

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA SOBRE OCORRÊNCIA DE ENCHENTES NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO - BRASIL

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE EL NIÑO AND LA NIÑA PHENOMENA ON THE OCCURRENCE OF FLOODS IN THE STATE OF ESPÍRITO SANTO - BRAZIL

Gabriel Miller de Oliveira¹, Antônio Sérgio Ferreira Mendonça²

RESUMO - Este estudo tem como objetivo analisar a influência dos fenômenos El Niño (EN) e La Niña (LN) nas enchentes no estado do Espírito Santo, utilizando dados de vazão, precipitação pluviométrica e análise de sistemas sinóticos na região. Para delimitação das enchentes, foi utilizado como limiar, o percentil 99 de dados de vazão diária de uma série histórica de 30 anos das estações fluviométricas localizadas nos principais rios do estado. A persistência da vazão acima desse limiar por no mínimo 5 dias forneceu as datas de ocorrência das enchentes das quais foram identificados os sistemas meteorológicos atuantes através de cartas sinóticas e boletins climanálise. Por fim, foi relacionada a ocorrência dos eventos com a atuação do EN ou LN através dos registros históricos do CPTEC. Os resultados mostraram que dos 11 eventos que se classificaram dentro do limiar estabelecido, a atuação da ZCAS aumentou significativamente a precipitação pluviométrica e, conseqüentemente, a vazão dos rios, aumentando assim o risco de enchentes. Dos 11 eventos, 7 ocorreram em anos de LN enquanto os demais ocorreram em anos de neutralidade, indicando a modulação da intensidade da ZCAS pela LN. Portanto, a antecipação da ocorrência de LN pode contribuir para a meta 11 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que visa promover cidades e comunidades sustentáveis. Essa antecipação permite um maior tempo de resposta para o desenvolvimento de estratégias, definição de políticas públicas e aplicação de instrumentos de gestão de recursos hídricos diante da iminente ocorrência de enchentes e inundações.

Palavras-Chave: chuva extrema; inundações; planejamento estratégico; previsão climática.

ABSTRACT - This study aims to analyze the influence of the El Niño (EN) and La Niña (LN) phenomena on floods in the state of Espírito Santo, using streamflow data, rainfall measurements, and synoptic system analysis in the region. To determine the floods, the 99th percentile of daily streamflow data from a 30-year historical series from river gauge stations located in the main rivers of the state was used as the threshold. The persistence of streamflow above this threshold for at least 5 days provided the dates of flood occurrences, for which the active meteorological systems were identified through synoptic charts and climanalysis bulletins. Finally, the occurrence of the events was related to the presence of EN or LN through historical records from CPTEC. The results showed that out of the 11 events that fell within the established threshold, the action of SACZ (South Atlantic Convergence Zone) significantly increased rainfall and, consequently, river discharge, thereby increasing the risk of floods. Out of the 11 events, 7 occurred in LN years, while the remaining occurred in neutral years, indicating the modulation of ZCAS intensity by LN. Therefore, anticipating the occurrence of LN can contribute to Goal 11 of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), which aims to promote sustainable cities and communities. This anticipation allows for a greater response time for the development of strategies, definition of public policies, and implementation of water resource management tools in the face of imminent floods and inundations.

Keywords: climate forecast; extreme rain; floods; strategic planning.

¹ Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: gabrielmiller_1@hotmail.com.

² Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, Brasil. E-mail: anserfm@terra.com.br.

INTRODUÇÃO

Estudos indicam que durante o período do El Niño (La Niña) há um aumento (diminuição) na frequência e intensidade de chuvas em diversas regiões do Brasil. O aumento das chuvas pode levar a enchentes e deslizamentos de terra, afetando diretamente a população dessas regiões (Marengo, 2011).

Segundo Sutili et al. (2018), o conhecimento dos processos hidrológicos é essencial para o desenvolvimento de medidas de prevenção e mitigação de inundações, pois são responsáveis pela regulação do fluxo de água em bacias hidrográficas. Portanto, mostra-se importante estudar a relação entre fenômenos meteorológicos recorrentes que causam chuvas em excesso, como os fenômenos El Niño (EN) e da La Niña (LN) e a ocorrência de enchentes no estado do Espírito Santo, uma vez que o estado é conhecido por ser uma região propensa a enchentes.

Tendo em vista que a compreensão da relação entre o ciclo hidrológico e a ocorrência de eventos de enchentes é fundamental para desenvolver estratégias de adaptação na sociedade e nas estratégias de planejamento urbano, conforme ODS 11, este trabalho tem como objetivo discutir o impacto e a influência dos fenômenos El Niño e La Niña na ocorrência de enchentes no estado do Espírito Santo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é delimitada pelo estado do Espírito Santo e nele, para definição de um evento de enchente, foi determinado um limiar utilizando o método do percentil 99 (Sen Roy & Balling Jr., 2004) em um histórico de vazões coletado ao longo de 30 anos. A determinação de um limiar de enchente é um processo essencial para a gestão de riscos e a tomada de decisões relacionadas a eventos hidrológicos extremos, onde o 99º percentil indica que apenas 1% dos casos superam aquela vazão, indicando fenômenos de alta magnitude.

Os dados de vazão diária foram coletados das estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2023) no período de 1985 a 2015. Para uma maior robustez dos resultados, foi realizada uma análise de consistência na qual as estações que obtiveram menos que 80% de dados mensais válidos foram excluídas das análises, a fim de não se introduzir um viés.

Para identificar uma enchente, é necessário observar se a ultrapassagem do percentil 99 se mantém por mais de um dia, uma vez que a duração da ocorrência é um fator crucial para distinguir eventos isolados de enchentes verdadeiras (Hoskings & Wallis, 1997). Enchentes são caracterizadas por um período prolongado de vazões elevadas, que se mantêm consistentemente acima do limiar do percentil 99 por vários dias consecutivos, sendo assim, a análise da persistência da vazão elevada foi considerada neste estudo, definindo como evento de enchente, as ocorrências que tiveram suas vazões acima do limiar por no mínimo 5 dias consecutivos em cada estação.

Após a definição dos eventos de enchente, a identificação de eventos meteorológicos associados à ocorrência desses eventos permitiu identificar e avaliar as condições atmosféricas que levaram à ocorrência de acumulados expressivos de chuva, principal precursor dos eventos de enchente. Essa metodologia envolveu a análise de sistemas atmosféricos de grande escala, como frentes frias, sistemas de baixa pressão e massas de ar e diferentes níveis da atmosfera. Inicialmente foi realizada a coleta de dados de superfície, cartas sinóticas e dados de satélite disponibilizados pelo Centro de Previsão do tempo e Estudo Climáticos (CPTEC, 2023a). A partir dos dados coletados, foi possível identificar a presença de sistemas meteorológicos que pudessem estar associados à ocorrência de eventos de grande precipitação na região estudada.

Por fim, foi realizada uma relação entre os eventos de enchente, os sistemas meteorológicos atuantes durante os eventos e a fase do El Niño Oscilação Sul (ENOS) na qual os eventos se encontravam, a fim de se obter respostas sobre a influência dos fenômenos EN e LN nos acumulados expressivos de chuva que ocasionaram as enchentes. Os anos de ocorrência das fases do ENOS foram obtidos através dos registros históricos disponibilizados também pelo CPTEC (CPTEC, 2023b).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo, o percentil 99 delimitou o que pode ser considerado um evento de cheia em cada estação fluviométrica, e também, os períodos de ocorrência de cada evento, para tal, foram definidos os percentis 99 de vazão diária de cada estação fluviométrica da ANA, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Percentis 99 de Q (m³/s) em nas estações fluviométricas.
Table 1 – Percentiles 99 of Q (m³/s) in fluviometric stations.

Estação	Percentil 99 (m ³ /s)	Estação	Percentil 99 (m ³ /s)	Estação	Percentil 99 (m ³ /s)
Afonso Cláudio	052,653	Fazenda Jucuruaba	339,869	Pedro Canário	044,225
Baixo Guandu	090,926	Fazenda Lajinha	038,748	Ponte Do Pancas	054,930
B. De São Francisco	050,374	Fazenda Piaunas	089,964	Rive	107,116
Barra De São Gabriel	080,805	Fazenda S. Mateus	015,713	Santa Joana	034,285
Barra Do Mutum	058,917	Guaçuí	289,071	Santa Leopoldina	082,463
Barra Do Rio Preto	040,427	Ibitirama	149,828	São J. Cachoeira	057,348
Boca Da Vala	127,935	Iconha Montante	066,955	São José Calçado	202,405
Colatina	119,383	Itaguaçu - Jusante	026,847	UHE Masc. Barr.	090,988
Colatina Ponte	018,175	Itauninhas (Br-101)	268,202	UHE Suíça Jusante	013,464
C. Da Boa Esperança	444,579	Jusante C. Da Piaba	023,066	Usina Paineiras	254,370
Córrego Do Galo	084,553	Laranja Da Terra	276,328	Usina São Miguel	437,493
Cristal	331,841	Matilde	426,871	Fazenda Cacheta	013,941

Partindo da análise dos valores limítrofes dos eventos de cheia dados pelos percentis de vazão diária das estações fluviométricas e também da importância de se analisar a persistência da ocorrência de valores acima desse limite por mais de um dia consecutivo, foram obtidas as datas consideradas grandes eventos de enchentes no estado do Espírito Santo, considerando eventos que mantiveram suas vazões diárias acima do limiar de 99% por no mínimo 5 dias consecutivos. Os limiares delimitaram 11 eventos de enchente analisados neste estudo, ocorridos em dez/2005, jan/2007, nov/2018, dez/2018, jan/2009, mar/2009, dez/2009, dez/2010, mar/2011, jan/2012 e dez/2013. Para maior compreensão dos mecanismos precusores dessas enchentes, foram analisados hidrogramas dos onze eventos em todas as estações que possuíam dados de vazão chuva. A Figura 1 exemplifica a análise e mostra os hidrogramas para o evento ocorrido em dez/2018.

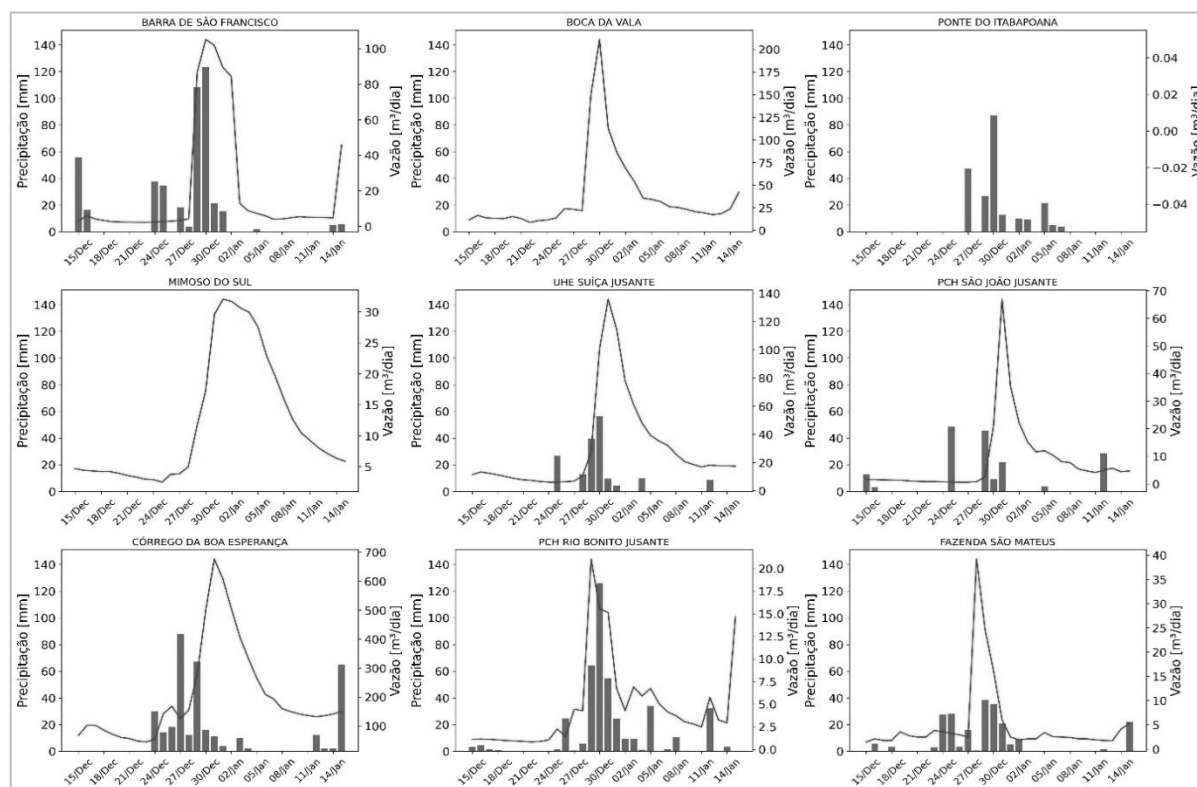


Figura 1 – Hidrogramas das estações fluviométricas de 15/dez/2010 a 15/jan/2011. As barras indicam a precipitação acumulada diária em mm e as linhas indicam a vazão diária em m³/s.

Figure 1 – Hydrographs of fluviometric stations from 15/Dec/2010 to 15/Jan/2011. The bars indicate the daily accumulated precipitation in mm and the lines indicate the daily flow in m³/s.

A resposta da vazão dos corpos d'água estudados com relação a ocorrência das chuvas pôde ser avaliada nas estações que possuíam as medidas de ambos os parâmetros. Em todos os onze eventos, o aumento da vazão ocorreu sempre logo após eventos de precipitação, e este comportamento é um fenômeno comum e compreensível no contexto hidrológico. Tendo em vista que diversos outros fatores podem influenciar a magnitude do aumento da vazão após eventos de precipitação, foi identificado que a intensidade e a duração das chuvas desempenharam um papel determinante, onde chuvas mais intensas e prolongadas tendem a resultar em um maior acúmulo de água nas bacias hidrográficas, levando a um aumento mais significativo na vazão dos rios.

Para este estudo, é importante destacar que o aumento da vazão após eventos de precipitação teve implicações significativas, como a ocorrência das enchentes registradas, especialmente quando a capacidade de escoamento dos rios foi excedida, causando danos à propriedade, riscos à segurança das pessoas e interrupções nas atividades econômicas confirmando, portanto, que o grande precursor das enchentes nas regiões, foi a precipitação.

Levando em consideração que a chuva é o principal fator que desencadeou as ocorrências de enchentes no estado do Espírito Santo, a compreensão dos sistemas meteorológicos que causam as precipitações intensas e conseqüentemente as vazões extremas é de fundamental importância para diversos aspectos da gestão dos recursos hídricos e da segurança da população. Para cada evento de enchente foram analisados os sistemas meteorológicos atuantes através de cartas sinóticas e imagens de satélite, conforme mostrado pela Figura 2.

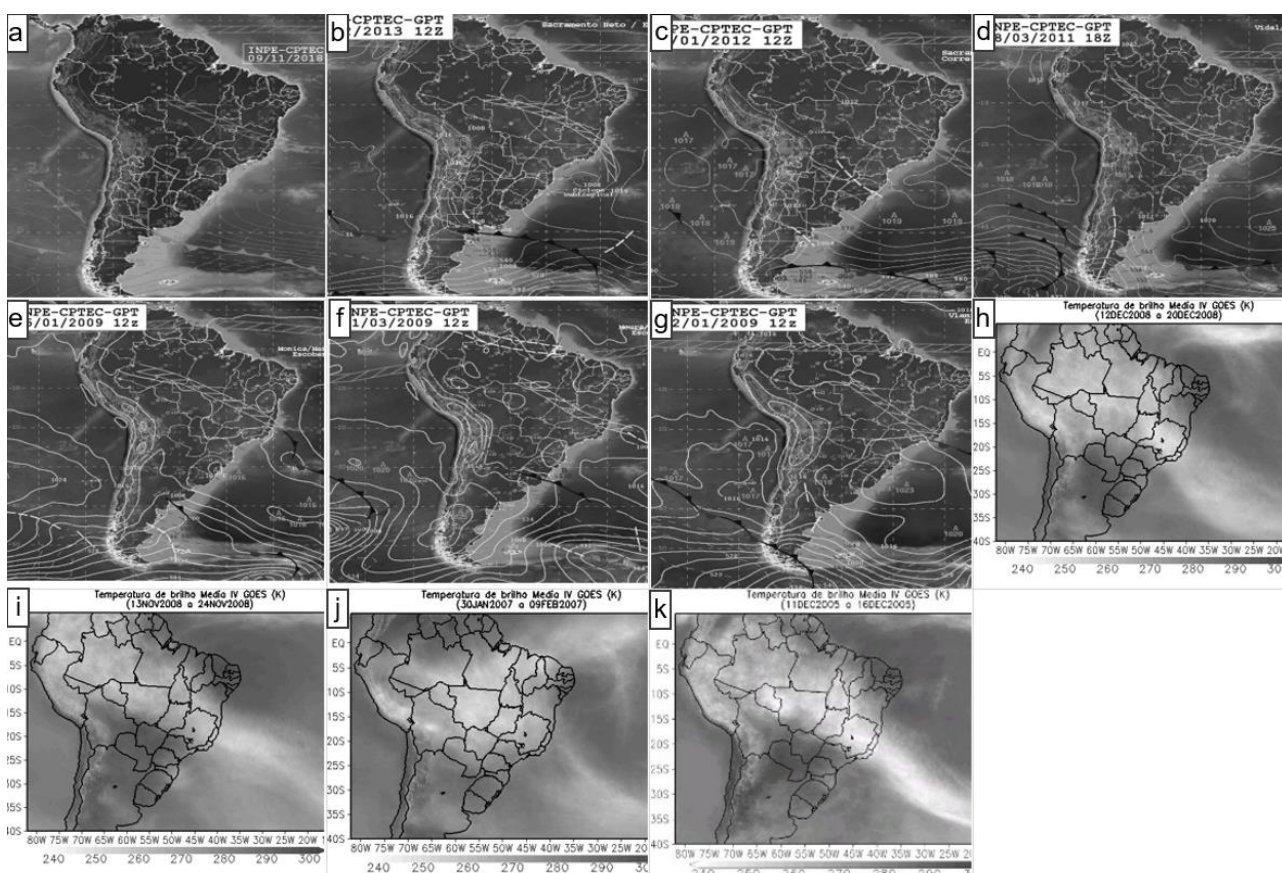


Figura 2 – Cartas sinóticas e imagens de satélite referentes aos onze eventos de enchente identificados. Do frame superior esquerdo ao inferior direito são mostrados os eventos em dez/2005, jan/2007, nov/2008, dez/2008, jan/2009, mar/2009, dez/2009, dez/2010, mar/2011, jan/2012 e dez/2013. As linhas nas imagens de (a) a (g) indicam isóbaras e sistemas meteorológicos e o esfumaçado em branco nas imagens de (h) a (k) indica a presença de nebulosidade.

Figure 2 – Synoptic charts and satellite images referring to the eleven identified flood events. From the top left frame to the bottom right, the events in Dec/2005, Jan/2007, Nov/2008, Dec/2008, Jan/2009, Mar/2009, Dec/2009, Dec/2010, Mar/2011, Jan/2012 and Dec/2013. The lines in images (a) to (g) indicate isobars and meteorological systems and the smoky white in images (h) to (k) indicates the presence of cloudiness.

Para todos os eventos de enchentes analisados, o sistema meteorológico atuante e precursor da chuva encontrado foi a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), identificada na Figura 2 como o sistema

orientado no sentido noroeste-sudeste, compreendendo da Amazônia ao Atlântico Sul. Este sistema é caracterizado por causar grandes períodos de chuvas sobre a região durante o período de verão e está associada a períodos de chuvas intensas e prolongadas, o que pode ser um indicativo de que as ocorrências de enchentes de maior magnitude são relacionadas com eventos prolongados de precipitação, frente a eventos extremos pontuais.

Um fenômeno que influencia de modo significativo a modulação e a intensidade da ZCAS é a La Niña. Estudos têm demonstrado que durante os episódios de La Niña, ocorre um fortalecimento e maior frequência da ZCAS, resultando em chuvas mais intensas e persistentes em grande parte da região central e sul do Brasil (Nobre, et. al. 2016). Segundo Rocha et al. (2017), durante o La Niña, há um aumento da convergência de umidade vinda do Oceano Atlântico para o continente, que se alinha com a ZCAS, intensificando a formação de nuvens e a ocorrência de chuvas intensas.

Sabendo que a ZCAS pode sofrer modulação de sua intensidade de acordo com a ocorrência do ENOS, os eventos de enchente deste estudo foram relacionados com as fases atuantes do sistema no período compreendido pelos eventos, com base nos registros históricos de ocorrência disponibilizados pelo CPTEC (CPTEC, 2023b). A síntese da relação é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação El Niño e La Niña x Eventos de enchente no ES.
Table 2 – Relationship between El Niño and La Niña x Flood events in ES.

Evento	Período Início	Período Fim	Sistema	ENOS
1	12/12/2005	19/12/2005	ZCAS	La Niña
2	31/01/2007	07/02/2007	ZCAS	La Niña
3	23/11/2008	01/12/2008	ZCAS	La Niña
4	16/12/2008	21/12/2008	ZCAS	La Niña
5	02/01/2009	12/01/2009	ZCAS	Neutro
6	22/01/2009	28/01/2009	ZCAS	Neutro
7	29/03/2009	05/04/2009	ZCAS	Neutro
8	29/12/2010	02/01/2011	ZCAS	La Niña
9	07/03/2011	19/03/2011	ZCAS	La Niña
10	03/01/2012	12/01/2012	ZCAS	La Niña
11	11/12/2013	29/12/2013	ZCAS	Neutro

A Tabela 2 mostrou que em todos os onze eventos avaliados neste estudo, o evento meteorológico atuante e responsável pela grande quantidade de chuva e consequente aumento das vazões dos rios foi a ZCAS. Nestes eventos, o ENOS estava em sua fase negativa (La Niña) ou neutra. De fato, como o sistema meteorológico precursor dos eventos de enchente é a ZCAS e a mesma tem sua intensidade amplificada pela La Niña, é de simples compreensão esta relação de causa e efeito, mesmo que indireta.

Tendo em vista a alta previsibilidade do fenômeno La Niña, um sistema de estratégias baseadas no prévio conhecimento de sua ocorrência pode fornecer informações valiosas sobre a possibilidade de chuvas intensas associadas à ZCAS, permitindo que as autoridades e a população adotem de modo preventivo medidas de resposta, como o monitoramento de áreas de risco, o planejamento de sistemas de drenagem e a implementação de estratégias de gestão de enchentes.

CONCLUSÕES

De acordo com análise de vazões extremas dadas pelo 99º percentil, foram encontrados 11 eventos de grandes enchentes nas series históricas de dados das estações fluviométricas da ANA entre 1985 e 2015.

Para todos os eventos de enchente, o sistema meteorológico precursor de chuva atuante no momento era a Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Em mais de 60% dos casos, as enchentes causadas pela ZCAS ocorreram em anos de La Niña, indicando a sua modulação pelo fenômeno.

A alta previsibilidade da La Niña pode fornecer informações valiosas sobre a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas associadas à ZCAS, permitindo que as autoridades e a população adotem medidas preventivas e de resposta, como o monitoramento de áreas de risco, o planejamento de sistemas de drenagem e a implementação de estratégias de gestão de enchentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof. Água, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional De Águas (ANA), HIDROWEB, 2023. Disponível em: < <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>> Acessado em 10 mai 2023.

Centro De Previsão De Tempo E Estudos Climáticos (CPTEC). Cartas sinóticas da América do Sul. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE; 2023a. Disponível em: < <http://img0.cptec.inpe.br/~rgptimg/Produtos-Pagina/Carta-Sinotica/Analise/Superficie/?C=M;O=A>>. Acesso em 10 mai 2023.

Centro De Previsão De Tempo E Estudos Climáticos (CPTEC). El Niño e La Niña. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE; 2023b. Disponível em: < <http://enos.cptec.inpe.br/> > Acesso em: 10 mai 2023.

Hoskings, J. R. M.; Wallis, J. R. Regional Frequency Analysis. Na Approach Based on L-Moments. Cambridge University Press. 1997. 238p.

Marengo, J. A. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, 37, 1285-1297. 2011.

Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Borna, L.S.; Castillarubio, J.C.; Silva, J.S.; Cardoso, M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences* v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.

Rocha, V.M.; Correia, F.W.; Silva, P.R.T.; Gomes, W.B.; Vergasta, L.A.; Moura, R.G.; Trindade, M.S.P.; Pedrosa, A.L.; Silva, J.J.S. Reciclagem de precipitação na Bacia Amazônica: o papel do transporte de umidade e da evapotranspiração da superfície. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, p. 387-398, 2017.

Sen Roy, S.; Balling Jr, R. C. Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in India. *International Journal of Climatology*, v. 24, p. 457-466, 2004.

Suttili, F. J.; Becker, G. A.; Bach, M. V.; Nogara, J. S. Identificação de áreas vulneráveis à inundação através de modelos hidrológicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 6, p. 1183-1192, 2018.