAD também apresenta um padrão similar ao observado para o RegERA, apontando uma melhoria do modelo com relação à série histórica HadGEM2-ES, a qual tende a superestimar a precipitação em grande parte do estado de Pernambuco no período do verão. Esta tendência não é sinalizada pelo RegHAD, sendo observado apenas um leve sinal negativo de VIÉS na costa norte do estado. Entretanto, diferente do RegERA, a precipitação nas demais estações do ano é subestimada por toda costa pernambucana, região que localiza Recife, havendo inclusive um aumento deste sinal no outono.



(a) Rodada 1 - Diário



(b) Rodada 2 - Diário

Figura 4.14: Previsões de casos de dengue diários para a cidade de Recife (PE) no período de 2013 a 2019 através da regressão multivariada não binomial. (A) Rodada 1 considerando como variáveis independentes insolação, precipitação, temperatura, pressão, umidade relativa, umidade relativa mínima. (B) Rodada 2 considerando as mesmas variáveis da rodada anterior com o acréscimo da porcentagem de sorotipos DENV-1, DENV-2, DENV-3 e DENV-4. Fonte: Feito pelo autor.

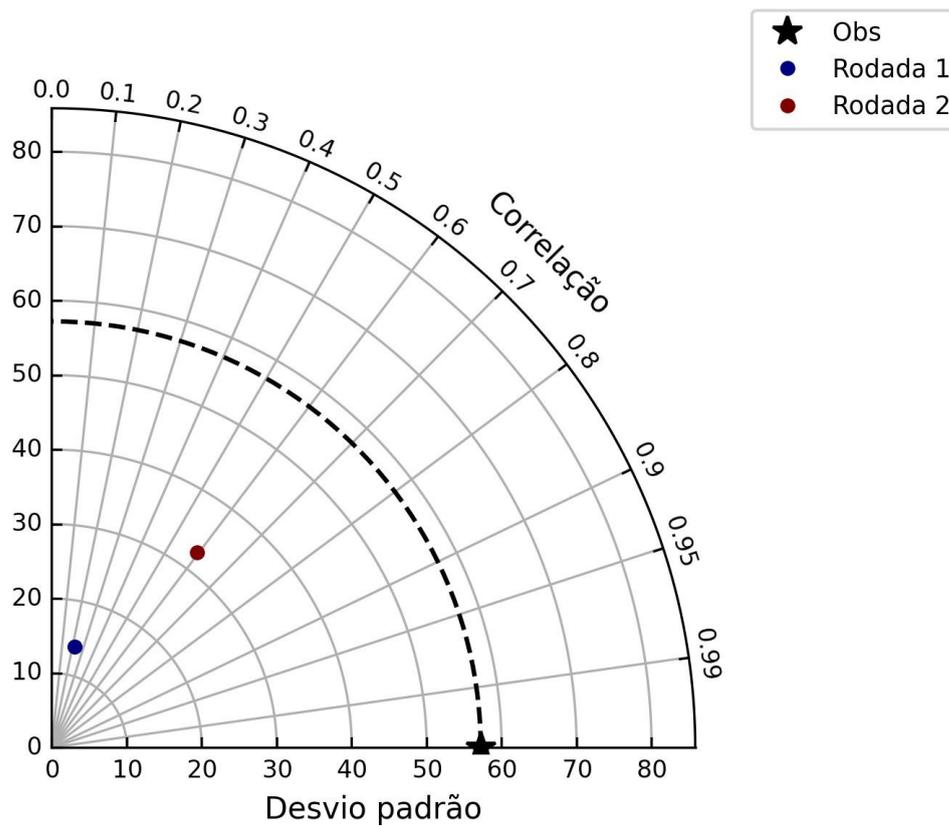


Figura 4.15: Digrama de Taylor das séries temporais geradas para previsão de casos de dengue diários na cidade de Recife (PE) para as rodadas 1 e 2 comparadas com os valores observados nos postos de saúde. Fonte: Feito pelo autor.

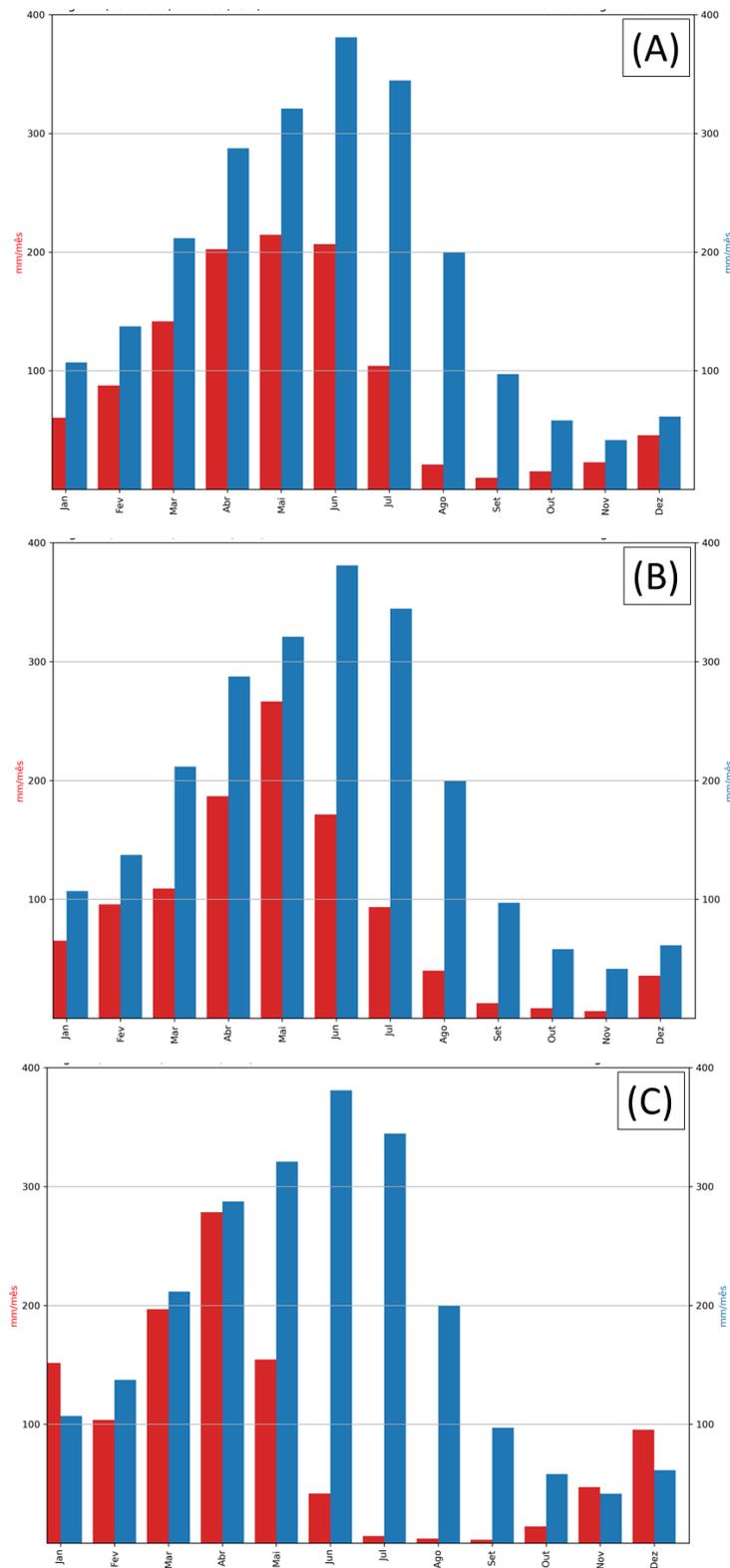


Figura 4.16: Comparação das médias mensais de precipitação para a climatologia de 1980 a 2018 na cidade de Recife (PE) entre os dados pluviométricos da estação convencional do INMET (em azul) e (A) simulação do RegERA; (B) simulação do RegHAD; (C) simulação do RegMPI. Fonte: Feito pelo autor.

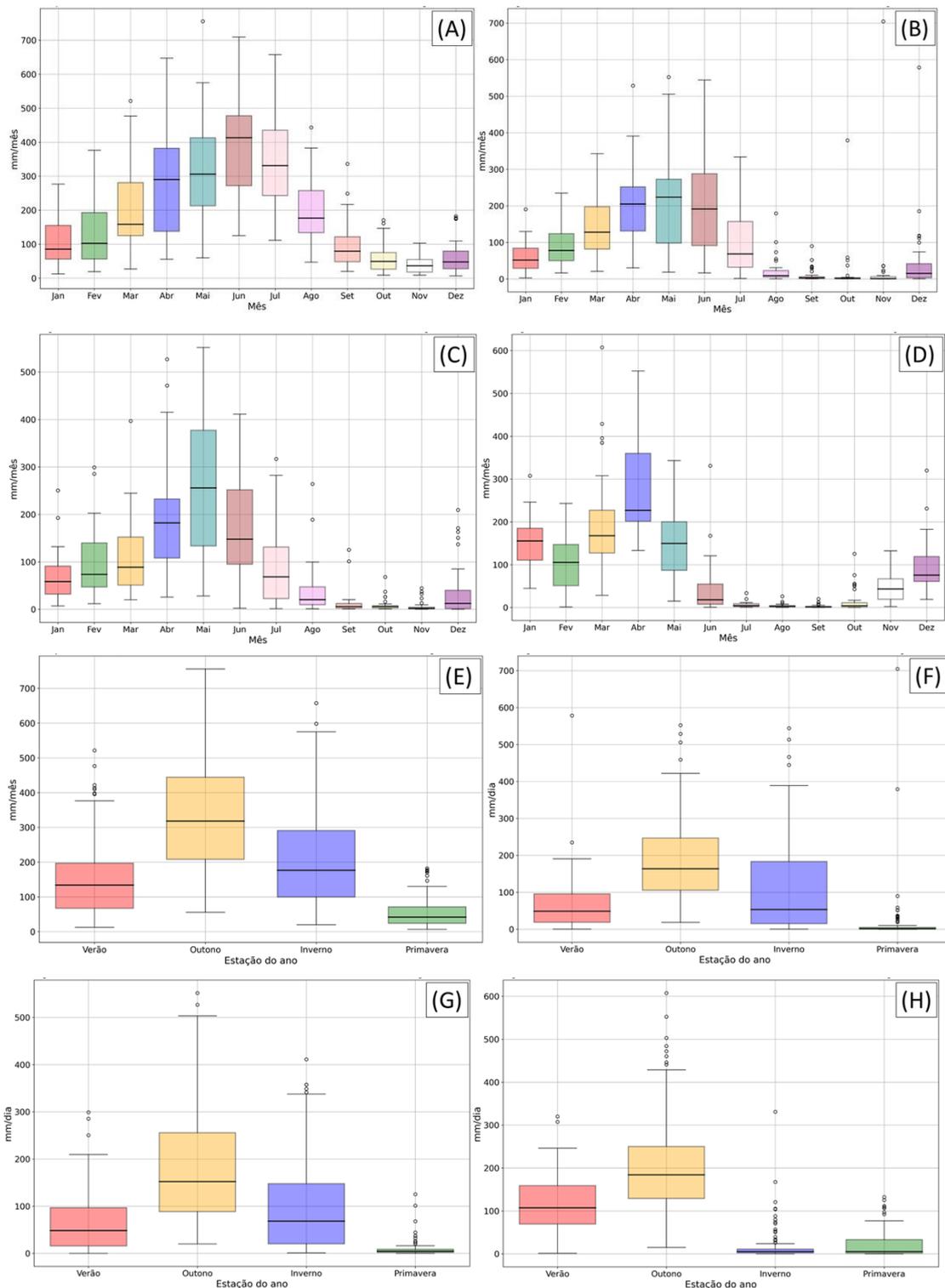


Figura 4.17: Diagramas de caixas das séries temporais de precipitação mensal calculada em uma grade centrada em Recife (PE) do ano de 1980 a 2018, sendo (A) média mensal na estação convencional de Recife do INMET, (B) média mensal da simulação do RegERA, (C) média mensal da simulação do RegHAD, (D) média mensal da simulação do RegMPI, (E) média por estações do ano na estação convencional de Recife do INMET; (F) média por estações do ano da simulação RegERA; (G) média por estações do ano da simulação RegHAD; (H) média por estações do ano da simulação RegMPI. Fonte: Feito pelo autor.

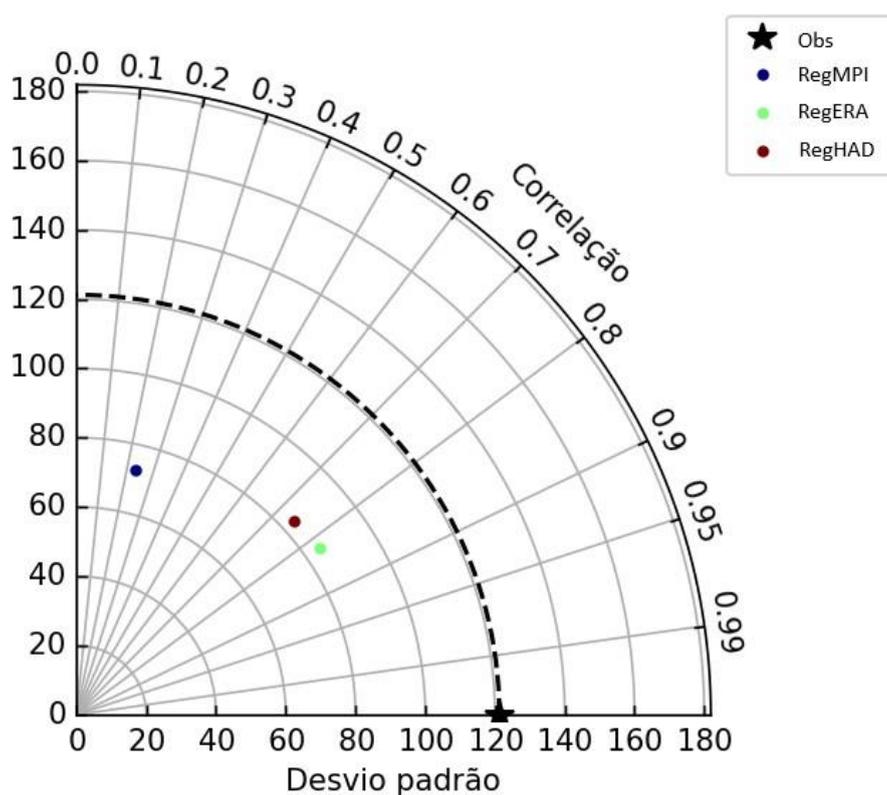


Figura 4.18: Digrama de Taylor das séries temporais geradas pelas simulações dos modelos climáticos regionais RegERA, RegHAD e RegMPI, sendo calculada a média mensal climatológica de 1980 a 2018 para cada simulação e comparada a dos dados pluviométricos da estação convencional de Recife (PE). Fonte: Feito pelo autor.

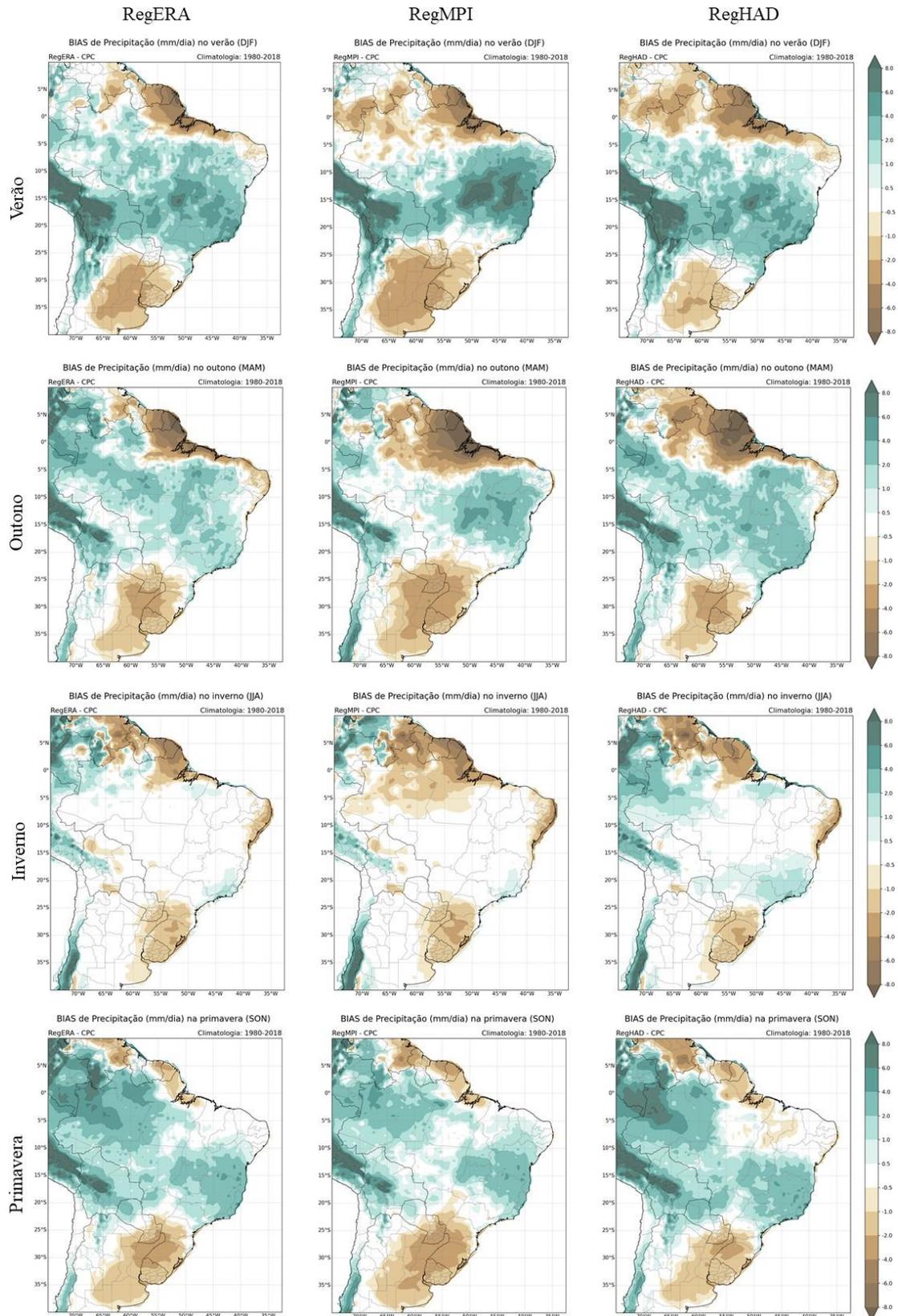


Figura 4.19: VIÉS de precipitação (mm/dia) em DJF (linha 1), MAM (linha 2), JJA (linha 3) e SON (linha 4) para o RegERA (coluna 1), RegMPI (coluna 2), RegHAD (coluna 3), considerando o conjunto de dados do CPC como as observações. O período de climatologia utilizado é 1980-2018. Fonte: Feito pelo autor.

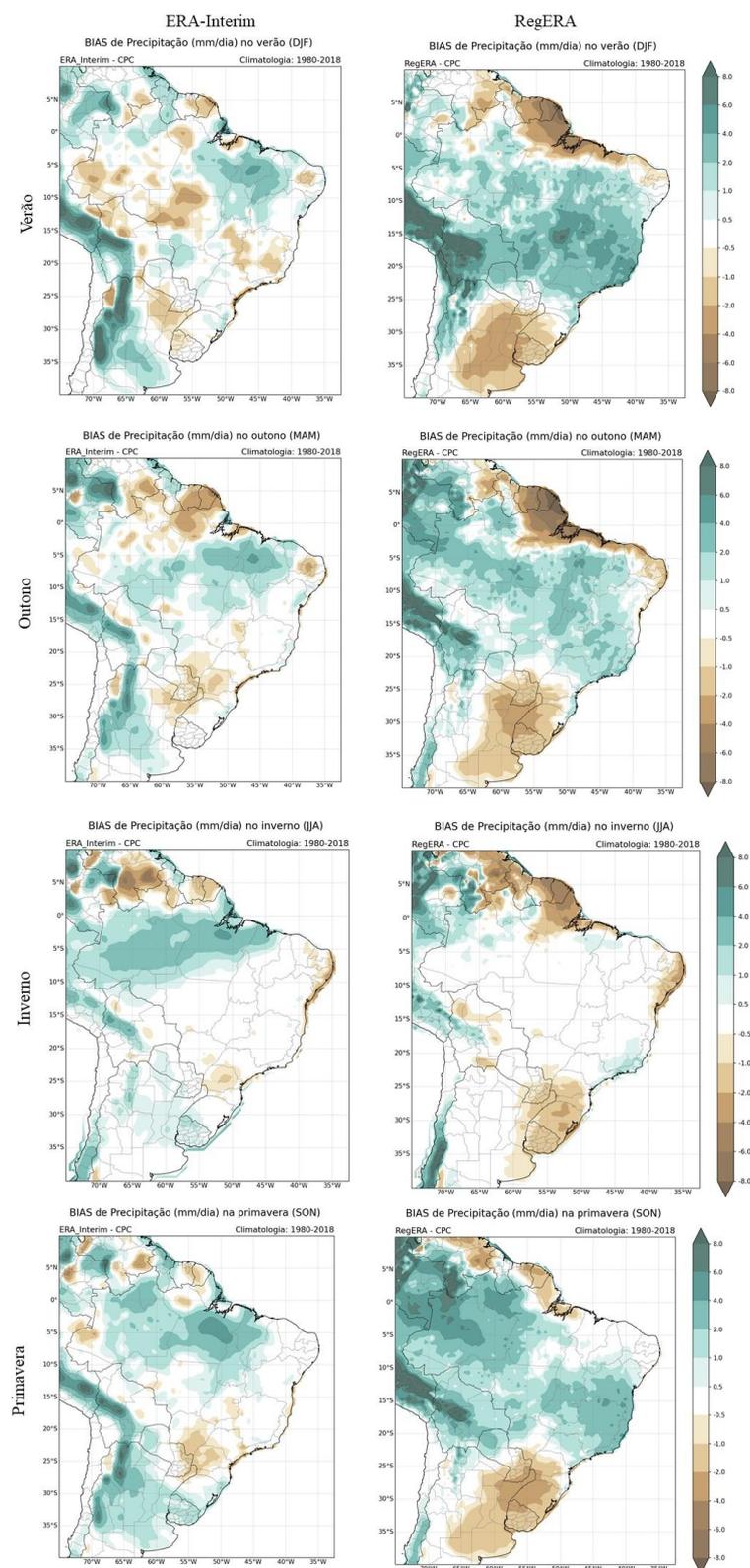


Figura 4.20: Viés de precipitação (mm/dia) em DJF (linha 1), MAM (linha 2), JJA (linha 3) e SON (linha 4) para a reanálise do ERA-Interim (coluna 1) e RegERA (coluna 2), considerando o conjunto de dados do CPC como as observações. O período de climatologia utilizado é 1980-2018. Fonte: Feito pelo autor.

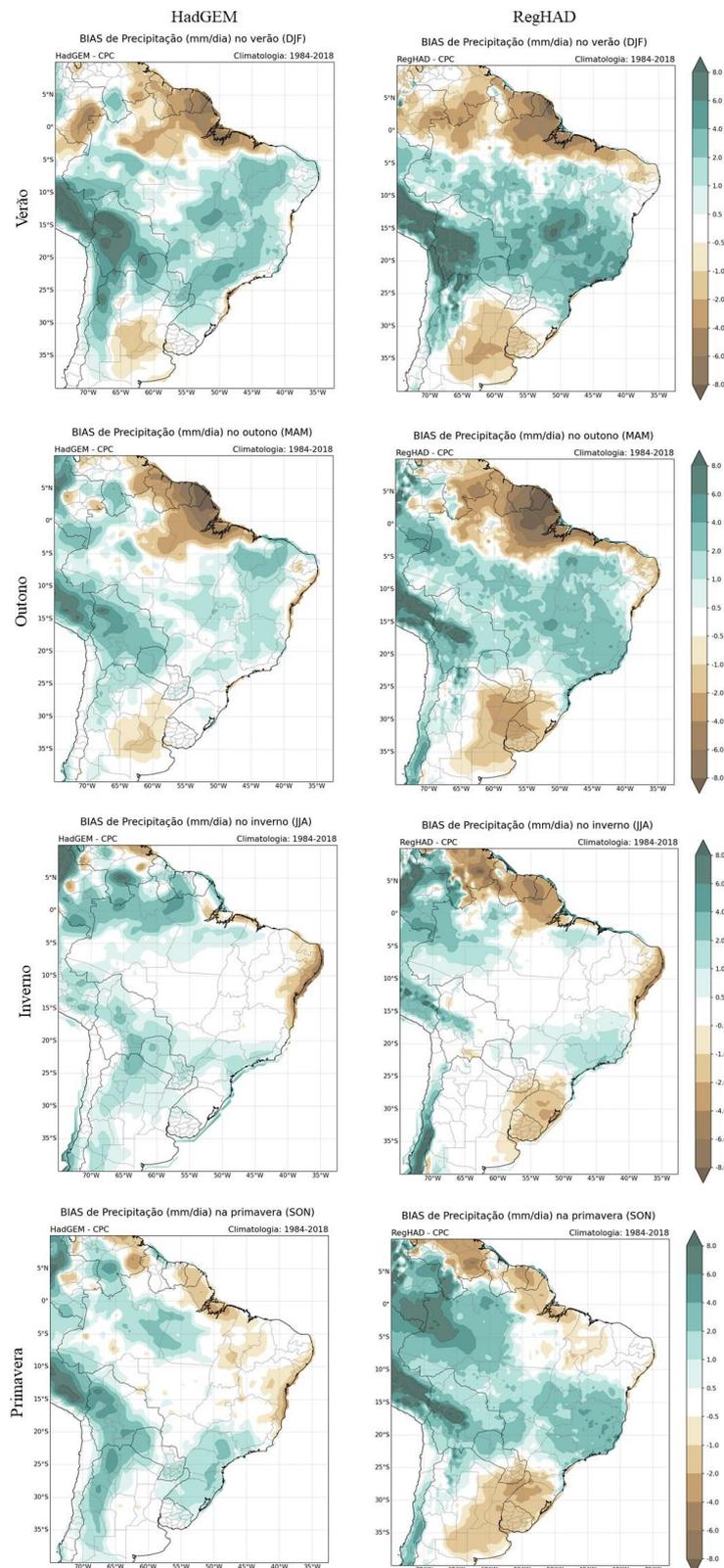


Figura 4.21: Viés de precipitação (mm/dia) em DJF (linha 1), MAM (linha 2), JJA (linha 3) e SON (linha 4) para a simulação histórica do HadGEM2-ES (coluna 1) e RegHAD (coluna 2), considerando o conjunto de dados do CPC como as observações. O período de climatologia utilizado é 1984-2018. Fonte: Feito pelo autor.

Conclusões

Diante dos resultados obtidos, nota-se que a relação entre a precipitação e os casos confirmados de dengue na cidade de Recife apresenta diversas concordâncias e mostram-se interligadas. Esta afirmação é confirmada pelas análises dos diagramas de caixa e os gráficos de barras das médias mensais de ambas as variáveis, mostrando que o período de aumento de casos ocorre junto com a estação chuvosa da cidade e, ademais, a estação de seca também é o período onde há a menor ocorrência de casos no ano, padrão este discutido na literatura (Teixeira et al. (1999); Barreto e Teixeira (2006); Santos et al. (2020)). Por conseguinte, as classificações de precipitação também indicam uma ligação entre os períodos mais chuvosos e as altas de casos na cidade, sendo vista uma maior ocorrência nas estações com maiores contagens de dias com precipitações do tipo fraca, moderada e forte e menor ocorrência nas estações com mais dias secos.

Entretanto, o comportamento entre ambas as variáveis não apresenta uma dependência completa e muito menos direta, sendo identificadas discrepâncias que evidenciam que a precipitação, por si só, não é suficiente para explicar e prever de maneira adequada todos os picos e quedas dos casos de dengue, principalmente na relação fora das médias mensais e sazonais como, por exemplo, a ocorrência de picos de casos sem o sinal de precipitação correspondente para a magnitude dos mesmos. Um exemplo disto são os anos de 2015 e 2016, os quais não mostram valores altos de precipitação mensal que justifiquem e correspondam às epidemias ocorridas nestes anos, uma vez que, tanto para 2015 quanto para 2016, o mês de pico é classificado como seco, não obstante as epidemias ocorridas nestes 2 anos serem uma das maiores de toda série temporal de casos confirmados, apenas menores que a epidemia de 2002. O bimestre avaliado de 2008 também mostra esta discordância, em virtude de terem sido classificados os meses de abril e maio de 2008 como chuvoso e

muito chuvoso, respectivamente, e apresentarem o menor pico de casos dentre os períodos epidemiológicos avaliados.

A consideração da influência dos sorotipos circulantes na população mostra-se indispensável no que se refere a representação e justificativa dos períodos epidêmicos identificados. Atuando em conjunto com as condições do tempo representadas pela precipitação em Recife, os sorotipos mostram-se um parâmetro importante para o aumento explosivo de casos, possibilitando uma melhor representação desta variável no modelo de regressão indicada por um aumento expressivo das correlações entre a primeira e segunda rodadas para os dados na frequência mensal. Todavia, este aumento não foi observado entre as simulações com os dados diários, uma vez que, mesmo que ainda tenha ocorrido um aumento da correlação da rodada 1, explicada unicamente pelos parâmetros do tempo como precipitação e temperatura, para a 2, munida dos mesmos parâmetros do tempo com o acréscimo de contagem de sorotipos, as informações destes últimos não se encontram na mesma frequência temporal dos dados (i.e., mensal), afetando a regressão para este caso.

Vale ressaltar que não foi encontrando um único banco de dados que provesse informações de contagens de sorotipos na população para todo o período de análise do presente trabalho (i.e., 2001 a 2019), sendo necessária a busca de outras fontes além das fornecidas pela plataforma pública de saúde DATA-SUS. Esta consideração mostra-se relevante de modo que, apesar da melhoria exibida na representação da série de casos de dengue obtida pelo acréscimo destes dados disponíveis, uma cobertura maior dos mesmos nos períodos faltantes mostraria resultados ainda mais promissores.

O espaço geográfico do município Recife demonstrou-se com boas condições sanitárias, tanto para abastecimento de água quanto descarte de lixo. Entretanto, o mesmo não pode ser dito dos municípios vizinhos, os quais apresentam condições propícias para formação de criadouros do mosquito *Aedes aegypti*. Nestas localidades, são registradas porcentagens consideráveis de domicílios que utilizam descarte de lixo em terreno baldio ou logradouro, o qual tem um impacto considerável no aumento das populações do vetor da dengue, conforme discutido por Sobral e Sobral (2019). Estas condições desfavoráveis podem agir de forma a possibilitar o deslocamento dos vetores para o município de Recife, podendo causar aumento de casos mesmo com boas condições de infraestrutura de saneamento básico que dificultariam a formação de criadouros dentro do próprio município. Ademais, a própria heterogeneidade da cobertura da terra na municipalidade atua de forma a dificultar ainda

mais as ações de mitigação e controle dos vetores da doença.

Deve ser ressaltado que as medidas públicas de mitigação e combate ao *Aedes aegypti* promovidas pelo Poder Público podem explicar algumas discrepâncias observadas nas análises das séries temporais, tais como a não correspondência entre grandes picos de precipitação e ausência de casos de dengue correspondentes (e.g. 2005). A interferência de uma campanha massiva de combate ao mosquito, representada por fiscalização de agentes públicos nos domicílios e aplicação de inseticidas, podem ter impedido a ocorrência de epidemias nos anos em que as condições do tempo se mostraram favoráveis. Contudo, informações e dados que pudessem respaldar a magnitude desta influência, de forma a se avaliar em conjunto com os dados utilizados no presente trabalho, não foram encontradas, não sendo possível afirmar de maneira categórica o quanto as ações de mitigação do Poder Público foram preponderantes ou aquém do necessário no período estudado.

Por fim, a simulação do RegERA se destaca como a mais apta para representação da precipitação em Recife dentre as outras 2 avaliadas, mostrando-se capaz de reproduzir os padrões mensais e sazonais desta variável de maneira bastante satisfatória. Tal resultado se demonstra promissor no âmbito do projeto MEWAR, uma vez que as melhores concordâncias identificadas entre as séries de precipitação e casos de dengue ocorrem quando avaliadas no âmbito mensal e sazonal. Uma boa simulação da precipitação nesta escala de tempo indica a possibilidade de utilização deste modelo como ferramenta prognóstica nos casos de dengue, podendo ser utilizados os valores previstos em conjunto com as informações de sorotipos, que também se mostram essenciais.

5.1 Perspectivas para futuros trabalhos

Foi visto que as informações referentes ao predomínio dos sorotipos na população são de suma importância para a representação e previsão dos picos mais explosivos da dengue. Uma maior cobertura e testagem dos mesmos em uma frequência diária pode ajudar a melhorar o desempenho das rodadas de regressão nesta frequência temporal e também a prover maiores detalhes nas análises mensais.

A análise diária dos dados no modelo de regressão mostrou-se de difícil representação por conta da própria característica da série temporal dos dados confirmados de dengue, os quais contavam com diversos valores nulos que não foram previstos em nenhum momento

em ambas as rodadas realizadas. Este problema pode ser contornado através da análise dos dados diários pelos acumulados em semanas epidemiológicas, não havendo, desta forma, estes valores nulos de difícil representação.

A presente dissertação realizou as análises em Recife, uma localidade cujo posicionamento geográfico apresenta pouca variação sazonal das outras variáveis do tempo, tais como temperatura e umidade relativa do ar. Um estudo utilizando os mesmos métodos para uma região cujas condições do tempo variam drasticamente ao longo do ano, tal como o sudeste do Brasil, pode servir para um melhor entendimento da influência não só da precipitação, como também da temperatura e umidade.

Vale ressaltar ainda que os dados utilizados para realização dos mapas de saneamento por município foram obtidos do último Censo do IBGE ocorrido em 2010. A atualização destas informações é de suma importância no conhecimento do real impacto das condições de infraestrutura dos municípios no que diz respeito ao combate do mosquito *Aedes aegypti*.

Referências Bibliográficas

- Andrioli D. C., Busato M. A., Lutinski J. A., Spatial and temporal distribution of dengue in Brazil, 1990 - 2017, PLoS ONE, 2020, vol. 15
- Barreto M. L., Teixeira M. G., Dengue no Brasil: situação epidemiológica e contribuições para uma agenda de pesquisa, Estudos avançados, 2006, vol. 64, p. 53
- Beserra E. B., Freitas E. M., Souza J. T., Fernandes C. R. M., Santos K. D., Ciclo de vida de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Diptera, Culicidae) em águas com diferentes características, Iheringia, 2009, vol. 99, p. 281
- Bonita R., Beaglehole R., Kjellström T., Epidemiologia Básica. Santos Editora Com. Imp. Ltda - 2.ed. - São Paulo, Santos., 2010, 230 p.
- Borges I. V. G., Moreira D. S., Rozante J. R., Campo de Precipitação Proveniente de Medidas Pluviométricas e Estimativas de Precipitação dos Radares do IPMet, Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, 2019, vol. 42, p. 417
- Brasil M. d. S., Dengue Aspectos Epidemiológicos, Diagnóstico e Tratamento, 2002, pp 1–24
- Calvetti L., Beneti C., Neundorf R. L. A., Inouye R. T., dos Santos T. N., Gomes A. M., Herdies D. L., de Gonçalves L. G. G., Quantitative Precipitation Estimation Integrated by Poisson's Equation Using Radar Mosaic, Satellite, and Rain Gauge Network, Journal of Hydrologic Engineering, 2017, vol. 22
- Cameron A. C., Trivedi P. K., Regression analysis of count data. Cambridge University Press, New York, 1998, 435 p.

- Camuffo D., Galileo's revolution and the infancy of meteorology in Padua, Florence and Bologna, Méditerranée [Online], 2021
- Castanha P. M. S., Anticorpos antidengue sorotipo específico em um estudo de base populacional realizado em Recife, Pernambuco, Fundação Oswaldo Cruz - Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, 2011, Dissertação de Mestrado, 73 p.
- Cavalcanti I. F. A., Ferreira G. A. J. S., Silva M. G. A. J., Silva Dias M. A. F., Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 468 p.
- Chen M., Shi W., Xie P., Silva V. B., Kousky V. E., Higgins R. W., Janowiak J. E., Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2008, vol. 113
- Chen Y., Flood dynamics of the lower Yellow River over the last 3000 years: Characteristics and implications for geoarchaeology, *Quaternary International*, 2019, vol. 521, p. 147
- Coelho A. C. R., Anjos A. K. P., de Sousa Oliveira C., da Cruz Viana F. L., Dutra M. C. L., do Socorro Gama Guimarães S., Gonçalves L. F., Impacto da dengue no Brasil no período de 2007 a 2012, *Revista Científica de Enfermagem*, 2019, vol. 9, p. 79
- Collins W., Bellouin N., Doutriaux-Boucher M., Gedney N., Hinton T., Jones C., Liddicoat S., Martin G., Rae J., Senior C., Totterdell I., Reichler S. T. W., Kim J., Woodward S., Reichler T., Evaluation of the HadGEM2 model, *Hadley Centre technical note 74*, 2008, vol. 74, p. 1
- Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M. A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A. C., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A. J., Haimberger L., Healy S. B., Hersbach H., Hólm E. V., Isaksen L., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A. P., Monge-Sanz B. M., Morcrette J. J., Park B. K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J. N., Vitart F., The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2011, vol. 137, p. 553
- Farnesi L. C., Martins A. J., Valle D., Rezende G. L., Embryonic development of *Aedes*

- aegypti (Diptera: Culicidae): influence of different constant temperatures, Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2009, vol. 104, p. 124
- Feng Z. J., Wu P., Qin Z., Climate change, Yellow River dynamics and human civilization in Central Plains of China, Quaternary International, 2019, vol. 521, p. 1
- Ferreira A. C., Neto F. C., Mondini A., Dengue in Araraquara, state of São Paulo: Epidemiology, climate and Aedes aegypti infestation, Revista de Saude Publica, 2018, vol. 52
- Ferreira R. N., Schubert W. H., Barotropic Aspects of ITCZ Breakdown, Journal of the Atmospheric Sciences, 1997, vol. 54, p. 261
- Freire K. M. R., Mapeamento de fluxo dos casos de dengue nos estabelecimentos de saúde do Distrito Federal, Universidade de Brasília - UNB, 2021, Dissertação de Mestrado, 162 p.
- Gil D. C. Q., Benítez J. E. O., Martínez-Gutiérrez M., Competencia vectorial: consideraciones entomológicas y su influencia sobre la epidemiología del Dengue, Iatreia, 2010, vol. 23, p. 146
- Giorgetta M. A., Jungclaus J., Reick C. H., Legutke S., Bader J., Böttinger M., Brovkin V., Crueger T., Esch M., Fieg K., Glushak K., Gayler V., Haak H., Hollweg H.-D., Ilyina T., Kinne S., Kornblueh L., Matei D., Mauritsen T., Mikolajewicz U., Mueller W., Notz D., Pithan F., Raddatz T., Rast S., Redler R., Roeckner E., Schmidt H., Schnur R., Segschneider J., Six K. D., Stockhause M., Timmreck C., Wegner J., Widmann H., Wieners K.-H., Claussen M., Marotzke J., Stevens B., Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5, Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2013, vol. 5, p. 572
- Giorgi F., Coppola E., Solmon F., RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains, Clim. Res., 2012, vol. 52, p. 7–29
- Giorgi F., Jones C., Asrar G., Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework, WMO Bulletin, 2009, vol. 58, p. 175–183
- Gomes H. B., Ambrizzi T., Herdies D. L., Hodges K., Silva B. F. P. D., Easterly wave disturbances over Northeast Brazil: An observational analysis, Advances in Meteorology, 2015, vol. 2015

- Guedes D. R. D., Análise da competência vetorial para o vírus Dengue em populações naturais de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* de Pernambuco, 2012, Tese de Doutorado, 102
- Hoffmann R., Análise de regressão: uma introdução à econometria [recurso eletrônico]. ESALQ/USP, 2015, 393 p.
- Hopp M. J., Foley J. A., Global-scale relationships between climate and the dengue fever vector, *Aedes aegypti*, *Climatic Change*, 2001, vol. 48, p. 441
- Hotta S., Experimental Studies on Dengue: I. Isolation, Identification and Modification of the Virus, *The Journal of Infectious Diseases*, 1952, vol. 90, p. 1
- IBGE Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil : 2016 - 2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020, 26 p.
- Kawada H., Higa Y., Futami K., Muranami Y., Kawashima E., Osei J. H., Sakyi K. Y., Dadzie S., de Souza D. K., Appawu M., Ohta N., Suzuki T., Minakawa N., Discovery of Point Mutations in the Voltage-Gated Sodium Channel from African *Aedes aegypti* Populations: Potential Phylogenetic Reasons for Gene Introgression, *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 2016, vol. 10
- Kousky V. E., Gan M. A., Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic., *Tellus*, 1981, vol. 33, p. 538
- Leandro D. C., Transmissão transovariana do vírus do dengue sorotipo 2 em *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) e suas implicações na biologia reprodutiva do mosquito, 2015, Tese de Doutorado, 134
- Lima E. A., Firmino J. L. N., Filho M. F. G., A relação da previsão da precipitação pluviométrica e casos de dengue nos estados de Alagoas e Paraíba no Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2008, pp 264–269
- Lima R. C., Moreira E. B. M., Nóbrega R. S., A influência climática sobre a epidemia dengue na cidade do Recife por Sistema de Informações Geográficas, *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2016, vol. 9, p. 384

- Lü J., Mo D., Zhuang Y., Jiang J., Liao Y., Lu P., Ren X., Feng J., Holocene geomorphic evolution and settlement distribution patterns in the mid-lower Fen River basins, China, *Quaternary International*, 2019, vol. 521, p. 16
- Machado C. C. C., Nóbrega R. S., Oliveira T. H., Alves K. M. A. S., Distúrbio ondulatório de leste como condicionante a eventos extremos de precipitação em Pernambuco, *Revista Brasileira de Climatologia*, 2012, vol. 11, p. 146
- Mendonça F. A., Souza A. V., Dutra D. A., Saúde pública, urbanização e dengue no Brasil Public health, urbanization and dengue's fever in Brazil, *Sociedade e Natureza*, 2009, vol. 21, p. 257
- Monteiro J. B., Rocha A. B., Zanella M. E., Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): baixo curso do Apodi-Mossoró/RN, *Geography Department, University of Sao Paulo*, 2012, vol. 23, p. 232
- Montenegro D., Lacerda H. R., Lira T. M., Oliveira D. S. C., Lima A. A. F., Guimarães M. J. B., Vasconcelos P. G., Aspectos clínicos e epidemiológicos da epidemia de dengue no Recife, PE, em 2002 Clinical and epidemiological aspects of the dengue epidemic in Recife, PE, 2002, *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 2006, vol. 39, p. 9
- Moscatti M. C. L., Variabilidade da precipitação no litoral leste da região Nordeste do Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, 1991, Dissertação de Mestrado, 250 p.
- Neves D. P., Melo A. L., Linardi P. M., Vitor R. W. A., *Parasitologia Humana*. São Paulo: Atheneu, 11.ed., 2000, 498 p.
- Pearson K., X. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling, *Philosophical Magazine Series 5*, 1900, vol. 50, p. 157
- Pinkayan S., Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area, *Hydrology papers*, 1966, pp 1–60

- Powell J. R., Tabachnick W. J., History of domestication and spread of *Aedes aegypti* - A Review, Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2013, vol. 108, p. 11
- Reboita M. S., Gan M. A., Rocha R. P., Ambrizzi T., Regimes de precipitação na América do Sul, Revista Brasileira de Meteorologia, 2010, vol. 25, p. 185
- Recife S. d. S., Boletim Epidemiológico -Arboviroses transmitidas pelo *Aedes aegypti*, 2015, pp 1–9
- Santos I. C. S., Braga C., Souza W. V., Oliveira A. L. S., Regis L. N., The influence of meteorological variables on the oviposition dynamics of *aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in four environmentally distinct areas in northeast Brazil, Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 2020, vol. 115, p. 1
- Silva C. C., de Lima C. L., Silva A. C. G., Moreno G. M. M., Musah A., Aldosery A., Dutra L., Ambrizzi T., Borges I. V. G., Tunali M., Basibuyuk S., Yenigün O., Jones K., Campos L., Massoni T. L., da Silva Filho A. G., Kostkova P., Santos W. P., Forecasting Dengue, Chikungunya and Zika cases in Recife, Brazil: a spatio-temporal approach based on climate conditions, health notifications and machine learning, Research, Society and Development, 2021, vol. 10, p. e452101220804
- Silva M. B. A., de Andrade Lima R. C., de Fátima Queiroz Ferreira A., Andrade M. S., da Silva C. C. A. V., da Silva Brito M. I. B., Clinical and epidemiological aspects of dengue in Recife from 2003 to 2009, Revista Enfermagem Digital Cuidado e Promoção da Saúde, 2018, vol. 3, p. 9
- Singhi S., Kisson N., Bansal A., Dengue e dengue hemorrágico: Aspectos do manejo na unidade de terapia intensiva, Jornal de Pediatria, 2007, vol. 83
- Sobral M. F. F., Sobral A. I. G. D. P., Cases of dengue and urban waste collection: A study in the City of Recife, Ciencia e Saude Coletiva, 2019, vol. 24, p. 1075
- Souza W. M., Azevedo P. V., Araújo L. E., Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE, Revista Brasileira de Geografia Física, 2012, vol. 02, p. 250

- Su K., Kidder T. R., Humans and climate change in the middle and lower Yellow River of China, *Quaternary International*, 2019, vol. 521, p. 111
- São Paulo. Estatísticas - Taxa por 100 mil habitantes. Portal do Governo de São Paulo. Disponível em: <https://www.ssp.sp.gov.br/fale/estatisticas/answers.aspx?t=6>. Acesso em: 23/01/2022, 2022
- Tauil P. L., Urbanização e ecologia do dengue, *Cad. Saúde Pública*, 2001, vol. 17, p. 99
- Taylor K. E., Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2001, vol. 106, p. 7183
- Teixeira M. G., Barreto L. M., Guerra Z., Epidemiology and Preventive Measures of Dengue, *Informe Epidemiológico do SUS*, 1999, vol. 8, p. 5
- Wanderley L. S. A., Nóbrega R. S., Moreira A. B., Anjos R. S., Almeida C. A. P., As chuvas na cidade de Recife: uma climatologia de extremos, *Revista Brasileira de Climatologia*, 2018, vol. 22, p. 149
- Xavier T., Xavier A. F. S., Alves J. M. B., Quantis e eventos extremos: aplicações em ciências da terra e ambientais. Fortaleza: RDS, 2007, 278 p.
- Y. Yamazaki V. B. R., Tropical Cloudiness over the South Atlantic Ocean, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 1977, vol. 55, p. 205

Apêndice

Apêndice **A**

Dados globais utilizados nas simulações do RegCM4

A.1 ERA-Interim

Tratam-se de dados de reanálise globais disponibilizados pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (Dee et al. (2011)), cujo período utilizado para a geração dos campos do mesmo é de 1980 a 2018.

A.2 HadGEM2-ES

Os dados provenientes do HadGEM2-ES são provenientes de simulações históricas, representando a segunda geração das configurações dos modelos climáticos HadGEM, que significa Hadley Centre Global Environment Model. Ao todo considera-se 38 níveis verticais na atmosfera que se estendem até 40 km de altura, com uma resolução espacial horizontal de 1,25° de latitude por 1,875° de longitude, gerando uma grade global de 192 x 145 células. Doravante, a resolução de superfície é de cerca de 208 km x 139 km no Equador, reduzindo para 120 km x 139 km a 55° de latitude. Uma versão estendida verticalmente, com 60 níveis que se estendem até 85 km de altura, também é usada para investigar processos estratosféricos e sua influência no clima global (Collins et al. (2008)).

A.3 MPI-ESM-MR

Assim como o HadGEM2, os dados utilizados do Max-Planck-Institute Earth System Model (MPI-ESM) são simulações históricas. O modelo acopla a atmosfera, oceano e superfície terrestre através da troca de energia, momentum, água e dióxido de carbono (Figura A.1), sendo muito utilizado para experimentos no âmbito das mudanças climáticas

através de cenários idealizados, ou baseados em dados observados, de forçantes de CO_2 para os cenários futuros (Giorgetta et al. (2013)).

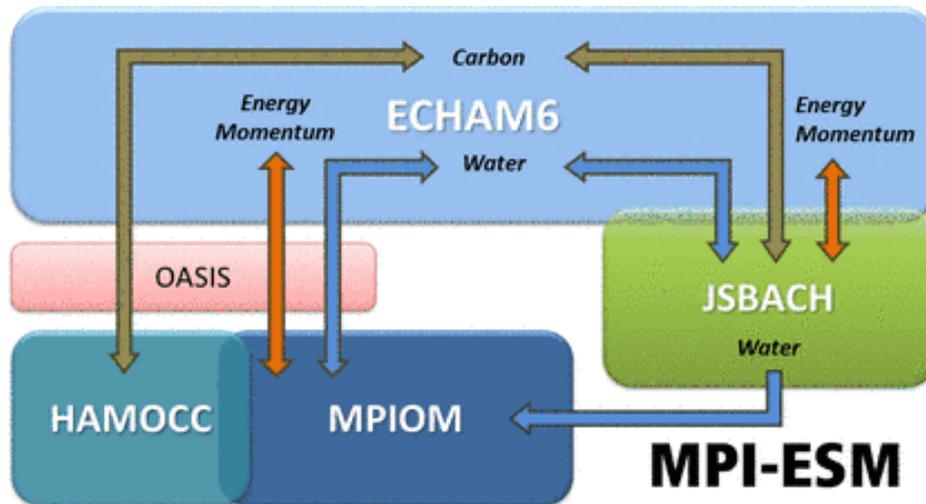


Figura A.1: Esquema simplificado de cada componente do modelo climático MPI-ESM. Fonte: Mas-Planck-Institut für Meteorologie. Disponível em: (MPI-ESM)