

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL (1981-2020) DA CHUVA NA REGIÃO COSTEIRA DO ESTADO DO PARÁ – AMAZÔNIA ORIENTAL

Marcos Ronielly da Silva Santos

Instituto Federal do Pará, Engenharia Sanitária e Ambiental, Tucuruí, PA, Brasil.
marcos.santos@ifpa.edu.br

Eder Mileno Silva de Paula

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Geografia, Belém, PA, Brasil
edermileno@ufpa.br

Davi Rodrigues Rabelo

Universidade Estadual do Ceará, Departamento de Geografia, Fortaleza, CE, Brasil
davi.geo.rabelo@gmail.com

Marcia Aparecida da Silva Pimentel

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Geografia, Belém, PA, Brasil
mapimentel@ufpa.br

RESUMO

A região costeira do Pará é caracterizada pelo maior índice pluviométrico do estado. Atualmente as representações da variabilidade das chuvas estão predominantemente baseadas em dados de estações meteorológicas de superfície, promovendo uma confiança limitada para estudos sobre a variabilidade da chuva local. Neste contexto, propõem-se analisar a variabilidade da chuva para a região costeira do Pará, utilizando dados de sensoriamento remoto. O estudo apresenta a aplicação da técnica do produto de sensoriamento remoto, disponibilizado pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) com base nas estimativas e dados de alta resolução espacial e temporal. A variabilidade espaço-temporal da chuva foi representada pela climatologia anual, sazonal e mensal, e relacionada aos sistemas e mecanismos oceano-atmosfera que favorecem a precipitação local. A variabilidade anual mostrou que as chuvas apresentam distribuição distintas em anos de ocorrência do mecanismo ENOS. Na escala sazonal os dados elucidaram a sazonalidade regional com maiores acumulados de chuvas durante o verão e outono. Na escala mensal as chuvas ficaram distribuídas principalmente na porção norte da área durante os primeiros meses do ano. Este conhecimento torna-se uma ferramenta alternativa e eficaz para o gerenciamento costeiro, corroborando para estudos de modelagem e permitindo sua replicação para outras áreas.

Palavras-chave: Geotecnologia. Precipitação. Litoral. Amazônia.

SPATIO-TEMPORAL VARIATION (1981-2020) OF RAIN IN THE COASTAL REGION OF THE STATE OF PARÁ – EASTERN AMAZON

ABSTRACT

The coastal region of Pará is characterized by the highest rainfall in the state. Currently, representations of rainfall variability are predominantly based on data from surface weather stations, providing limited confidence for studies on local rainfall variability. In this context, we propose to analyze rainfall variability for the coastal region of Pará using remote sensing data. The study presents the application of the remote sensing product technique made available by the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) based on estimates and high spatial and temporal resolution data. The spatio-temporal variability of rainfall was represented by annual, seasonal, and monthly climatology and related to the ocean-atmosphere systems and mechanisms that favor local precipitation. Annual variability showed that rainfall is distributed differently in years when the ENOS mechanism occurs. On a seasonal scale, the data elucidated the regional seasonality with higher rainfall accumulations during the summer and fall. On a monthly scale, rainfall was mostly distributed in the northern part of the area during the first few months of the year. This knowledge becomes an alternative and effective tool for coastal management, corroborating modeling studies and allowing it to be replicated in other areas.

Keywords: Geotechnology. Precipitation. Coast. Amazon.

INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica em regiões litorâneas ainda são tímidas, principalmente quando os estudos são baseados em dados de sensoriamento remoto e analisados em distintas escala de tempo (RODRIGUES, LOPES, DE SOUSA, 2020; VAN TUAN et al. 2023). As regiões costeiras podem ser definidas como um espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, que abrangem uma faixa terrestre e outra marítima, se caracterizando como áreas de interação, entre os sistemas continentais e oceânicos (BRASIL, 1988). As particularidades naturais e socioeconômicas das regiões litorâneas tornam essas áreas ainda mais complexas para interpretações de vulnerabilidade climática, principalmente quando se estuda a formação, distribuição e extremos de chuva em escala local (SANTOS et al., 2021).

Estudos sobre precipitação estão fundamentados em dados de superfície, evidenciando que a representação da variabilidade espaço-temporal das chuvas pode estar severamente limitada aos dados pontuais, que servem de entrada para modelos climáticos e hidrológicos, e são geralmente obtidos por meio de interpolação da precipitação pontual medida por estações meteorológicas (MORAES et al., 2005; AMANAJÁS; BRAGA, 2012; ROGELIS, WERNER, 2013). A precipitação é a variável climática mais investigada no balanço hidrológico da região amazônica, por esse motivo conhecer a sua variabilidade é indispensável na gestão, no planejamento local, principalmente no desenvolvimento de atividades socioeconômicas em zonas tropicais (HOFFMANN et al., 2018; GOMES et al., 2021).

O clima na região amazônica é caracterizado pela presença de um vasto espectro de variações espaço-temporais na atividade convectiva, com altos índices pluviométricos, principalmente durante o verão e outono austral. A precipitação regional é promovida pela interação de diversos sistemas meteorológicos e mecanismos oceano atmosfera que interagem em distintas escalas de tempo gerando a convecção local (COHEN; DIAS; NOBRE, 1989; SANTOS; VITORINO; PEREIRA, 2019). A saber os principais sistemas precipitantes são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as Linhas de Instabilidades (LI), os Sistemas Convectivos de Mesoescala Circular (SCMC), e os mecanismos oceano-atmosfera: EL Niño Oscilação Sul (ENOS) e Modo Meridional do Atlântico Sul (MMA) (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995; SODRE et al., 2013).

Os dados de sensoriamento remoto são uma alternativa eficiente para estudos de variabilidade espaço-temporal da chuva em extensas regiões, sanando as limitações escalares inerentes das estações meteorológicas de superfície (ZAMBRANO-BIGIARINI et al., 2017; DE MORAES CORDEIRO, BLANCO, 2021). Pesquisas apontam a aplicação do sensoriamento remoto como ferramenta eficaz, na observação e avaliação dos processos oceânicos, meteorológicos e continentais, principalmente em áreas com ausência de dados de superfície ou em grandes extensões (TOMLINSON et al., 2011, MU; BIGGS; SHEN, 2021). Os dados de sensoriamento remoto são amplamente utilizados em pesquisas para regiões costeiras em diversas parte do mundo, e também aplicados para a região amazônica, elucidando de forma eficiente os acumulados de precipitação e correlacionados aos sistemas precipitantes que promovem a variabilidade local (SANTOS et al., 2017; SANTOS; VITORINO; PEREIRA; 2019, CAVALCANTI et al., 2020).

O objetivo central deste artigo é conhecer a variabilidade espaço-temporal da chuva em diferentes escalas de tempo para a região costeira do estado do Pará, bem como, analisar os quantitativos da precipitação associando-os a atuação dos sistemas meteorológicos e mecanismos oceano atmosfera que atuam na região. Para tanto, analisa-se com os dados do Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) entre os anos de 1981 e 2020, em resolução espacial de 5Km e temporal de 1h.

MATERIAL E MÉTODOS

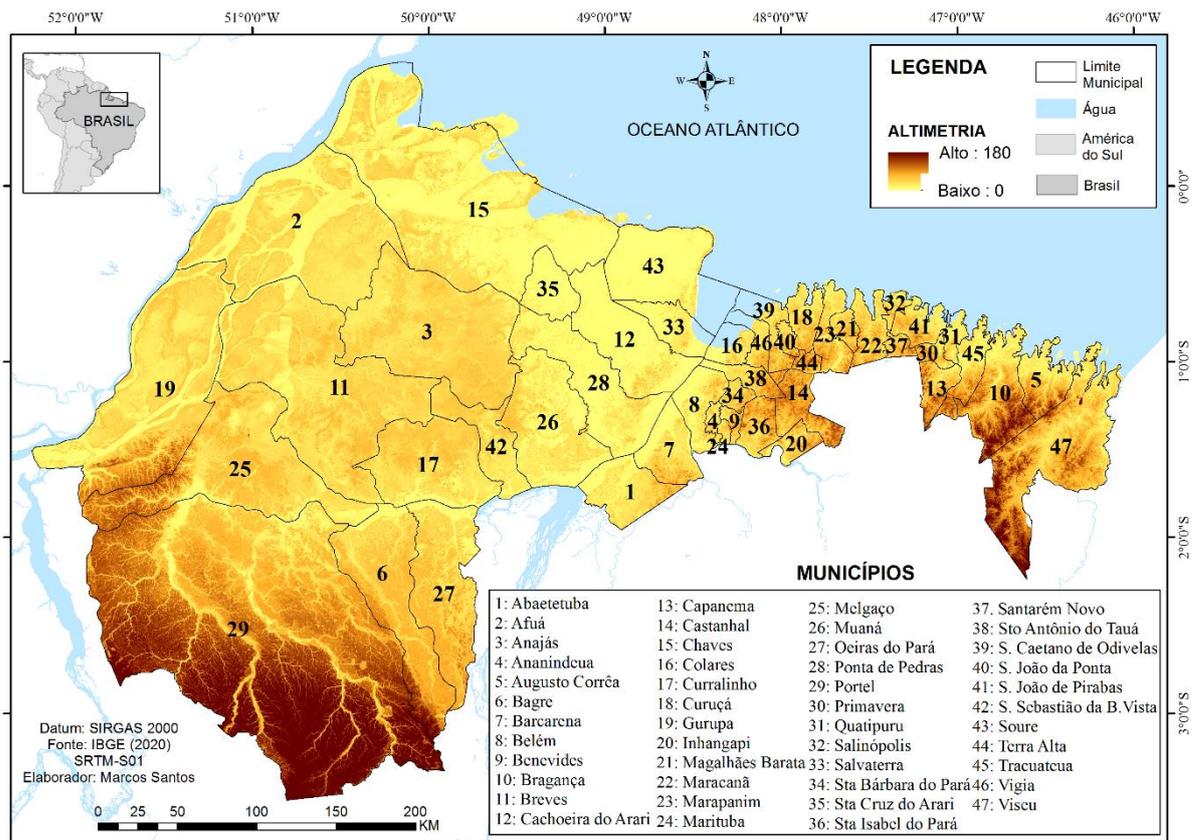
Caracterização da área de estudo

A região costeira do Pará está inserida em três mesorregiões do estado: Marajó, Metropolitana de Belém e Nordeste Paraense, e é formada por 47 (quarenta e sete) municípios (PARÁ, 2020): Abaetetuba, Afuá, Anajás, Ananindeua, Augusto Corrêa, Bagre, Barcarena, Belém, Benevides, Bragança, Breves, Cachoeira do Arari, Capanema, Castanhal, Chaves, Colares, Curralinho, Curuçá, Gurupá, Inhangapi, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, Marituba, Melgaço, Muaná, Oeiras do Pará, Ponta de Pedras, Portel, Primavera, Quatipuru, Salinópolis, Salvaterra, Santa Bárbara do Pará,

Santa Cruz do Arari, Santa Isabel do Pará, Santarém novo, Santo Antônio do Tauá, São Caetano de Odivelas, São João da Ponta, São João de Pirabas, São Sebastião da Boa Vista, Soure, Terra alta, Tracuateua, Vigia e Viseu (Figura 1).

Essa região apresenta o maior adensamento populacional e urbano da Amazônia oriental, com uma população estimada em 4.140.577 habitantes e uma densidade demográfica de 31,90 hab./km². Seu território tem 129.795,03 Km² compreende aproximadamente 10% do território do estado do Pará e detêm 47% da população total do estado (IBGE, 2021). Essa área é também caracterizada pela presença de ilhas aluviais e costeiras com um relevo plano e muito baixo (Figura 1) com registro de paleocanais testemunhos da evolução da planície lacustre e sua dinâmica com o oceano atlântico (MMA, 2008).

Figura 1 - Mapa Altimétrico da Região Costeira do Pará - Amazônia Oriental



Elaboração: Os autores, 2024.

Metodologia, coleta e análise de dados

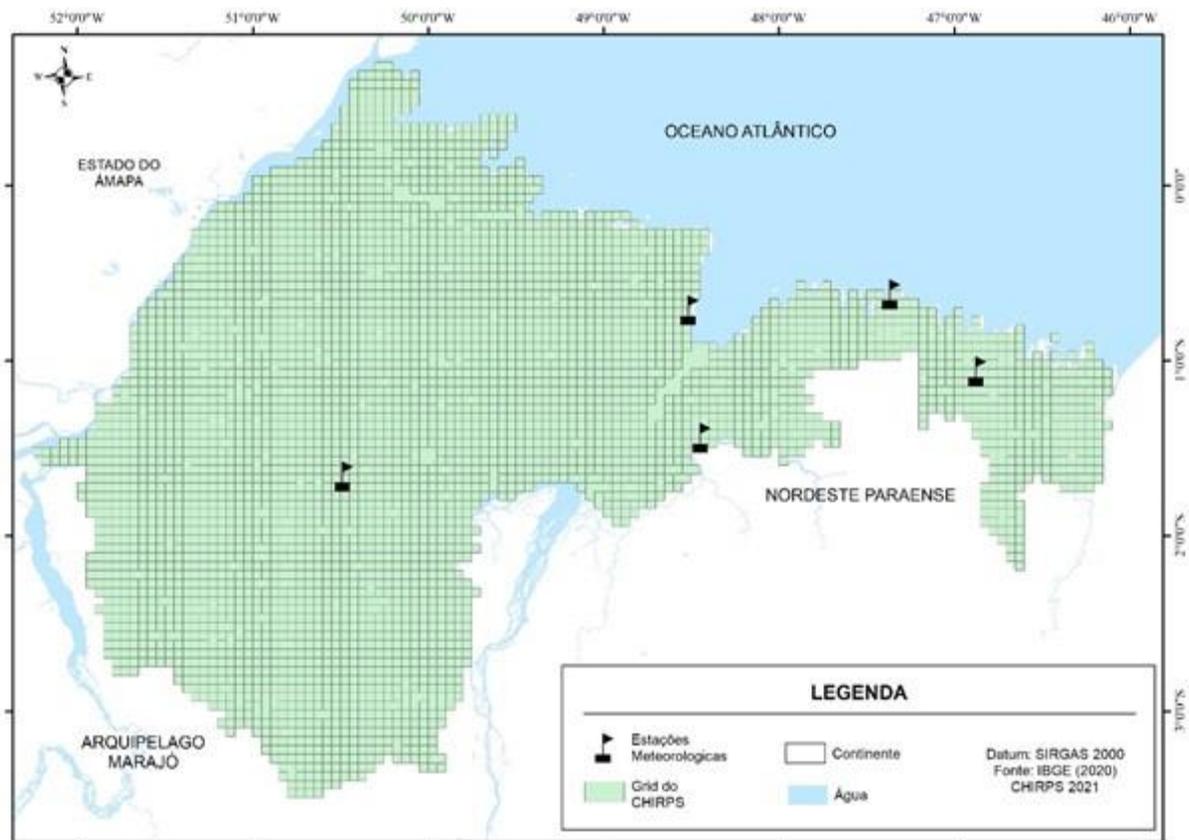
A metodologia aplicada nesta pesquisa, baseia-se na utilização dos dados disponibilizados pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). Os dados CHIRPS são oriundas de uma análise geoestatística de dados de sensoriamento remoto e pluviômetros criada por pesquisadores do Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que constituem estimativas de precipitação a nível global refinados, confiáveis e atualizados, no que tange a variação das chuvas no espaço-tempo (SEGURA et al., 2020; PACA et al., 2020). Estes dados foram selecionados por serem: i) contínuos no tempo e no espaço na área investigada, ii) provenientes de sensoriamento remoto, permitindo alta flexibilidade e robustez, iii) ser validade internacionalmente por pesquisas, iv) gratuito e atualizado (COSTA et al., 2019; CAVALCANTE et al., 2020; SILVA et al., 2020).

O produto CHIRPS possui uma resolução espacial de 0,05°, ou aproximadamente de 5 km, próximo ao equador, cobertura geográfica de 50°S a 50°N, com dados de 1981 até os dias atuais e é disponibilizado em conjuntos de dados diários, em pântadas e dados mensais (COSTA et al., 2019). Assim nesta

pesquisa, utilizaram-se os dados com resolução espacial de 5 por 5 km e temporal de uma hora (Figura 2). As séries temporais de precipitação foram analisadas em escalas anuais, sazonais e mensais entre janeiro de 1981 e dezembro de 2020, compreendendo um período de 40 (quarenta) anos de informação.

Ademais, validaram-se os dados de CHIRPS com as séries temporais das estações meteorológicas de superfície, que estão presentes na área de estudo, obtidas do Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET). Assim, aferiram-se as medições para testar a eficiência dos dados obtidos por sensoriamento remoto em áreas sem dados de chuva e/ou estação meteorológica de superfície.

Figura 2 - Grid CHIRPS e estações convencionais de superfície

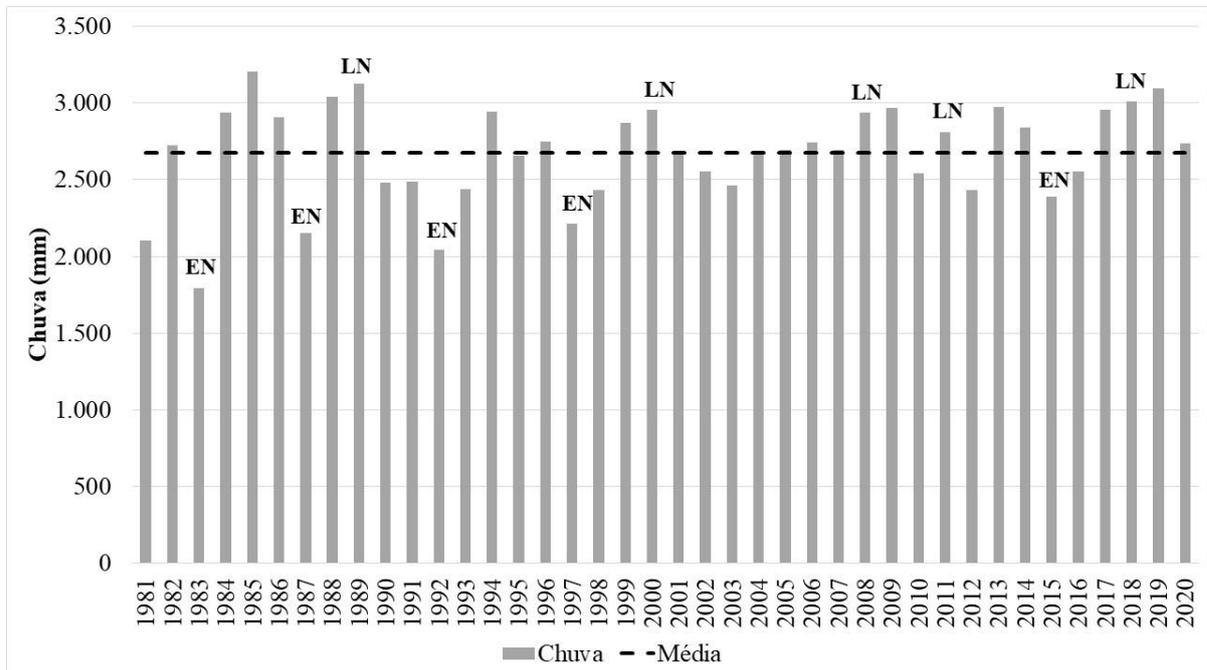


Fontes: INMET, 2020. CHIRPS, 2020. Elaboração: os autores, 2023.

Para obtenção da variabilidade da chuva em escala anual, optou-se em analisar os anos de extremos de clima, condicionados pelo fenômeno de interação oceano atmosfera (ENOS) em sua fase fria – La Niña e fase quente – El Niño, mensurados por dados de anomalia da temperatura superficial do Mar (TSM) (NOAA, 2021; CPTEC, 2021). Os anos de El Niño (Forte) foram: (1982/83; 1987/88; 1991/92; 1997/98 e 2015/16) e anos de La Niña (Moderada) (1988/89; 1999/00; 2007/08; 2010/11 e 2017/18). Optou-se em espacializar apenas o ano com maior ou menor quantitativo de precipitação de acordo com a ocorrência do fenômeno (Figura 3).

Os dados CHIRPS foram analisados por meio de programação em linguagem JavaScript na plataforma Google Engine, com resultados exportados para software QGis 2.18.24 para elaboração de mapas. A variabilidade espaço-temporal da chuva foi associada a partir dos quantitativos em milímetros, e verificados quanto a atuação dos principais sistemas precipitantes e fenômenos oceano atmosfera que interagem na promoção da chuva local, verificados pelo CPTEC (2021). Na análise dos dados empregou-se medidas estatísticas tais como a média, o desvio-padrão (S) e coeficiente de variação (CV%) entre os pixels e dados das estações para geração de gráficos, e análise de geoestatística com aplicação do método Krigagem ordinária para a geração dos mapas de variabilidade a partir da interpolação dos dados.

Figura 3 - Precipitação média anual entre 1981 e 2020, elucidando os períodos El Niño (EN) e La Niña (LN)



Fonte: CHIRPS, 2020. Elaboração: Os autores, 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise anual

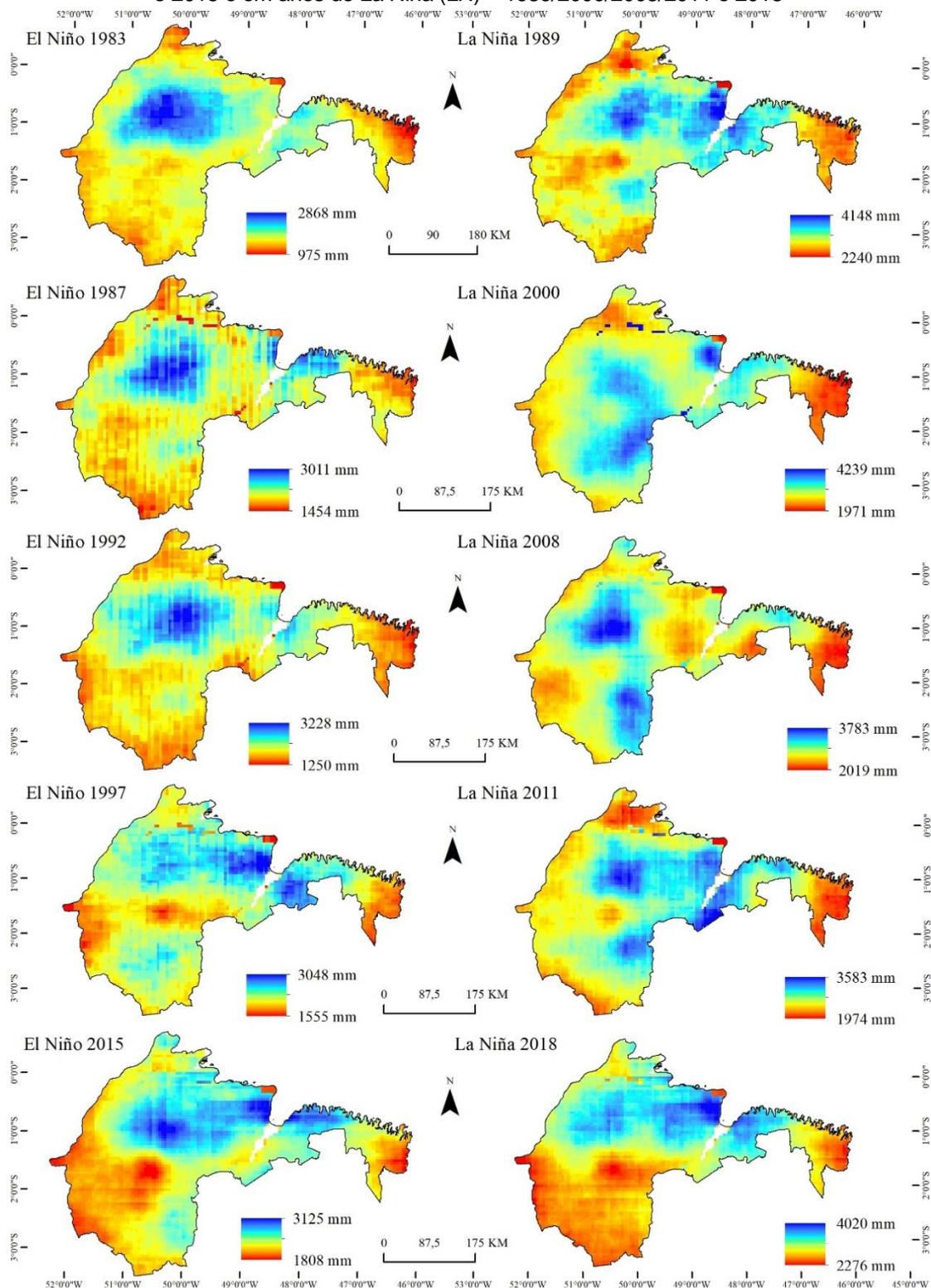
A variabilidade da chuva em anos de ocorrência do ENOS em sua fase quente (El Niño) apresentou acumulados de precipitação entre os valores máximos de 3.228mm no ano de 1992 e valores mínimos de 975mm durante o ano de 1983 (Figura 4). De acordo com Fisch, Marengo e Nobre (1998) em anos de ocorrência do El Niño há uma tendência de redução nos níveis de chuvas para a região amazônica. A distribuição espaço-temporal da precipitação na região costeira da Amazônia oriental está condicionada a interação do ENOS com os demais sistemas precipitantes que atuam na região, sendo potencializada sua dedução nos acumulados em anos de ocorrência de El Niño (SANTOS, VITORINO, PEREIRA, 2019).

O ano de 1983, apresentou os menores quantitativos de precipitação com máximos de 2868mm e mínimos de 975mm (Figura 4), corroborando com trabalhos de Kayano e Moura (1986) que citam esse período como o episódio de ENOS mais intenso e que afetou o tempo e clima na América Sul. Estudos de Sousa et al., (2015) mostram que os eventos de El Niño de 1982/83 estão relacionados à maior atuação na área de estudo, com anomalias negativas, o provoca uma redução na precipitação no leste da Amazônia, que pode incluir a região costeira.

Analisando a Figura 4, nos mapas referentes ao ENOS em sua fase quente (El Niño) visualiza-se que os maiores acumulados de chuva estão na parte central da região costeira como observado no ano de 1992 com valores de 3.228mm, e próximos à linha de costa como verificados no ano de 2015 com valores de 3.125mm. Os menores acumulados estão concentrados na parte leste da região costeira do nordeste paraense, verificados no ano de 1992 com acumulados de 1.250mm e ao longo da linha de costa na região do Marajó. Esses valores estão de acordo com os resultados encontrados por Santos, Vitorino e Pereira (2019), quando investigados a chuva por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

Quando verificado a ocorrência do ENOS em sua fase fria (La Niña) a região apresentou acumulados de precipitação entre os valores máximos de 4.239mm no ano de 2000 e valores mínimos de 1.974mm durante o ano de 2011 (Figura 4), os anos verificados foram classificados com intensidade moderada da fase La Niña, de acordo com CPTEC (2021). De acordo com Marengo e Oliveira (1998) quanto há a ocorrência do resfriamento das águas equatoriais do pacífico, induzindo a La Niña, espera-se o incremento dos volumes pluviométricos na região amazônica.

Figura 4 - Distribuição espaço-temporal da precipitação em anos de El Niño (EN) – 1983/1987/1992/1997 e 2015 e em anos de La Niña (LN) – 1989/2000/2008/2011 e 2018



Fonte: CHIRPS, 2020. Elaboração: os autores, 2023.

Observando a figura 4, imagens referente a La Niña, nota-se que a distribuição da chuva é mais homogênea na região costeira do estado Pará, com máximos na região central próximo à foz do rio Amazonas com verificado no ano de 1989 com acumulado de 4.148 mm e na região mais ao sul, mais distantes da linha de costa como elucidado no ano de 2008 com valores próximos de 3.783 mm. Os

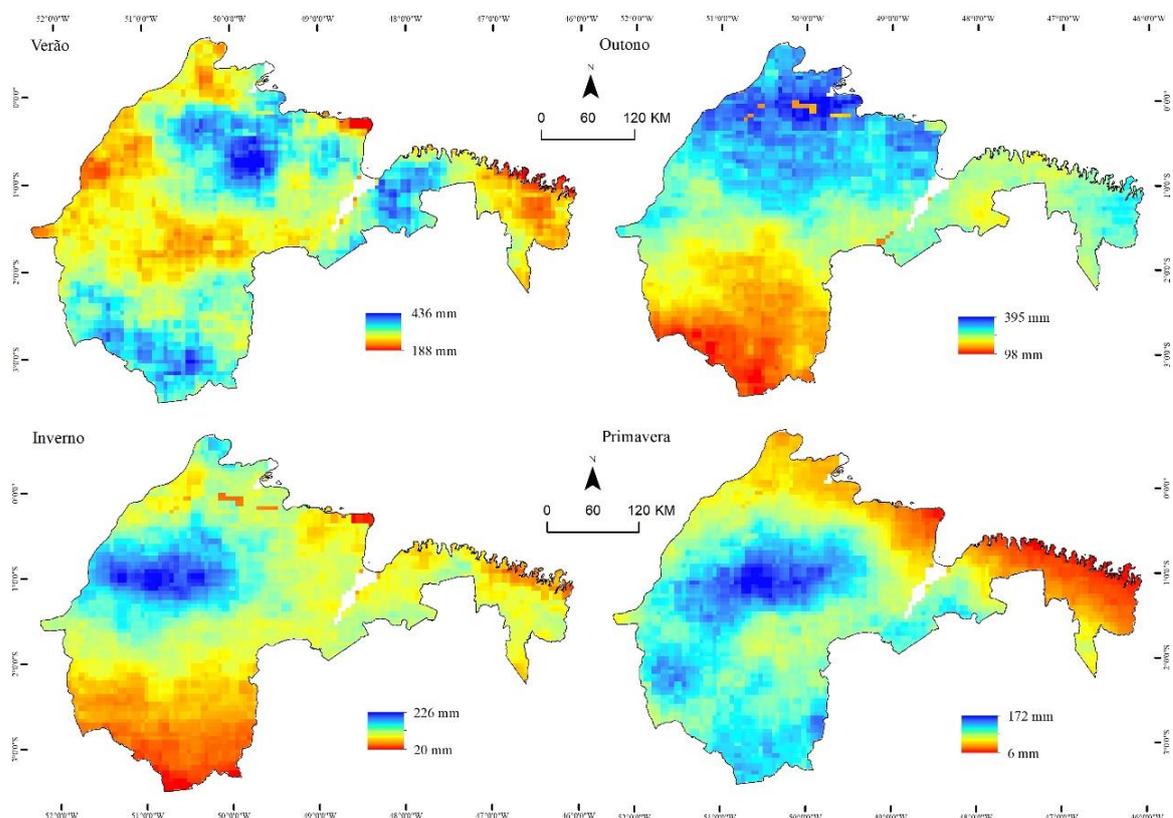
menores acumulados foram encontrados no nordeste paraense (leste da região costeira) no ano de 2000 com valores de 1.971 mm e na região do extremo norte da região verificado nos anos de 2011 com acumulados de 1.974 mm. Valores próximos de acumulados de precipitação são encontrados em anos de extremos de clima para a região costeira do Pará, quando investigados por meio de técnicas de sensoriamento remoto (SANTOS, VITORINO, PEREIRA, 2019).

Análise sazonal

Durante o verão austral que compreende os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, a distribuição de chuva, apresentou máximos de 436 mm na porção norte central da área investigada com mínimos de 188 mm na linha costeira da mesorregião do nordeste paraense e em alguns pontos centrais do Marajó (Figura 5). Durante os meses de março, abril e maio, período do outono no hemisfério sul, a distribuição da chuva alcançou máximos de 395 mm em grande parte do norte da região costeira, principalmente na mesorregião do Marajó e mínimos de 98 mm na porção sul da área estudada (Figura 5). Estudos de Cavalcanti et al. (2020) apresentam resultados similares de precipitação quando investigados os períodos do verão e outono austral para a região amazônica, incluindo região costeira, a partir de dados do CHIRPS.

Os meses que compreendem o verão e o outono são caracterizados por apresentar o período chuvoso na região Amazônica (AMANÁJAS e BRAGA, 2012; SANTOS, VITORINO, PEREIRA, 2019), também conhecidos popularmente como inverno amazônico. Durante esse período as chuvas são comandadas pela presença de sistemas precipitantes como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a interação de mecanismos oceano atmosfera como o ENOS podem maximizar ou minimizar os acumulados de chuva (DE SOUSA et al., 2015; DA SILVA SANTOS et al., 2016).

Figura 5 - Distribuição espaço-temporal da precipitação climatológica em escala sazonal entre o período de 1981 a 2020



Fonte: CHIRPS, 2020. Elaboração: os autores, 2023.

O inverno austral compreende o trimestre de junho, julho e agosto, durante esse período a variabilidade da chuva apresenta máximos de 226 mm na porção centro-oeste da região costeira, mas especificamente na mesorregião do Marajó, e mínimos de 20 mm na linha de costa, área leste da região

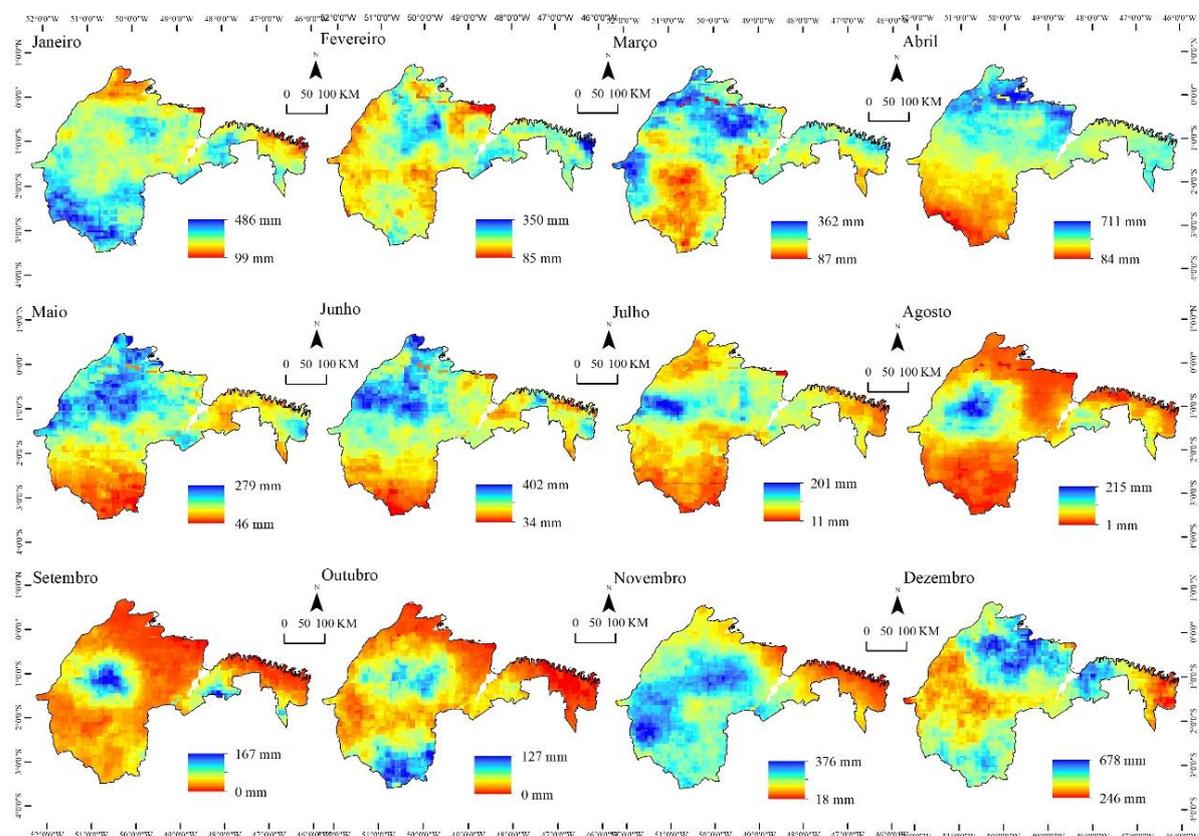
no nordeste paraense ao sul da região costeira (Figura 5). Durante os meses de setembro, outubro e novembro que correspondem a primavera no hemisfério sul, as chuvas são distribuídas com máximos de 172 mm na porção centro sul da região costeira, e mínimos de 6mm na região leste e ao longo da linha de costa (Figura 5). Estudos de Santos et al. (2017) apresentam valores semelhantes ao encontrados, quando analisam a precipitação por meio de técnica de sensoriamento remoto para essa região na Amazônia.

O inverno e primavera no hemisfério sul caracterizam o período menos chuvoso na região amazônica, conhecido localmente como verão amazônico. Durante esses meses, o clima é conhecido pela ausência de sistemas precipitantes de grande escala e pela presença de sistemas de mesoescala e brisas locais. Aproximadamente 30 a 40% da chuva precipita durante o segundo semestre do ano, influenciada principalmente pela ocorrência de linhas de instabilidades, sistemas convectivos de mesoescala circular (MCSC) e sistemas de Brisas (SODRÉ et al., 2013; MATOS, COHEN, 2016).

Análise mensal

O período com maior quantitativo de chuvas na região costeira do Pará compreende os meses de dezembro a abril, com acumulados máximos durante o mês de abril com valores de 711 mm principalmente na porção norte e ao longo da linha costeira da área pesquisada, e mínimos de 99 mm em janeiro na porção do extremo norte da região costeira do Pará (ilha do Marajó) (Figura 6). Esses valores corroboram com estudos de Silva et al. 2020, quando investigado a precipitação em uma bacia hidrográfica na região costeira do Pará por meio do CHIRPS. De acordo com estudos de Moraes Cordeiro e Blanco (2021) o estado do Pará apresenta a maior correlação dos dados de precipitação pelo CHIRPS, elucidando de forma satisfatória os acumulados de chuva local. Os maiores quantitativos de precipitação são encontrados no primeiro semestre do ano, devido a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) estar posicionada mais ao sul influenciando na chuva local (UVO, 1989).

Figura 6 - Distribuição espaço-temporal da precipitação climatológica em escala mensal entre o período de 1981 a 2020



Fonte: CHIRPS, 2020. Elaboração: os autores, 2023.

Durante o período menos chuvoso que compreende os meses de junho a novembro, a variabilidade da chuva é mais heterogênea na região costeira com acumulados máximos de 402 mm em junho na porção oeste da região costeira e mínimos de 0 mm ao longo da porção norte e leste da região costeira (Figura 6). Os meses de agosto, setembro e outubro apresentaram ausência de precipitação na região de linha de costa no nordeste paraense, corroborando com estudos de Pereira et al. 2013 e 2017 sobre um período sem chuva na região costeira do Pará e seus impactos nas variáveis hidrológicas em anos de ocorrência de ENOS. As linhas de instabilidade e os sistemas de brisas e convecção localizadas também favorecem as chuvas locais durante os meses do segundo semestre do ano (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995), sendo caracterizado pela ausência de grandes sistemas precipitantes, deixando a atmosfera livre e sem grandes acumulados de chuva.

O CHIRPS mostrou variabilidade espaço-temporal da precipitação com valores dentro do esperado para a região costeira do Pará, quando comparado a outros métodos de sensoriamento remoto, seus acumulados foram menores e mais próximos aos verificados as estações meteorológicas de superfície (SILVA SANTOS et al., 2016, SANTOS, VITORINO, PEREIRA, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de estimativa de precipitação do CHIRPS apresentaram similaridade aos valores encontrados durante a sazonalidade de chuva da região, distribuídos no período chuvoso e menos chuvoso da Amazônia, uma vez que os valores em milímetros apresentados estão dentro do esperado para o quantitativo da região. Na análise anual os maiores quantitativos de chuva estão associados a ocorrência do ENOS em sua fase fria (La Niña) distribuídos de forma mais homogênea na região costeira, enquanto os menores acumulados foram encontrados durante os ENOS em sua fase quente (El Niño) espacializado de forma heterogênea.

Quanto a análise sazonal a chuva apresentou variabilidade conforme o esperado para a região com acumulados máximos durante o verão e outono austral, distribuídos na porção norte da região costeira, e com quantitativos mínimos no inverno e primavera do hemisfério sul, concentrado a chuva na porção centro sul da área investigada. Na análise mensal os meses mostraram padrões semelhantes para a região os maiores acumulados de chuvas nos primeiros meses elucidando a sazonalidade regional, e menores nos últimos meses. O mês mais chuvoso de acordo com os dados do CHIRPS foi o mês de abril e menos chuvoso e/ou seco foram agosto, setembro e outubro.

Os valores em milímetros do quantitativo de chuva apresentado pelo CHIRPS são similares aos verificados com outros produtos de sensoriamento remoto, podendo auxiliar de forma precisa os modelos hidrológicos. Esta pesquisa poderá ser aplicada para outras regiões costeiras do Brasil ou do mundo, que não possuam estações meteorológicas de superfície, assim espera-se encorajar a utilização de dados de sensoriamento remoto de alta resolução para futuras pesquisas, possibilitando o subsídio de políticas públicas para o gerenciamento costeiro.

Sugere-se que os demais pesquisadores adicionem na metodologia uma análise estatística de tendências, rupturas e consistência (ex. teste de Mann-Kendall, teste de Daniel e teste de Pettitt), para melhor comparação dos valores dos pixels (dados CHIRPS). Assim, outros trabalhos podem ser desenvolvidos a partir dos dados analisados, utilizando a técnica de programação por meio do Google Earth Engine. Nesse contexto, a pesquisa encoraja o fortalecimento da utilização de dados de chuva por meio de sensoriamento remoto para áreas extensas e com escassez dados, contribuindo para a literatura de trabalhos desatualizados e/ou ausentes.

REFERÊNCIAS

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p. 323-338, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000400006>

BRASIL. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro**. Lei Nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm. Acessada em 12/11/2021.

CAVALCANTE, R. B. L.; DA SILVA FERREIRA, D. B.; PONTES, P. R. M.; TEDESCHI, R. G.; DA COSTA, C. P. W.; DE SOUZA, E. B. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation

- estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, p. 104879, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104879>
- COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise – Boletim do Monitoramento e Análise Climática**, v. 4, n.11, p. 34-40, 1989.
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, n.11, p. 3163-3174, 1995. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123<3163:ECAWAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123<3163:ECAWAS>2.0.CO;2)
- COSTA, J., PEREIRA, G., SIQUEIRA, M. E., CARDOZO, F.; DA SILVA, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 228-243, 2019. <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>
- CPTEC, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Ocorrência de ENOS**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acessado 20/11/2021 às 10h:49min.
- DA SILVA SANTOS, M. R., VITORINO, M. I., BRAGA, C. C., DE OLIVEIRA SOUTO, J. I., DO NASCIMENTO MOURA, M., JÚNIOR, P. P. F. Padrões de precipitação mensal na mesorregião metropolitana de Belém: uso do CMORPH e componentes principais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.07, p. 2301-2311, 2016. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160164>
- DE MORAES CORDEIRO, A. L., BLANCO, C. J. C. Assessment of satellite products for filling rainfall data gaps in the Amazon region. **Natural Resource Modeling**, v. 34, n. 2, p. 12298, 2021. <https://doi.org/10.1111/nrm.12298>
- DE SOUSA, A. M. L., DA ROCHA, E. J. P., VITORINO, M. I., DE SOUZA, P. J. O. P., BOTELHO, M. N. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.01, p. 15-29, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v8.1.p013-024>
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-101, 1998. <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>
- GOMES, F. B. R., VARGAS, I. S., PROCÓPIO, A. S., CASTRO, S. R., DE MELO RIBEIRO, C. B. Estudo da variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, 2021. <https://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.74380>
- HOFFMANN, E. L.; DALLACORT, R.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; BARBIERI, J. D. Variabilidade das chuvas no Sudeste da Amazônia-paraense, Brasil (Rainfall variability in southeastern Amazonia, Paraense, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1251-1263, 2018. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v11.4.p1251-1263>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa da população**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 16/10/2021.
- KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El-Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 4, n.1-2, p.201-214, 1986. <https://doi.org/10.22564/rbqf.v4i2.1055>
- MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, G.S de. **Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/1999**. In: Congresso Brasileiro De Meteorologia. 1998.
- MATOS, A. P.; COHEN, J. C. P. Circulação de brisa e a banda de precipitação na margem leste da baía do Marajó. **Ciência e natureza**. v. 38, p. 21-27, 2016. <https://doi.org/10.5902/2179460X19814>
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Macrodiagnóstico da Zona costeira e Marinha do Brasil**. 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/gestao territorial/gerenciamento-costeiro/macrodiagnostico>. Acesso em: 15/10/2021.
- MORAES, B. C. D., COSTA, J. M. N. D., COSTA, A. C. L. D., COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta amazônica**, v.35, p.207-214, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200010>
- MU, Y.; BIGGS, T.; SHEN, S. S. Satellite-based precipitation estimates using a dense rain gauge network over the Southwestern Brazilian Amazon: Implication for identifying trends in dry season

rainfall. **Atmospheric Research**, v. 261, p. 105741, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105741>

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Índices Climáticos**. Disponível em <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. Acessado em 09/12/2021.

PACA, V. H. D. M.; ESPINOZA-DÁVALOS, G. E.; MOREIRA, D. M.; COMAIR, G. Variability of trends in precipitation across the Amazon River Basin Determined from the CHIRPS Precipitation Product and from Station Records. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1244, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12051244>

PARÁ. Política Estadual de Gerenciamento Costeiro. **Lei 9.064, de 25 de maio de 2020**. Disponível em: <https://www.semias.pa.gov.br/2020/05/28/governador-sanciona-lei-que-institui-a-politica-estadual-de-gerenciamento-costeiro-do-para/>. Acessada em 20/11/2021.

PEREIRA, L. C. C., DE OLIVEIRA, S. M. O., DA COSTA, R. M., DA COSTA, K. G., & VILA-CONCEJO, A. What happens on an equatorial beach on the Amazon coast when La Niña occurs during the rainy season?. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 135, p. 116-127, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.07.017>

PEREIRA, L.C C., DA COSTA, Á. K. R., DA COSTA, R. M., MAGALHÃES, A., DE JESUS FLORES-MONTES, M., JIMÉNEZ, J.A. Influence of a Drought Event on Hydrological Characteristics of a Small Estuary on the Amazon Mangrove Coast. **Estuaries and Coasts**, p. 1-14, 2017.
<https://doi.org/10.1007/s12237-017-0310-6>

RODRIGUES, E.L.; LOPES, R.F.C.; DE SOUSA, F.A.S. Variabilidade Espaço-Temporal da precipitação pluvial no estado da Paraíba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 100233-100251, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-498>

ROGELIS, M. C.; WERNER, M. G. F. Spatial interpolation for real-time rainfall field estimation in areas with complex topography. **Journal of Hydrometeorology**, v. 14, n. 1, p. 85-104, 2013.
<https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-0150.1>

SANTOS, M. R. S., VITORINO, M. I., DA SILVA PIMENTEL, M. A., DE OLIVEIRA SOUTO, J. I. Análise da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 62, p.49-58, 2017. <https://doi.org/10.14393/RCG186205>

SANTOS, M. R. S., VITORINO, M. I., PEREIRA, L. C. C. Spatiotemporal variation in the precipitation of the amazon coastal zone: use of remote sensing and multivariate analysis. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 35-53, 2019. <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64892>

SANTOS, M.R.S.; VITORINO, M.I; PEREIRA, L.C.C.; PIMENTEL, M.A.S.; QUINTÃO, A.F. Socioenvironmental Vulnerability to Climate Change: Conditions of Coastal Municipalities in Pará State. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 24, p. 1-22, 2021. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200167r1vu2021i3ao>

SEGURA, H., ESPINOZA, J. C., JUNQUAS, C., LEBEL, T., VUILLE, M., GARREAU, R. Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. **Climate Dynamics**, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05132-6>

SILVA, E. R. M. D.; BARBOSA, I. C. D. C.; SILVA, H. J. F. D.; COSTA, L. G. S.; ROCHA, E. J. P. D. Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p.1094-1105, 2020.
<https://doi.org/10.26848/rbqf.v13.3.p1094-1105>

SODRÉ, G. R. C., RODRIGUES, L. L. M. Comparação entre estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 02, p. 301-307, 2013. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v6.2.301-307>

TOMLINSON, C. J., CHAPMAN, L., THORNES, J. E., BAKER, C. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. **Meteorological Applications**, v.18, n.3, p. 296-306, 2011. <https://doi.org/10.1002/met.287>

UVO, C. R. B. **The Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and its relation with the precipitation of the Northern Region of the Northeast of Brazil**. INPE, 1989.

VAN TUAN, N. et al. Spatio-Temporal Analysis of Drought in the North-Eastern Coastal Region of Vietnam Using the Standardized Precipitation Index (SPI). **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 13, n. 2, p. 175-200, 2023. <https://doi.org/10.4236/acs.2023.132011>

ZAMBRANO-BIGIARINI, M., NAUDITT, A., BIRKEL, C., VERBIST, K., RIBBE, L. Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.21, n.2, 1295-1320, 2017. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>

Recebido em: 25/08/2023

Aceito para publicação em: 24/01/2024