

VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DA CHUVA: UMA ANÁLISE DURANTE OS ANOS DE EXTREMOS DO CLIMA NO MUNICÍPIO COSTEIRO DE BRAGANÇA/PARÁ.

Marcos Ronielly da Silva Santo⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade da Cidade de São Paulo (UNICID). Gestor Ambiental pelo Instituto de Educação Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Mestre e Doutor em Ciências Ambientais (UFPA/MPEG/EMBRAPA). Pós doutor em geografia regional (UFPA). Professor EBTT do IFPA/Tucuruí.

Luiza de Nazaré Almeida Lopes⁽²⁾

Engenharia Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestra em Engenharia Civil (UFPA). Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFPA). Professora EBTT do IFPA/Tucuruí.

Davi Henrique Trindade Amador⁽³⁾

Licenciado em Química pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre e Doutor em Química (UFPA). Professor EBTT do IFPA/Tucuruí.

Devanilda Martins Ranieri da Fonseca⁽⁴⁾

Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestra em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia (UFPA). Professora EBTT do IFPA/Tucuruí.

Augusto da Gama Rego⁽⁵⁾

Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Engenharia Civil (UFPA) e Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (UFPA). Professor EBTT do IFPA/Tucuruí.

Endereço⁽¹⁾: Av. Brasília, s/n - Vila Permanente, Tucuruí – CEP: 68455-766 - Brasil - Tel: (91) 98017- 4203 - e-mail: marcos.santos@ifpa.edu.br

RESUMO

A geotecnologia é uma ferramenta eficiente para diversas áreas do conhecimento, tornando-se disciplina e componente curricular obrigatório em vários cursos e áreas de pesquisa. Esse instrumento possibilita a manipulação de diversos dados de sensoriamento remoto no tempo e espaço. Neste contexto o objetivo central desse trabalho é analisar a variabilidade espacial e temporal da chuva, durante os anos de extremos climáticos para o município costeiro de Bragança/Pará, bem como, analisar os acumulados da precipitação associando-os a atuação dos sistemas meteorológicos e mecanismos oceano atmosfera que atuam na região. A metodologia empregada consistiu na utilização de dados de reanálise com base em sensoriamento remoto da técnica de CHIRPS, com refinada resolução espacial (5Km) e temporal (1h), durante o período de 1981 a 2021. Os anos de ocorrência do EL Niño Oscilação Sul (ENOS) foi determinada por meio do estudo da Anomalia da Temperatura Superficial da Água (TSM). Os principais resultados são: em os anos de ocorrência do El Niño, os acumulados oscilaram com máximos entre 2.434mm no ano de 2015 e mínimos de 1.173mm no ano 1983 e durante anos de ocorrência da La Niña, os acumulados oscilaram com máximos entre 3.068mm no ano de 2018 e mínimos de 2.182mm no ano 2000. Esta pesquisa poderá ser replicada para outras regiões 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, possibilitando o subsidio de políticas públicas e o gerenciamento costeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação, Sensoriamento Remoto, Bragança, Amazônia.

INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre a variabilidade espaço-temporal da precipitação na região do município de Bragança, com utilização de dados de geotecnologias são escassas, principalmente quando os estudos são baseados em dados de sensoriamento remoto e analisados em distintas escala de tempo (MORAES *et al.*, 2005, ZAMBRANO-BIGIARINI *et al.*, 2017). Atualmente os estudos sobre precipitação estão fundamentados em dados de superfície (estações meteorológicas automáticas, semiautomáticas e pluviômetros). Por esse motivo conhecer a precipitação por fontes de alta resolução espaço temporal por meio de 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).

As regiões costeiras são definidas como um espaço 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). Pesquisas sobre a variabilidade espaço-temporal da precipitação em regiões litorâneas ainda são tímidas, principalmente quando os estudos são baseados em dados de sensoriamento remoto e analisados em distintas escala de tempo (MALTHUS, MUMBY, 2003; ZAMBRANO-BIGIARINI *et al.*, 2017. SANTOS, VITORINO, PEREIRA, 2019).

A precipitação é a variável climática mais investigada no balanço hidrológico da região amazônica, por esse motivo conhecer a sua variabilidade é indispensável para gestão, planejamento e principalmente no desenvolvimento de atividades socioeconômicas (HOFFMANN *et al.*, 2018). A chuva regional é promovida pela interação de diversos sistemas meteorológicas e mecanismos oceano atmosfera que interagem em distintas escalas de tempo gerando a convecção local (COHEN; DIAS; NOBRE, 1995; SANTOS; VITORINO; PEREIRA, 2019).

O El Nino Oscilação Sul (ENOS) é mecanismo de modulação climática que influencia diretamente no quantitativo e/ou acumulado de precipitação na região amazônica, sua ocorrência está associada a ocorrência de extremos climáticos (MARENGO; HASTENRATH, 1993). O impacto do ENOS é principalmente devido às anomalias da circulação de Walker, bem como as anomalias de Temperatura Superficial do Mar (TSM) associados as ocorrências das fases de aquecimento e resfriamento das águas, El Niño e La Niña, respectivamente (KOUSKY; KAYANO; CAVALCANTI, 1984; ROPELEWSKI; HALPERT 1987).

Recentemente estudos sobre a precipitação estão fundamentados em dados de superfície, evidenciando que a representação da variabilidade espaço-temporal das chuvas pode estar severamente limitada aos dados pontuais (MORAES *et al.*, 2005; AMANAJÁS; BRAGA, 2012). Neste cenário os dados de sensoriamento remoto são uma alternativa eficiente para estudos de variabilidade espaço temporal da chuva em extensas regiões com escassos dados, sanando as limitações provenientes das estações meteorológicas de superfície (ZAMBRANO-BIGIARINI *et al.*, 2017; DE MORAES CORDEIRO, BLANCO, 2021).

Pesquisas apontam a aplicação da detecção remota como ferramenta eficaz, em observar e avaliar os 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 também aplicados para 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, CAVALCANTE *et al.*, 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

O Município de Bragança faz parte da região costeira da Amazônia, situado na mesorregião do nordeste do estado do Pará e na microrregião bragantina, estando à 210 km de distância da capital administrativa do estado do Pará, Belém. O município possui uma área territorial de 2.124,734 km², situado geograficamente entre as coordenadas 1° 03' S e 46° 46' O; com uma altitude equivalente a 20 m a contar do nível do mar (Figura 1). O município é considerado um grande exportador de pescado para o Brasil e exterior, sendo a uma das principais atividades economia da cidade. A população do município está estimada em 130,122 mil habitantes, com uma densidade demográfica de 54,13 hab/km² (IBGE, 2021).

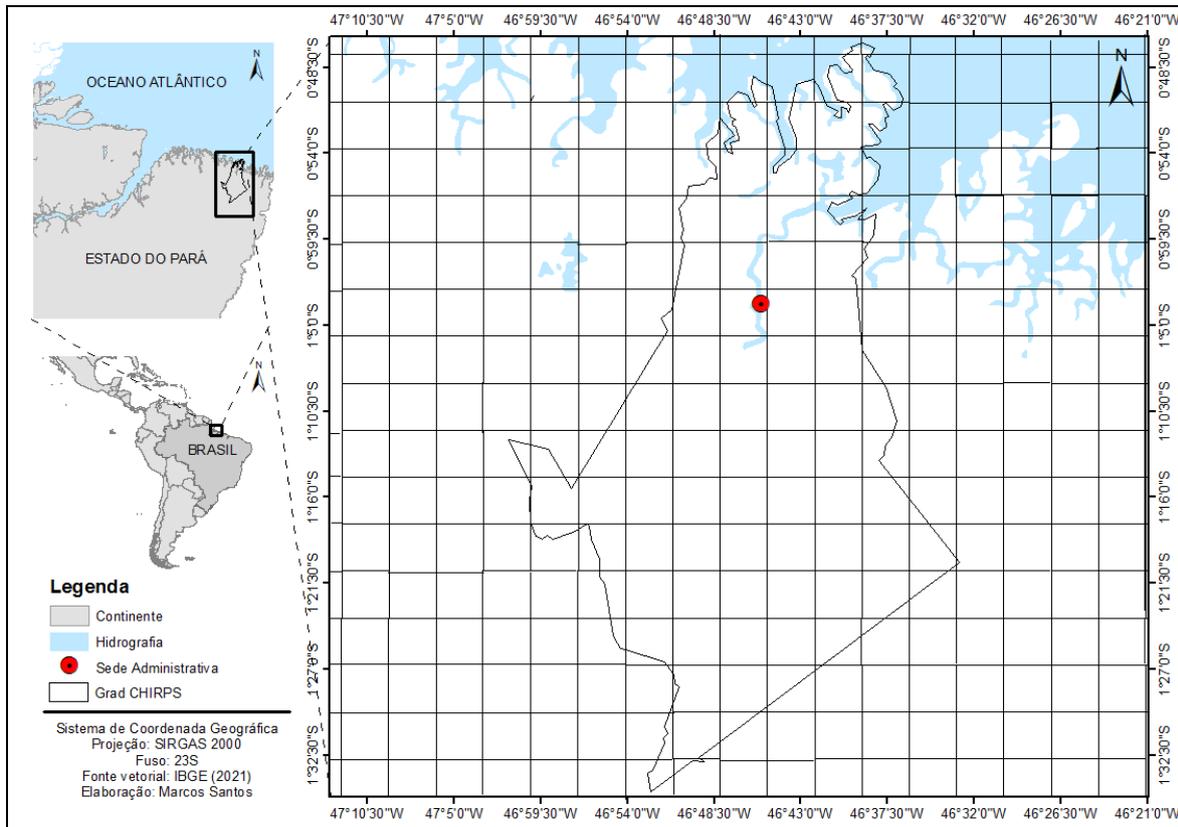


Figura 1: Mapa de Localização do município de Bragança-Pará, com ênfase nas grads de dados (CHIRPS) de precipitação.

A metodologia aplicada nesta pesquisa, baseia-se na utilização dos dados disponibilizados pelo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS). O CHIRPS é uma técnica de sensoriamento remoto criada pelo Earth Resources Observation and Science (EROS) da United States Geological Survey (USGS), que fornece dados de precipitação a nível global por meio de observações de satélites e pluviômetro fornece um conjunto de dados refinados, confiáveis e atualizados, no que tange a variação das chuvas no espaço-tempo (SEGURA et al., 2020; PACA et al., 2020).

Os dados utilizados nessa pesquisa foram do CHIRPS com resolução em grad espacial de 5 por 5 Km e temporal a cada 1H, acessados em: <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>, sob os formatos Esri Bil, GeoTiff e NetCDF. Os dados de precipitação foram analisados a partir dos acumulados anual, dos anos de 1981 a 2021, compreendendo um período de 40 (quarenta) anos de estudo. Os anos de extremos de clima foram selecionados a partir dos acumulados acima e abaixo da média climatológica e ratificados pela metodologia utilizada pelo (CPTEC, 2022) com base na ocorrência de ENOS, por meio da anomalia de TSM.

Os mapas foram gerados a partir do script desenvolvido na linguagem de JavaScript e adaptado para a área de estudo da pesquisa, posteriormente processados na plataforma do Google Earth Engine (GEE). De posse dos arquivos exportou-se em formato TIFF e confeccionados em software de geoprocessamento (QGIS). A pesquisa seguiu as seguintes etapas metodológicas (Figura 2).

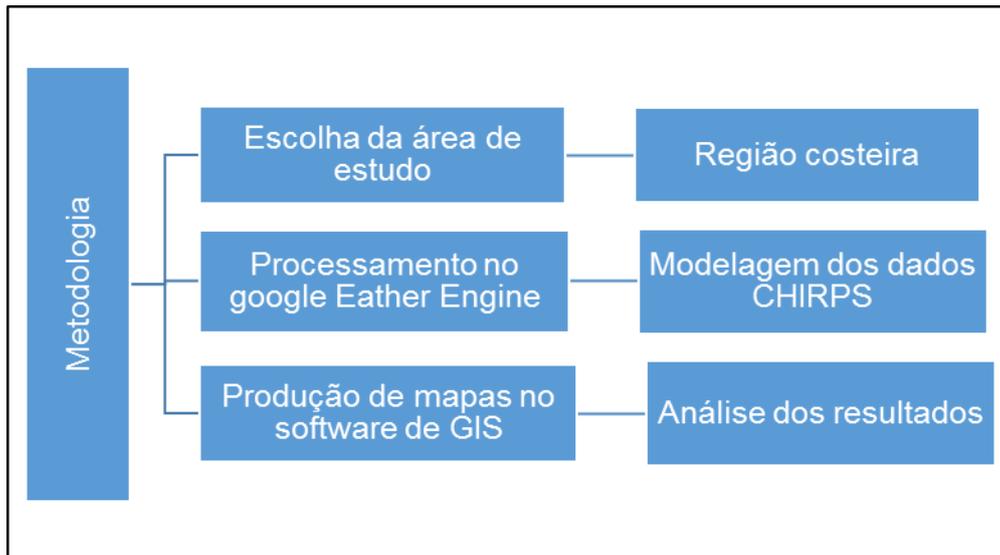


Figura 2: Esquema metodológico simplificado.

RESULTADOS

Entre a série de quarenta (40) anos investigado na pesquisa, dez (10) foram selecionados para o estudo dos acumulados anuais, por ocorrência do mecanismo oceano atmosfera ENOS. Esse fenômeno foi classificado por meio do estudo da Anomalia de TSM (CPTEC, 2022) e analisado neste estudo por meio de sua influência nos acumulados de precipitação. De acordo com (CPTEC, 2022) durante este período o ENOS foi classificado em três níveis de intensidade: forte, moderado e fraco (Figura 3).

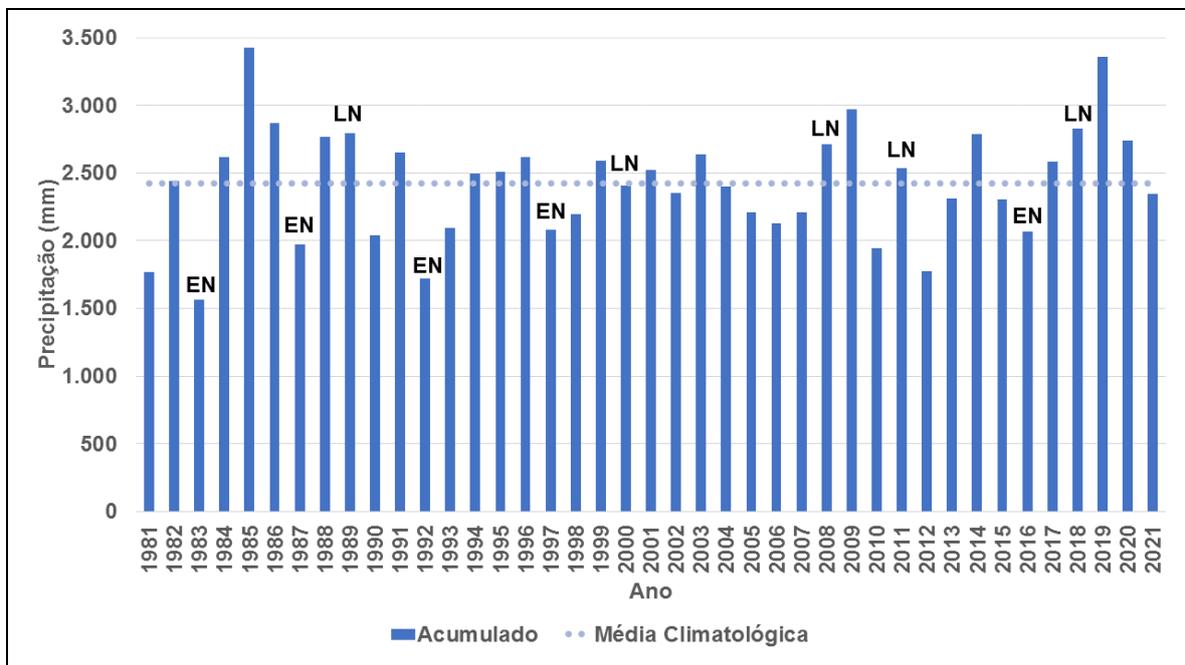


Figura 3: Acumulados anuais da chuva durante a série histórica (1981 a 2021) para o município de Bragança, com ênfase na média climatológica e classificação dos anos de ocorrência do ENOS. Fonte: CHIRPS

Durante a ocorrência do ENOS em sua fase positiva, caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais do oceano pacifico equatorial, promovendo o El Niño foram analisados os seguintes anos: 1983, 1987, 1992, 1997 e 2015. Durante os anos de ocorrência do El Niño, espera-se uma redução no quantitativo de chuva na região

amazônica, pois o fenômeno interfere na circulação atmosférica desfavorecendo a formação de nebulosidade (KOUSKY, KAYANO, CAVALCANTI, 1984; MARENGO, 2006, SANTOS, VITORINO, PEREIRA, 2019). Considerando a redução de precipitação durante os anos de ocorrência do El Niño, os acumulados oscilaram com máximos entre 2.434mm no ano de 2015 e mínimos de 1.173mm no ano 1983. O ano de 2015 teve um ENOS classificado de forte intensidade (CPTEC, 2022), a variabilidade de chuva sobre Bragança se concentrou com maiores acumulados (2.434mm) na porção norte e oeste do município e os menores quantitativos (2.112mm) foram registrados ao sul e leste da região. O ano de 1983 obteve os menores acumulados de precipitação da série investigada em consonância com (CPTEC, 2022), o ENOS desse ano foi de forte intensidade. No município de Bragança os maiores acumulados (1.829mm) foram registrados na porção sul e oeste, e os menores (1.173mm) na porção norte e leste da região

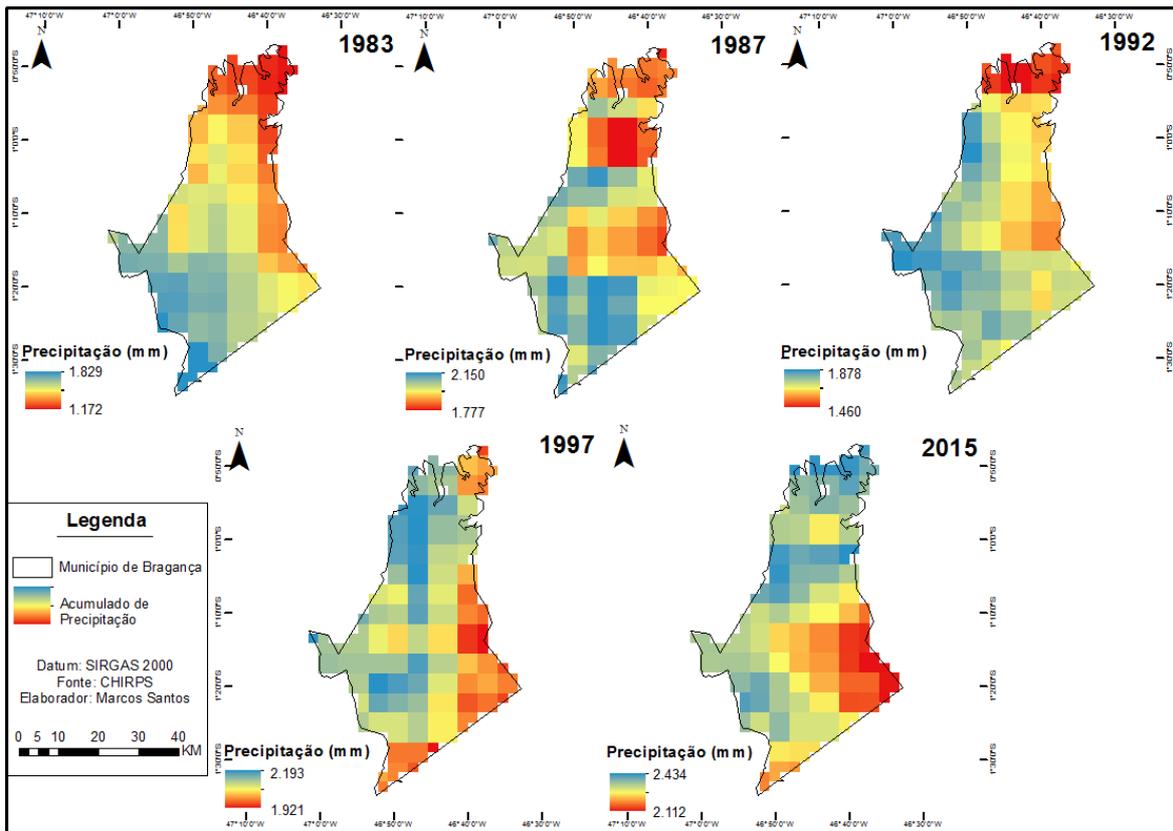


Figura 4: Variabilidade espaço temporal da chuva, durante os anos de ocorrência do El Niño no município de Bragança/Pará.

Considerando o aumento de precipitação durante os anos de ocorrência da La Niña, os acumulados oscilaram com máximos entre 3.068mm no ano de 2018 e mínimos de 2.182mm no ano 2000. O ano de 2018 teve um ENOS classificado de moderada intensidade (CPTEC, 2022), a variabilidade de chuva sobre Bragança se concentrou com maiores acumulados (3.068mm) na porção oeste do município e os menores quantitativos (2.552mm) foram registrados a leste da região. O ano de 2000 em consonância com (CPTEC, 2022), o ENOS desse ano foi de moderada intensidade. No município de Bragança os maiores acumulados (2.586mm) foram registrados na porção noroeste, e os menores (2.182mm) na porção sudeste da região.

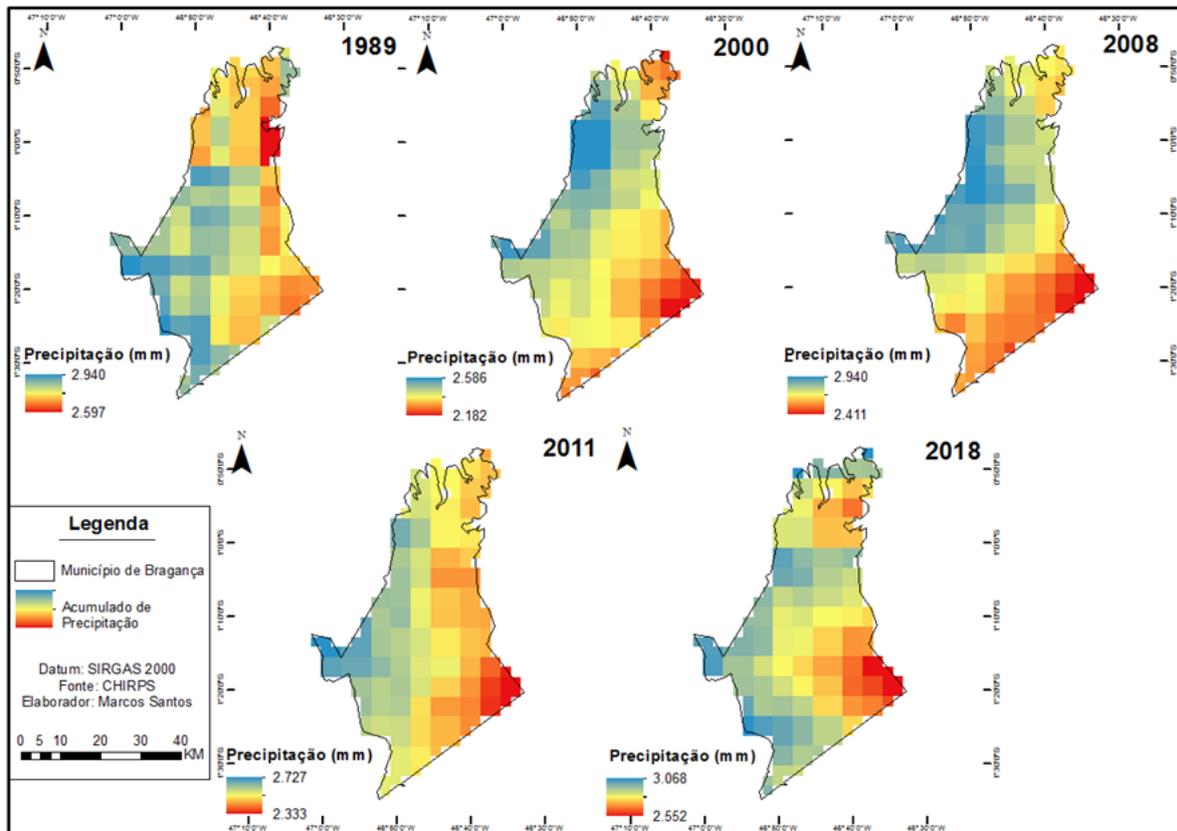


Figura 5: Variabilidade espaço temporal da chuva, durante os anos de ocorrência do La Niña no município de Bragança/Pará.

CONCLUSÕES

Os dados de precipitação do CHIRPS apresentaram de forma satisfatória a sazonalidade de chuva no município de Bragança/Pará em conformidade ao esperado para anos de ocorrência do ENOS para a região Amazônica. O CHIRPS mostrou variabilidade espaço temporal da precipitação com valores mais específicos e em escala refinada que pode ser utilizado como entradas de dados para modelos hidro meteorológicos e como subsídio para o gerenciamento da região costeira.

Na análise anual de ocorrência do ENOS elucidou que os menores acumulados de chuva estão associados ao El Niño (fase quente) com variabilidade heterogênea no município. Enquanto os maiores acumulados da precipitação estão associados a La Niña (fase fria) com distribuição mais homogênea sobre o município. Cabe ressaltar que o fenômeno ENOS aqui investigado interfere na variabilidade e no quantitativo, mas deve ser investigado junto a interação de outros sistemas precipitantes e fenômenos atmosféricos.

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, e que os menores acumulados foram encontrados durante os ENOS em sua fase quente (El Niño) especializado de forma heterogênea. Verificou-se que variabilidade espacial da chuva é bastante sensível a intensidade do ENOS, mas que depende da interação com outros sistemas e mecanismos para ser caracterizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.4, 323 – 338, 2012.

2. 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/17661.htm>. Acessada em 12/11/2021.
3. 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.
4. 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*, Boston, v. 123, n.11, p. 3163-3174, 1995.
5. CPTEC, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Ocorrência de ENOS. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acessado 25/11/2022 as 10h:49min.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativa de população (2021). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em: 25/11/2022.
10. KOUSKY, V.E., KAYANO, M.T., CAVALCANTI, I.F.A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus* 36A:490-504. 1984.
11. MALTHUS, TIM J., PETER J. MUMBY. Remote sensing of the coastal zone: an overview and priorities for future research. *International Journal of Remote Sensing*, v.42, n.13 p. 2805-2815, 2003.
12. MARENGO, J. A. On the Hydrological Cycle of the Amazon Basin: A historical review and current State-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3, p. 01-19, 2006.
13. MARENGO, J.A.; HASTENRATH, S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. *Journal of Climate*, v. 6, n. 4, p. 617-627. 1993.
14. MORAES, B. C., da COSTA, J. M. N., da COSTA, A. C. L., Costa, M. H.. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, v. 35, p. 207-217, 2005.
15. 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.
16. 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.
17. ROPELEWSKI, E.F., HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v. 115, p. 1606-1626. 1987.
18. SANTOS, M. R. S. et al. 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.
19. 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, n. p. 35-53, 2019.
20. SEGURA, H., ESPINOZA, J. C., JUNQUAS, C., LEBEL, T., VUILLE, M., GARREAUD, R. Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. *Climate Dynamics*, 1-19, 2020.
21. 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.