



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE – IEAA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



UFAM

SARA ANGÉLICA SANTOS DE SOUZA

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO EM QUATRO SUB-BACIAS
AMAZÔNICAS DURANTE O EVENTO ENOS**

HUMAITÁ
2021



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE – IEAA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



UFAM

SARA ANGÉLICA SANTOS DE SOUZA

VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO EM QUATRO SUB-BACIAS
AMAZÔNICAS DURANTE O EVENTO ENOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino

Coorientador: Paulo André da Silva Martins

HUMAITÁ
2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729v Souza, Sara Angélica Santos de
Variabilidade da precipitação em quatro sub-bacias
Amazônicas durante o evento ENOS / Sara Angélica Santos de
Souza. 2021
53 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino
Coorientador: Paulo André da Silva Martins
TCC de Graduação (Engenharia Ambiental) - Universidade
Federal do Amazonas.

1. Amazônia. 2. Pluviometria. 3. Sazonalidade. 4. El Niño. 5. La
Niña. I. Querino, Juliane Kayse Albuquerque da Silva II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO EM QUATRO SUB-BACIAS
AMAZÔNICAS DURANTE O EVENTO ENOS**

AUTOR: SARA ANGÉLICA SANTOS DE SOUZA

BANCA EXAMINADORA

PROF.^a Dr. JULIANE KAYSE A. DA SILVA QUERINO (ORIENTADORA)

PROF.^a Dr. CARLOS ALEXANDRE SANTOS QUERINO (EXAMINADOR)

Me. PAULA CAROLINE DOS SANTOS SILVA (EXAMINADORA)

DEDICATÓRIA

Dedico a meus pais, Maria do Socorro Santos de Souza e Severino de Souza Neto.

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus, meu Pai, pelo zelo durante toda minha vida, por ter me capacitado e me permitido concluir essa graduação, mas principalmente pelo Seu infinito amor.

A meus pais, Severino de Souza Neto e Maria do Socorro S. de Souza, pelo apoio nos momentos difíceis e pela intensa dedicação em me oferecer tudo para que eu me tornasse a pessoa que sou. E meus irmãos, Matheus Henrique S. de Souza e Marcelo Vitor S. de Souza, por estarem sempre presentes (mesmo que a distância) vibrando e torcendo por cada conquista minha.

A meu namorado, Rômulo Henrique Marmentini Vogt, pelo cuidado, apoio, companheirismo e incentivo, nunca me permitindo esquecer meus objetivos e sempre estando ao meu lado me ajudando em tudo.

A meus orientadores, Juliane Kayse Querino e Paulo André da Silva Martins, pela dedicação, orientação e contribuição na realização desse trabalho.

Ao professor Carlos Alexandre Santos Querino, pelos incentivos e ensinamentos, me acompanhando nesses quatro anos e contribuindo para o meu crescimento acadêmico.

As irmãs que encontrei nesse período, Janaína da Silva Costa e Tsad Dálet Magalhaes Menezes, pela amizade, companheirismo, conselhos, apoio, mas especialmente por terem deixado tudo mais leve com suas risadas, babados e conversas aleatórias.

A meus irmãos em Cristo, José Maria Soares, Marirlene Soares, Mário Melo e Maria Dias, pelas orações e interseções em meu favor, o que com certeza foram de muita valia para meu sustento e força.

Aos integrantes que passaram pelo Grupo de Pesquisa em Interação Biosfera Atmosfera (GPIBA), em especial Paulo Martins, Paula Caroline e Luiz Octávio, pelo companheirismo, amizade e apoio, estando sempre presentes quando precisei.

A Universidade Federal Amazonas (UFAM) pela oportunidade de cursar essa graduação.

A banca examinadora deste Trabalho de Conclusão de Curso, pelas contribuições.

EPÍGRAFE

*“Então a nossa boca se encheu de riso e a nossa língua de cântico; então se dizia entre os gentios: Grandes coisas fez o Senhor a estes. Grandes coisas fez o Senhor por nós, pelas quais estamos alegres.”
(Salmos 126:2 e 3).*

RESUMO

A Bacia Hidrográfica Amazônica exerce um papel fundamental no funcionamento do clima. Contudo, essa região sofre devido alguns episódios extremos (secas e cheias) que afetam a condição do clima amazônico. Todavia, as maiores anomalias climáticas especialmente as secas severas, são resultados das ocorrências de eventos climáticos, destacando-se o El Niño Oscilação Sul (ENOS). Neste sentido, o objetivo do estudo é analisar a relação entre os fenômenos El Niño e La Niña com a variabilidade da precipitação nas sub-bacias hidrográficas amazônicas. O estudo abrange quatro sub-bacias: do Rio Negro, Trombetas, Purus e Madeira. Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos pelo sensor TRMM_3B43 do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Foram utilizadas 264 imagens mensais, desde janeiro de 1998 até dezembro de 2019. O índice *Oceanic Niño Index* foi obtido no site do centro de estudos climáticos da *National Oceanic Atmospheric Administration*, de modo que foram selecionados apenas os anos de ocorrência moderada e forte dos eventos. As imagens mensais de precipitação foram tratadas e organizadas em médias sazonais em todos os anos, obtendo assim as normais climatológicas provisórias sazonais para toda a região estudada. Foram selecionados apenas os anos em houve ocorrência moderada e forte dos eventos climáticos e estes foram comparados com essas médias sazonais, a fim de obter as anomalias positivas (aumento de precipitação) e negativas (redução de precipitação) para cada ano de ENOS. Os maiores valores correspondentes as normais climatológicas provisórias do período chuvoso estiveram concentradas nas sub-bacias do Purus e Madeira. Durante o período seco, a sub-bacia do Rio Negro registrou a maior precipitação. O El Niño causou anomalias negativas principalmente nas sub-bacias do Negro e trombetas. O período com anomalias negativas mais intensas foi 1998/1. Durante o período seco, a sub-bacia do Rio Negro sofreu a maior redução de precipitação. Os impactos do La Niña foram menos expressivos, quando comparados com o El Niño. A maior anomalia positiva do período chuvoso foi observada na sub-bacia do Negro. O período seco mostrou reduções de precipitação expressivas, resultantes dos efeitos tardios dos episódios de El Niño que antecederam. Sazonalmente, o período chuvoso apresenta maior sensibilidade aos efeitos do El Niño e, embora os resultados do La Niña não tenham sido tão intensos, suas anomalias positivas também foram mais presentes durante o período chuvoso. Os extremos pluviométricos, quando associados a falta de infraestrutura, podem causar danos irreparáveis a população ribeirinha.

Palavras-chave: Amazônia; Pluviometria; Sazonalidade; El Niño; La Niña.

ABSTRACT

The Amazon Hydrographic Basin plays a fundamental role in the functioning of the climate. However, this region suffers from some extreme episodes (droughts and floods) that affect the condition of the Amazonian climate. However, the greatest climatic anomalies, especially severe droughts, are the result of the occurrence of climatic events, highlighting the El Niño Southern Oscillation (ENOS). In this sense, the objective of the study is to analyze the relationship between the El Niño and La Niña phenomena with the variability of precipitation in the Amazon hydrographic sub-basins. The study covers four sub-basins: Rio Negro, Trombetas, Purus and Madeira. Rainfall data were obtained by the TRMM_3B43 sensor from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. 264 images were used monthly, from January 1998 to December 2019. The Oceanic Niño Index was obtained from the website of the Center for Climate Studies of the National Oceanic Atmospheric Administration, so that only the years of moderate and strong occurrence of the events were selected. Monthly precipitation images were treated and organized into seasonal averages for all years, thus obtaining seasonal temporary climatological normals for the entire studied region. Only the years in which there was moderate and strong occurrence of climatic events were selected and these were compared with these seasonal averages in order to obtain the positive anomalies (increase in precipitation) and negative (reduction in precipitation) for each year of ENSO. The highest values corresponding to the provisional climatological normals for the rainy season were concentrated in the Purus and Madeira sub-basins. During the dry period, the Rio Negro sub-basin recorded the highest precipitation. El Niño caused negative anomalies mainly in the Negro sub-basins and trumpets. The period with the most intense negative anomalies was 1998/1. During the dry period, the Rio Negro sub-basin suffered the greatest reduction in precipitation. The impacts of La Niña were less significant when compared to El Niño. The greatest positive anomaly of the rainy season was observed in the Negro sub-basin. The dry period showed significant rainfall reductions, resulting from the late effects of the El Niño episodes that preceded it. Seasonally, the rainy season is more sensitive to the effects of El Niño and, although the results of La Niña were not as intense, its positive anomalies were also more present during the rainy season. Extreme rainfall, when associated with a lack of infrastructure, can cause irreparable damage to the riverside population.

Keywords: Amazon; Pluviometry; Seasonality; El Niño; La Niña.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da Amazônia legal.	17
Figura 2. Representação esquemática da circulação geral da atmosfera terrestre (considerando a superfície terrestre homogênea).	21
Figura 3. Célula de Circulação de Hadley	22
Figura 4. Célula de Walker em condições normais.	23
Figura 5. Zona de Convergência Intertropical (cor vermelha representando sua posição sazonal de agosto/setembro, e em azul sua posição em março/abril).	24
Figura 6. Zona de Convergência do Atlântico Sul (na cor laranja) e Zona de Convergência Intertropical (na cor azul).	26
Figura 7. Célula de Circulação de Walker em condições de El Niño (a cor laranja representa anomalia positiva e a cor azul, anomalia negativa).	27
Figura 8. Célula de Circulação de Walker em condições de La Niña (a cor laranja representa anomalia positiva e a cor azul, anomalia negativa).	28
Figura 9. Mapa de localização da área de estudo.	31
Figura 10. Localização das áreas de atuação do ENOS.	34
Figura 11. Normais climatológicas provisórias (NCPs) da precipitação em ambos os períodos sazonais.	36
Figura 12. Anomalias em relação a normal climatológica provisória durante os períodos chuvoso (A, B, C, D) e seco (E) do fenômeno El Niño.	39
Figura 13. Anomalias da precipitação em relação a normal climatológica provisória durante o período chuvoso do fenômeno La Niña.	41
Figura 15. Anomalias da precipitação em relação a normal climatológica provisória durante o período seco do fenômeno La Niña.	42
Figura 16. Totais pluviométricos sazonais com as respectivas normais climatológicas provisórias de cada período.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Anos de ocorrência de El Niño e La Niña nas intensidades moderada e forte.	33
Tabela 2. Anomalias trimestrais da temperatura da superfície do Pacífico (TSM) (°C) (linhas cinzas: anomalias do El Niño; linhas pretas: anomalias do La Niña; linhas brancas: anos neutros).	33

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
ANA	Agência Nacional de Águas
BA	Bacia Amazônica
CGA	Circulação Geral da Atmosfera
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EN	El Niño
ENOS	El Niño Oscilação Sul
hPa	Hectopascal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LN	La Niña
NCP	Normal Climatológica Provisória
NOAA	<i>National Oceanic & Atmospheric Administration</i>
ONI	<i>Oceanic Niño Index</i>
OS	Oscilação Sul
PPT	Precipitação
QGIS	<i>Quantum Geographical Information System</i>
SB	Sub-bacia
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo geral.....	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1. Amazônia (aspectos físicos, geográficos e climáticos).....	17
3.2. Caracterização da precipitação na Bacia Amazônica Brasileira.....	18
3.3. Circulação Geral da Atmosfera.....	20
3.3.1 Célula de Circulação de Hadley	21
3.3.2. Célula de Circulação de Walker.....	22
3.3.3. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	23
3.3.4. Anticiclones Subtropicais.....	24
3.3.5. Alta da Bolívia (AB)	25
3.3.4. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	25
3.4. El Niño Oscilação Sul (ENOS).....	26
3.5. Sensoriamento remoto	29
4. METODOLOGIA	31
4.1. Área de estudo.....	31
4.2. Dados	33
4.3. Processamento de dados	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1. Normal Climatológica Provisória	35
5.2. El Niño.....	36
5.2.1. Período Chuvoso/Seco.....	36
5.3. La Niña.....	40
5.3.1. Período Chuvoso.....	40
5.3.2. Período Seco.....	41
5.4. Análise estatística.....	43
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
7. RECOMENDAÇÕES	46
8. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica possui área estimada em 6,3 milhões de km², abrangendo 9 estados brasileiros (Amazonas, Amapá, Acre, Roraima, Rondônia, Pará e parte dos estados de Mato Grosso, Tocantins e Maranhão) e mais 7 países da América do Sul (ANA, 2020). Sua precipitação média anual é de aproximadamente 2300 mm, variando de 1600 a 3000 mm/ano no Oeste, noroeste e litoral norte. Também possui sazonalidades bem distintas, a estação seca (inverno e primavera do Hemisfério Sul), com precipitações inferiores a 100 mm/mês, e a estação chuvosa (verão e outono) com precipitações superiores a 200 mm/mês (COUTINHO et al., 2018).

É um dos principais centros de atividades convectivas na região tropical do planeta, exercendo um papel necessário na regulação do clima regional e global. Dessa forma, é importante entender a dinâmica pluviométrica desta região, bem como os mecanismos que organizam e promovem a precipitação e sua relação com o funcionamento da floresta (ALMEIDA et al., 2015).

Por se estender entre os dois hemisférios, a região amazônica é caracterizada por diversos regimes de precipitação. Seus extremos pluviométricos não acontecem no mesmo espaço, no mesmo período e nem na mesma intensidade (MARENGO et al., 2008). Assim, a precipitação pluviométrica é uma das principais variáveis determinantes do clima amazônico, sendo responsável pela distinção entre as estações sazonais (ALMEIDA et al., 2015). Segundo os autores, o constante monitoramento dessa se torna necessário devido a intensa modificação antrópica da paisagem natural amazônica e a variabilidade da temperatura global, pois os efeitos desses fatores trazem implicações significativas para o ecossistema amazônico.

Episódios extremos de secas e cheias influenciam na variabilidade do clima amazônico e na distribuição da precipitação na região (LIMBERGER e SILVA, 2016). Contudo, as maiores anomalias climáticas, especialmente as secas severas, são resultados das ocorrências de eventos climáticos, destacando-se o El Niño Oscilação Sul (ENOS) (RIBEIRO et al., 2020).

O ENOS se refere ao acoplamento entre oceano e atmosfera, e que ocorre na porção tropical do Oceano Pacífico (GRIMM, 2015). Com consequências em escala global, ele é dividido em duas fases: a quente El Niño, provocando secas no norte do Brasil, e a fria La Niña, com excesso de chuvas (MOLION, 2017).

Santos et al (2018) afirma que mensurar variações climáticas torna-se um desafio na região amazônica devido a vasta área e a escassez de instrumentos meteorológicos. A dificuldade em medir variáveis climáticas à superfície nesta região demanda a necessidade de adoção de medidas alternativas, sendo uma delas realizadas por sensores instalados a bordo de satélites orbitais. Os dados obtidos por esses sensores são processados a partir de técnicas desenvolvidas no sensoriamento remoto e podem ser utilizados em estudos de clima, principalmente com séries temporais longas, o que facilita a observação de características ao longo do tempo (MOURA et al., 2018; SANTOS et al., 2018). Essas séries são fundamentais na observação de fenômenos que não possuem sazonalidade definida, como o ENOS, que ocorrem em intervalos de tempo.

Neste sentido, conhecer a distribuição espacial da precipitação durante a ocorrência desse fenômeno é fundamental. Isso possibilita não apenas avaliar o comportamento dela sobre as sub-bacias hidrográficas, mas também compreender a dinâmica dos rios da região e a influência dessa no ritmo de vida da população, a disponibilidade hídrica para atividades agrícolas, e ainda a ocorrência de eventos extremos (enchentes e estiagens). O monitoramento das sub-bacias torna-se relevante principalmente para a prevenção de desastres naturais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Identificar a ocorrência de impactos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a variabilidade da precipitação nas sub-bacias hidrográficas amazônicas.

2.2. Objetivos específicos

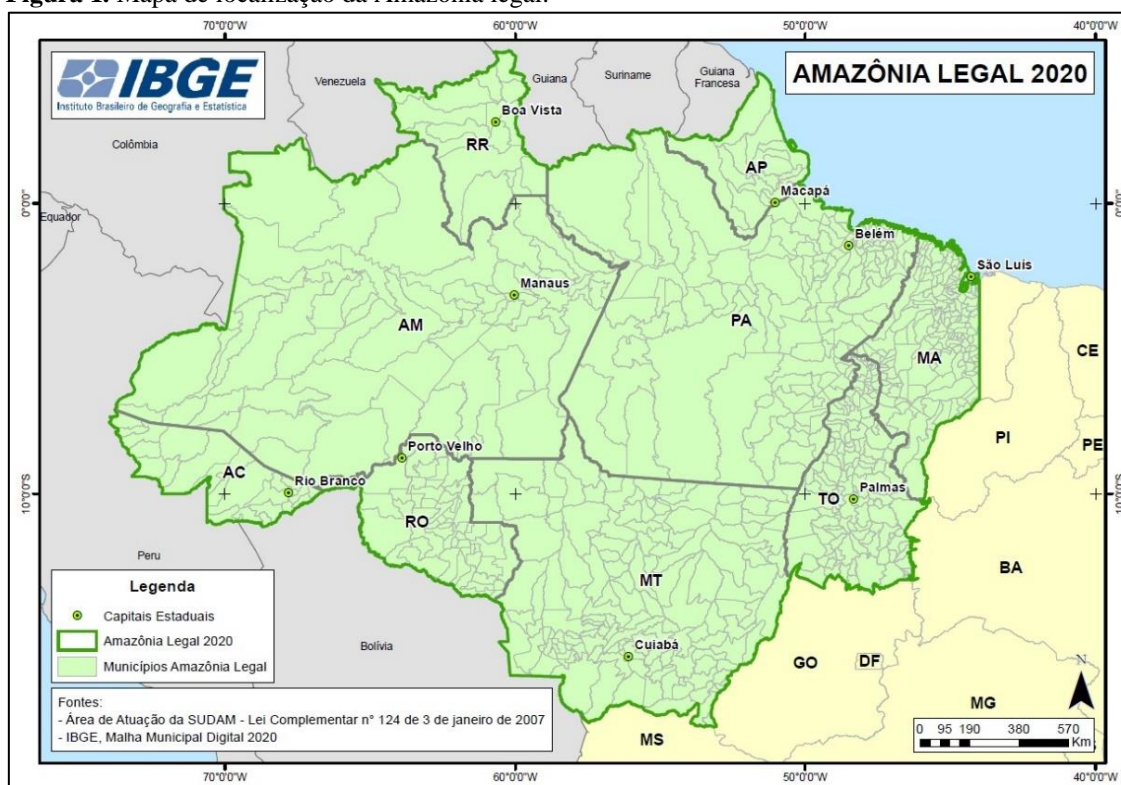
- Elaborar a Normal Climatológica Provisória da região estudada;
- Determinar se há impacto na precipitação em anos de ocorrência de ENOS;
- Verificar qual sub-bacia hidrográfica é mais afetada pelos fenômenos, nas intensidades moderada e forte.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Amazônia (aspectos físicos, geográficos e climáticos)

A Bacia Amazônica, maior bacia hidrográfica do planeta, tem sido objeto de inúmeras pesquisas por ser um dos principais centros de atividades convectivas na região tropical do planeta (ALMEIDA et al., 2015). Isso ocorre por que ela abriga a maior porção da floresta úmida contígua e o maior rio do planeta. Além disso, contribui com 70% de toda água doce presente no território brasileiro (Brasil detém 11,6% da água doce do mundo) e abriga 15% da biodiversidade da Terra (IBGE, 2013). A Amazônia Legal, ou Bacia Amazônica Brasileira, possui área estimada em 5 milhões de km², entre as coordenadas 20°S a 5°N e 80°W a 55°W, e abrange nove estados brasileiros – Amazonas, Amapá, Acre, Roraima, Rondônia, Pará e parte dos estados de Mato Grosso, Tocantins e Maranhão (Figura 1) – além de englobar dez sub-bacias e 2752 rios (COUTINHO et al., 2018; ANA, 2020).

Figura 1. Mapa de localização da Amazônia legal.



Fonte: IBGE, 2020.

A Agência Nacional de Águas (ANA) define bacia hidrográfica como uma região compreendida por um território e delimitada por divisores de água, cujos cursos d'água em geral convergem para uma única foz localizada no ponto mais baixo da região (ANA,

2021). Com a finalidade de ampliar e melhorar a oferta de dados aos usuários, o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) propôs a divisão do território brasileiro em sub-bacias hidrográficas (ANA, 2020). Cada uma das oito grandes bacias hidrográficas foi subdividida em dez sub-bacias. As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal, que possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km² (TEODORO et al., 2007).

Nesse contexto, a Bacia Amazônica realiza alguns serviços ambientais de importante contribuição para o balanço de água entre a superfície e a atmosfera, tais como: a intensa ciclagem de precipitação e o fornecimento de umidade para a atmosfera, que colaboram para a manutenção do regime hidrológico em escala regional (SATYAMURTY et al., 2013) e também como sumidouro de umidade (precipitação maior que evapotranspiração), recebendo vapor de água da floresta tropical, tanto por meio da reciclagem de precipitação quanto por meio do transporte de umidade que chega do Oceano Atlântico tropical (NASCIMENTO et al., 2016; ROCHA et al., 2016).

Além disso, ela exerce um papel fundamental no funcionamento e regulação do clima em escalas regional e global. Essas florestas tropicais liberam calor latente por meio da intensa evapotranspiração, a fim de equilibrar o calor radioativo à superfície. A forte convecção tropical sobre o continente durante o verão do Hemisfério Sul transporta esse calor e o distribui às zonas temperadas, o que resulta no resfriamento da Amazônia, ao mesmo tempo em que a torna uma intensa fonte de calor para a circulação atmosférica global (NOBRE et al., 2009).

Por sua grande extensão territorial, a região amazônica possui regimes climáticos diferenciados. De norte a sul, observa-se uma grande variabilidade espacial e temporal da precipitação, na qual os eventos extremos de secas ou enchentes trazem consequências socioeconômicas importantes para vários setores da sociedade (agricultura, transportes, recursos hídricos, saúde, habitação) (BORMA e NOBRE, 2013).

3.2. Caracterização da precipitação na Bacia Amazônica Brasileira

Os extremos pluviométricos da Bacia Amazônica não acontecem no mesmo espaço, no mesmo período e nem na mesma intensidade (MARENGO et al., 2008). Coutinho et al (2018) afirmam que o regime de chuvas na região é diferente nos afluentes da margem esquerda e da margem direita, pois cada margem é influenciada por um sistema meteorológico diferente.

A precipitação média da Amazônia é de aproximadamente 2300 mm.ano⁻¹, alcançando totais anuais de 3500 mm nas regiões de fronteira entre Brasil e Colômbia e Venezuela, e ainda variando de 1600 a 3000 mm.ano⁻¹ no oeste, noroeste e litoral norte (FISCH et al., 1998; COUTINHO et al., 2018). O período de chuvas é compreendido entre novembro a março, ao passo que o período de seca ocorre entre os meses de maio e setembro. Os meses de abril e outubro são de transição entre um regime e outro (FISCH et al., 1998).

Neste contexto, a precipitação pluviométrica origina-se nas nuvens, e é proveniente do vapor d'água presente na atmosfera, depositado na superfície terrestre sob qualquer forma (chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada) (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018; ARAUJO, 2020). Essa variável é uma das principais determinantes do clima amazônico, sendo responsável pela distinção entre as estações sazonais (ALMEIDA et al., 2015). Os autores ainda discutem que monitorar constantemente a precipitação torna-se necessário devido a intensa modificação antrópica da paisagem natural e a variabilidade da temperatura global, pois seus efeitos trazem implicações significativas para o ecossistema amazônico.

Devido à posição geográfica, o tipo de vegetação, o ciclo hidrológico e a topografia local, a Amazônia apresenta características de chuvas convectivas, as quais são importantes para o equilíbrio climático local e regional, além de um regime de precipitação tipo monção bem definido (PEREIRA et al., 2004; COELHO et al., 2012). O processo de formação do vapor d'água na Amazônia tem origem não apenas do Oceano Atlântico, por meio dos ventos alísios, mas também pelo processo de evapotranspiração das plantas. Portanto, 50% do vapor d'água advêm do oceano e os outros 50% da floresta (PEREIRA et al., 2004).

Neste sentido, o rotineiro uso do solo e a destruição da biodiversidade colaboram com a diminuição da precipitação nesta região. Várias simulações dos efeitos climáticos da substituição da floresta por pastagens na Amazônia indicam que há uma redução da evapotranspiração entre 15% e 30% e da precipitação entre 5% e 20% (SAMPAIO et al., 2007). Essa redução de precipitação resulta em episódios de seca, que afetam principalmente a navegação e a produção de hidroeletricidade, além de aumentar a incidência de focos de incêndios (COELHO et al., 2012).

Todavia, a manifestação de sistemas meteorológicos também influencia na alta variabilidade pluviométrica desta região, em sistemas de diferentes escalas climáticas (SOUZA et al., 2016). Coutinho (2016) cita as Zona de Convergências Intertropical e Zona de Convergência do Atlântico Sul como os principais sistemas causadores da

precipitação na bacia Amazônica. Além desses, destaca os eventos El Niño e La Niña como atuantes para extremos climáticos, intensificando os episódios extremos de secas e cheias. As principais secas na Amazônia são associadas a fenômenos meteorológicos, e os impactos causados são diferentes de acordo com cada região da Bacia Amazônica. Sendo assim, as secas associadas ao El Niño Oscilação Sul (ENOS) causam anomalias pluviométricas, e conseqüentemente anomalias na vazão, no Norte, Centro e Leste da Amazônia (COUTINHO, 2016).

Rolim et al., (2006) estudaram os impactos socioeconômicos gerados por esses extremos de seca e cheia na região Amazônica, e comprovaram que preparar a população, principalmente a ribeirinha, para enfrentar as conseqüências é essencial para o Estado, pois é ela quem precisa adaptar-se ou preparar-se para as possíveis doenças respiratórias, as desidratações, suspensões de navegação pelos rios da região, riscos de queimadas, resultando em perdas agrícolas e morte dos animais, e também falta dos peixes, meios de subsistência dessa população.

No meio urbano, esses desastres naturais são mais percebidos pela falta de planejamento e infraestrutura urbana. Leal e Souza (2011) mapearam as conseqüências das enchentes e inundações registradas na Amazônia, e comprovaram que áreas vulneráveis a esses tipos de desastres correm maior risco de danos e prejuízos à população, como desmoronamento de terras, proliferação de doenças hídricas, podendo até levá-las à morte. Neste contexto, é evidente que a região Amazônica tem características do ponto de vista social e climático que precisam ser compreendidas, entendendo quais sistemas climáticos atuam na região e de que modo influenciam a variabilidade pluviométrica.

3.3. Circulação Geral da Atmosfera

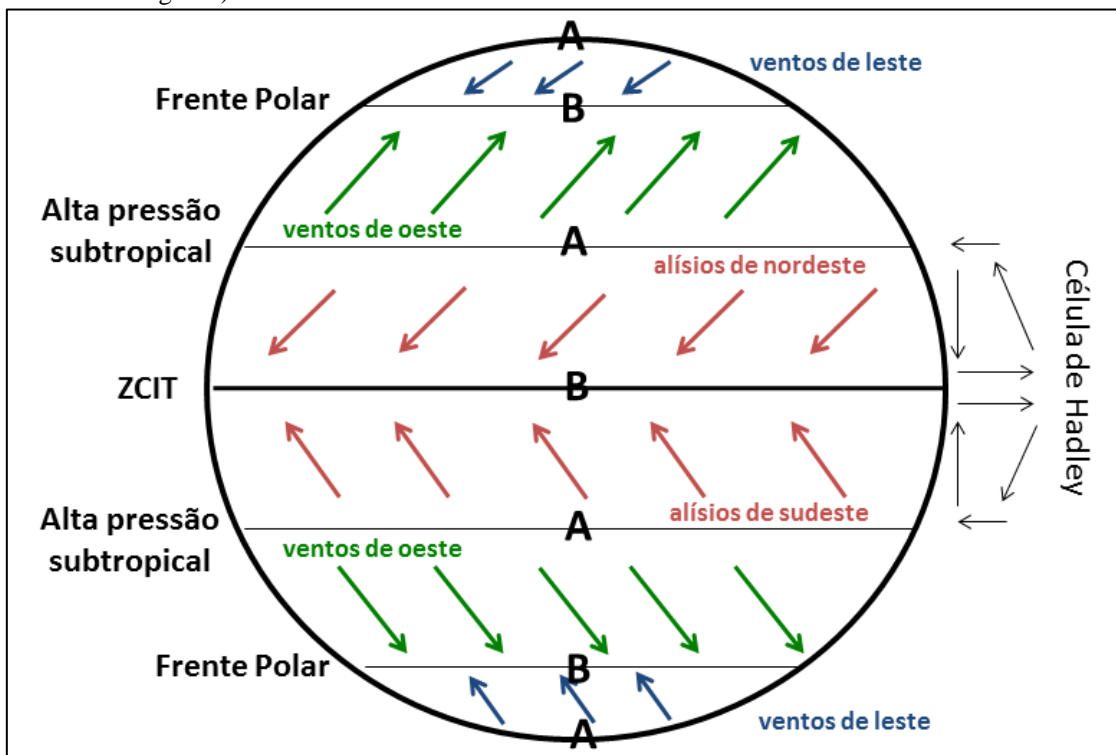
A Circulação Geral da Atmosfera (CGA) é o caminho médio realizado pelo ar ao percorrer o planeta Terra em um longo período de tempo (anos), contemplando as variações sazonais e mensais das variáveis meteorológicas (MIRANDA, 2013). Ela é responsável por determinar o clima de uma região, devido ao desequilíbrio na radiação, na umidade e na massa entre as baixas e as altas latitudes (Figura 2) (LUCENA, 2008).

Na região tropical, a CGA é caracterizada por um cinturão persistente de ventos de leste e, em zonas temperadas predominam os ventos de oeste (OLIVEIRA et al., 2008). Esses ventos são responsáveis por transferir calor de áreas de baixa pressão (equatorial) para locais de alta pressão (extratropicais). Regiões de alta pressão possuem tempo

predominante estável, com poucas nuvens e ventos fracos a moderados. Nas baixas pressões, nota-se condição instável e favorecimento à formação de nuvens e chuva, além de ventos que podem ser fortes nesses cinturões de pressão (MIRANDA, 2013).

De modo geral, os efeitos da CGA no Brasil são observados tanto no verão quanto no inverno. No verão, há a presença de anticiclones nos oceanos Pacífico e Atlântico, e no continente sul-americano, baixas pressões, devido ao forte aquecimento típico dessa época do ano. Com isso, tem-se o tempo instável no continente durante o verão, favorecendo a ocorrência de grandes taxas de precipitação, o que demarca a estação chuvosa na maior parte do Brasil. No inverno, ocorre a intensificação desse anticiclone do Atlântico Sul, predominando uma condição de tempo mais estável e inibidora da formação de nuvens e, por consequência, demarcador da estação seca, válida na maior parte do Brasil (MIRANDA, 2013).

Figura 2. Representação esquemática da circulação geral da atmosfera terrestre (considerando a superfície terrestre homogênea).



Fonte: REBOITA et al., 2012.

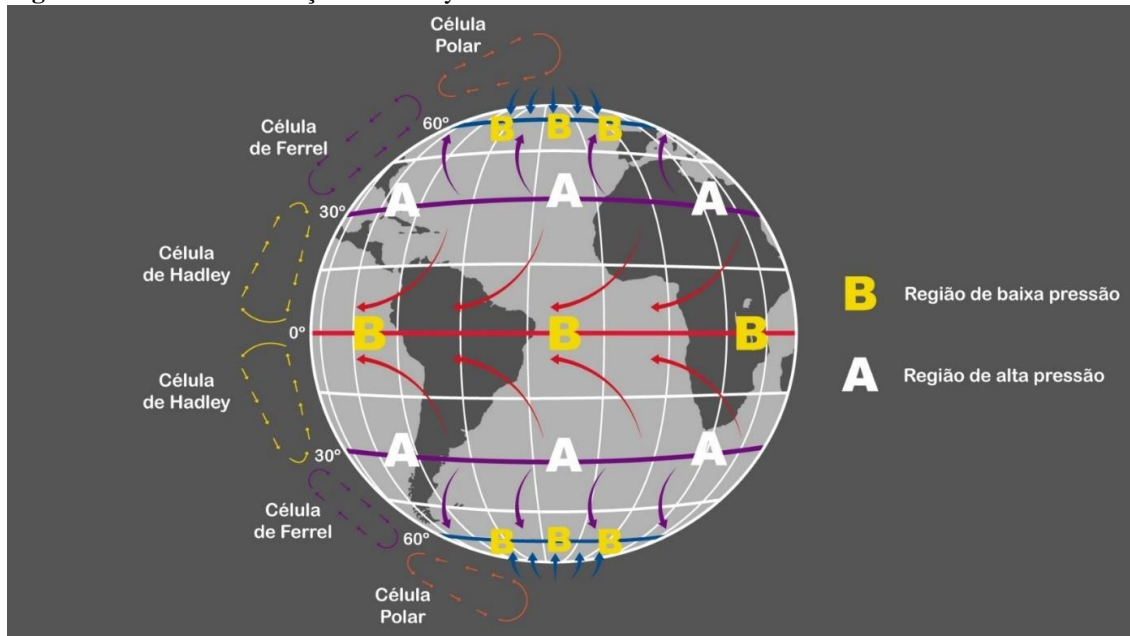
3.3.1 Célula de Circulação de Hadley

As Células de Circulação de Hadley e Walker são estruturas importantes na atmosfera terrestre, particularmente sobre a região Amazônica, uma vez que ambas regulam o balanço de energia da Terra (LIBERATO, 2014).

A Célula de Hadley é o resultado do aquecimento diferencial entre os trópicos e as latitudes médias, gerando a formação de uma circulação meridional (LUCENA, 2008).

Essa circulação é definida com movimentos ascendentes de ar sobre as áreas equatoriais e proximidades, e movimentos descendentes sobre as latitudes subtropicais de ambos os hemisférios (Figura 3) (AMBRIZZI et al., 2004). Ela é direcionada pelo gradiente de pressão superficial direto, entre a zona subtropical de alta pressão e a baixa pressão equatorial originada pela convergência de umidade produzida pelos ventos alísios e, conseqüentemente, movimento ascendente levando a condensação da umidade e a liberação de calor latente, aquecendo a atmosfera equatorial (LIBERATO, 2014).

Figura 3. Célula de Circulação de Hadley



Fonte: OSHIO, 2019.

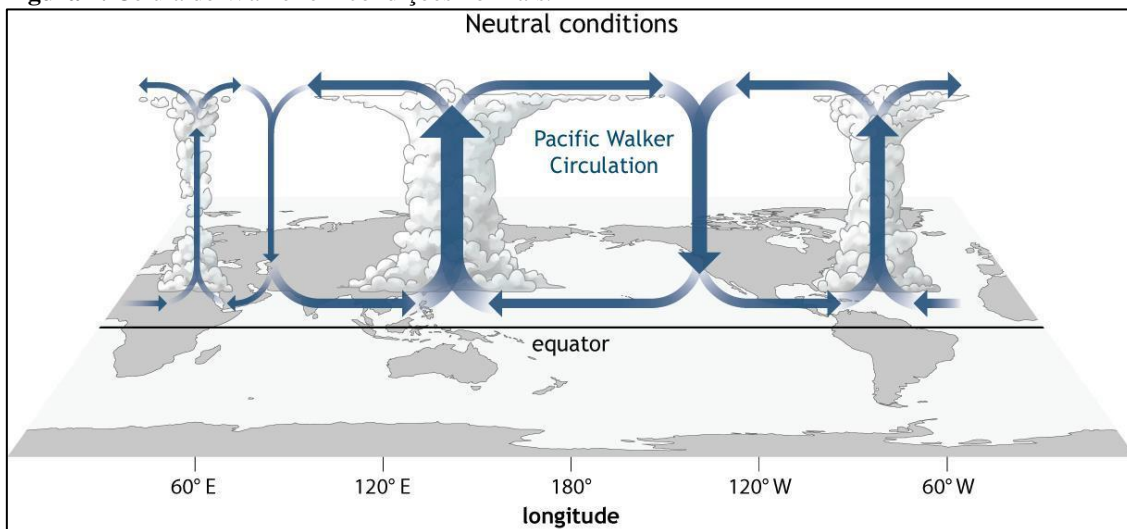
Na região Amazônica, as principais diferenças entre as estações de verão e inverno, na faixa tropical, ocorrem devido o deslocamento meridional dessa Célula, juntamente com a convecção local e da Zona de Convergência Intertropical (LIMBERGER e SILVA, 2016). Durante o período de junho, julho e agosto, o centro de máxima precipitação desloca-se para o norte e situa-se sobre a América Central, estabelecendo assim a estação seca sobre a Amazônia central e meridional, que se encontram sob o domínio do ramo descendente da Célula de Hadley (ROCHA et al., 2017).

3.3.2. Célula de Circulação de Walker

A célula de Circulação de Walker tem grande importância para a região amazônica e é diretamente influenciada pelos movimentos dos ventos alísios durante seus períodos de fortalecimento e enfraquecimento (CAMARGO et al., 2007). Em condições normais, esses ventos sopram de Oeste para Leste ao longo do Pacífico Equatorial, acumulando água aquecida pela radiação solar na superfície do Oceano Pacífico tropical, perto da

Austrália e Indonésia. Nestas condições, a atmosfera é aquecida criando condições suscetíveis a convecção e precipitação. Assim, nos níveis mais elevados da atmosfera (troposfera), os ventos sopram de Leste para Oeste, realizando movimentos de circulação atmosférica de larga escala denominada Célula de Walker (Figura 4) (SANTOS, 2021).

Figura 4. Célula de Walker em condições normais.



Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

As mudanças na circulação Hadley/Walker são induzidas pelas variações nos padrões da TSM que enfraquecem, intensificam e/ou deslocam a circulação atmosférica de grande escala nas regiões meridionais, além da configuração de ambas estarem diretamente associadas as fases do fenômeno ENOS (LIBERATO, 2014). O deslocamento zonal da célula de Walker propicia redução do movimento ascendente, durante eventos de El Niño, e enfraquecimento do ramo descendente da célula de Walker durante eventos La Niña, o que provoca, respectivamente, redução e aumento dos índices pluviométricos sobre o Norte e Nordeste da América do Sul (LIMBERGER e SILVA, 2016).

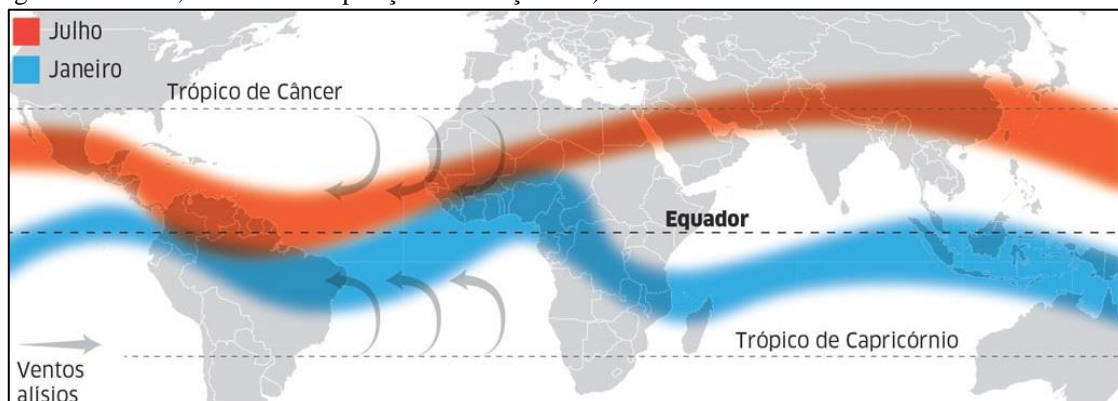
3.3.3. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A ZCIT é caracterizada por uma zona de alta nebulosidade, próxima ao Equador onde os ventos originários dos hemisférios Norte e Sul se encontram (ventos alísios). É formada através do movimento vertical, em grande parte derivado da atividade convectiva de tempestades provocadas pelo aquecimento solar, sendo responsável pela transferência de energia de regiões de altas latitudes em direção à linha do equador (Figura 5) (OLIVEIRA, 2019).

Devido à sua estrutura física, a ZCIT tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de tempo e de clima em áreas da região Tropical, com influência sobre a precipitação nos continentes africano, asiático e americano. De maneira geral, ela

atua na manutenção do balanço térmico global, transferindo calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais para os níveis superiores da troposfera e para médias e altas latitudes (CPTEC, 2021).

Figura 5. Zona de Convergência Intertropical (cor vermelha representando sua posição sazonal de agosto/setembro, e em azul sua posição em março/abril).



Fonte: CPTEC, 2021.

A Célula de Hadley tem origem a partir das ZCIT, com predominância de baixas pressões, provocando a ocorrência de precipitação abundante sobre grandes áreas oceânicas e continentais (RAMOS et al., 2010). A maior parte da precipitação anual na Bacia Amazônica ocorre entre os meses de dezembro e maio, de maneira que sua intensificação se deve a atuação direta da ZCIT, modulando o regime de chuvas e gerando assim maiores volumes pluviométricos em toda a região amazônica atingindo os maiores níveis principalmente em março, (ARAÚJO et al., 2020).

3.3.4. Anticiclones Subtropicais

São sistemas de alta pressão, localizados em torno de 30° de latitude nos principais oceanos. Estão associados à circulação média meridional da atmosfera, surgindo devido às células de Hadley (OLIVEIRA, 2019). Os anticiclones que atuam no hemisfério sul são os Pacífico Sul, sul do Oceano Índico e Atlântico Sul, sendo este último de grande importância para o clima da América do Sul. Ele afeta o clima brasileiro tanto no inverno quanto no verão (a região do Brasil que se encontra abaixo da Linha do Equador). No inverno brasileiro, ele inibe a entrada de frentes e causa inversão térmica e concentração de poluentes nos principais centros urbanos das regiões sudeste e sul, e no Nordeste, contribui para o regime de chuvas no litoral. No verão, ele afeta o transporte de umidade nos baixos níveis troposféricos ao longo da Zona de Convergência do Atlântico Sul (BASTOS e FERREIRA, 2019).

De modo geral, a parte central do Brasil e o sul da Amazônia apresentam seus meses mais secos entre os meses de junho e agosto devido ao centro dos anticiclones subtropicais se aproximarem do continente Sul Americano, em função do deslocamento da Alta da Bolívia para noroeste do continente (OLIVEIRA, 2019).

3.3.5. Alta da Bolívia (AB)

Um outro evento que influencia na quantidade de precipitação na região amazônica é a Alta da Bolívia (AB). Esse anticiclone possui esse nome pois situa-se sobre a região do altiplano boliviano, e é caracterizado por sua atuação em altos níveis da troposfera (200 hPa) durante os meses de verão, associado com a forte convecção da região amazônica, de modo que na época de inverno, ocorre a sua desintensificação e o seu completo desaparecimento (FISCH et al., 1998; MARTINS, 2019).

A AB resulta da convergência do ar mais aquecido e umidade nos baixos níveis (850 hPa) e divergência do ar que se resfria em altos níveis da atmosfera (200 hPa) e que tem posição variável intra-sazonal e interanual (TURCO et al., 2005). De acordo com Oliveira (2019), esse evento surge, em média, em outubro e persiste até abril, sendo janeiro seu mês mais ativo.

Na região Amazônica, durante anos menos chuvosos, os centros da AB são menos intensos. Com a ocorrência do El Niño, a posição climatológica da AB é influenciada (localizando-se, em geral, à oeste da região), e à medida que a atividade convectiva e precipitação diminuiu, ocorre conseqüentemente a desintensificação da AB (FISCH et al., 1998).

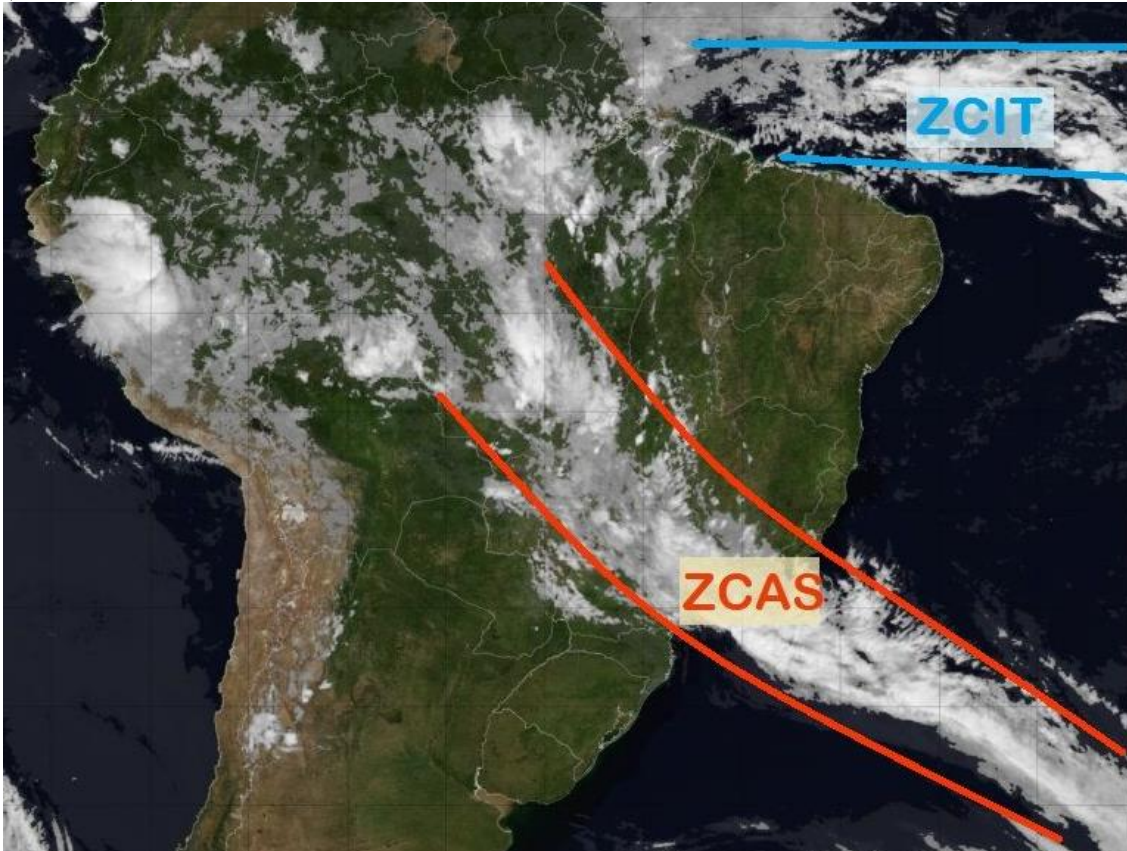
3.3.4. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A ZCAS é um importante sistema meteorológico atuante no verão austral da América do Sul, e marca a estação chuvosa devido os períodos associados de intensa precipitação (OLIVEIRA, 2019). É caracterizada por uma banda de nebulosidade orientada noroeste-sudeste, que atua desde o sul da Amazônia até o sudoeste do Atlântico Sul, passando pelas regiões centro-oeste e sudeste do Brasil, variando de 4 a 10 dias ou mais (Figura 6) (NÓBILE TOMAZIELLO, 2010).

Os mecanismos que formam e modulam a ZCAS ainda não estão completamente definidos, contudo, a interação entre sistemas locais de mesoescala e escala sinótica são responsáveis por influenciarem este sistema (BARBOSA, 2017). Além disso, a fase quente do ENOS tende a favorecer a persistência da ZCAS no oceano. Durante eventos de El Niño, a atividade convectiva associada a ZCAS sobre o continente é menos intensa,

sendo mais intensa no oceano, e é deslocada ligeiramente para oeste, enquanto que em episódios de La Niña a atividade convectiva é mais intensa sobre o continente, aspecto este evidenciado com a convecção mais intensa que o normal sobre parte do estado do Mato Grosso (FERREIRA et al., 2004).

Figura 6. Zona de Convergência do Atlântico Sul (na cor laranja) e Zona de Convergência Intertropical (na cor azul).



Fonte: fatecsm.org.br

Na região Amazônica, a principal característica das ZCAS são chuvas contínuas, ao longo de um dia, devido à forte advecção de ar frio e subsidência no lado polar da faixa de nebulosidade convectiva associada a advecção de ar quente e movimento ascendente na região desta faixa (RAMOS et al., 2010; MARTINS, 2019).

3.4. El Niño Oscilação Sul (ENOS)

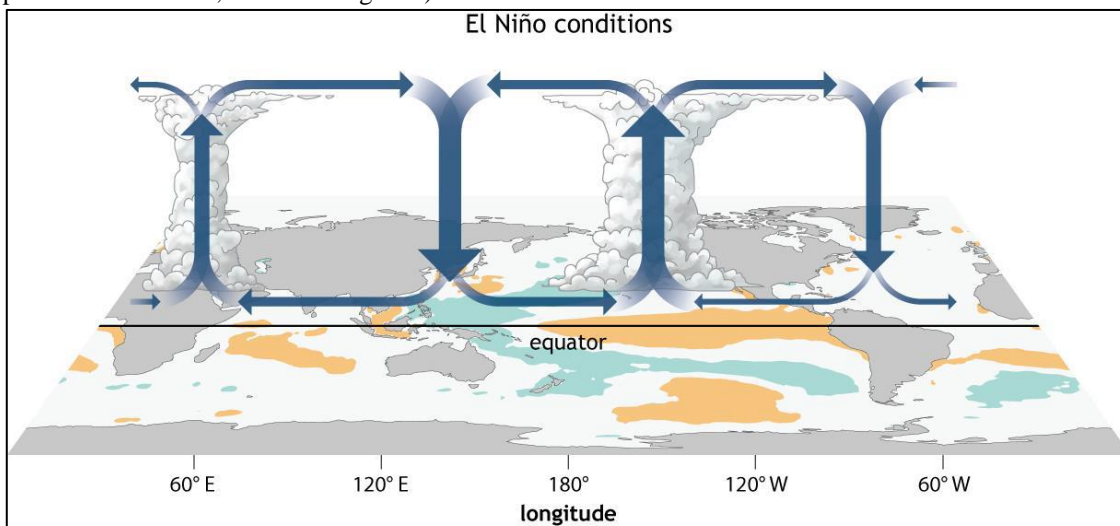
O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de escala global que está associado há uma forte interação oceano-atmosfera existente no Oceano Pacífico Tropical (WANG et al., 2017). Ele constitui-se de dois componentes: o oceânico, representado pelas anomalias positivas (El Niño) e negativas (La Niña) na Temperatura da Superfície do Oceano Pacífico (TSM); e o atmosférico, representado pela Oscilação Sul (OS), definida como variações no campo barométrico entre as áreas da Alta Subtropical do Pacífico

Sudeste e a Baixa Pressão da Indonésia (SIQUEIRA e MOLION al., 2015; SHIMIZU et al., 2017).

Molion (2017) caracteriza as anomalias de El Niño (EN) como águas mais quentes que as normais, que se estabelecem no Oceano Pacífico Tropical Centro-Oriental, próximo à costa oeste da América do Sul. As anomalias de La Niña são caracterizadas pela fase fria do El Niño, ou seja, águas mais frias. Esses eventos apresentam grande influência sobre a variabilidade da precipitação, impactando no posicionamento longitudinal dos movimentos ascendentes da Célula de Circulação de Walker (SANTOS, 2021).

Em ocorrências de El Niño, os ramos ascendentes se posicionam sobre as águas aquecidas do Oceano Pacífico proporcionando subsidência e alta pressão sobre a região Norte da América do Sul (Figura 7). Esse deslocamento causa um bloqueio atmosférico na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que podem provocar secas severas em diversas regiões (CAVALCANTI et al., 2017; RODRIGUES et al., 2019).

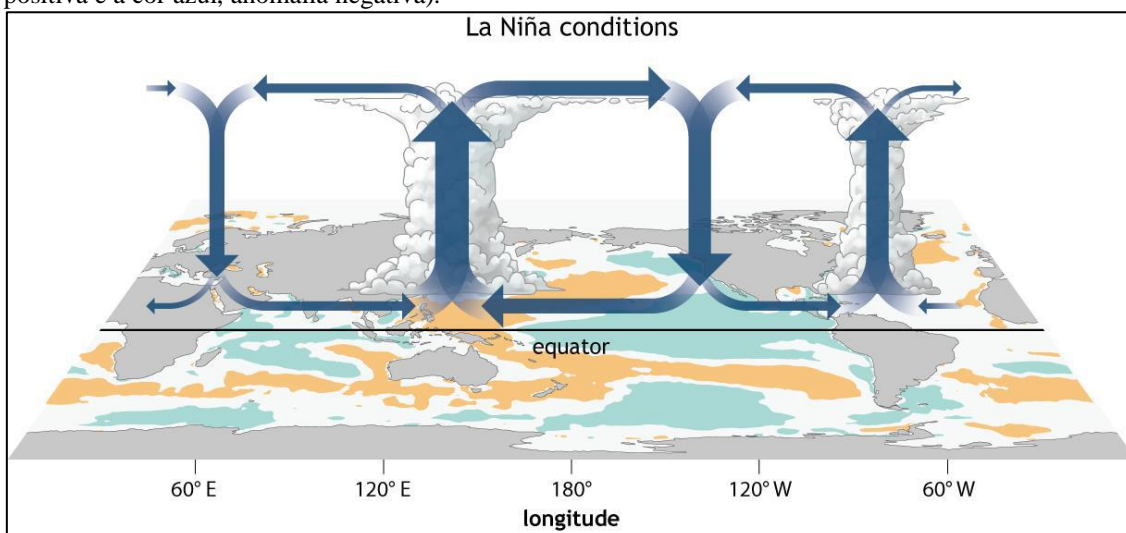
Figura 7. Célula de Circulação de Walker em condições de El Niño (a cor laranja representa anomalia positiva e a cor azul, anomalia negativa).



Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Por outro lado, episódios de La Niña reforçam as condições normais do oceano e da atmosfera na região tropical do Oceano Pacífico, o qual intensifica os ventos alísios e consequentemente os ramos ascendentes da Célula de Walker sobre os continentes (Figura 8), o que favorece em um aumento dos totais pluviométricos (SANTOS, 2021).

Figura 8. Célula de Circulação de Walker em condições de La Niña (a cor laranja representa anomalia positiva e a cor azul, anomalia negativa).



Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

À nível global, o ENOS exerce influência nas variáveis meteorológicas principalmente na temperatura. No El Niño de 1997/98, por exemplo, a temperatura global registrou um desvio positivo de $+0,74^{\circ}\text{C}$ em abril de 1998 e, no de 2015/16, a temperatura global de fevereiro de 2016 atingiu a marca de $+0,83^{\circ}\text{C}$ acima da média (MOLION, 2017). Ainda, esses eventos são responsáveis por seca e cheias em várias regiões tropicais ao redor do globo e provocam impactos na agricultura e, conseqüentemente, na economia, principalmente em países subdesenvolvidos (PETROVA et al., 2019). Os impactos do ENOS também estão relacionados de maneira significativa com a saúde humana, pois propicia condições climáticas favoráveis ao aumento de vetores doenças, como a dengue.

No Brasil, o ENOS atua de maneira a trazer redução da precipitação para as regiões Norte e Nordeste em episódios de El Niño e excesso de chuva nas regiões Sul e Sudeste. Em episódios de La Niña, ocorre o contrário (GRIMM, 2015; MOLION, 2017). Em algumas cidades do Rio Grande do Sul, por exemplo, as variações interanuais de precipitação estão relacionadas com o ENOS (BRITTO et al., 2008). Os autores afirmam que os anos que apresentaram índices pluviométricos positivos e negativos, em comparação com a Normal Climatológica da região, no período de 1967 a 1998 estiveram associados aos fenômenos El Niño e La Niña, respectivamente.

Em contrapartida, na região Norte ocorre o inverso. Em estudo, Serrão et al (2015) observaram que nos anos de 2005 e 2010 a precipitação pluviométrica na sub-bacia do rio Solimões foi reduzida devido a atividades de El Niño na região. Os autores também afirmam que a Amazônia vem sofrendo com eventos extremos cada vez mais intensos e em um curto prazo entre cada evento, que afetam cada vez mais a relação homem-

natureza. A seca de 2015, por exemplo, que foi associada ao ENOS, afetou uma grande área, que inclui mais de 80% da Amazônia (PANISSET et al., 2018).

3.5. Sensoriamento remoto

O termo sensoriamento remoto utilizado na área das ciências aplicadas se refere à obtenção de imagens à distância, sobre a superfície terrestre. Essas imagens são adquiridas através de sensores remotos, que por sua vez são colocados a bordo de aeronaves ou de satélites de sensoriamento remoto. Um sensor a bordo do satélite gera um produto (imagem) com características distintas que dependem tanto do satélite quanto do sensor. (RUDORFF, 2002). Esse produto é obtido através da captação e registro de energia refletida ou emitida da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (GUEDES e SILVA, 2018). A origem do sensoriamento remoto está vinculada ao uso militar, e é dividida em dois períodos: o primeiro, entre 1860 e 1960 é associado com o surgimento de câmeras fotográficas, e o segundo, que perdura até os dias atuais, é caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores (SANTOS, 2013).

Nesse contexto, o uso desses sensores instalados a bordo de satélites orbitais torna-se uma medida alternativa para suprir a dificuldade em obter dados de variáveis meteorológicas à superfície na região amazônica, devido a vasta área e a escassez de instrumentos meteorológicos. Santos et al. (2018) afirmam que o uso do sensoriamento remoto para estimativa da precipitação mostra-se ser uma opção importante para estudos de monitoramento ambiental, aumentando a quantidade de informações disponíveis, numa variabilidade em escala global, regional e local.

Os dados obtidos por esses sensores são processados a partir de técnicas desenvolvidas no sensoriamento remoto e podem ser utilizados em estudos de clima em escalas geográficas regionais, continentais e globais (SANTOS et al., 2018; SILVA JÚNIOR et al., 2018). Variáveis climáticas podem ser obtidas ou estimadas por meio de dados orbitais, algumas delas com séries temporais longas, o que facilita a observação de características ao longo do tempo (MOURA et al., 2018). Além disso, dados orbitais apresentam a facilidade de manipulação e obtenção de resultados variados.

Ainda segundo o autor, as séries temporais são fundamentais na observação de fenômenos que não possuem sazonalidade definida, como por exemplo, o ENOS, que ocorrem em intervalos de tempo.

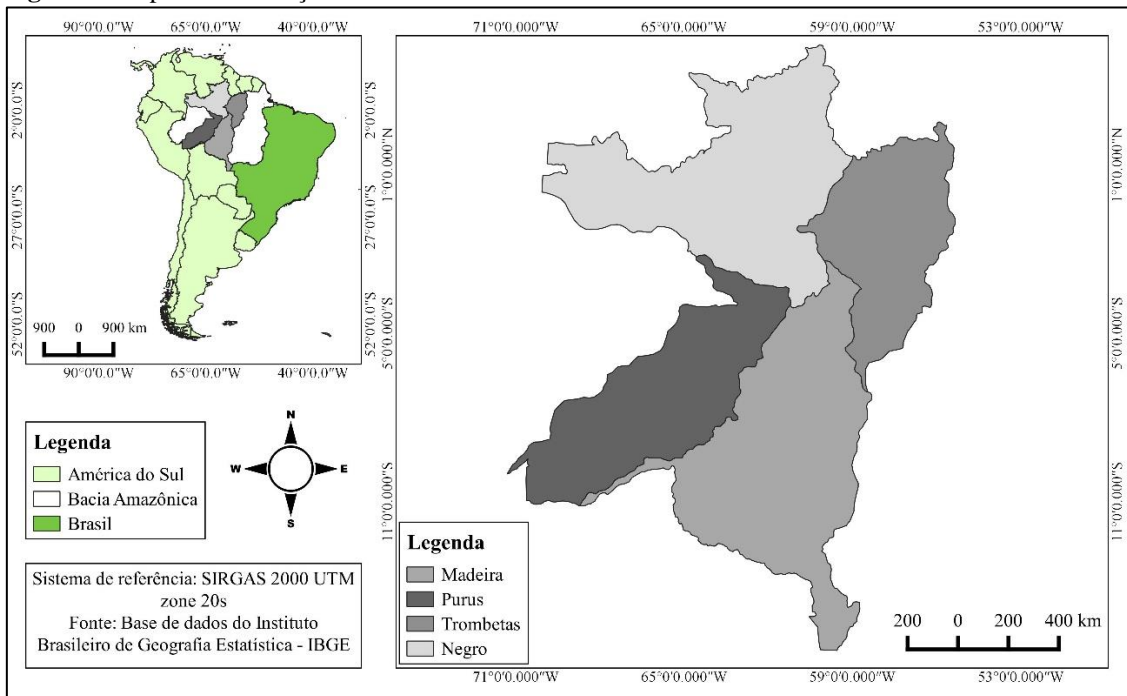
Neste sentido, conhecer a distribuição espacial da precipitação durante a ocorrência desse fenômeno é fundamental. Isso possibilita não apenas avaliar o comportamento dela sobre as sub-bacias hidrográficas, mas também compreender a dinâmica dos rios da região e a influência dessa no ritmo de vida da população, a disponibilidade hídrica para atividades agrícolas, e ainda a ocorrência de eventos extremos (enchentes e estiagens). De acordo com Serrão et al (2015), o monitoramento das sub-bacias torna-se relevante principalmente para a prevenção de desastres naturais.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

O estudo compreende as sub-bacias hidrográficas (SB) dos rios Negro, Madeira, Purus e Trombetas (Figura 8). A precipitação média anual na região Amazônica geralmente é de 2300 mm.ano⁻¹, apresentando sazonalidades bem distintas: a estação seca (inverno e primavera do Hemisfério Sul) com precipitações inferiores a 100 mm/mês, e a estação chuvosa (verão e outono) com precipitações superiores a 200 mm/mês.

Figura 9. Mapa de localização da área de estudo.



Rio Negro

No território brasileiro, a sub-bacia hidrográfica (SB) do rio Negro possui uma população de aproximadamente 1.902.000 habitantes e área total de 590.482 km², abrangendo os estados do Amazonas e Roraima. É a segunda maior sub-bacia amazônica, além de ser a principal afluyente da margem esquerda do Amazonas (ARAÚJO et al., 2020). Essa sub-bacia possui mais de 20 importantes tributários com área de captação média de 26.061 km², sendo rio Branco o principal tributário de descarga líquida e sólida para o rio Negro (MARINHO e RIVERA, 2019). A precipitação média da SB do rio Negro é de 2566 mm/ano, sendo que a região conhecida como “cabeça do cachorro”, localizada no município de São Gabriel da Cachoeira – AM, representa a área com maiores índices pluviométricos da SB, podendo atingir valores superiores a 3200 mm/ano (NEVES et al., 2019).

Rio Trombetas

A SB do rio Trombetas possui área total de 328.890 km², abrangendo três estados: Pará, Roraima e Amazonas, com população de 51.605 habitantes (IBGE, 2020). O principal rio dessa SB é o rio Trombetas, com extensão de 260 km compreendido entre a foz do rio Amazonas e a cachoeira da Porteira – AM (NEVES et al., 2017). A precipitação média anual é de 2.000mm, com distribuição variável. Os períodos de maior intensidade são dezembro a junho, sendo março o mês mais chuvoso, enquanto que os meses mais secos são de julho a novembro, e outubro o mês mais seco, de chuvas mensais abaixo de 60 mm (VIEIRA, 2018).

Rio Purus

A SB do rio Purus possui uma população de 570.939 habitantes, e área total de 418.776 km², localizada na porção sudoeste da Amazônia, sendo um dos grandes tributários do sistema Solimões-Amazonas. É um dos rios mais longos da América do Sul, percorrendo aproximadamente 3.380 km, adentrando no Brasil pelo estado do Acre, com sua foz no rio Solimões (RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2011). O ciclo anual de precipitação dessa região é marcado por uma estação chuvosa, entre novembro e março, e uma estação seca, entre maio e setembro. Os meses de abril e outubro são considerados de transição (ANGELIS et al., 2008).

Rio Madeira

Em território brasileiro, a SB do rio Madeira compreende os estados de Rondônia, Amazonas, Mato Grosso e Acre, com população em torno de 1.950.000 habitantes, e área territorial de 600.565 km². Ela é afluente do rio Amazonas pela margem direita e representa 23% do total da bacia Amazônica, com uma extensão de 3.250 km (SOUZA et al., 2017). Nesse sentido, desempenha papel fundamental no desenvolvimento social e econômico da região através da navegação (transporte de passageiros e cargas), irrigação de cultivos agrícolas e a produção de energia elétrica por meio das usinas de Jirau e Santo Antônio (SIQUEIRA JÚNIOR et al., 2015).

A SB do rio Madeira caracteriza-se pelo clima quente e úmido (equatorial), com temperatura média anual variando entre 24 °C e 26 °C. A precipitação média anual da região varia entre 1650 e 3050 mm, com período de estiagem marcado pelos meses de junho a novembro e o período chuvoso de dezembro a maio (GOMES et al., 2019).

4.2. Dados

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos pelo sensor TRMM_3B43, instalado a bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (<https://disc.gsfc.nasa.gov/>), que produz imagens com resolução espacial de 0,25° (aproximadamente 27, 83 km). Para o período estudado foi necessário baixar 264 imagens mensais, desde janeiro de 1998 até dezembro de 2019. Estes dados estão disponíveis em escala global, e foi escolhida a resolução temporal mensal.

O índice *Oceanic Niño Index* (ONI) foi obtido no site do centro de estudos climáticos da *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA) (www.nws.noaa.gov). Esse índice verifica as anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico (TSM), através de uma média móvel de três meses para a região de Niño 3.4 (5°N-5°S,120°W-170°W) (Figura 9), sendo o principal meio de identificação dos eventos de El Niño e La Niña no Oceano Pacífico Tropical utilizada pela NOAA (OLIVEIRA, 2019). Para o estudo, foram selecionados apenas os anos de ocorrência moderada e forte dos referidos eventos (Tabela 1), tomando como base as anomalias trimestrais da TSM (Tabela 2).

Tabela 1. Anos de ocorrência de El Niño e La Niña nas intensidades moderada e forte.

Fenômeno	Intensidade	Anomalia de temperatura (°C)	Anos
El Niño	Moderado	1,0 a 1,4	2002/03, 2009/10
	Forte	≥ 1,5	1998/1, 2015/16
La Niña	Moderado	-1,0 a -1,4	1999/00, 2007/08
	Forte	≤ 1,5	1998/99, 2010/11

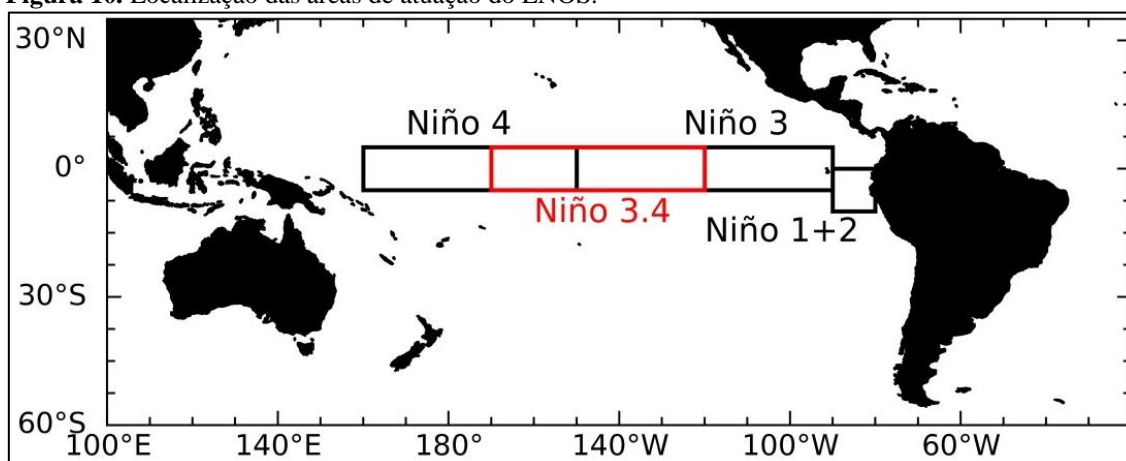
Tabela 2. Anomalias trimestrais da temperatura da superfície do Pacífico (TSM) (°C) (linhas cinzas: anomalias do El Niño; linhas pretas: anomalias do La Niña; linhas brancas: anos neutros).

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1998	2,2	1,9	1,4	1,0	0,5	-0,1	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6
1999	-1,5	-1,3	-1,1	-1	-1	-1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2002	-0,1	0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,1
2003	0,9	0,6	0,4	0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2006	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0	0,1	0,3	0,5	0,8	0,9	0,9
2007	0,7	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6
2008	-1,6	-1,5	-1,3	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7

2009	-0,8	-0,8	-0,6	-0,3	0	0,3	0,5	0,6	0,7	1,0	1,4	1,6
2010	1,5	1,2	0,8	0,4	-0,2	-0,7	-1	-1,3	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1	-1,1	-1
2012	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	-0,3	0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,5	-0,3	0	0,2	0,2	0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7
2015	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,4	2,6	2,6
2016	2,5	2,1	1,6	0,9	0,4	-0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,8	-1
2018	-0,9	-0,9	-0,7	-0,5	-0,2	0	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,8
2019	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5

Fonte: NOAA, 2021.

Figura 10. Localização das áreas de atuação do ENOS.



Fonte: SANTOS, 2021.

4.3. Processamento de dados

As imagens mensais de precipitação foram tratadas e organizadas em médias sazonais para todos os anos. Os períodos sazonais foram divididos em chuvoso (meses de novembro à março) e seco (maio à setembro), de maneira que os meses de abril e outubro, por serem meses de transição entre esses dois períodos, não foram incluídos nas análises (FIGUEROA e NOBRE, 1990; FISCH et al., 1998). Destaca-se que todos os períodos chuvosos foram considerados como dois anos porque abordam os meses de novembro de dezembro de um ano, somados com janeiro, fevereiro e março do ano seguinte. No caso do período seco, o mesmo não foi realizado, porque os meses que compreendem este período contemplam apenas o ano considerado.

Essas imagens brutas foram reamostradas para resolução 0.01°, a fim de obter uma melhor resolução, e posteriormente foram recortadas, utilizando o software QGIS 3.6, obtendo apenas a área que compreende as quatro sub-bacias.

Em seguida, utilizando as médias sazonais dos 22 anos estudados, foram calculadas as médias aritméticas para os períodos chuvoso e seco, sendo utilizadas como as normais climatológicas provisórias sazonais para toda a região estudada. O termo Normal Climatológica Provisória (NCP) é empregado quando o número de anos para os quais se dispõe de médias mensais, para o cálculo da média climatológica, é menor que 30 e igual ou maior que 10 (INMET, 2009).

Em seguida, essas NCPs foram comparadas apenas com os anos de ocorrência dos eventos climáticos, a fim de obter as anomalias de precipitação para cada ano de ENOS. Os resultados alcançados nas análises foram expostos por meio de mapas climáticos, destacando os episódios de ambos os eventos e de que maneira influenciaram no comportamento da precipitação da região.

Por fim, foi aplicada estatística descritiva em todos os anos abordados no estudo, comparando os totais pluviométricos sazonais em anos de ocorrência do ENOS e em anos neutros, de modo que foram plotados em gráfico e comparados também com as NCPs.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Normal Climatológica Provisória

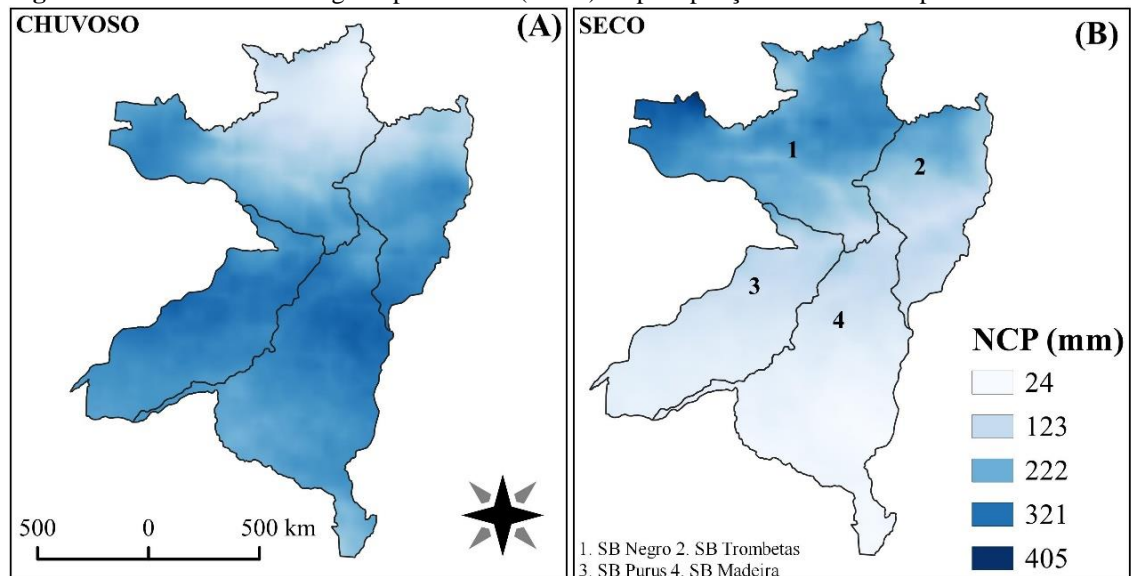
No período chuvoso, o maior volume de precipitação da normal climatológica provisória (NCP) foi observado ao sul da região, nas sub-bacias do Purus e Madeira (ambas variando entre 222 e 405 mm) (Figura 7A). A sub-bacia do Negro, por outro lado, variou entre 24 e 222 mm em quase que toda sua totalidade, exceto pela zona à noroeste da bacia. A sub-bacia do Trombetas permaneceu entre 24 e 123 mm ao norte e 222 e 321 mm na região central e sul. A intensidade dos valores de precipitação, no período chuvoso, está relacionada ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a bacia Amazônica (MARENGO et al., 2012).

O período seco trouxe um comportamento inverso, de maneira que os maiores totais pluviométricos foram observados nas sub-bacias ao norte do território, com precipitações (ppts) entre 222 e 405 mm na sub-bacia (SB) do Negro e na Trombetas, permaneceu entre 24 e 222 mm (Figura 7B). As do Purus e Madeira se comportaram de modo análogo, exibindo ppt de 123 mm numa pequena região à norte da SB, e no restante permaneceu com 24 mm. Destaca-se que na região conhecida como “Cabeça do cachorro”, que faz divisa com a Colômbia, houve alto índice pluviométrico (entre 321 e 405 mm) em ambos

os períodos sazonais. Nessa localidade (fronteira entre Brasil e Colômbia e Venezuela, próximo à Cordilheira dos Andes) o total de precipitação anual atinge 3500 mm, não existindo período de seca definido. Isso se deve à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios de leste da Zona de Convergência Intertropical (FISCH et al., 1998).

Os resultados alcançados corroboram com as análises de Coutinho et al., 2018, onde observam que das quatro sub-bacias, a do Rio Negro apresenta a menor ppt, enquanto que Trombetas e Madeira trazem as maiores do período chuvoso. Ainda no período seco, os resultados são bem semelhantes, com Trombetas e Madeira mostrando a menor ppt do período e Negro a maior, reafirmando que a estação chuvosa da Bacia Amazônica comporta 70% da precipitação total anual e a estação seca comporta somente os 30% restantes (SATYAMURTY et al., 2013).

Figura 11. Normais climatológicas provisórias (NCPs) da precipitação em ambos os períodos sazonais.



5.2. El Niño

5.2.1. Período Chuvoso/Seco

Durante o período chuvoso de 1998/1, as maiores reduções de precipitação (anomalia negativa de 100 mm) se concentraram nas sub-bacias do Rio Negro, Purus e Madeira (Figura 12A). Com exceção da SB Trombetas, observa-se uma grande área com anomalias negativas entre 50 e 100 mm, contudo os impactos mais expressivos estiveram em torno de 50 mm de ppt a menos que o esperado para o período, de acordo com a NCP. As anomalias positivas, ou seja, aumento de ppt, foram observadas na SB do Purus (entre 50 e 150 mm). No período de 2002/03, as maiores anomalias negativas estiveram

concentradas entre as SB do Negro e Trombetas (entre -50 e -100 mm). Semelhante ao período anterior, a SB do Purus também apresentou aumento de ppt entre 50 e 150 mm (Figura 12B). Isso acontece porque outros fenômenos podem atuar no mesmo período de tempo que o ENOS e influenciar pequenas regiões sensíveis. No caso, o sul e sudeste amazônico estão sujeitos aos efeitos do Atlântico Sul (YOON e ZENG, 2010), sendo essa uma fonte importante na distribuição da precipitação.

Grandes secas ocorridas na Bacia Amazônica, como a de 1997-98, estiveram associadas à episódios de El Niño intensos. Em 1998, houve a ocorrência de impactos ambientais significativos resultantes dessa persistente secura, como redução das chuvas com consequente estresse hidrológico, aumentando a vulnerabilidade de incêndios florestais na região (ALVES et al., 2013).

De acordo com Souza et al. (2015), a distribuição espacial da ppt na Amazônia durante esse período ocorreu de modo variado, e isso esteve relacionado com as diferentes áreas de atuação das anomalias positivas da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Equatorial central e leste. Essas anomalias provocam alterações na Célula de Walker, com deslocamento do ramo ascendente para região do Peru. Como consequência disso, o ramo subsidente da célula atua no setor oeste da Amazônia, reduzindo a atividade convectiva sobre essa região, e inibindo assim a formação de nuvens de chuva.

No período de 2009/10, as SB do Negro e Trombetas exibiram reduções de precipitação maiores que 100 mm, nas suas extremidades, e no restante da região até 100 mm (Figura 12C). Ao sul da área de estudo, também foi analisado pequenas áreas com anomalias positivas, com acréscimo de ppt entre 50 e 150 mm, quando comparada com a NCP. Esse aumento de ppt foi influenciado pelo aumento da temperatura do oceano Atlântico, que manteve a ZCIT por mais tempo no hemisfério Sul, intensificando o volume de chuva nessa região mesmo durante a ocorrência do EN (MOURA et al., 2018).

O EN de 2009 teve o pico durante os meses de novembro e janeiro, e se estendeu até abril de 2010. As anomalias negativas ocorreram principalmente no sudoeste da Amazônia, Bolívia central e norte do estado de Mato Grosso (LEWIS et al., 2011). Apesar de não ter sido um EN de intensidade forte, durante este período ocorreu um episódio muito quente no Atlântico, que juntos provocaram uma grande seca na BA, reduzindo a precipitação numa área de 3 milhões de km² da floresta Amazônica (MARENGO et al., 2011).

O período de 2015/16 mostrou resultados mais uniformes, com quase que a totalidade da área de estudo trazendo anomalias negativas de até 100 mm, apenas com pequenos

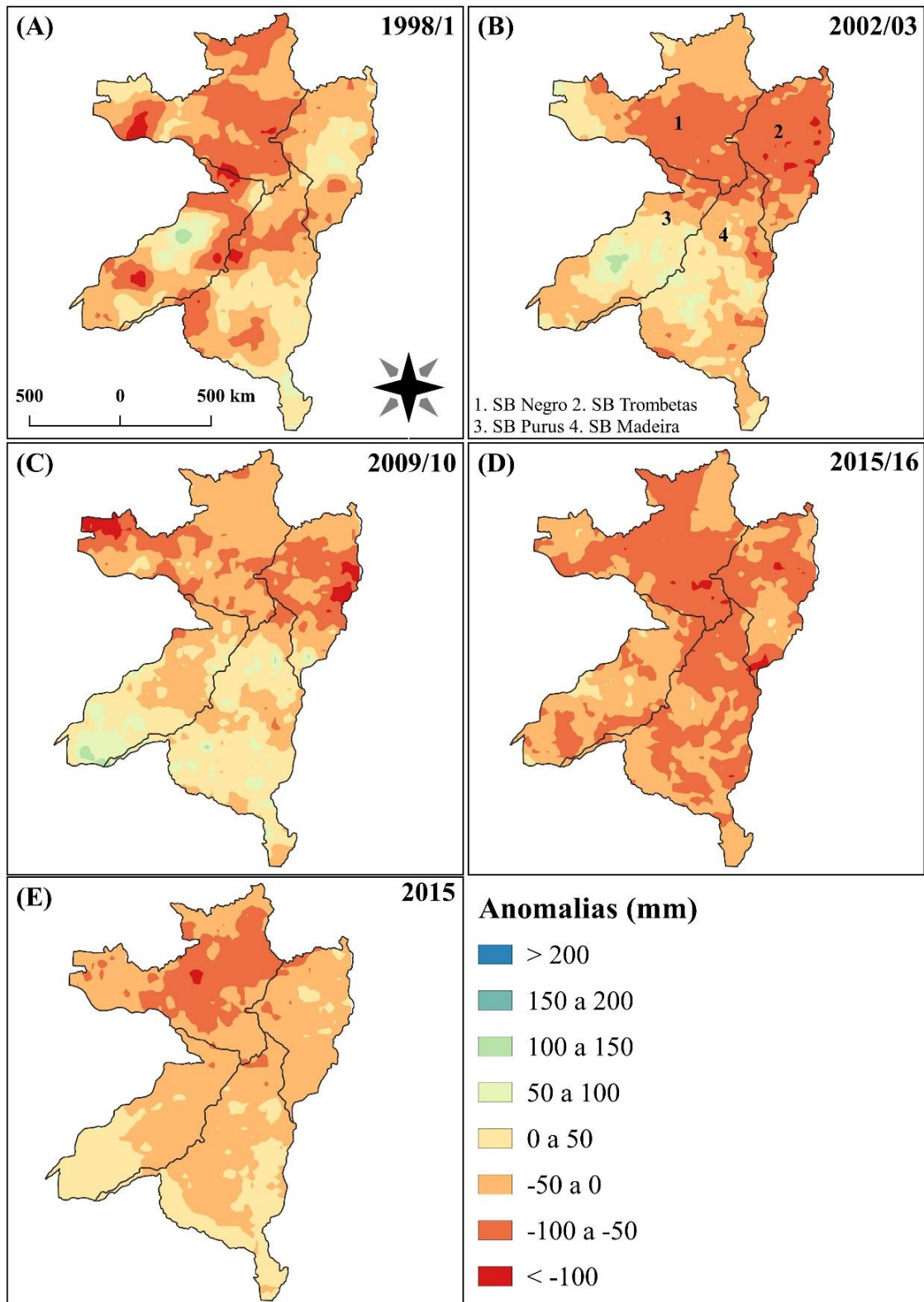
locais ultrapassando os 100 mm (Figura 12D). E no período seco de 2015 (Figura 12E), a SB do Negro apresentou as maiores anomalias negativas, com diminuições de ppt entre 50 e 100 mm. As demais sub-bacias apresentaram anomalias negativas de até 50 mm, e apenas pequenas áreas com aumento de ppt de 50 mm.

É importante considerar que a anomalia forte desse EN teve início na metade do ano de 2015 e se estendeu até março de 2016, período que compreende quase todos os meses da estação chuvosa da região. Durante esse déficit de precipitação, as condições mais secas foram mais evidentes justamente durante esses meses, corroborando com estudos anteriores que destacaram as principais influências do ENOS na estação chuvosa da Amazônia (ESPINOZA et al., 2011; LEWIS et al., 2011).

Para Pereira et al. (2017), a redução da precipitação no Norte do Brasil durante a ocorrência de EN está associada com os movimentos descendentes da célula de Walker, intensificando os movimentos subsidentes sobre a América do Sul equatorial entre 70° a 50° W, o que contribui para condições de secas. Para a Amazônia, os autores afirmam que os movimentos ascendentes de 120° a 180° E deslocam-se para 180° e 120° W, onde um ramo subsidente dessa célula irá enfraquecer o ramo ascendente que ocorre sobre essa região. Sendo assim, esse enfraquecimento da atividade convectiva pode levar a déficits de precipitação.

Destaca-se ainda que no geral, com exceção do período 2015/16, as SB ao norte da área de estudo se mostraram mais sensíveis aos impactos do El Niño, quando comparadas com as SB ao sul. Isso acontece, de acordo com Moura et al. (2018), devido as variações espaciais causadas pelos fenômenos EN e LN serem mais evidentes entre os paralelos 5 °N e 5 °S, pois nessa região, os fluxos de massa de ar são mais intensos, corroborando com as variações alcançadas na parte norte da bacia, onde foram observadas as maiores variações nos índices de precipitação.

Figura 12. Anomalias em relação a normal climatológica provisória durante os períodos chuvoso (A, B, C, D) e seco (E) do fenômeno El Niño.



5.3. La Niña

5.3.1. Período Chuvoso

A sub-bacia do Rio Negro exibiu as maiores anomalias positivas, aumento de precipitação, desse período chuvoso durante o período de 1998/99 (entre 50 e 200 mm) (Figura 13A). Destaca-se a área a oeste dessa bacia, região da “Cabeça do cachorro”, com o maior volume pluviométrico da área de estudo (acima de 200 mm). As seguintes sub-bacias concentraram anomalias negativas de até 100 mm, apenas com pequenos locais ultrapassando esse volume. No período de 1999/00 identificou-se as anomalias positivas principalmente a norte e a leste da área de estudo, entre 50 e 100 mm (Figura 13B), e o restante da área apresentou novamente reduções de ppt acima de 50 mm.

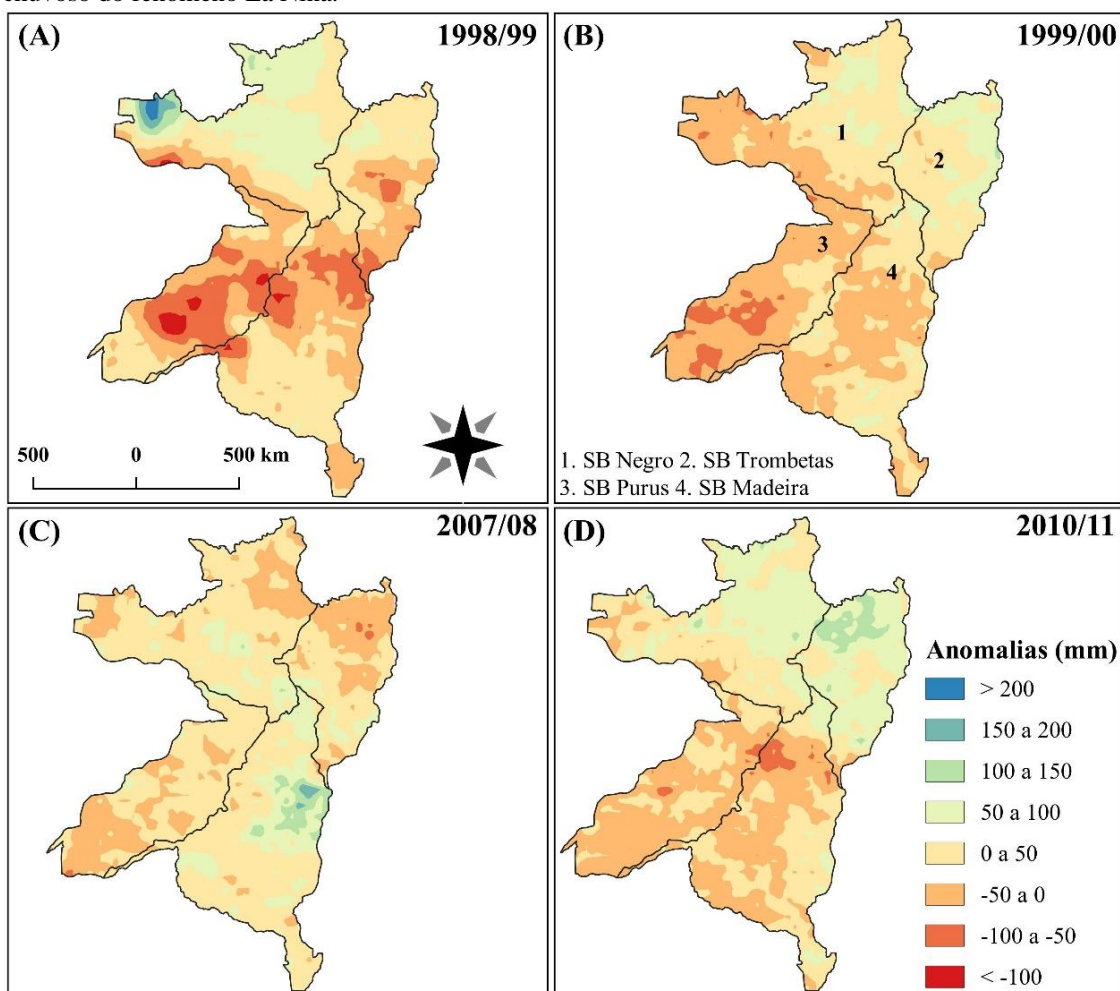
O La Niña de 1998/99, categoria forte, sucedeu um forte El Niño, tido inclusive como um dos mais forte de todos os tempos (ALVES et al., 2013), que perdurou até meados de maio de 1998. Portanto, embora tenha sido o período com as maiores anomalias positivas, era esperado que sofresse com as influências tardias desse EN. Durante LN, a TSM no Atlântico tropical norte tende a ser menor que a normal. Os alísios de nordeste tornam-se mais fortes e a ZCIT tende a deslocar-se para sul, fazendo com que o transporte de umidade para a Amazônia seja mais intenso. Essa convergência de umidade trazida para o noroeste da Amazônia, com levantamento pelos Andes, parece ser intensificada, mas não de forma tão significativa (GRIMM et al., 2010). Nesse sentido, é esperado impactos menos expressivos que os provocados pelo EN.

Em 2007/08, as anomalias foram mais brandas. Na SB do Madeira houve aumento da ppt acima dos 200 mm em alguns pontos, todavia na maior parte da SB esse volume alcançou os 50 mm a mais que o esperado (Figura 13C). Por fim, as SB do Negro e Trombetas apresentaram, no período de 2010/11, as maiores anomalias positivas (entre 50 e 150 mm) e as demais mostraram, em grande parte, anomalias negativas (entre 50 e 100 mm, quando comparado com a NCP) (Figura 13D). Destaca-se que esse período foi seguido por um EN moderado, ocorrido entre 2009/10, o que comprova a influência do El Niño sobre os efeitos do La Niña para a região Amazônica. Nota-se ainda que a região de impacto mais consistente de LN (nordeste da Amazônia) nem sempre coincide com aquela de maior impacto do EN, o que indica que os mecanismos dinâmicos responsáveis

pela precipitação são afetados de forma um tanto diferente nos dois tipos de eventos (GRIMM et al., 2010).

Coutinho et al. (2018) analisaram a variabilidade climática na Bacia Amazônica durante um período de 20 anos, e observaram que durante o período chuvoso amazônico, há um volume maior de precipitação na sub-bacia do Madeira do que na sub-bacia do Purus, e ocorre o inverso durante o período seco. Isso corrobora com os resultados alcançados nos períodos chuvosos e no período seco de 1999, com exceção dos períodos secos de 1998 e 2010, que foram sucedidos por episódios de El Niño.

Figura 13. Anomalias da precipitação em relação a normal climatológica provisória durante o período chuvoso do fenômeno La Niña.



5.3.2. Período Seco

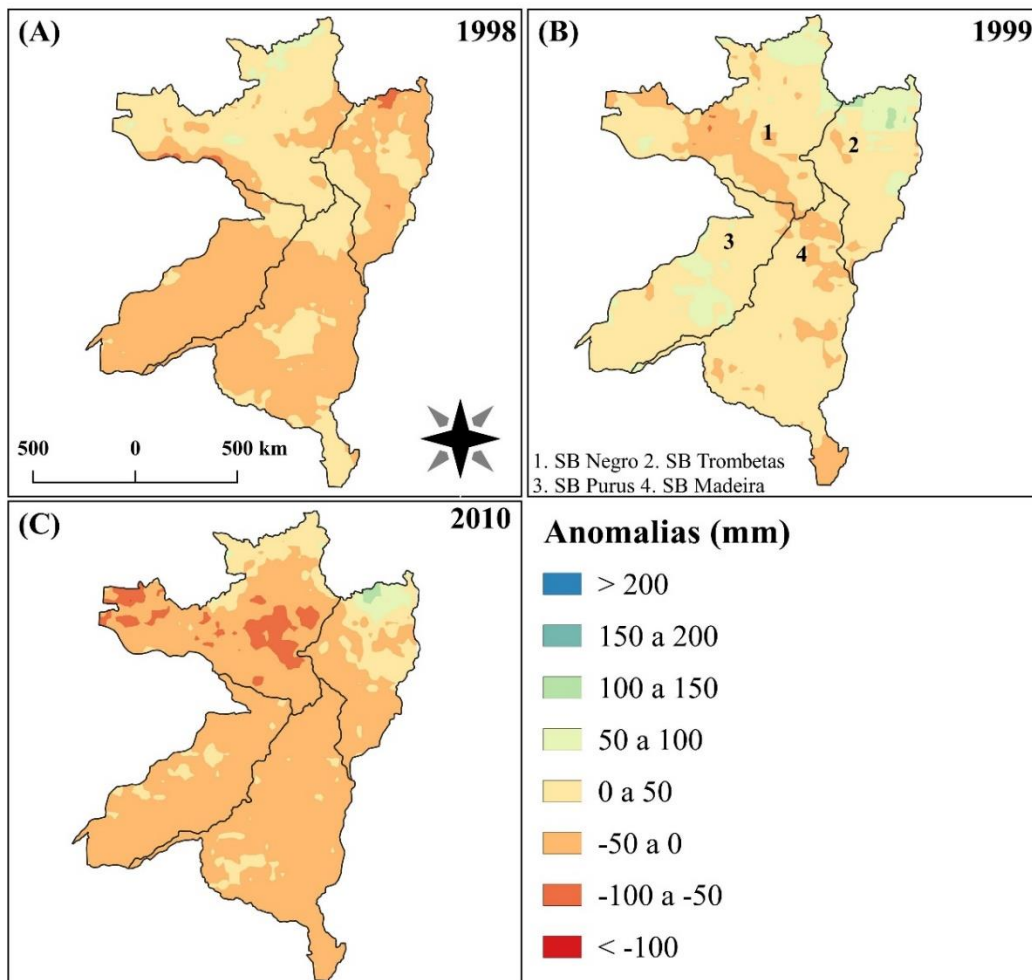
O período seco do ano de 1998 agrupou expressivamente anomalias negativas, entre 50 e 100 mm (Figura 14A). A sub-bacia do Rio Negro mostrou acréscimo no volume pluviométrico, de até 50 mm na maior parte da região e alguns pontos com até 100 mm. Durante 1999, as anomalias positivas de até 50 mm foram observadas em grande parte da

região de estudo. As SB do Negro, Trombetas e Purus apresentaram anomalias positivas entre 50 e 150 mm (Figura 14B).

Ainda, no período de 2010, houveram em quase toda região de estudo anomalias negativas, de até 100 mm (Figura 14C). Todavia, ao norte da SB do Trombetas, destaca-se um aumento no volume de chuva, entre 50 e 150 mm. Ainda, no ano de 2010 (ambos os períodos) observou-se uma redução considerável da precipitação, apesar de ter sido um evento LN de intensidade forte. Esse comportamento pode ter sido causado pelo aquecimento das águas do Atlântico Norte, que resultou em uma grande seca, explanada nos estudos de alguns autores (MARENGO et al., 2008; ESPINOZA et al., 2011).

Com exceção de 1999, os períodos secos coincidiram em ocorrer logo após episódios de El Niño, e é visível o impacto que sofreram. Poucos foram os acréscimos significativos de precipitação nas sub-bacias, o que sugere que o impacto de LN na Amazônia aparentemente tem menos consistência que o impacto de EN e um domínio espacial mais restrito (GRIMM et al., 2010).

Figura 14. Anomalias da precipitação em relação a normal climatológica provisória durante o período seco do fenômeno La Niña.



5.4. Análise estatística

Os totais pluviométricos durante o período chuvoso estiveram abaixo da NCP desse período durante os anos 1998/1, 2002/03, 2003/04, 2009/10 e 2015/16, destacando que em quase todos esses períodos houve a ocorrência do EN moderado e forte, com exceção de 2003/04 (Figura 16). Já no período seco, os anos que estiveram abaixo da média foram 2004, 2005, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016 e 2017.

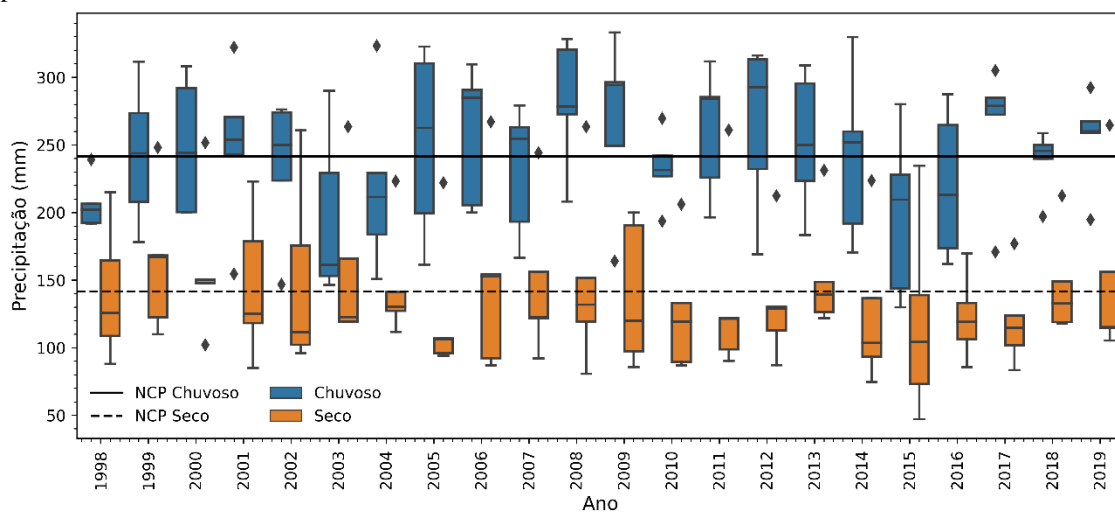
Nota-se que houveram anos de seca mesmo sem a ocorrência do EN. Isso ocorre porque algumas secas na Amazônia não são ocasionadas pelo ENOS, como exemplo a de 1964 e 1980. A variabilidade das anomalias de TSM no Pacífico tropical é responsável por pelo menos 40% da variabilidade da precipitação na Bacia Amazônica, o que sugere os efeitos de outras fontes de variabilidade, tais como o gradiente meridional de TSM no Atlântico intertropical (que afeta principalmente as regiões norte, leste e central da Amazônia), ou processos de superfície e grande frequência de transientes do Atlântico Sul (importante para o sul e sudeste da Amazônia) (ALVES et al., 2013).

Moura et al. (2021) realizaram análises para toda a BA, e os resultados foram semelhantes, de modo que em dez eventos com as menores chuvas no período estudado, seis foram associadas à EN e quatro ao fenômeno La Niña (LN), demonstrando a intensidade da influência do EN. Serrão et al. (2015) observaram que o padrão de ppt associado ao El Niño se refere a um secador, com déficits variando entre 100 e 200 mm, quando comparado a anos neutros ou com a presença do LN.

Em relação aos anos com precipitações acima da NCP, observa-se durante o período chuvoso os anos 2000/01, 2007/08, 2008/09, 2016/17 e 2018/19, e durante o período seco apenas o ano 2000. Destes, apenas um esteve relacionado a um LN, categoria moderada.

Marengo et al. (2013) afirma que dos doze eventos de inundação ao norte da Bacia Amazônica, desde 1903, oito estiveram associados a episódios de La Niña. Todavia, isso não se repete nas regiões centro-sul. Isso acontece porque o regime de chuvas na BA é diferente nos afluentes da margem esquerda e da margem direita, de modo que a margem esquerda é influenciada pelo deslocamento da ZCIT e a margem direita pela ZCAS. Na região centro-sul, observa-se um máximo durante o verão austral que está relacionado com a ZCAS, enquanto a porção norte da Amazônia apresenta o máximo no outono austral, devido o deslocamento da ZCIT mais ao sul (COUTINHO et al., 2018).

Figura 15. Totais pluviométricos sazonais com as respectivas normais climatológicas provisórias de cada período.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em anos de El Niño e La Niña, todas as sub-bacias mostraram anomalias negativas e positivas diferenciadas, de modo que estas tiveram a variabilidade pluviométrica alterada de maneira significativa durante a ocorrência do evento. O El Niño afetou principalmente a variabilidade das sub-bacias ao norte da área de estudo.

Contudo, os impactos do La Niña foram menos significativos. A maior anomalia do período chuvoso foi observada na bacia do Rio Negro, porém não houve um comportamento uniforme, de maneira que cada período foi observado uma condição distinta. O período seco também não apresentou precipitações acima da média expressivas, de maneira que é possível observar que a área de estudo não se mostrou sensível ao evento.

Sazonalmente, o período chuvoso apresenta maior sensibilidade aos efeitos do El Niño (redução da precipitação) e, embora os resultados do La Niña não tenham sido tão intensos, suas anomalias positivas também foram mais presentes durante o período chuvoso.

A diminuição/excesso de precipitação, quando associadas a falta de infraestrutura e baixo subsídio do poder público, pode causar danos irreparáveis a população que reside em áreas de vulnerabilidade econômica.

7. RECOMENDAÇÕES

Sugere-se abordagens em escala geográfica regional, abrangendo uma maior quantidade de sub-bacias, ou até mesmo toda a Bacia Amazônica, permitindo uma melhor compreensão da variabilidade espacial das anomalias durante os eventos ENOS.

O crescente acervo de dados climáticos, obtidos por sensores acoplados a satélites, atualmente disponíveis é um importante recurso para compreender os comportamentos climáticos em qualquer região do planeta. A produção de conhecimento a respeito desse tema certamente auxiliará os vários setores da sociedade na busca pela mitigação dos efeitos das mudanças e/ou ocorrências de anomalias climáticas.

8. REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas – ANA. **Banco de dados SNIRH**, 2020. Disponível em: <<http://www.ana.com.br>> Acesso em: 31 ago. 2021.
- Agência Nacional de Águas (ANA). **Sub-bacias Hidrográficas DNAEE**, 2021. Disponível em: <<http://www.ana.com.br>> Acesso em: 31 ago. 2021.
- ALMEIDA, C. T.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; CAVALCANTI, A. S. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 279-286, 2015.
- ALVES, L. M.; MARENGO, J.A.; CAVALCANTI, I.F.A. Histórico de secas na Amazônia. In: BORMA, L. S.; NOBRE, C. A. *Secas na Amazônia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 29-39.
- AMBRIZZI, T.; SOUZA, E. B.; PULWARTY, R S. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on the South American Seasonal Rainfall. In: DIAZ, H. F.; BRANDLEY, R. S. *The Hadley Circulation: present, past and future*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2004. p. 203-235.
- ANGELIS, C.F.; WAICHAMAN, A.V.; SILVA, A.E.P.; MACHADO, L.A.T. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, v. 38, p. 733-742, 2008.
- ARAÚJO, A. A. *Impactos causados pelas ocorrências pluviométricas no ambiente urbano da cidade de Montes Claros-MG*. 2020. 39 f. Monografia (Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros.
- ARAÚJO, S. R. V.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. P.; FRANCO, V. S. A Bacia Hidrográfica do Rio Negro e sua importância como afluente da Bacia do Rio Amazonas. In: ALTEM, N. P.; ROSÁRIO, A. S. *Ciências Ambientais: climatologia, geotecnologias, mineração e estudos de monitoramento*, 2020. p. 166-178.
- BARBOSA, E. L. S. Y. *Variabilidade climática nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: influência dos oceanos Atlântico e Pacífico*. 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul. In: CONGRESSO ACADÊMICO UNIFESP, 5., 2019, Guarulhos. *Anais eletrônicos [...]*. Guarulhos: RESEARCHGATE, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228866596_Analise_climatologica_da_alta_subtropical_do_Atlantico_Sul> Acesso em: 31 ago. 2021.
- BORMA, L. S.; NOBRE, C. A. *Secas na Amazônia: causas e consequências*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 367p. Bibliografia: ISBN 978-85-7975-078-6.
- BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 37-48, 2008.
- CAMARGO, M. B. P.; ROLIM, G. S.; SANTOS, M. A. dos. Modelagem agroclimatológica do café: estimativa e mapeamento das produtividades. **Informe Agropecuário**, v. 28, p. 58-65, 2007.

CAVALCANTI, I. F. D. A.; MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; COSTA, D. F. On the opposite relation between extreme precipitation over west Amazon and southeastern Brazil: observations and model simulations. **International Journal of Climatology.**, v. 37, p. 3606-3618, 2017.

COELHO, C. A. S.; CAVALCANTI, I. A. F.; COSTA, S. M. S.; FREITAS, S. R.; ITO, E. R.; LUZ, G.; SANTOS, A. F.; NOBRE, C. A. MARENGO, J. A.; ALEXANDRE, B. Pezzac Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. **Meteorological Applications**, v. 19, p. 237-255, 2012.

COUTINHO, E. C. *Contribuições das sub-bacias para vazão do rio Amazonas e riscos socioambientais associados a eventos hidrológicos extremos*. 2016. 146 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

COUTINHO, E. C.; ROCHA, E. J. P.; LIMA, A. M. M.; RIBEIRO, H. M. C.; GUTIERREZ, L. A. C. L.; BARBOSA, A. J. S.; PAES, G. K. A. A.; TAVARES, P.A. Variabilidade climática da precipitação na bacia Amazônica brasileira entre 1982 e 2012. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 14, p. 476-500, 2018.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. **Produtos: fenômenos naturais**, 2021. Disponível em: <www.cptec.inpe.br> Acesso em: 19 out. 2021.

ESPINOZA, J.C.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J.L.; JUNQUAS, C.; VAUCHEL, P.; LAVADO, W.; DRAPEAU, G. E POMBOSA R. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. **Geophysical Research Letters**, v. 38, L13406, 2011.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da zona de convergência do atlântico sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, p. 89-98, 2004.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v. 5, p. 36-40, 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J. M.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, p. 101-126, 1998.

GOMES, D. J. C.; FERREIRA, N. S.; LIMA, M. M. A.; SERRAO, E. A. O. Variabilidade espaço-temporal da precipitação: Bacia Hidrográfica do rio Madeira. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 13, p. 90-104, 2019.

GRIMM, A. M. EL NIÑO, NOVAMENTE! **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 351 - 357, 2015.

GRIMM, A. M.; SILVA, P. F. Z. O. ; MARENGO, J. . Sinais de La Niña na precipitação da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 2010, Brasília. *Anais eletrônicos [...]*. Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/37679446_> Acesso em: 31 ago. 2021.

GUEDES, J. C. F.; SILVA, S. M. P. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação: Princípios físicos, sensores e métodos. **Acta Geográfica**, v. 12, p. 127- 144, 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Geociências: organização do território**, 2013. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 31 ago. 2021.

_____. IBGE. **Censo demográfico**, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 27 out. 2021.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**, 2009. Período: 1961-1990. Brasília: INMET, 2009. 465p. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>> Acesso em: 31 ago. 2021.

LEAL, S.V.; SOUZA, E.B. Desastres naturais sobre a Amazônia e Nordeste Brasileiro associados às enchentes e inundações: o caso de 2009. In: ENCONTRO SUL-BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 4., 2011, Pelotas. *Anais eletrônicos [...]*. Pelotas: SBMET, 2011. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/14630532-Desastres-naturais-sobre-a-amazonia-e-nordeste-brasileiro-associados-as-enchentes-e-inundacoes-o-caso-de-2009.html>> Acesso em: 31 ago. 2021.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O.; HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, v. 331, p. 554 – 554, 2011.

LIBERATO, A. M. *Estudo de eventos climáticos extremos na Amazônia Ocidental e seus impactos na hidrovía Rio Madeira*. 2014. 103 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **Geosp – Espaço e Tempo**, v. 20, p. 657-675, 2016.

LUCENA, D. B. *Impacto dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima do Nordeste do Brasil*. 2008. 229 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

[MARENGO, J. A.](#); [ALVES, L. M.](#); SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CAMARGO, H.; RIVEROS, M. P.; PABLÓ, A. D. Two contrasting severe seasonal extremes in Tropical South America in 2012: Floods in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 26, p. 9137-9154, 2013.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.V.S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L.M. E BROWN. F. The Drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v.21, p. 1-10, 2008.

MARENGO, J. A. TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, p. 1-5, 2011.

MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W.R.; ALVES, L.M.; NOBRE, C.A. Extreme climatic events in the Amazon basin climatological and hydrological context of recente floods. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, p. 73-85, 2012.

MARINHO, R. R.; RIVERA, I. A. Variabilidade espacial da precipitação nas sub-bacias do Rio Negro (AM) e Rio Branco (RR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. *Anais eletrônicos [...]*. Santos: INPE, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/variabilidade-espacial-da-precipitacao-nas-sub-bacias-do-rio-negro--am--e-rio-branco--rr>> Acesso em: 05 out 2021.

MARTINS, P. A. S. *Normais climatológicas, balanço hídrico e classificação climática para a mesorregião sul do Amazonas*. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências

Ambientais) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá.

MIRANDA, R. A. C.; SOUZA, L. *Climatologia Geográfica*. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2013. 244p. Bibliografia: ISBN 978-85-7648-882-8.

MOLION, L. C. B. Gênese do El Niño. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21, p. 2237-8642, 2017.

MOURA, M. M.; SANTOS, A. R.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALEXANDRE, R. S.; SILVA, S. F.; PIMENTEL, S. M.; ANDRADE, M. S. S.; SILVA, F. G. R.; BRANCO, E. R. F.; MOREIRA, T. R.; SILVA, R. G.; CARVALHO, J. R. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1639-1651, 2018.

MOURA, R. G.; CORREIA, F. W. S.; VEIGA, J. A. P. CAPISTRANO, V. B.; KUBOTA, P. Y. Avaliação do Brazilian Global Atmospheric Model na Simulação dos Componentes do Balanço de Água na Bacia Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 23-37, 2021.

NASCIMENTO, M.G.; HERDIES, D.L.; SOUZA, D.O. The south american water balance: The influence of low-level jets. **Journal of Climate**, v. 29, p. 1429-1449, 2016.

National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA). **ENSO: cold & warm episodes by season**, 2021. Disponível em: <<https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/>> Acesso em: 05 out. 2021.

NEVES, R. R.; GONCALVES, E. D.; CORREA, J. P.; PESSOA, F.C.L.; FERNANDES, L. L. Caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica do Rio Negro em território brasileiro. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 12, p. 280-294, 2019.

NEVES, R. R.; GONCALVES, E. D.; PESSOA, F.C.L.; FERNANDES, L. L.; GOMEZ, Y. D.; SANTOS, J. N. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas na sub bacia Trombetas. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v. 10, p. 125-135, 2017.

NÓBILE TOMAZIELLO, A. C. *Influências da temperatura da superfície do mar e da umidade do solo na precipitação associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul*. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NOBRE, C.; OBREGON, G.; MARENGO, J. A.; RONG, F. POVEDA, G. Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. *In*: GASH, J.; KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; DIAS, P. S. *Amazonia and Global Change*. Washington: American Geophysical Union, 2009. p. 149-162.

OLIVEIRA, F. M.; ARAÚJO, R. L.; CARVALHO, J. S.; COSTA, S. S. Determinação da variação no microclima de Manaus – AM por atividades antropogênicas e modulações climáticas naturais. **Acta Amazônica**. vol. 38, p. 687 – 700, 2008.

OLIVEIRA, R. N. *A variabilidade da chuva na Amazônia Central: El Niño e La Niña*. 2019, 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

PANISSET, J. S.; LIBONATI, R.; GOUVEIA, C. M. P.; SILVA, F. M.; FRANÇA, D. A. FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F. Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. **International Journal of Climatology**. v. 38, p. 1096-1104, 2018.

PEDREIRA JUNIOR, A. L.; QUERINO, C. A. S.; K.A.S.QUERINO, J.; SANTOS, L. O. F.; MOURA, A. R. M.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá – AM. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 463-475, 2018.

PEREIRA, J. C. M. *Importância e Significado das Cidades Médias na Amazônia: uma abordagem a partir de Santarém-PA*. 2004. 139 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

PEREIRA, H. R., REBOITA, M. S., & AMBRIZZI, T. Características da atmosfera na primavera austral durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 293-310, 2017.

PETROVA, D.; LOWE, R.; STEWART-IBARRA, A.; BALLESTER, J.; KOOPMAN, S. J.; RODÓ, X. Sensitivity of large dengue epidemics in Ecuador to long-lead predictions of El Niño. **Climate Services**, v. 15, p. 10009, 2019.

RAMOS, A. M.; FORTES, L. T. G.; SANTOS, L. A. R.; CONDE, F. C.; BARBOSA, T. F.; VIANELLO, R. L.; MONTANDON, A. C. Revisão das Normas Climatológicas do Brasil para o Período 1961-1990: Procedimentos de Cálculo e Produto Final. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. *Anais eletrônicos [...]*. Belém: A Amazônia e o Clima Global. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/3682.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, p. 34-50, 2012.

RIBEIRO, I.O.; SANTOS, E. O.; BATISTA, C. E.; FERNANDES, K. S.; YE, J.; MEDEIROS, A. S.; OLIVEIRA, R. L. E.; SA, S. S.; SOUSA, T. R.; KAYANO, M. Impact of biomass burning on a metropolitan area in the Amazon during the 2015 El Niño: The enhancement of carbon monoxide and levoglucosan concentrations. **Environmental Pollution**, v. 260, p. 114029, 2020.

RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; JUNIOR, A.F.M.; WAICHMAN, A.V. Caracterização físico-química das águas e desmatamento na bacia do rio Purus, Amazônia brasileira Ocidental. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 5, p. 54-56, 2011.

ROCHA, V. M. *Reciclagem de Precipitação na Amazônia: Clima Presente e Cenários Futuros*. 2016, 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus.

ROCHA, V. M.; CORREIA, F. W. S.; SILVA, P. R. T.; GOMES, W. B.; VERGASTRA, L. A. V.; MOURA, R. G.; TRINDADE, M. S. P. Reciclagem de Precipitação na Bacia Amazônica: O Papel do Transporte de Umidade e da Evapotranspiração da Superfície. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 387-398, 2017.

RODRIGUES, R. R., TASCETTO, A. S., GUPTA, A. S., & FOLTZ, G. R. Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. **Nature Geoscience**, v. 12, p. 620-626, 2019.

ROLIM, P. A. M.; SANTOS, D. M.; ROCHA, E. J. P. Variabilidade da precipitação na Amazônia: implicações socioeconômicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. *Anais Eletrônicos [...]*. Florianópolis: SBMET, 2006. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/23226155-Variabilidade-da->

precipitacao-na-amazonia-implicacoes-socioeconomicas.html> Acesso em: 31 ago. 2021.

RUDORFF, B. F. T. *Produtos de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: INPE, 2002, 178 p. Bibliografia: ISBN 978-85-17-00096-6.

SANTOS, A. R. *Apostila de Sensoriamento Remoto*. Porto Alegre: CAUFES, 2013. 107p. Bibliografia: ISBN 978-85-17-00095-9.

SAMPAIO, GILVAN.; NOBRE, C. A.; COSTA, M. H. SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, L17709, 2007.

SANTOS, L. O. F. *Tendências de extremos climáticos e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais na região centro-oeste do Brasil*. 2021. 83 f. Dissertação (Mestrado em Física ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

SANTOS, L. O. F.; QUERINO, C. A. S.; QUERINO, J. K. A. S.; BENTOLILA, L. B. V.; PEDREIRA JUNIOR, A. L.; MARTINS, P. A. S.; GOIS, D. A.; MOURA, A. R. M.; SOUZA, S. A. S. Validação dos dados de precipitação estimados pelo GPM e TRMM sobre o município de Humaitá – AM. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 16., 2018, Palmas. *Anais eletrônicos [...]*. Palmas: UFT, 2018. Disponível em: < <https://proceedings.science/p/106501>>. Acesso em: 03 set 2021.

SATYAMURTY, P.; DA COSTA, C. P. W.; MANZI, A. O. Moisture source for the amazon basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, p. 195-209, 2013.

SHIMIZU, M. H., AMBRIZZI, T., & LIEBMANN, B. Extreme precipitation events and their relationship with ENSO and MJO phases over northern South America. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 2977-2989, 2017.

SILVA JÚNIOR, L. A. S.; DELGADO, R. C.; WANDERLEY, H. S. Estimativa da temperatura da superfície por sensoriamento remoto para a região da Amazônia Ocidental Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.11, p. 237-250, 2018.

SIQUEIRA, A. H. B.; MOLION, L. C. B. Climate analysis: the hodrick-prescott filter applied to southern oscillation index and North Atlantic Oscillation Index. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 307-318, 2015.

SERRÃO, E. A. D. O.; SANTOS, C. A. D.; WANZELER, R. T. S.; GONÇALVES, L. D. J. M.; LIMA, A. M. M. D. Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio Solimões. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 9, 5 – 20, 2015.

SIQUEIRA JÚNIOR, L, TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D.A. Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin. **Climatic change**, v. 129, p. 117-129, 2015.

SOUZA, E. B.; CARMO, A. M. C.; MORAES, B. C.; NACIF, A.; FERREIRA, D. B. S.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, P. J. O. P. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM4. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 2237-8642, 2016.

SOUZA, V. A. S.; MOREIRA, D. M.; ROTUNNO FILHO, O. C.; ANDRADE, C. D. Análise estatística de eventos de precipitação extrema na Bacia do Rio Madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis. Anais

eletrônicos [...]. Florianópolis: SBRH, 2017. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/352842409>> Acesso em: 31 ago. 2021.

SOUZA, A. M. L.; ROCHA, E. J. P.; VITORINO, M. I.; SOUZA, J. O. P.; BOTELHO, M. N. Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Amazônia Durante Eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 13-24, 2015.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L. FULLER, B. B. Conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v.20, p. 137-156, 2007.

TURCO, J. E. P.; FARIA, M. T.; FERNANDES, E. J. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga, Botucatu**, v. 10, p. 215-228, 2005.

VIEIRA, A. S. A. *Avaliação a suscetibilidade de deslizamento de terra na Bacia Hidrográfica do Rio Trombetas Via Lógica Fuzzy*. 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

WANG, C.; DESER, C.; YU, J. Y., DINEZIO, P.; CLEMENT, A. El Niño and southern oscillation (ENSO): a review. **Coral reefs of the eastern tropical Pacific**, v. 34, p. 85-106, 2017.

YOON, J.H.; ZENG, N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Climate Dynamics**, v. 34, p. 249–264, 2010.