



Universidade do Estado do Amazonas
Escola Superior de Tecnologia
Bacharelado em Meteorologia
Trabalho de Conclusão de Curso

**RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS
HIDROMETEOROLÓGICAS COM OS CASOS DE
MALÁRIA NOS MUNICÍPIOS DA BACIA DO RIO
NEGRO-AM**

RANYELLI CUNHA DE FIGUEIREDO

Manaus – AM
2019

RANYELLI CUNHA DE FIGUEIREDO

**RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS
HIDROMETEOROLÓGICAS COM OS CASOS DE
MALÁRIA NOS MUNICÍPIOS DA BACIA DO RIO
NEGRO-AM**

Monografia de conclusão de curso, apresentada à banca avaliadora, como um dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientadoras:

Prof^a. Dra. Jamile Dehaini

Prof^a. Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza

Manaus – AM
2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

F475r Figueiredo, Ranyelli Cunha de
Relação das variáveis hidrometeorológicas com os casos
de malária nos municípios da bacia do rio Negro-AM /
Ranyelli Cunha de Figueiredo. Manaus : [s.n], 2019.
42 f.: color.; 31 cm.

TCC - Graduação em Meteorologia - Bacharelado -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2019.

Inclui bibliografia

Orientador: Jamile Dehaini

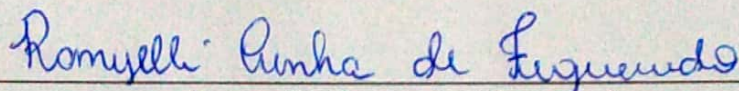
Coorientador: Rita Valéria Andreoli de Souza

1. Malária. 2. Variáveis hidrometeorológicas. 3.
Rio Negro. 4. Amazonas. I. Jamile Dehaini (Orient.). II.
Rita Valéria Andreoli de Souza (Coorient.). III.
Universidade do Estado do Amazonas. IV. Relação das
variáveis hidrometeorológicas com os casos de malária
nos municípios da bacia do rio Negro-AM

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

RANYELLI CUNHA DE FIGUEIREDO

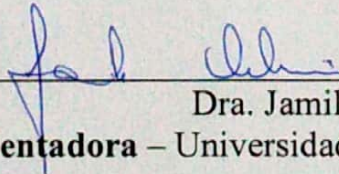
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas, como um dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.



Ranyelli Cunha de Figueiredo

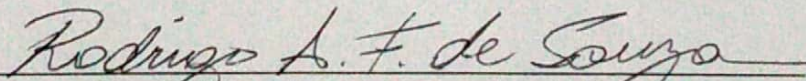
Data de aprovação: Manaus/AM, 06 / 12 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

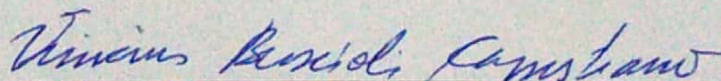


Dra. Jamile Dehaini

(**Orientadora** – Universidade do Estado do Amazonas)



Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza
(Universidade do Estado do Amazonas)



Dr. Vinicius Buscioli Capistrano
(Universidade do Estado do Amazonas)

Aos meus pais

Meus heróis

Agradecimentos

Ao Deus que meu tudo, rendo graças.

Ao meu pai, pela compreensão e sustento, os meus irmãos/Amigos (Raiana, Raiene e Ruben), pelo amor e companheirismo e principalmente à minha rainha, dona Naura que me ensinou que é através da educação que podemos ir além.

Às Professoras, Dras. Jamile Dehaini e Rita Andreoli, pela orientação nesse trabalho, pela paciência e por compartilharem comigo seus conhecimentos. A Msc. Mirna Barata por me conceder os dados para realização to trabalho.

À tia Simei (mãezinha) por me incentivar desde à minha "aborrecencia". Às minhas avós, dona Sinamor e dona Almerinda (dona Garota) pelo amor e orações.

Aos meus amigos da vida, Ruth Silva, João Bosco, Renan Guimarães, Gabriel Bentes e Giovana lima por todo apoio.

Aos amigos que a graduação me deu, Lourdes Gabriela (Voh) minha gêmea siamesa, às "Zamigas" Sarah, Thalita e Fernanda, Gusthavo (confreiro), Erilane, Djanir (Dj Anir), Josyanne (Xosy), tio Rildo, Chico Alcinei, Luan, Guilherme, Jean, Vitor (Crazy), Tabata, Laura, Willy & Mira (presidente e primeira dama), Itamara (Ita), Elizabeth Carvalho, todos da meteorologia e Laboratório B9.

Em especial, à Lídia por me alimentar e me dar colinho de mãe, à minha pastora Elicielma pelas orações e direcionamentos e a toda a congregação da área 198, por me acolherem como família.

A todos os professores da meteorologia e do ciclo básico da UEA, em especial ao professor Laurimar, que me ensinou que "tenho que me amar primeiro".

À dona Lourdes que higienizava o laboratório, limpava minha mesa com zelo e carinho, à dona Kelly que me alimentava com seus bolos e tortas maravilhosas, a todos as tias(os) da limpeza e do RU.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização desse trabalho, muito obrigada!

"E sabemos que todas as coisas
contribuem juntamente para o bem
daqueles que amam a Deus..."

Romanos 8:28(a)

Resumo

A malária é uma doença infecciosa de alto risco, que ocasiona grande preocupação e custos altos a saúde pública, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. A região Amazônica, possui elevado índice endêmico de malária, em que suas características hidrometeorológicas são preponderantes para a longevidade, densidade vetorial do transmissor e a reprodução do agente patológico da doença. Torna-se importante, diagnosticar como as condições hidrometeorológicas de cada região associam-se com as ocorrências da malária e entender como a variabilidade dessas condições se associam, com a incidência da doença. O objetivo desse trabalho é analisar a influencia das condições hidrometeorológicas e sua variabilidade na incidência de casos malária nos municípios de Manaus, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira, que são banhados pelo rio Negro, no Estado do Amazonas. Os resultados mostram que durante o período mais seco da região, os casos de malária apresentam-se de maneira mais preponderante, essa relação é observada pelo coeficiente de correlação de Pearson, em que a precipitação, umidade relativa do ar e a cota do rio Negro apresentou correlação moderada e negativa com a incidência de malária, e a temperatura apresentaram correlação positiva e moderada com a incidência da malária. A análise para o evento ENOS, mostra que a variabilidade ocasionada nos elementos hidrometeorológicos, podem potencializar/atenuar a incidência da malária.

Palavras-Chave: *Malária, Variáveis hidrometeorológicas, Rio Negro, Amazonas.*

Sumário

1	Introdução	12
2	Objetivos	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	Revisão Bibliográfica	14
3.1	Malária	14
3.1.1	Agente etiológico	14
3.1.2	Agente Transmissor	15
3.1.3	Ciclo de vida	15
3.2	Variabilidade Hidrometeorológica e Malária, na Região Amazônica	16
4	Materiais e métodos	19
4.1	Área de estudo	19
4.2	Base de dados	21
4.2.1	Dados de notificação de malária	21
4.2.2	Dados de Cota do Rio Negro	21
4.2.3	Dados das variáveis meteorológicas	22
4.3	Métodos	22
5	Resultados	24
5.1	Análise da série temporal da incidência de malária e das variáveis hidrometeorológicas	24
5.1.1	Série temporal dos casos notificados de malária: aplicação da estatística de Mann-kendall e Pettit	24
5.2	Análise do ciclo anual das variáveis meteorológicas e os casos de malária	27
5.3	Análise de correlação de Pearson e teste de significância	31
5.4	Análise da relação do evento El Niño Oscilação-Sul, com a incidência de malária	33
6	Conclusões	39
7	Referências	40

Lista de Figuras

1	Mapa de risco-Malária 2018-CDC Fonte: Adaptado de https://www.treated.com/malaria/wmap-risk	12
2	Mapa de risco da Malária, por município de infecção, Brasil, 2017 Fonte: http://portalarquivo/pdf/2018/abril/16/Mapa-de-risco-mal-ria-2017.pdf	13
3	Mosquito transmissor da malária na região amazônica, <i>Anopheles darlingi</i> Fonte: https://scientistsagainstmalaria.net/vector/anopheles-darlingi	15
4	Distribuição das chuvas médias anuais na região Amazônica Fonte: CPRM-Adaptado de Molinier et al. (1997), citando Salati (1978) e Hiez (1992)	17
5	Sazonalidade de casos de malária e dos níveis d'água fluviométricos nos municípios analisados. As linhas azuis dos gráficos representam os casos de malária, as linhas vermelhas a variação do nível d'água e a linha vertical preta destaca o meio do ano com o propósito de orientar o deslocamento das variáveis Fonte: Wolfarth-Couto, 2015	18
6	Mapa da Bacia Amazônica, Rio Negro localizado na margem esquerda do Rio Amazonas, parte noroeste da América do Sul, (Rio Negro na cor roxa). Fonte:Acervo pessoal	19
7	Mapa da Variação anual da cota do rio Negro, para municípios do baixo, médio e alto rio Negro, no estado do Amazonas.	20
8	Mapa da localização das áreas de estudo no estado do Amazonas	21
9	Estações fluviométricas, para os municípios de estudo Fonte: Acervo pessoal	22
10	Série total dos Casos de malária e das variáveis meteorológicas para cidade de Manaus	25
11	Série total dos Casos de malária e das variáveis meteorológicas para cidade de Barcelos	26
12	Série total dos Casos de malária e das variáveis meteorológicas para cidade de São Gabriel da Cachoeira	27
13	Diagramas de caixa aplicados a série de casos de malária e das variáveis hidrometeorológicas, para o município de Manaus, período de 2003 a 2018	28
14	Diagramas de caixa aplicados a série de casos de malária e das variáveis hidrometeorológicas, para o município de Barcelos, período de 2003 a 2018	29
15	Diagramas de caixa aplicados a série de casos de malária e das variáveis hidrometeorológicas, para o município de São Gabriel da Cachoeira, período de 2003 a 2018	30
16	Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de Manaus-AM, para os anos de ENOS. Período de 2003 a 2010	34

17	Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de Manaus-AM, para os anos de ENOS. Período de 2011 a 2018	35
18	Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de Barcelos-AM, para os anos de ENOS. Período de 2003 a 2018	36
19	Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de São Gabriel da Cachoeira-AM, para os anos de ENOS. Período de 2003 a 2010	37
20	Figura 11: Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de São Gabriel da Cachoeira-AM, para os anos de ENOS. Período de 2011 a 2018	38

1 Introdução

A malária é uma doença infecciosa de alto risco, potencialmente fatal causada por parasitas que são transmitidos às pessoas pela fêmea infectada do mosquito do gênero *Anopheles* (OPAS\OMS, 2018). Popularmente, a malária é conhecida como sezão, paludismo, maleita, febre terçã e febre quartã e é uma das doenças ocasionadas por parasitoides mais conhecida pela sociedade, principalmente devido ao seu alto índice de infecção e custos que geram na saúde pública nas regiões tropicais e subtropicais no mundo. A estimativa de risco, de infecção por malária no mundo, realizada pelo Centro de Controle e Prevenção de Doenças-CDC (2018) (Figura 1), mostra que o continente Africano, concentra os maiores índices de risco de infecções pela malária, seguido pela América latina.

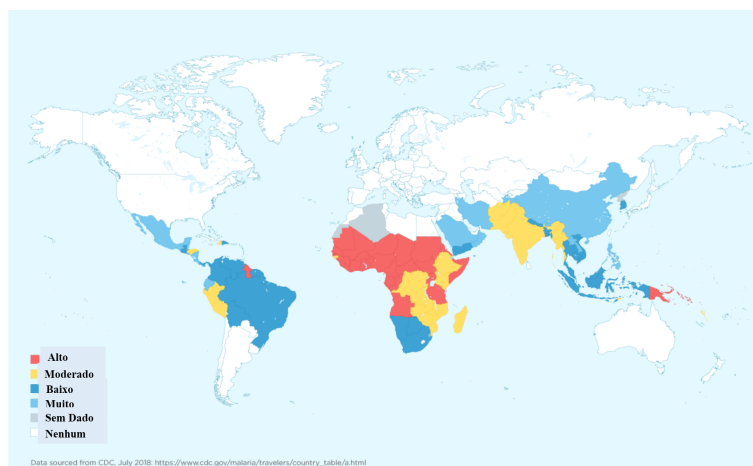


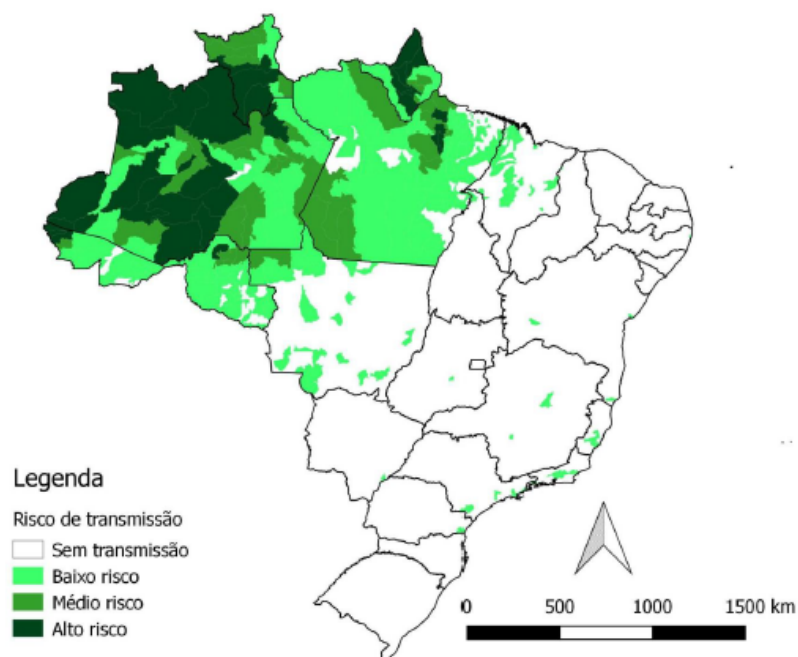
Figura 1: Mapa de risco-Malária 2018-CDC

Fonte: Adaptado de <https://www.treated.com/malaria/world-map-risk>

De acordo com o relatório de 2018, da Organização Mundial de Saúde (WHO), estima-se que houve 219 milhões de casos e 435.000 mortes no ano de 2017 no mundo, e durante o período de 2015-2017, não ocorreu nenhuma redução significativa de casos globais de malária. O Brasil, apresenta os maiores índices de ocorrência da doença na América do Sul, sendo a região da Amazônia Legal (estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), a região em que a doença tem caráter de endemia regional. De acordo com o SIVEP-Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica (2017), o Estado do Amazonas apresenta alto índice de risco de incidência da doença particularmente, na porção noroeste do estado (Figura 2).

A grande extensão geográfica da área de incidência da doença associada às condições climáticas da região é um dos fatores que favorecem o desenvolvimento dos vetores responsáveis pela transmissão da malária. Outras condicionantes que exercem influência na incidência da malária, são as condições socioeconômicas, vulnerabilidade de pessoas não imunizadas a áreas de risco, mudanças na urbanização (aglomeração de pessoas nos cen-

Mapa de risco da malária por município de infecção, Brasil, 2017.



Fonte: Sivep-Malária e Sinan/SVS/MS. Dados preliminares, sujeitos à alteração.

Figura 2: Mapa de risco da Malária, por município de infecção, Brasil, 2017
Fonte: <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/abril/16/Mapa-de-risco-mal-ria-2017.pdf>

tros urbanos), canalização de corpos d'águas, campanhas de preventivas (Simão, 2006). Relações da malária com variações na precipitação, umidade relativa do ar, temperatura e cota de rio mostram que a região Amazônica apresenta características com grandes corpos d'águas, temperatura em torno de 27° C, umidade acima de 60% durante o ano todo, que propiciam a proliferação do vetor transmissor da malária, e o desenvolvimento do agente etiológico(protozoário) da doença. Estudos como os de Parente, 2008; Coutinho,2015; Wolfarth-Couto, 2019 mostram que, na região amazônica, o perfil da incidência da malária está associado a diferentes elementos climáticos (como precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e cota de rio), que variam de acordo com o local.

Ainda, uma vez que as características climáticas são fundamentais para a proliferação do vetor, sua variabilidade pode interferir no aumento da densidade vetorial ou nas interações hospedeiro-vetor (Morão, *et al.*,2014). Parente (2008), evidenciou que para 4 municípios do Estado do Pará, durante o período de 1970 a 2006, o cenário extremo de aumento da infecção por malária, foi associado às influências da fase positiva do ENOS no oceano Pacífico. Wolfarth-Couto *et al.*(2019), mostram forte associação de casos de malárias com a variabilidade do El Niño Oscilação-Sul (ENOS). Seus resultados evidenciam um aumento da malária durante sua fase quente (El Niño), e diminuição de malária na fase fria (La Niña).

Tendo em vista, que os fatores hidrometeorológicos são característicos de cada local e estão intimamente associados com a incidência da malária, se faz necessária a análise da relação entre as variáveis hidrometeorológicas e as ocorrências de malária no Estado do Amazonas, em escala espacial e temporal, a fim de proporcionar um melhor entendimento sobre os impactos causados pelo clima e variações hidrológicas e, conseqüentemente, proporcionar informações para a predição e controle da transmissão em cenários futuros.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é analisar a influência das condições hidrometeorológicas e sua variabilidade na incidência de casos malária em municípios da bacia do rio Negro.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar do ciclo anual dos casos de malária e sua relação com variáveis hidrometeorológicas;
- Avaliar a relação do evento El Niño Oscilação-Sul, com a incidência de malária.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Malária

3.1.1 Agente etiológico

A malária é oriunda de quatro tipos de protozoários do gênero *Plasmodium*: *Plasmodium vivax*, *P. falciparum*, *P. malariae* e *P. ovale*. No Brasil, de acordo com Mourão *et al.* (2014), a forma dominante de infecção da malária é pelo protozoário do tipo *P. vivax* (85,36%), responsável pelo maior número de pacientes infectados, e o *P. falciparum* (14,6%), responsável pelos casos de maior gravidade.

As características sintomáticas dos *Plasmodiums Vivax e Falciparum*, de acordo com a Fundação Oswaldo Cruz (2013), são:

- *Plasmodium Vivax*: apresenta sintomas como, mal-estar, calafrios, febre inicialmente diária (com o tempo, a febre apresenta um padrão de intervalo a cada dois dias), seguida de suor intenso e prostração, sendo classificada como um tipo de malária mais branda;

- *Plasmodium falciparum* : permanece incubado no corpo do indivíduo infectado por pelo menos uma semana. Apresenta calafrios, febre alta (no início, contínua, e depois com frequência de três em três dias), sudorese e dor de cabeça. Podem ocorrer também dor muscular, taquicardia, aumento do baço e, por vezes, delírios. Sendo classificado como o tipo da doença mais grave.

3.1.2 Agente Transmissor

A malária, é transmitida pela fêmea do mosquito (*Anopheles*), sendo que existem mais de 400 espécies diferentes desse mosquito; cerca de 30 são vetores importantes da malária que picam o ser humano ao anoitecer e ao amanhecer (OPAS\OMS, 2018).

No Brasil as espécies mais importantes na transmissão de plasmódios são *Anopheles darlingi*, *Anopheles albirtasis*, *Anopheles deaneorum*, *Anopheles aquasalis*, *Anopheles cruzi*, *Anopheles bellator* (Consoli; Oliveira, 1994). Sobre a Amazônia, Freitas *et al.* (2007) afirmam que a espécie predominante que transmite a malária é o *Anopheles darlingi* (Figura 3). Essa espécie é extremamente antropofílica e, a fêmea do *A. darlingi*, é a mais encontrada realizando a transmissão do protozoário da malária no interior e nas proximidades das residências.



Figura 3: Mosquito transmissor da malária na região amazônica, *Anopheles darlingi*
 Fonte: <https://scientistsagainstmalaria.net/vector/anopheles-darlingi>

O ambiente propício para o desenvolvimento dessa espécie é normalmente em águas de baixo fluxo, profundas, límpidas, sombreadas e com pouco aporte de matéria orgânica e sais (Coutinho, 1945; Galardo *et al.*, 2007). Essas características, são encontradas nas margens dos rios de águas ácidas (águas escuras), ricos em substância húmicas e pobre em sais minerais (Ferreira *et al.*, 2016), como é o caso do rio Negro.

3.1.3 Ciclo de vida

O Ciclo natural da malária envolve a infecção cíclica de humanos e mosquitos *Anopheles* (fêmeas). Nos seres humanos, após a picada do mosquito infectado, os parasitas se reproduzem primeiramente nas células do fígado e depois invadem as hemácias do sangue, onde

esses parasitas crescem e provocam seu rompimento, liberando "merozoítos" (parasitas em fase de cria, que continuam a invadir outras hemácias. Durante essa fase que os sintomas da doença se manifestam no ser humano.

O mosquito *Anopheles*, infectado ou não, ao se alimentar do sangue do ser humano infectado, os protozoários presentes no sangue se acasalam no intestino do mosquito e iniciam um ciclo de crescimento e reprodução no mosquito. Após 10 a 18 dias, uma forma do parasita chamada "esporozoíto", migra para as glândulas salivares do mosquito. Quando o mosquito se alimenta do sangue de outro ser humano, a saliva anticoagulante é injetada juntamente com os esporozoítos, que migram para o fígado, iniciando assim um novo ciclo (CDC, 2018).

O mosquito *Anopheles*, age como um transportador da doença de um humano a outro humano. Assim, enquanto o protozoário não ocasiona dano nenhum ao transmissor, ao hospedeiro humano infectado, ele ocasiona a infecção.

3.2 Variabilidade Hidrometeorológica e Malária, na Região Amazônica

A malária é uma doença que sofre alterações associadas às variações climáticas (Wolfarth-Couto *et al.* 2019, Coutinho *et al.* 2018). A atividade biológica e a distribuição geográfica do parasita da malária e seu vetor são sensíveis às influências climáticas, especialmente à temperatura e à precipitação. Então, o conhecimento das condições climáticas e hidrológicas de uma região são fatores que merecem atenção, nestes estudos, uma vez que contribuem para manter condições propícias para o desenvolvimento do vetor de transmissão da doença.

Fisch *et al.* (1998), mostram que o clima região Amazônica é uma combinação de vários fatores. Pelo fato de situar-se na região 5° N e 10° S, região Equatorial, seu clima é quente e úmido, apresentando duas estações bem definidas, uma seca (sem grande atividade convectiva) ocorrendo entre os meses de Maio e Setembro, e outra úmida (período de chuvas ou forte atividade convectiva na região Amazônica) compreendida entre Novembro e Março.

Devido à grande disponibilidade de radiação solar, recebida durante todo o período do ano, a amplitude de variação da temperatura do ar na região Amazônica é pequena, em média 1 a 2°C, sendo que os valores médios da temperatura, situam-se entre 24°C e 26°C. Especificamente, Belém (PA) apresenta a temperatura média mensal máxima de 26,5°C, em novembro e a mínima temperatura de 25,4°C, em março. Manaus (AM), por

outro lado, possui seus extremos de temperatura nos meses de setembro ($27,9^{\circ}\text{C}$) e abril ($25,8^{\circ}\text{C}$) (Fisch *et al.*, 1998).

A região amazônica é composta por uma extensa rede de rios com grande abundância de água (bacia Amazônica), sendo os mais conhecidos: Amazonas, Xingu, Solimões, Madeira e Negro (ANA, 2019). A distribuição da precipitação, assim como as características geográficas, caracterizam o regime hidrológico dessa bacia. Observa-se na Figura 4 que na porção sul da Bacia o máximo pluviométrico ocorre de dezembro a março (Bacia do Rio Madeira). Já ao norte (Bacia do Rio Negro), o máximo pluviométrico é observado de maio a julho, com uma leve variação na porção nordeste (Bacia do Rio Jari), no sentido da foz (IBAMA, 2006). A variabilidade espacial da precipitação ocasiona no regime hidrológico da bacia resposta diferenciada espacialmente (Wolfarth-Couto, 2015).

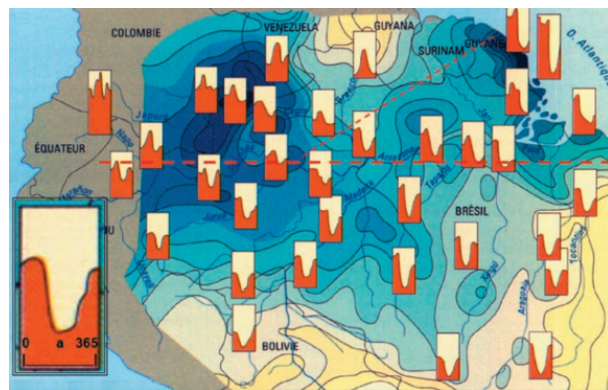


Figura 4: Distribuição das chuvas médias anuais na região Amazônica
Fonte: CPRM- Adaptado de Molinier et al. (1997), citando Salati (1978) e Hiez (1992)

Os padrões de temperatura para a longevidade da fêmea do *Anopheles* se encontram entre 20 a 25°C , com umidade relativa do ar acima de 60% . A precipitação desempenha um papel crucial na frequência e na distribuição da malária, pelo fato de chuvas moderadas fornecerem o meio (criadouros) para as fases aquáticas do ciclo de vida do mosquito. No entanto, as chuvas fortes podem expulsar as larvas do mosquito desses criadouros (Martens *et al.*, 1995), condizentes com o clima quente e úmido da região Amazônica.

Parente (2007) afirma que o ritmo de propagação da malária se dá de acordo com o regime de chuva nas regiões tropicais, onde há pouca variação na temperatura e inconsistência nos índices de umidade. Logo, as variabilidades nas condicionantes climáticas, afetam a relação vetor-hospedeiro.

A sazonalidade da malária e do regime hidrológico para o Estado do Amazonas foi estudado por Wolfarth-Couto (2015). Ela verificou que, de maneira geral, os municípios do estado do Amazonas, apresentam dois picos de malária, em que o máximo de malária ocorre, em média, 1 a 2 meses após as cheia do rio, principalmente no início ou metade

do período de vazante do rio, caracterizado pela diminuição da precipitação, aumento na temperatura do ar, e redução da umidade relativa do ar, exemplificado na Figura 5.

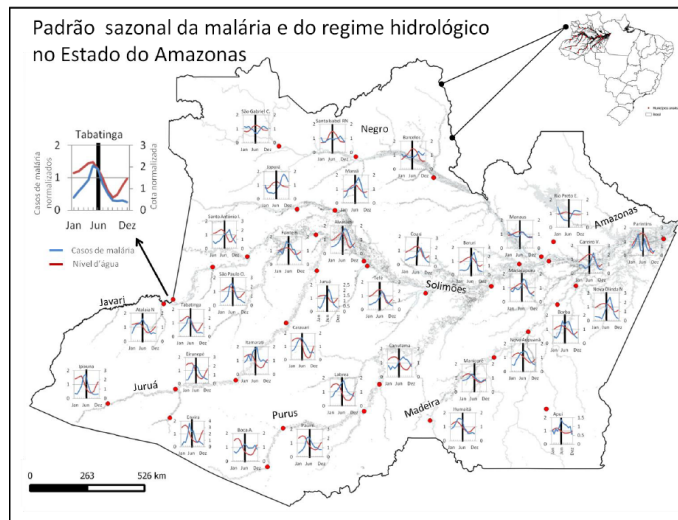


Figura 5: Sazonalidade de casos de malária e dos níveis d'água fluviométricos nos municípios analisados. As linhas azuis dos gráficos representam os casos de malária, as linhas vermelhas a variação do nível d'água e a linha vertical preta destaca o meio do ano com o propósito de orientar o deslocamento das variáveis
 Fonte: Wolfarth-Couto, 2015

De acordo com Wolfarth-Couto(2015), o desenvolvimento do vetor e a transmissão da doença podem ser observados o ano todo na região Amazônica, porém o grau de transmissão e de densidade da população de mosquitos exibem uma variação sazonal ao longo do ano e também apresentam variações interanuais que podem ser atribuídas as variações nessa escala de tempo ocorridas nas variáveis hidrometeorológicas (Wolfarth-Couto *et al.*, 2019)

As variações de precipitação e dos níveis dos rios na Amazônia apresentam uma variabilidade interanual associada ao El Niño Oscilação Sul (ENOS), cuja a fase madura ocorre no verão do hemisfério sul (Trenberth, 1997). O EL Niño, ocasiona um período seco durante a estação chuvosa e a La Niña um aumento precipitação e vazão do rio durante a estação chuvosa, na porção norte e central da Amazônia (Fisch, *et al.* 1998; Liebmann e Marengo 2001).

Wolfarth *et al.* (2013), evidenciaram que a malária apresentou os maiores índices nos municípios de Coari e Manaus, no ano de 2003, relacionado com a ocorrência de um evento de El Niño. Já nos anos de 2008 e 2009 ocorreu atenuação dos casos de malária nesses municípios, simultaneamente com aumento progressivo da precipitação nos municípios, uma vez que em 2009, a precipitação na região Amazônica teve influência do fenômeno de La Niña.

4 Materiais e métodos

4.1 Área de estudo

O Estado do Amazonas é o maior em extensão territorial do Brasil, o qual possui 62 municípios, limitando-se ao norte com Roraima e Venezuela; à leste com o Pará; à noroeste com a Colômbia; à sudeste com o Mato Grosso; ao sudoeste com o Peru e o Acre e ao sul com Rondônia.

A bacia do rio Negro é o principal bacia à margem esquerda do rio Amazonas, que se estende das longitudes $73,25^{\circ}$ a $59,35^{\circ}$ oeste e das latitudes $5,4^{\circ}$ norte a $3,35^{\circ}$ sul. Drena uma área de aproximadamente 700.000 km^2 ; abrangendo a Colômbia (10%), a Venezuela (6%), a Guiana (2%) e o Brasil (82%) (Frappart *et al.*, 2005)(Figura 6).



Figura 6: Mapa da Bacia Amazônica, Rio Negro localizado na margem esquerda do Rio Amazonas, parte noroeste da América do Sul, (Rio Negro na cor roxa).

Fonte:Acervo pessoal

De acordo com Zeidemann (2001), a cor escura do Rio Negro é oriunda de processos químicos e físicos ocorridos do acúmulo de ácidos orgânicos decorrentes de restos vegetais nos solos arenosos do médio e alto Rio Negro. Suas águas possuem maior velocidade próximas à sua cabeceira (Alto rio Negro, região com menor lâmina d'água e de maior relevo), diminuindo essa velocidade ao se encontrar com as águas do rio Solimões (no baixo rio Negro, região mais profunda e de menor relevo).

Em Manaus (baixo rio Negro), a amplitude anual média da cota do rio é a maior de toda a bacia, chegando a aproximadamente onze metros. Em relação aos períodos de cheia e vazante, observa-se que no alto e médio rio Negro as menores (maiores) cotas médias ocorrem entre setembro e março (maiores em fevereiro), e em Manaus estas tendem a ocorrer em outubro ou novembro (maiores entre junho e julho)(Coutinho, 2015).

Essas flutuações de nível de água no baixo rio Negro refletem, principalmente, as variações ocorridas no Solimões-Amazonas (Zeidemann, 2001). Assim, no período mais seco da região (pouca precipitação), o nível do rio Negro em sua nascente (alto rio Negro), apresenta níveis baixos caracterizando o período de vazante do rio, enquanto na região de sua foz (baixo rio negro) já inicia-se o período de cheia do rio, pela influência das chuvas nas bacias circunvizinhas do rio solimões-Amazonas. A Figura 7 apresenta a variação anual da cota do baixo (Manaus), médio (Barcelos) e alto (São Gabriel da Cachoeira) rio Negro. É possível observar nessa figura, que ao longo do rio Negro (linha verde), o período de cheia na foz do rio antecede em três meses o período de cheia no alto rio Negro.

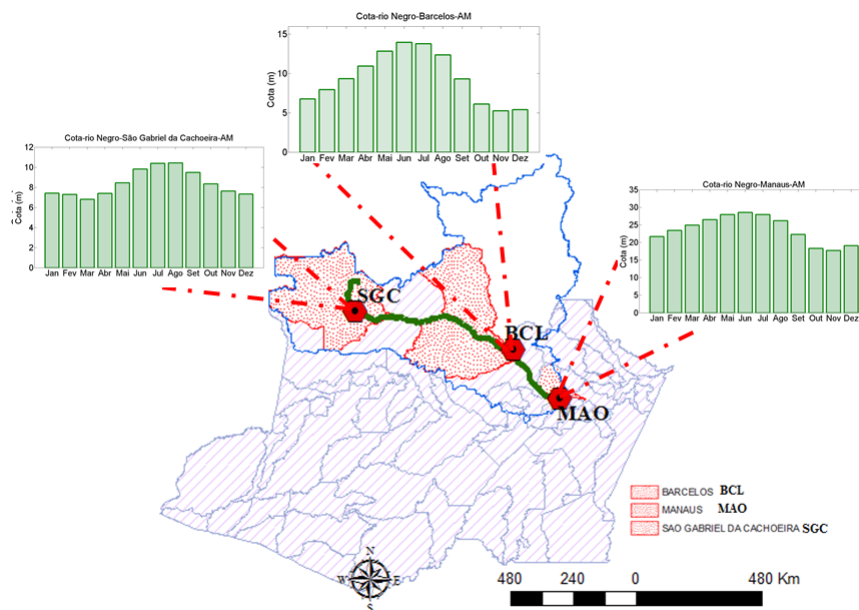


Figura 7: Mapa da Variação anual da cota do rio Negro, para municípios do baixo, médio e alto rio Negro, no estado do Amazonas.

O estudo abrange os municípios ribeirinhos, São Gabriel da Cachoeira (SGC) no alto rio Negro, Barcelos (BCL) no médio rio Negro e Manaus (MAO) no baixo rio negro, representados na sub-bacia do rio Negro (Figura 8). Em termos de características demográficas, Manaus capital do estado do Amazonas, apresenta maior densidade demográfica dentre os 3 municípios, aproximadamente 2 milhões de habitantes, seguido por São Gabriel da Cachoeira com 37.896 e Barcelos com 25.718 (IBGE, 2017). Manaus é a capital do estado do Amazonas, possuindo significativa área urbana e industrial, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira, apresentam um pequeno centro urbano e vastas áreas de florestas.

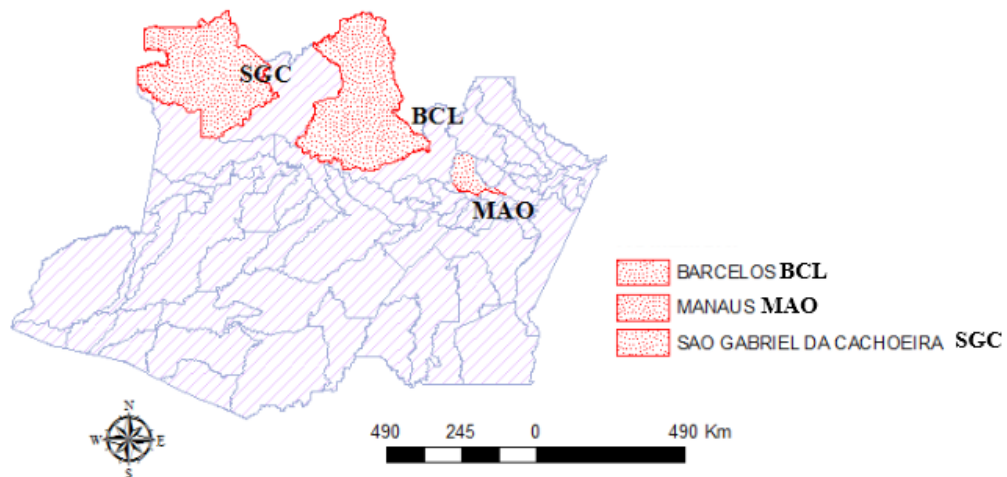


Figura 8: Mapa da localização das áreas de estudo no estado do Amazonas

4.2 Base de dados

4.2.1 Dados de notificação de malária

Os dados de incidência de malária utilizados dos municípios são oriundos do Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica (SIVEP). O SIVEP mantém dados sobre diversas doenças no país. Seu banco de dados específico sobre a malária, o SIVEP-Malária, contém informações padronizadas sobre casos da doença que ocorrem por todo o território nacional desde janeiro de 2003, como número de casos positivos por unidade de área (estado, município e localidade); a espécie de plasmódio; e a origem da infecção, isto é, se a contração ocorreu no próprio local (autóctone) ou não (alóctone) (Coutinho, 2015).

Neste estudo os dados utilizados referem-se aos totais mensais dos casos de malária por *P. Vivax* e *P. Falciparum*, do período de janeiro de 2003 a dezembro de 2018, para os municípios de Manaus, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira.

4.2.2 Dados de Cota do Rio Negro

Os dados da cota do rio Negro, foram obtidos, por intermédio do portal HidroWeb (séries históricas) (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>), que consiste em uma plataforma integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Essa plataforma disponibiliza dados fluviométricos (cotas e vazões), pluviométricos, climatológicos, qualidade da água e sedimentos (ANA, 2005). As informações das estações utilizadas, estão dispostas na Tabela 1 e na Figura 9.

Códigos e posicionamento geográfico das estações (HIDROEB)			
ESTAÇÃO	NÚMERO	LATITUDE	LONGITUDE
MANAUS	14990000	-3,138333	-60,027222
BARCELOS	14840000	-1,456667	-61,634722
SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA	1432001	-0,136111	-67,084722

Tabela 1: Estações fluviométricas HIDROWEB
 Fonte: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapa_hidroweb.jsf>

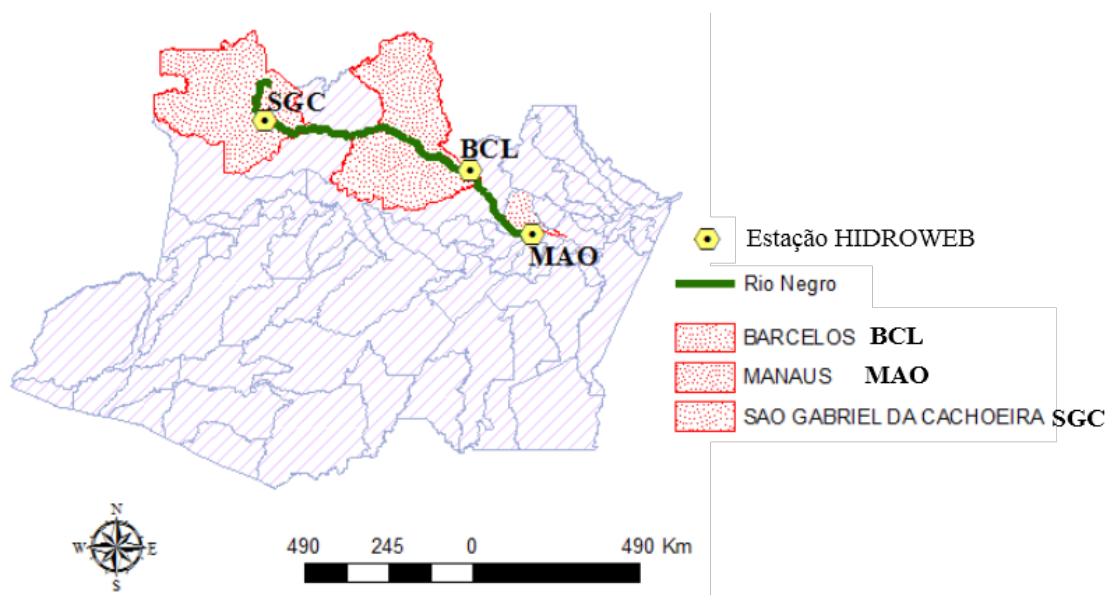


Figura 9: Estações fluviométricas, para os municípios de estudo
 Fonte: Acervo pessoal

4.2.3 Dados das variáveis meteorológicas

Os dados das variáveis meteorológicas são provenientes do banco de dados de séries históricas das estações automáticas do INMET-Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>). Foram utilizados dados mensais das variáveis: Precipitação, Umidade relativa do ar e Temperatura do ar, para o período de Janeiro de 2003 a Dezembro de 2018, correspondentes a área de estudo.

4.3 Métodos

Para a análise da série temporal dos casos notificados de malária, aplicou-se o teste estatístico de Mann-Kendall e Pettit (1979), descrito por Pohlert (2018). Foi aplicada a estatística não paramétrica Mann-Kendall, com intuito de detectar monotonia de tendências (se a série possui tendência crescente, não-crescente, decrescente, não-decrescente), ou seja, se ela é serialmente independente ou não.

A resultante dessa estatística é dada pela seguinte relação:

Se $H_0 = 0 \rightarrow$ A Hipótese nula não pode ser rejeitada, os dados provêm de uma população com realizações independentes e são distribuídos de forma idêntica;

Se $H_0 = 1 \rightarrow$ Rejeita a Hipótese nula, logo, a hipótese alternativa, é que os dados sigam uma tendência monotônica.

Aplica-se então o processamento estatístico de Pettit, em busca de compreender se ocorrem mudanças nessa tendência. Esse teste encontra o ponto central (período do espaço do tempo) em que ocorre a mudança da tendência, com aproximação de 95% de significância ($p\text{-value} < 0,05$). Definido esse ponto de mudança na série, as análises foram realizadas para cada período antes e depois da mudança da tendência das séries separadamente.

Realizou-se a análise do ciclo anual da malária e das variáveis hidrometeorológicas dos municípios (considerando o período de 2003 a 2018), foram obtidos por meio do uso de diagramas de caixa (boxplot). O boxplot tem a finalidade de fornecer informações sobre as características de posição, dispersão, assimetria, comprimento das caudas e valores extremos de um conjunto de dados. Além disto, o boxplot é construído com base na mediana e nos quartis associados ao conjunto de dados, o que o torna resistente a valores discrepantes dentro das barreiras de valores extremos e, conseqüentemente, atraente em análise exploratória de dados (Wilks, 2006).

A aplicação de métodos às séries temporais mensais de malária e variáveis meteorológicas, permite avaliar a distribuição temporal das variáveis atmosféricas e hidrológicas com a finalidade de identificar os padrões médios característicos associados ao ciclo sazonal da malária.

Em seguida, verificaram-se as possíveis relações entre as variáveis meteorológicas e os casos de malária através da análise do Coeficiente de Correlação de Pearson. A aplicação dessa estatística para os municípios de Manaus e São Gabriel da Cachoeira, foi feita separadamente para os anos de 2003 a 2010 e 2011 a 2018, uma vez que o teste de Pettit acusou uma mudança na tendência dos casos de malária, após o ano de 2010. Ainda foram realizados testes de significância para avaliar o grau de confiabilidade das correlações entre as variáveis.

Com intuito de avaliar uma possível relação entre eventos climáticos El Niño Oscilação Sul (ENOS), com a incidência de malária, analisou-se as condições o ciclo anual da incidência de malária e das variáveis hidrometeorológicas. Considerando os anos caracterizados como anos de El Niño, La Niña e climatológicos. O ciclo anual foi iniciado a

partir do mês de julho do ano de início do evento até o mês de julho do ano seguinte. Os ciclos climatológicos correspondem à climatologia dos últimos 30 anos (1989 a 2018) das variáveis hidrometeorológicas e a climatologia dos casos de malária, dos anos de 2003 a 2010 e de 2011 a 2018, para Manaus e São Gabriel da cachoeira e para Barcelos referente ao período de 2003 a 2018.

Para os municípios de Manaus e São Gabriel da Cachoeira, essas análises foram realizadas para os períodos de 2003 a 2010 e 2011 a 2018, separadamente.

A classificação dos anos do evento (ENOS), foram realizadas, com base na classificação do índice de Niño 3.4 da NOAA (https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Assim, a fase negativa (La Niña) do evento é definida por anomalias de temperatura da superfície do mar abaixo de -0.5 durante 3 meses consecutivos e a fase quente (El Niño) as anomalias da temperatura da superfície do mar permanecem acima de 0.5.

5 Resultados

A seguir, como já exposto na metodologia, serão apresentados análises das séries temporais, dos ciclos anuais, análise de correlação de Pearson e análise da atuação do evento ENOS sobre as variáveis hidrometeorológicas e a incidência da malária dos municípios de Manaus, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira.

5.1 Análise da série temporal da incidência de malária e das variáveis hidrometeorológicas

5.1.1 Série temporal dos casos notificados de malária: aplicação da estatística de Mann-kendall e Pettit

As séries temporais dos casos notificados de malária e das variáveis hidrometeorológicas, para a cidade de Manaus, estão representadas na Figura 10. A Figura 10, mostra quebra significativa na série de casos de malária durante o período de 2003 a 2018. As linhas paralelas ao eixo x, são as médias dos períodos de 2003 a 2010 e 2011 a 2018. A incidência de malária atinge valores médios em torno de 3467 casos durante 2003 a 2010 e durante 2011 a 2018 reduziram para 740 casos. A redução de casos a partir desse ano pode estar associada às variáveis sociais, como campanhas para controle e prevenção da malária no município de Manaus, de acordo com a OPAS (2019), no ano de 2010 a cidade de Manaus recebeu um prêmio por ser o município que mais reduziu a incidência de malária nesse ano.

A série total das variáveis hidrometeorológicas são apresentadas dos gráficos de: cota do rio Negro (Figura 10b), precipitação acumulada mensal (Figura 10c), temperatura média mensal (Figura 10d) e umidade relativa média mensal (Figura 10d). São observados ciclos anuais são bem definidos, com os meses mais chuvosos, associados à maior umidade e temperaturas mais baixas de dezembro a maio. A cota (Figura 10b) apresenta seus valores máximos nos meses de maio a julho. Variações interanuais também podem ser vistas em relação ao ciclo anual.

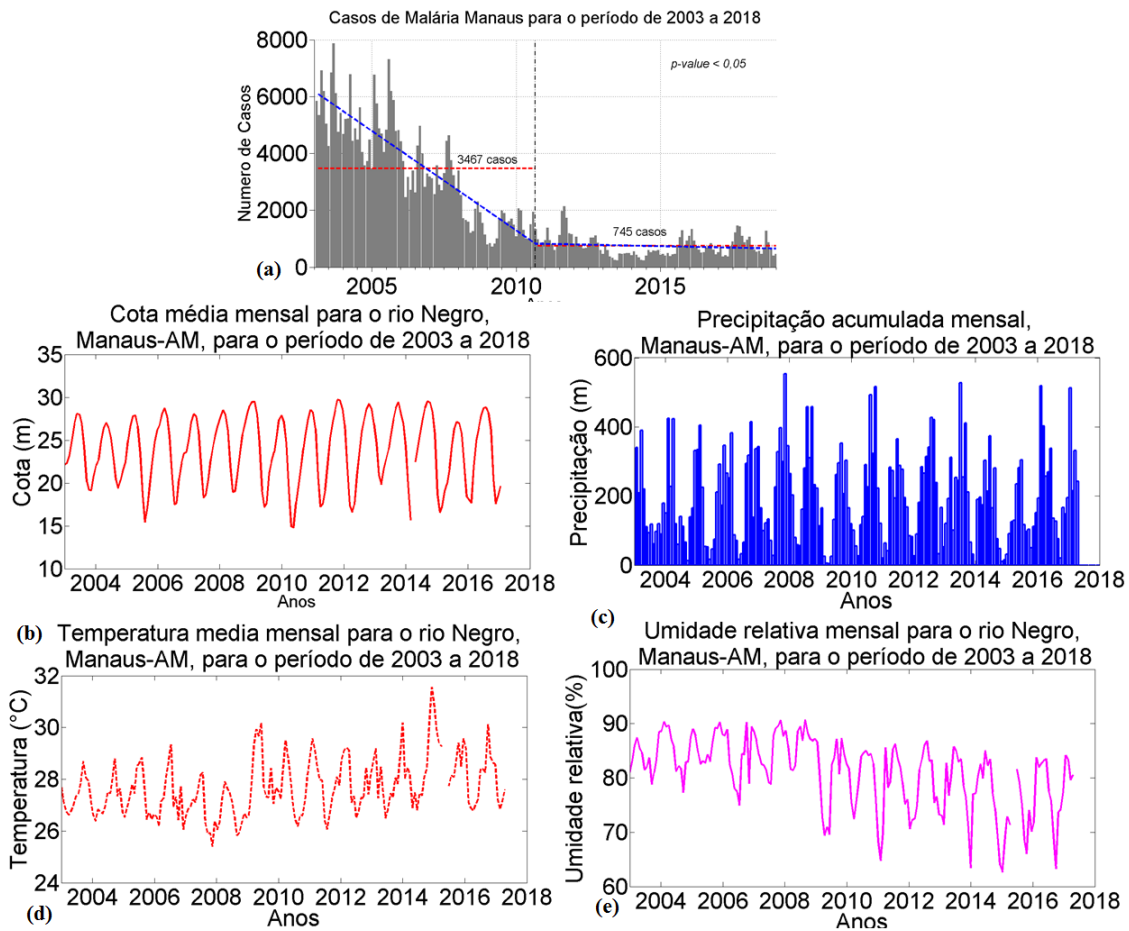


Figura 10: Série total dos Casos de malária e das variáveis meteorológicas para cidade de Manaus

As Figuras 11(a) a 11(e) apresentam as séries para o período de 2004 a 2018 dos casos de malária e das variáveis hidrometeorológicas de Barcelos. Na Figura 11(a) são observados dois períodos de aumento dos casos de malária, o primeiro ocorrido entre 2006 a 2008 e o segundo de 2014 a 2018. O teste de Mann-Kendall, mostra tendência significativa ($p\text{-value} < 0,05$), a partir de 2016, quando uma sutil mudança da tendência na série é observada.

As variáveis hidrometeorológicas (Figura (11(b),(c),(d),(e))), apresentam ciclo anuais bem definidos, observa-se variações interanuais sobre o ciclo anual. A cota Figura 11(b) valores mínimos de 4 metros e máximos de 15 metros. A umidade relativa Figura 11 (e) apresenta um sinal de baixa frequência no ano de 2010.

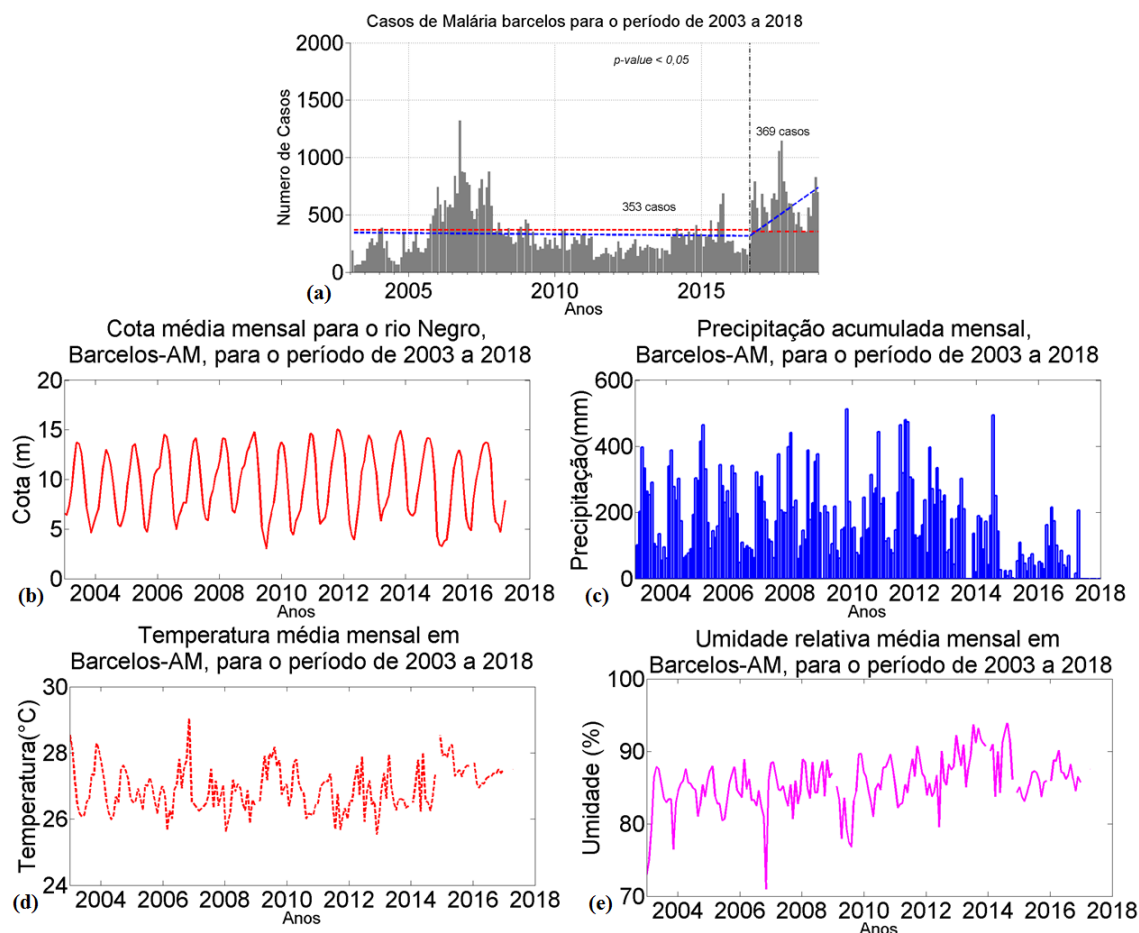


Figura 11: Série total dos Casos de malária e das variáveis meteorológicas para cidade de Barcelos

Os gráficos da Figura 12 apresentam o comportamento das séries referentes a 2003 a 2018 das variáveis hidrometeorológicas para São Gabriel da Cachoeira. Observa-se comportamento inverso se comparado à Manaus nos casos de ocorrência de malária (Figura 12(a)). O teste estatístico de Mann-Kendall, para série de casos de malária nesse caso, apresenta tendência significativa maior que 95%. O teste de Pettitt, mostra que ocorreu uma mudança na tendência, a partir do ano de 2010.

O período de 2003 a 2010 apresenta uma tendência de aumento da incidência da doença, com aproximadamente 280 casos em média por mês. Após o ano de 2010 a tendência de aumento persiste, no entanto, a média de casos por mês aumenta para 670 casos. Essa tendência de aumento pode estar relacionada ao crescimento da população que segundo o IBGE, há uma projeção de crescimento de 37.896 (senso de 2010) para 45.564 no ano de 2019. As Figuras 12(c),(d),(e), mostram que a precipitação no município é elevada o ano todo, com os valores mínimos nos meses de agosto a outubro. A umidade relativa é alta durante todo o período, com mínima de 84% e a média de temperatura desse município é menor em comparação aos municípios e Manaus e Barcelos. A cota (Figura 12(b)) apresenta mais de um máximo de cota durante o ano, caracterizando o fenômeno repique que de acordo com Wolfarth-Couto (2015), é a elevação da cota do rio ocorrente fora da

época do pico máximo climatológico da bacia, ocasionado por fortes chuvas locais.

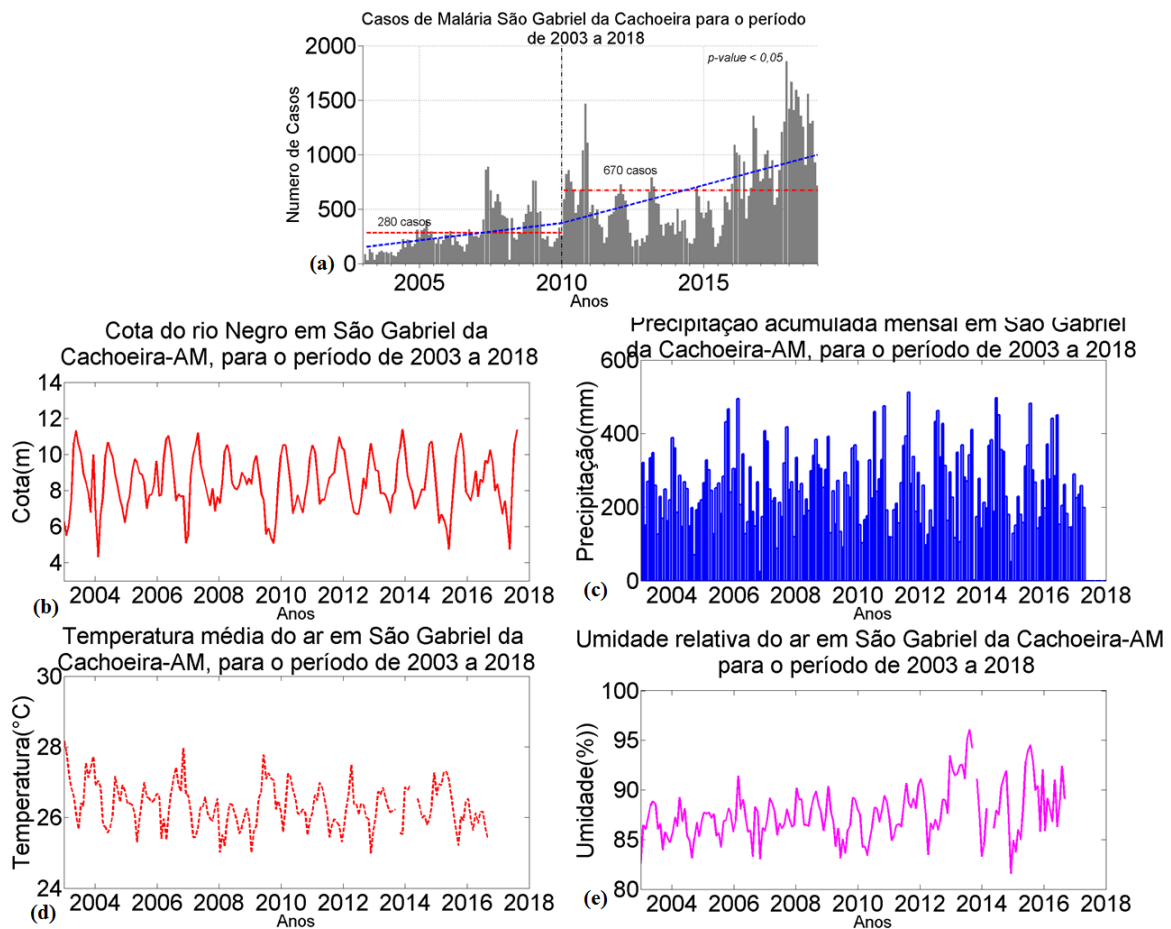


Figura 12: Série total dos Casos de malária e das variáveis meteorológicas para cidade de São Gabriel da Cachoeira

5.2 Análise do ciclo anual das variáveis meteorológicas e os casos de malária

As figuras 13,14,15, mostram os diagramas de caixa, aplicados à série de casos de malária e às variáveis hidrometeorológicas dos três municípios.

O diagrama de caixa (Figura 13), mostra sazonalidade do ciclo anual da incidência de malária e as variáveis hidrometeorológicas para a cidade de Manaus.

Em relação aos casos de malária, para o período de 2003 a 2010, sua mediana se dá em torno de 2000 a 4000 casos por mês, com o período de maior índice das ocorrências, no mês de março e outro entre agosto a setembro. Wolfarth-Couto (2015), mostra que alguns dos municípios da margem do rio Negro, como Manaus, podem apresentar dois períodos de máxima ocorrência de malária anualmente, um no período inicial da enchente e final da vazante. O período de 2011 a 2018, os casos ocorrem em torno de 500 a 800 casos.

As variáveis hidrometeorológicas apresentam sazonalidade bem definida. A precipitação (Figura 13(c)), apresenta maiores valores nos meses de dezembro a maio, com uma mediana de 300 mm, enquanto, no período de menor precipitação, meses de julho a outubro a mediana se encontra abaixo de 100 mm, período esse de maior incidência de casos de malária. A cota apresenta sua mediana entre 15 a 28 m ((Figura 13(b)), com o valor de cota máxima ocorrendo após 3 meses do do máximo precipitação. Esses resultados são consistentes com Wolfarth-Couto (2015), que mostra os períodos de maior incidência de malária anualmente ocorrem em média 1 a 2 meses após as cheias máximas dos rios no estado do Amazonas. A umidade relativa do ar (Figura 13(e)), possui sazonalidade com uma amplitude anual menor em relação as demais variáveis. No período menos chuvoso, há redução da magnitude da umidade, com uma assimetria da distância interquartil. A temperatura (Figura 13(d)) apresenta uma média entre 26 a 29 °C.

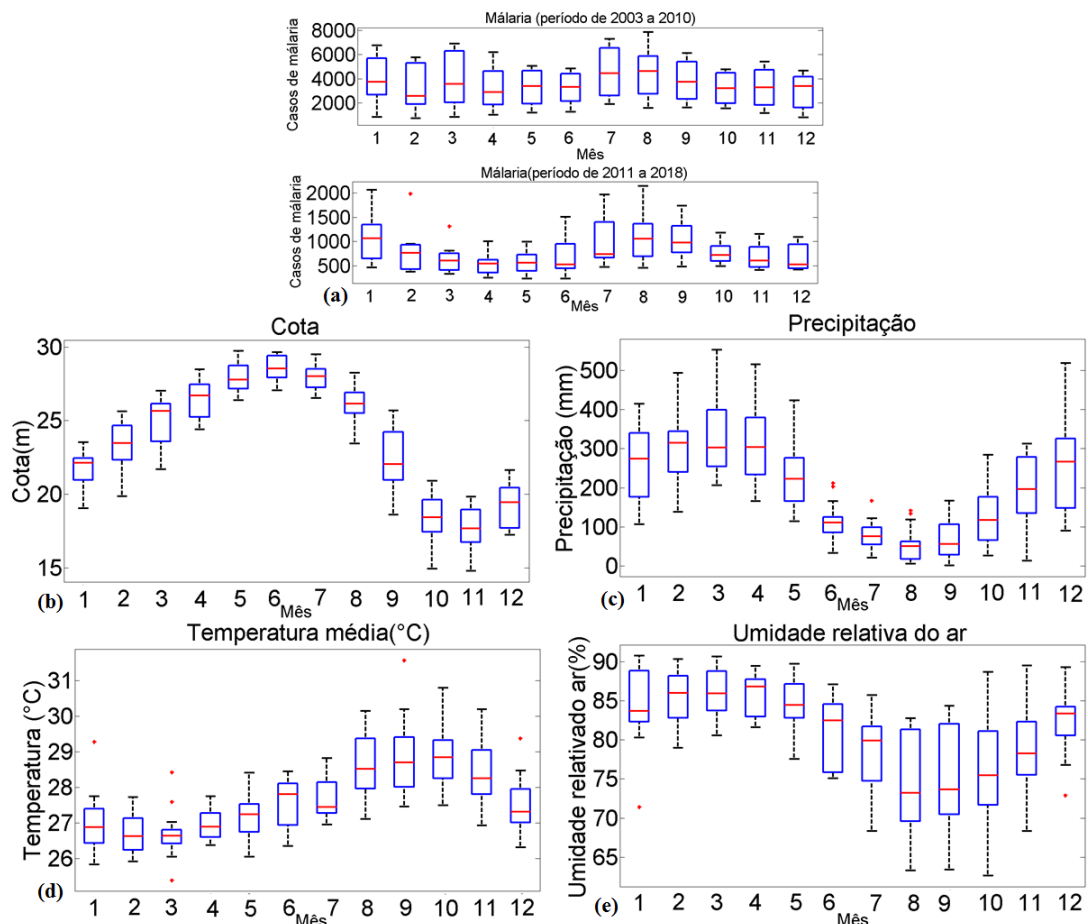


Figura 13: Diagramas de caixa aplicados a série de casos de malária e das variáveis hidrometeorológicas, para o município de Manaus, período de 2003 a 2018

A malária (Figura 14(a)) em Barcelos ocorre em torno de 400 casos em média mensais. Assim como Manaus, o ciclo anual possui dois máximos da doença, no entanto, o mês de março apresenta um aumento sutil, em comparação ao segundo máximo durante os meses de agosto a novembro. Nesses meses, ocorreram até 1200 casos de malária, como no ano de 2016.

O ciclo anual da precipitação é caracterizado por um período chuvoso nos meses de março a maio com uma mediana em torno de 300 a 400 mm (Figura 14(c)). Esse período coincide com o período máximo da doença (mês de março). O segundo máximo está relacionado com a redução da precipitação de agosto, setembro e outubro quando a precipitação atinge valores em torno de 100 a 150 mm. A umidade relativa do ar (Figura 14(e)), apresenta maior simetria, com mediana em torno de 85 a 90% para todos os meses, a temperatura (Figura 14(d)) apresenta uma distribuição assimétrica, com mediana variando de 26,5 a 27,5 °C, com maiores temperatura nos meses de janeiro e fevereiro e menores em junho, julho e agosto. A cota (Figura 14(b)) apresenta mediana entre 4 a 14 metros. A máxima ocorrência da doença se dá 2 meses após a maior cota do rio Negro. Segundo Coutinho (2015) a cota atua como base de formação de criadouros, os quais resultam em uma maior incidência da malária cerca de dois meses depois.

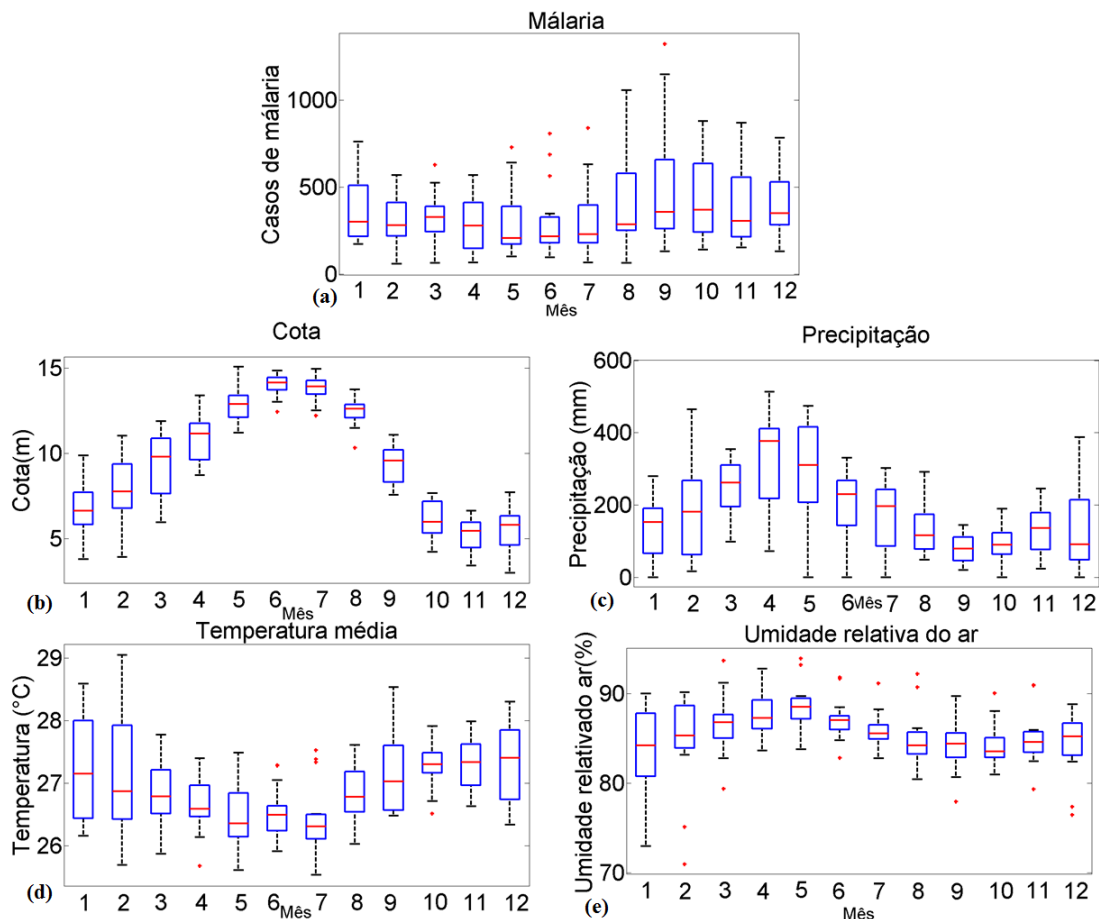


Figura 14: Diagramas de caixa aplicados a série de casos de malária e das variáveis hidrometeorológicas, para o município de Barcelos, período de 2003 a 2018

São Gabriel da Cachoeira (Figura 15(a)), assim como Manaus e Barcelos, possui dois máximos de ocorrência da doença em seu ciclo anual. Esses máximos possuem magnitudes semelhantes, o primeiro nos meses de janeiro a março, e o segundo durante os meses de setembro a novembro, sendo este com maior amplitude. Durante o período de 2003 a 2010, a mediana dos casos de malária se dá em torno de 200 a 400 casos por mês, então

para o período de 2011 a 2018, os casos aumentam de 500 a 800 casos. Para ambos os períodos, o maior índice de incidência da doença ocorre nos meses de janeiro a março e de setembro a novembro.

A precipitação (Figura 15 (b)) apresenta média entre 200 a 400 mm, com período de maior precipitação no mês de março a maio, os meses com menores índices pluviométricos (aproximadamente de 200 mm) durante os meses de julho a setembro. Observa-se que o período de maiores incidências de malária ocorrem aproximadamente 1 a 3 meses após o mínimo de precipitação. A umidade relativa do ar (Figura 15 (d)) apresenta media em torno de 86 a 98 %, com outliers a cima da mediana em praticamente todo o ano. A temperatura apresenta sua mediana em torno de 26,5 a 27 °C, e dois períodos de maior temperatura nos meses de janeiro a março, e nos meses de setembro a novembro, essa variável atua como importante agente regulador da malária na região, atuando possivelmente sobre as fases imaturas e adultas dos anofelinos e sobre o desenvolvimento de plasmódios (Coutinho, 2015).

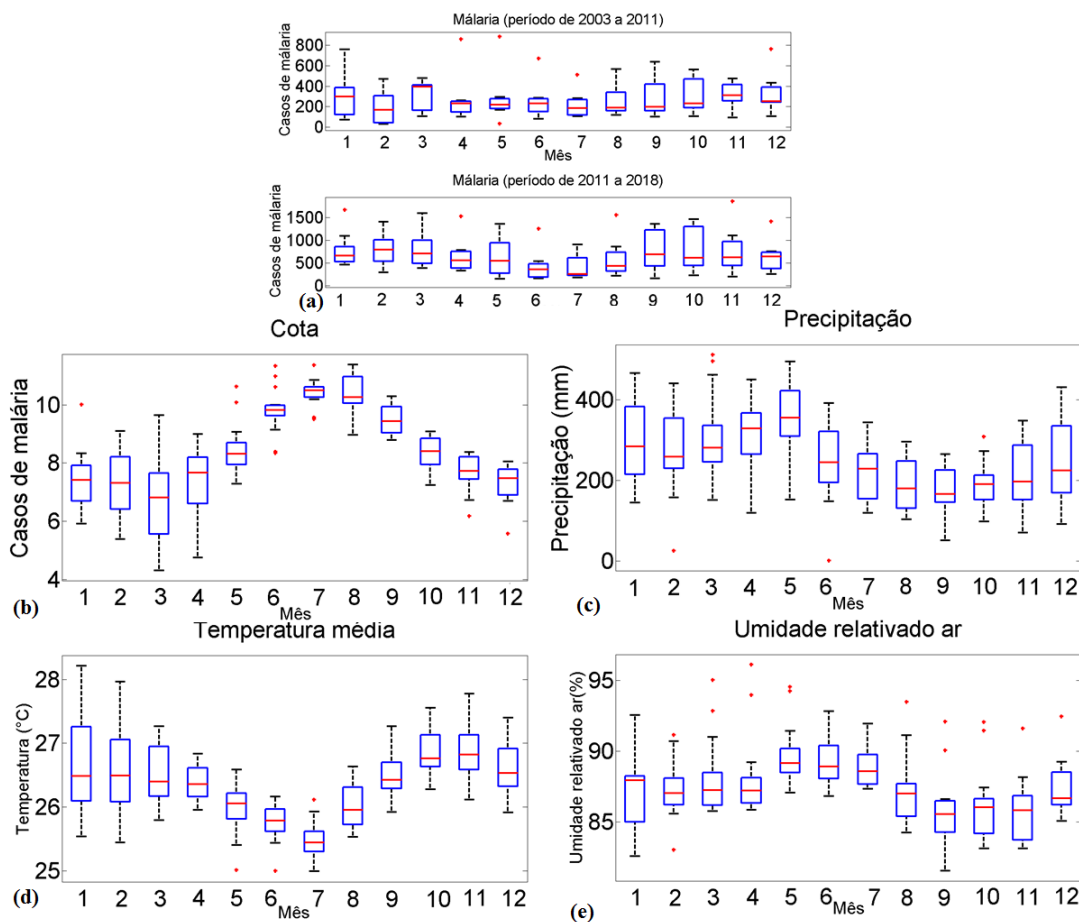


Figura 15: Diagramas de caixa aplicados a série de casos de malária e das variáveis hidrometeorológicas, para o município de São Gabriel da Cachoeira, período de 2003 a 2018

De maneira geral, observa-se que a malária, apresenta dois máximos de incidência durante o ano, nos municípios de Manaus, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira. O primeiro

período de maior incidência ocorrendo no início da estação chuvosa, e o segundo período, coincidente com o período de menor precipitação da região. Wolfarth-Couto, 2015, mostra, que chuvas de menor intensidade desempenham um papel crítico na variação anual dos casos influenciando de maneira positiva sobre os picos da malária.

Ainda, o pico da malária apresenta defasagem de 1 a 2 meses em relação ao pico da cota. Estudos anteriores sugerem que essa defasagem é o efeito da sobrevivência da fêmeas adultas produzidas na máxima cota (Wolfarth-Couto *et. al*, 2013; Coutinho, 2015). Pode-se inferir que o aumento dos casos de malária nos municípios está relacionado à redução da precipitação, umidade, com início da cheia e início da estiagem do rio Negro e com aumento da temperatura.

5.3 Análise de correlação de Pearson e teste de significância

Os valores referentes ao coeficiente de correlação de Pearson são expressos nas Tabelas 2 e 3, para os municípios de Manaus e São Gabriel da cachoeira.

A Tabela 2, mostra a correlação de Pearson e o teste de significância, entre as variáveis hidrometeorológicas e os casos de malária, para o período de 2003 a 2010 e 2011 a 2018 referentes a Manaus.

A correlação para o período de 2003 a 2010 (Tabela 2), das variáveis precipitação e umidade relativa do ar com os casos de malária apresentaram correlação fraca, negativa e significativa. Esse resultado indica que uma redução da precipitação e a umidade relativa do ar estão relacionadas ao aumento dos casos de malária, consistente com o padrão é observado na associação do ciclo anual (Figura 13 (a),(c),(e)).

A temperatura do ar apresenta correlação fraca positiva e significativa, oposto ao comportamento da precipitação e a umidade. A cota do rio Negro não apresentou correlação significativa com os casos de malária. Observado nas Figuras (13(a),(b)), o máximo de malária ocorre, 1 a 2 meses após da cota do rio Negro, como observado por Wolfarth-Couto (2013). Correlação com defasagens (1 a 4 meses), mostra, que o período de máxima ocorrência da malária entra em fase com o período de máxima cota após 1 mês de defasagem.

Para o período posterior a 2011 (Tabela 2), as correlações entre a precipitação e umidade do ar com os casos de malária no município apresentaram-se moderadas, negativas e significativas, a correlação da temperatura do ar também se apresentou moderada, porém com sinal positivo. A cota apresentou correlação fraca, negativa e não significativa.

Durante o pico máximo correlação defasada entre a cota e a malária, com 2 meses de defasagem.

MANAUS				
Variáveis	Período de 2003 a 2010		Período de 2011 a 2018	
	r (Pearson)	significância	r (Pearson)	significância
Precipitação	-0,27	< 0,05	-0,36	< 0,05
r Umidade	-0,21	< 0,05	-0,46	< 0,05
r Temperatura	0,25	< 0,05	0,40	< 0,05
r Cota	0,023	< 0,05	-0,17	< 0,05
r Cota defasada	Defasagem 1 mês		Defasagem 1 meses	
	0,12	0,05	0,14	> 0,05

Tabela 2: Coeficiente de correlação de Pearson, entre as variáveis hidrometeorológicas e os casos de malária, para o período de 2003 a 2018, para o município de Manaus

A correlação entre as variáveis hidrometeorológicas e os casos notificados de malária no município de São Gabriel da Cachoeira para o período de 2003 a 2010 e 2011 a 2018, exemplificados na Tabela 3.

A precipitação de São Gabriel da Cachoeira apresentou fraca correlação com os casos de malária (valores não significativos) tanto para todo o período de 2003 a 2010 e para 2011 a 2018. As correlações defasadas, apresentam os maiores valores com defasagem de 3 meses, após o período de mínima precipitação ocorreu a máxima ocorrência de malária.

A correlação entre a umidade relativa do ar com os casos de malária mostrou-se moderada, negativa e significativa para o período de 2011 a 2018. No entanto, para o período de 2003 a 2010, apresentou correlação fraca, positiva e não significativa. A correlação entre a temperatura do ar e os casos de malária é fraca, positiva e significativa durante o período de 2003 a 2010, e para o moderada, positiva e significativa para período de 2011 a 2018. A correlação entre cota do rio Negro e a malária, apresentou valores moderadas, negativos e significativos somente para o período de 2011 a 2018.

SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA				
Variáveis	Período de 2003 a 2010		Período de 2011 a 2018	
	r (Pearson)	significância	r (Pearson)	significância
r Precipitação	0,17	> 0,05	0,11	> 0,05
r Precipitação defasada	Defasagem 3 meses		Defasagem 3 meses	
	-0,23	0,05	-0,30	> 0,05
r Umidade	-0,06	< 0,05	-0,58	< 0,05
r Temperatura	-0,15	> 0,05	0,40	< 0,05
r Cota	-0,04	> 0,05	-0,37	< 0,05

Tabela 3: Coeficiente de correlação de Pearson, entre as variáveis hidrometeorológicas e os casos de malária, para o período de 2003 a 2018, para os municípios de Manaus e São Gabriel da Cachoeira

5.4 Análise da relação do evento El Niño Oscilação-Sul, com a incidência de malária

As Figuras 16,17,18,19 e 20 , mostram ciclo anual das variáveis hidrometeorológicas (precipitação, cota do rio Negro, temperatura do ar e umidade relativa do ar) e da incidência de malária , durante o ciclo de vida dos eventos ENOS. Para Manaus e São Gabriel da Cachoeira, referente ao período de 2003 a 2010 (Figuras 16 e 19) e para o período de 2011 a 2018 (Figuras 17 e 20), para Barcelos relativo ao período total 2003 a 2018 (Figura 18).

A Tabela 4, apresenta os anos referentes aos eventos ENOS durante o período de análise (2003 a 2018).

Anos de eventos ENOS - Período de 2003 a 2018	
Evento	Anos
El Niño	2004-2005, 2006-2007, 2009-2010, 2014-2015, 2015-2016
La Niña	2005-2006, 2007-2008, 2008-2009, 2010-2011, 2011-2012, 2016-2017, 2017-2018

Tabela 4: Ocorrência do evento ENOS durante o período de 2003 a 2018, NOAA

Durante o período de 2003 a 2010, a precipitação (Figura 16(a)) para anos de La Niña (barra com linha contínua), mostra-se mais acentuada que a média climatológica, principalmente durante maduro do evento (novembro a janeiro), como mostrado por Parente (2007). A cota do rio Negro (Figura 16(b)), responde o aumento da precipitação, com defasagem de 1 a 2 meses, atingindo valores acima da média climatológica a partir do mês de dezembro até julho do ano seguinte. Esses resultados são consistentes com Wolfarth-Couto *et al.* (2013). Tais condições, condizem com com a diminuição de os casos de Malária (Figura 16(c)), para o período maduro do evento, pois chuvas torrenciais, podem ocasionar a destruição de potenciais criadouros do *Anopheles Darlingi*. A temperatura do ar (Figura 16(d)) não sofre grande variação, no entanto , as temperaturas são mais baixas, devido à maior precipitação, a partir de novembro a umidade (Figura 16(e)) do ar apresenta maiores valores para anos de La Niña.

Por outro lado, os anos de El Niño (barras com linhas tracejadas), apresentaram precipitação reduzida (Figura (a) 16), desde o início do evento até sua dissipação. No período de maturação do evento (novembro a janeiro) a precipitação teve uma sutil redução em comparação a climatologia e cota do rio Negro seguiu a variação ocorrida na precipitação, com cotas mais reduzidas, configurando um cenário propício para reprodução do vetor da malária e conseqüentemente para um aumento da malária.

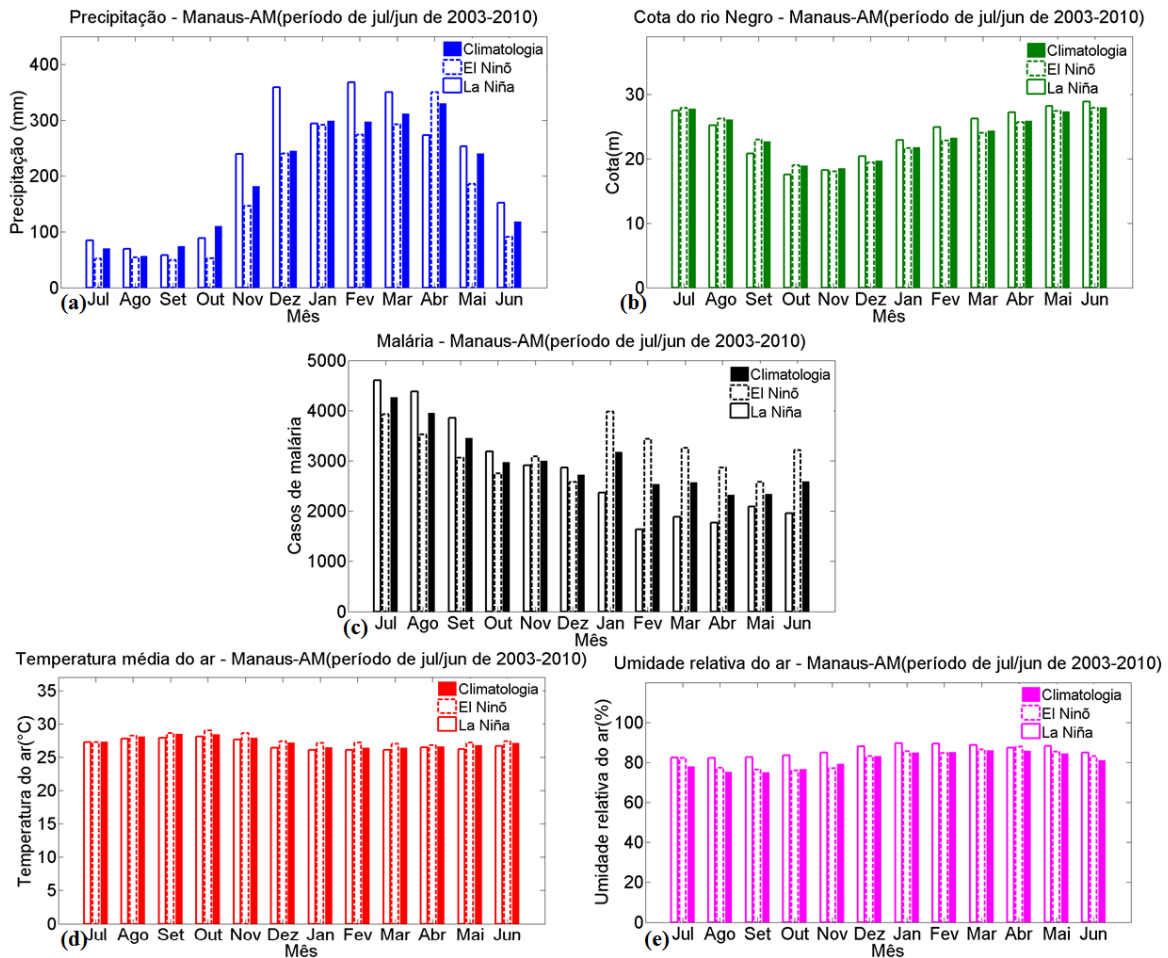


Figura 16: Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de Manaus-AM, para os anos de ENOS. Período de 2003 a 2010

O período de 2011 a 2018 representado na Figura (17), observa-se uma redução dos casos de malária em Manaus, para até 1500 casos por mês. Os casos para o período de La Niña excedem em todo o ciclo anual os casos referentes a climatologia e períodos de El Niño (Figura 17 (a)). As variáveis hidrometeorológicas apresentam comportamento semelhante ao primeiro período, contudo, nota-se que a precipitação foi reduzida desde o início do evento e nos meses de maturação do evento El Niño, a precipitação da região apresentou maior redução em comparação ao período anterior, ocasionando uma menor região alagada, podendo assim explicar o motivo pelo qual, os casos de malária reduziram, durante os anos de atuação do El Niño.

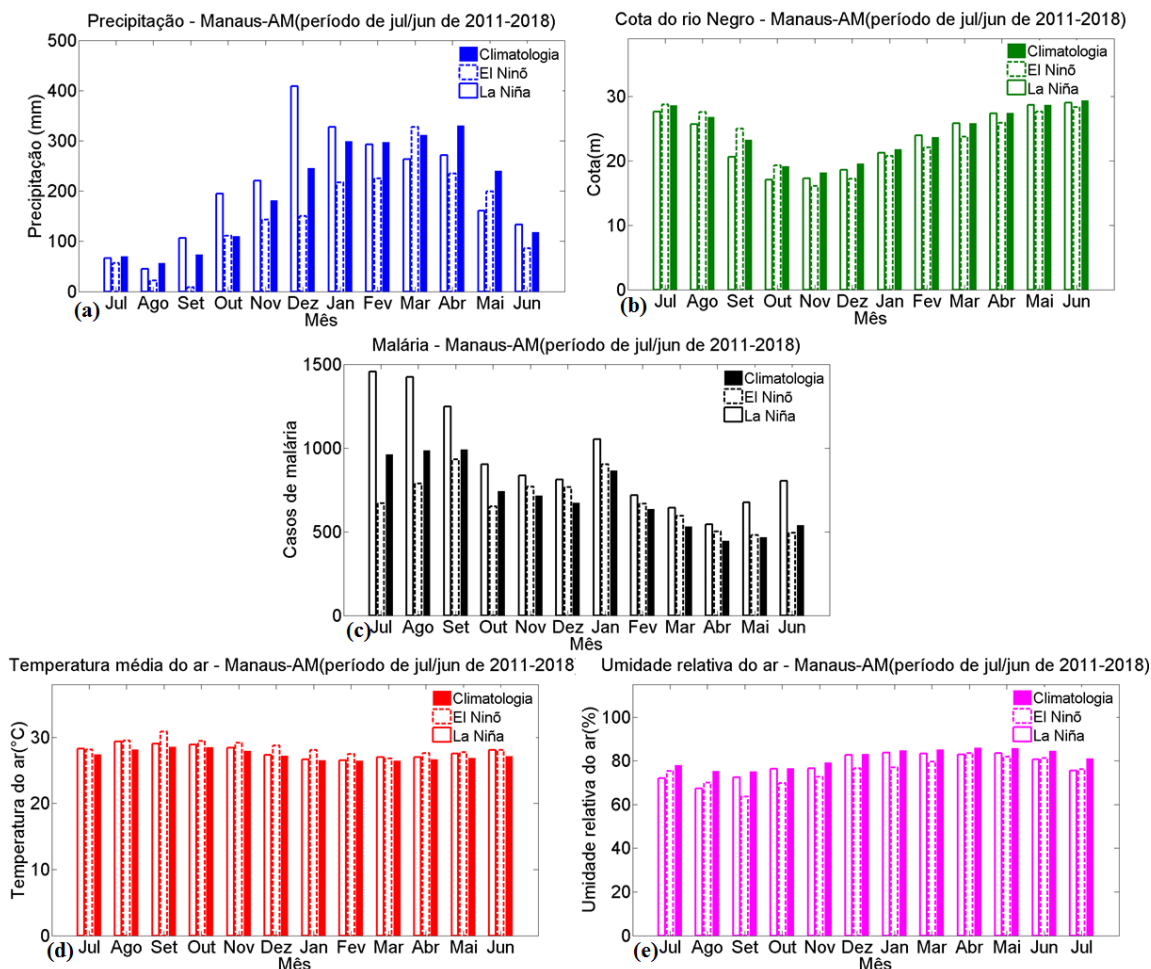


Figura 17: Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de Manaus-AM, para os anos de ENOS. Período de 2011 a 2018

De modo geral, durante os anos de La Niña (2003 a 2018), o máximo de incidência de malária entre agosto e outubro foram aumentados pelo acréscimo de precipitação decorrente do evento. O aumento na incidência de malária em março apresentou redução, no entanto, a precipitação ocorrida para esse período durante o período de 2011 a 2018, foram mais reduzidas, podendo assim, ter favorecido a incidência da doença. Os anos de El Niño apresentam aumento da incidência da malária, no máximo ocorrido entre os meses de Janeiro a março, decorrentes da diminuição da precipitação.

O ciclo anual da precipitação para Barcelos (Figura 18), diferencia-se do ciclo anual de precipitação de Manaus em ordem de magnitude. O período correspondente a fase madura da La Niña apresenta um aumento na precipitação em relação ao El Niño e a climatologia, a cota do rio Negro apresenta aumento durante esse período também. O aumento expressivo da cota nesse período, pode ser um dos ocasionantes da incidência de malária ser maior no período de maturação da La Niña, ao invés de ser maior no período de maturação do El Niño, pois com o aumento da precipitação, há uma redução da vazão do rio, ocasionando áreas alagadas por uma maior quantidade de tempo, que de acordo

com Coutinho (2015), favorecem a proliferação do vetor, pois propicia a formação de remansos adequados à procriação de anofelinos. A temperatura e umidade apresentaram pouca variação sazonal.

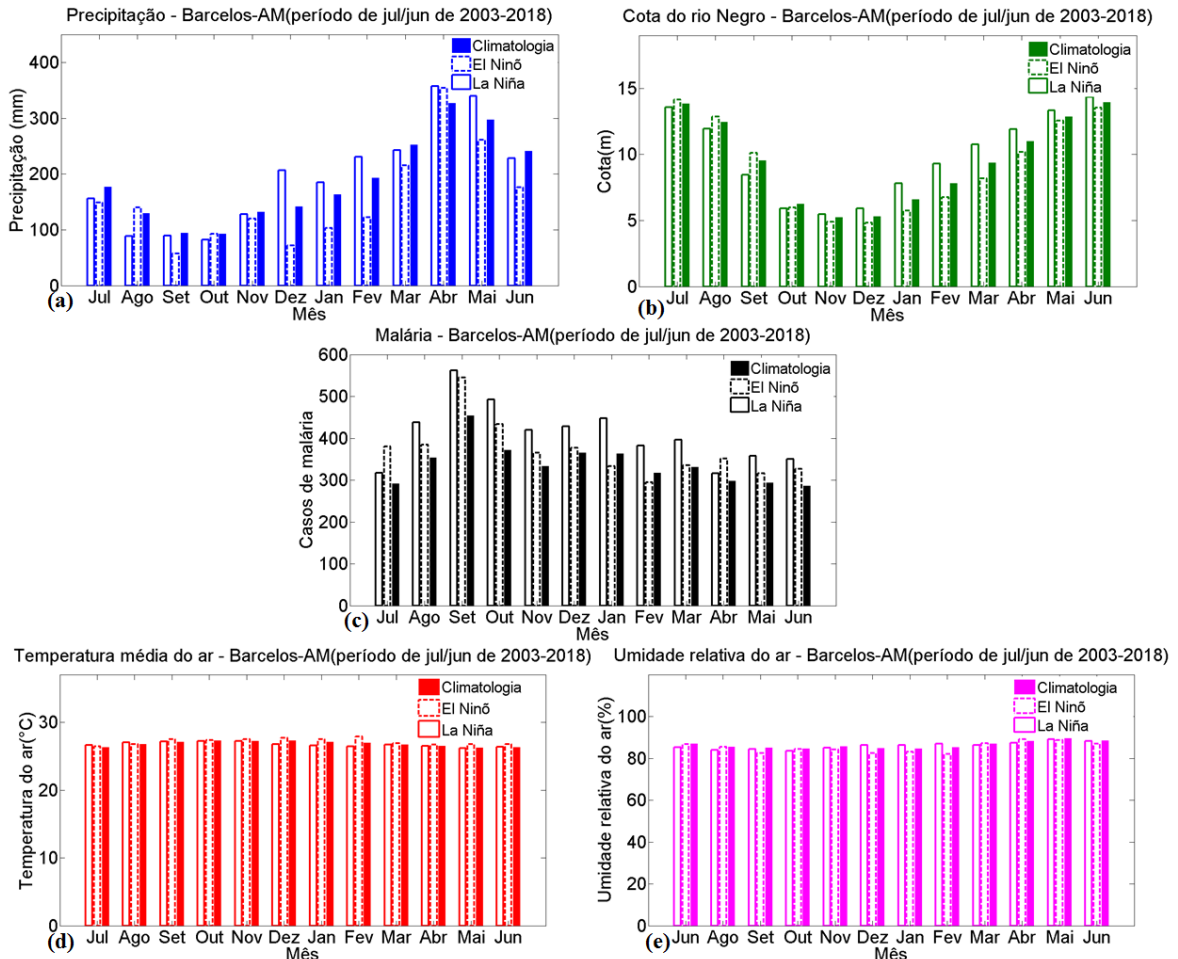


Figura 18: Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de Barcelos-AM, para os anos de ENOS. Período de 2003 a 2018

A Figura 19 mostra o ciclo sazonal do comportamento da incidência da malária e das variáveis hidrometeorológicas para o período de 2003 a 2010 referentes a São Gabriel da Cachoeira. O comportamento da malária para anos de atuação do ENOS é semelhante ao ciclo apresentados por Manaus, para o período de 2003 a 2010 (Figura 19 (a)).

Durante o período de maturação do evento de La Niña, a precipitação apresentou-se de maneira mais preponderante, juntamente com a cota do rio negro, resultando em um aumento na ocorrência de malária. O município apresenta em sua calha, valores baixos de cota, sendo que o aumento da precipitação na calha do rio, potencializará as áreas alagadas, e o tempo de permanência das mesmas, podendo contribuir para a reprodução do transmissor da malária. Os anos de El Niño apresentaram precipitação reduzidas durante o período chuvoso, proporcionando a persistência de potenciais criadouros para a fase aquática do transmissor da malária, resultando assim na intensificação do ciclo anual

da malária (Coutinho *et al.*, 2018). As variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar, apresentam pouca variação para anos de ENOS.

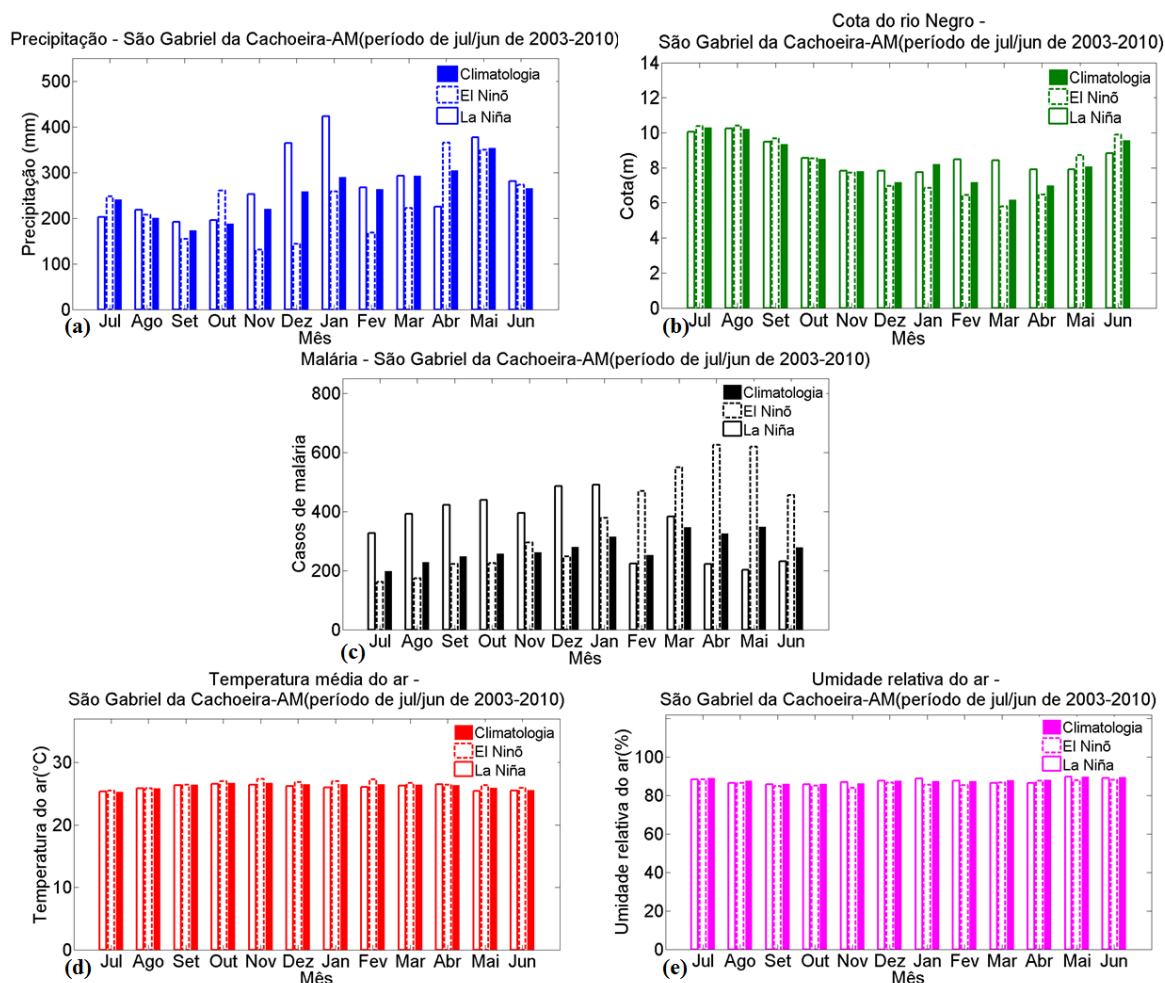


Figura 19: Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de São Gabriel da Cachoeira-AM, para os anos de ENOS. Período de 2003 a 2010

O período de 2011 a 2018 apresenta aumento dos casos de malária em São Gabriel da Cachoeira, para até 1200 casos por mês. Os casos para o período de La Niña excedem em todo o ciclo anual aos casos referentes a climatologia e períodos de El Niño (Figura 20 (a)). As variáveis meteorológicas apresentam comportamento semelhante ao primeiro período, no entanto, nota-se que nos meses mais secos da região para o período de El Niño a precipitação tem uma redução de aproximadamente 50 mm, com níveis menores de 10 mm para setembro.

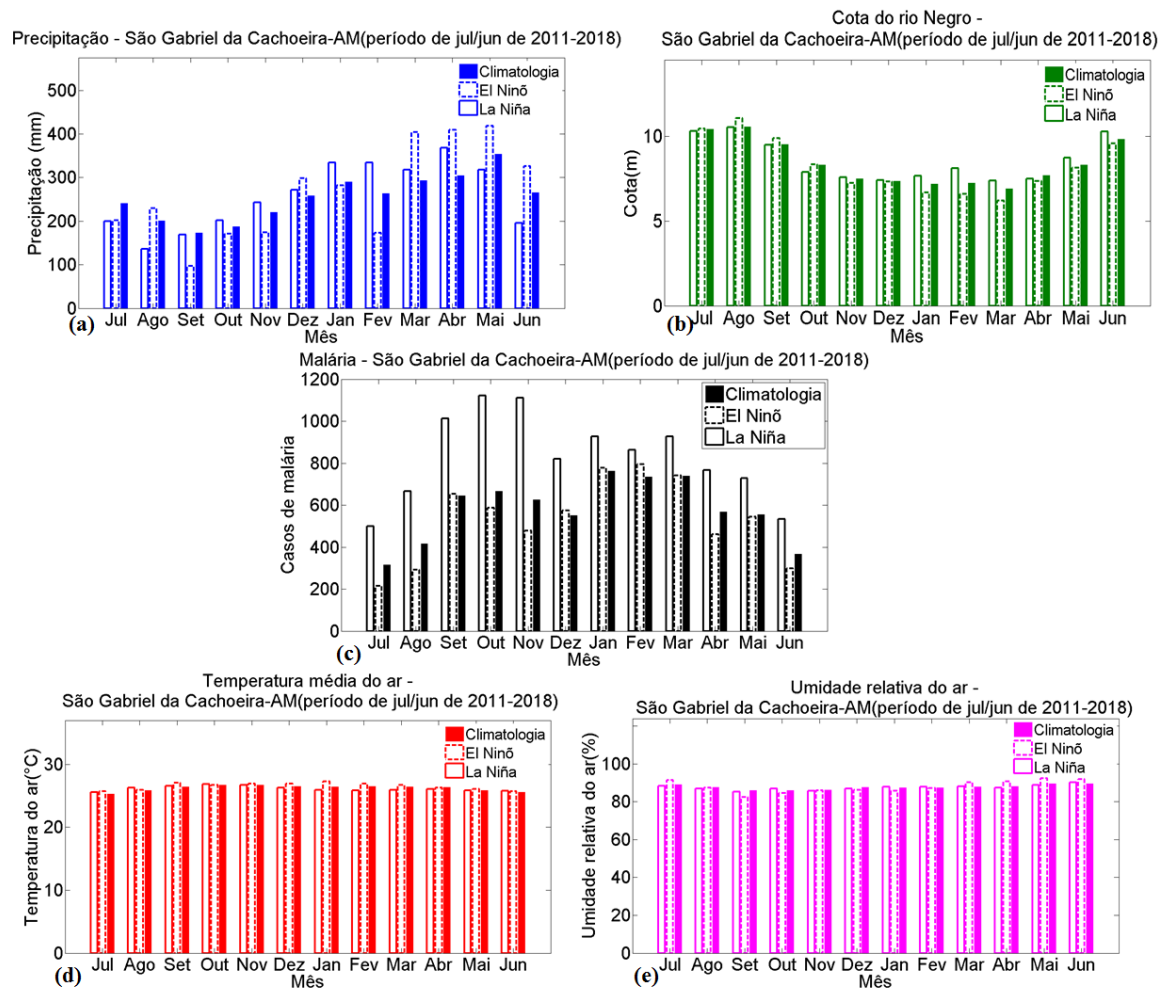


Figura 20: Figura 11: Variáveis meteorológicas e casos de malária mensal para o município de São Gabriel da Cachoeira-AM, para os anos de ENOS. Período de 2011 a 2018

O mesmo padrão de incidência do município de Manaus, observamos em São Gabriel. em anos de La Niña há um fortalecimento do ciclo anual, enquanto nos anos de El Niño o máximo de incidência da doença ocorre no início do ano.

6 Conclusões

- O teste de Pettit evidenciou mudança no comportamento da série de malária, a partir de 2010, para os municípios de Manaus e São Gabriel da Cachoeira. Essas mudanças podem ser relacionadas às mudanças de ações preventivas no combate da malária, associadas às políticas públicas dos municípios, assim como também à mudanças na urbanização e ao aumento da população.
- A malária, apresenta dois picos durante o ano, nos municípios de Manaus, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira. O primeiro pico ocorrendo no início da estação chuvosa, e o segundo pico coincidente com período de precipitação mínima.
- O coeficiente de correlação de Pearson mostrou, de maneira geral, que a incidência da malária possui associação moderada com a redução da precipitação e umidade, aumento da temperatura e com o período de começo e fim da cheia do rio Negro, para os municípios de Manaus e São Gabriel da Cachoeira. Pois essas condições favorecem ambiente propício para a fase aquática do agente transmissor da malária, assim como a longevidade da fêmea.
- De maneira geral, os municípios de Manaus e São Gabriel da Cachoeira apresentaram nos anos de atuação do evento ENOS, durante os anos de La Niña ocorreu o fortalecimento do ciclo anual da doença, principalmente o ocorrido no início do evento entre julho a dezembro e durante os anos de El Niño ocorreram o fortalecimento do máximo de ocorrência ocorrido no primeiro semestre do ano entre os meses de janeiro a junho, período da dissipação do evento. O município de Barcelos apresentou em ambos os eventos o fortalecimento do ciclo anual da malária.
- Os eventos de Enos, apresentaram padrões diferentes em questão de magnitude da incidência para os períodos de 2003 a 2010 e para 2011 a 2018. Podendo estar associado com a mudança ocorrida na precipitação de cada período. Fazendo necessário a investigação de como as diferentes intensidades de cada evento ENOS influenciam na incidência de malária.

7 Referências

Referências

- [1] CENTERS FOR DISEASES CONTROL AND PREVENTION, *Malária Biology, Global Health, Division of Parasitic Diseases and Malaria* <<https://www.cdc.gov/malaria/about/biology/index.html>> (acesso em 21/04/2018)
- [2] CONSOLI, RAGB., and OLIVEIRA, Principais Mosquitos de importância Sanitária no Brasil [online]. Rio de Janeiro: **Editora FIOCRUZ**, 1994. 228 p. ISBN 85-85676-03-5. Available from *SciELO Books* <<http://books.scielo.org>>.
- [3] COUTINHO, J. O. RICCIARD, V., Contribuição para o estudo dos Vetores de malária no Brasil: *Anopheles (Nyssorhynchus) Darlingi Root*, em campos, no estado do Rio **Memórias Instituto Oswaldo Cruz** [online]. 1945, vol.42, n.1, pp.263-280. ISSN 0074-0276. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0074-02761945000100019>> (Acesso em 19/04/2018)
- [4] COUTINHO, P. E. 2015., Análise do padrão de Incidência da Malária e sua relação com Fatores Climáticos e Hidrológicos em escala sub-regional e local na Bacia do Rio Negro. *Tese de Doutorado-INPA/CLIAMB*, 2015 <<https://btd.inpa.gov.br>> (acesso em 15/01/2019)
- [5] COUTINHO, P. E., CANDIDO, L. A., TADEI, W. P., Silva Junior, U. L. d., Correa, H. K. M. An analysis of the influence of the local effects of climatic and hydrological factors affecting new malaria cases in riverine areas along the Rio Negro and surrounding Puraquequara Lake, Amazonas, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, part of *Springer Nature 2018*, Published online: 26 April 2018
- [6] FERREIRA, S. J. F., SILVA, M. L., PASCOALOTO, D. Amazônia das águas: Qualidade, Ecologia e Educação Ambiental **Editora valer/FAPEAM/INPA**, 2016
- [7] FISCH, G., MARENGO, J. A., NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o Clima da Amazônia **ACTA AMAZONICA** 28(2):101-126, 1998
- [8] FREITAS, M. G. R., TSOURIS, P., PETERSON, A. T., HONOTIO, N. A., BARROS, F. S. M., AGUIAR, D. B., GURGEL, H. C., ARRUDA, M. E., VASCONCELOS, S. D., MOURA, J. F., An ecoregional classification for the state of Roraima, Brazil. The importance of landscape in malaria biology **Mem Inst Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, Vol. 102(3): 349-357, June 2007

- [9] FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ-(FIOCRUZ); **Malária**;
 <<https://agencia.fiocruz.br/mal%C3%A1ria>>(acesso em 20/04/2018)
- [10] INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA; Caderno da Região Hidrográfica Amazônica / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. *Brasília: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006*
- [11] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA; Municípios do Amazonas; **IBGE** <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am>> (Acesso em 25/04/2018)
- [12] LIEBMANN, B.; Marengo, J.A., Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin **Journal of Climate**, 2001, 14:4308–4318
- [13] MARTENS, W. J.M., NIESSEN L.W., ROTMANS, J. , JETTEN, T. H., McMichael, A. J. ., Potential Impact of Global Climate Change on Malaria Risk **Environmental Health Perspectives-Volume 103, Number 5, May 1995**
- [14] MOURÃO, F. R., CUNHA, A. C. , SILVA, R. A., SOUZA, E. B. A Vigilância da Malária na AMAZÔNIA Brasileira **Biota Amazônia**, Macapá, v. 4, n. 2, p. 161-168, 2014 <[Phttp://periodicos.unifap.br/index.php/biota](http://periodicos.unifap.br/index.php/biota)> (Acesso em 15/09/2018)
- [15] ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE\Organização Mundial de Saúde; **OPAS-Brasil: Malária** <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_contentview=articleid=5287:malaria-2Itemid=875> (Acesso em 20/04/2019)
- [16] PARENTE, A. T., Incidência de malária no estado do Pará e suas relações com variabilidade climática regional *Dissertação de Mestrado-UFPA, 2007*
- [17] PETTITT,A. N., A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem **Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)**, Vol. 28, No. 2(1979), pp. 126-135.
- [18] POHLERT,T., Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection *Thorsten Pohlert. This work is licensed under a Creative Commons License (CC BY-ND 4.0)*. <<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/> for details.
- [19] SIMAO, F. B. A endemia da malária em Porto Velho (RO) : um estudo baseado na análise estatística espacial de dados multivariados *Tese de Doutorado, UNESP – Rio Claro : [s.n.], 2006*

- [20] WILKS, D., *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* Ed. Elsevier, EUA, 2006
- [21] WORLD HEALTH ORGANIZATION(WHO); **World malaria report 2018** <<https://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2018/en/>> (Acesso em 22/04/2019)
- [22] WOLFARTH, Análise e temporal das Relações entre a sazonalidade dos casos de malária e a variabilidade hidrológica no estado do Amazonas, Brasil *Tese de Doutorado-INPA/CLIAMB,2015* <<https://bdtd.inpa.gov.br/simple-search?location=%2Fquery=Bruna+Wolfarth-Couto+TESE2015+FINAL+IMPRIMIRrpp=10sortby=scoreorder=desc>> (Acesso em 22/04/2019)
- [23] WOLFARTH, B. C, SILVA, R. A., FILIZOLA, N., Variability in malaria cases and the association with rainfall and rivers water levels in Amazonas State, Brazil **Caderno de Saúde Pública** 2019; 35(2):e00020218
- [24] ZEIDMANN, V.K.2001; O Rio de águas negras *In: Oliveira, A.A.; D.C. Daly; D. Varella. (Org.).,Companhia das Letras, 2001, v. 61, p. 87-339.*