

**ANÁLISE SINÓTICA DE UM EVENTO DE TEMPESTADE SEVERA NA
AMAZÔNIA LEGAL EM MARÇO DE 2023**

**SYNOPTIC ANALYSIS OF A SEVERE STORM EVENT IN THE LEGAL
AMAZON IN MARCH 2023**

**ANÁLISIS SINÓPTICO DE UN EVENTO DE TORMENTA SEVERA EN LA
AMAZONIA LEGAL EN MARZO DE 2023**

Laurizio Emanuel Ribeiro Alves

Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia
Brasil

laurizio.alves@sipam.gov.br
0000-0002-0215-1131

Reinaldo Matheus Reis Ribeiro

Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia
Brasil

reinaldo.ribeiro@sipam.gov.br
0000-0001-5778-4350

Luiz Alves dos Santos Neto

Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia
Brasil

luiz.santos@sipam.gov.br
0000-0002-9195-3952

Paulo Mauricio Moura de Souza

Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia
Brasil

paulo.moura@sipam.gov.br

RESUMO

Eventos meteorológicos extremos, como tempestades severas, têm se tornado mais frequentes e intensos na Amazônia Legal. Este estudo analisa os padrões atmosféricos sinóticos associados a uma tempestade severa ocorrida em Rondônia, entre 19 e 22 de março de 2023. O evento esteve relacionado a um ambiente convectivo intenso, que resultou em elevados acumulados de precipitação e impactos socioambientais significativos. A pesquisa busca compreender a dinâmica atmosférica que favoreceu a intensificação do fenômeno, contribuindo para o aprimoramento das previsões e da resposta a eventos extremos na região. A metodologia integrou dados de reanálise ERA5, imagens do satélite GOES-16 e estimativas de chuva do MERGE. Os resultados mostraram que a combinação entre circulação ciclônica em baixos e médios níveis, escoamento anticiclônico em altos níveis e intenso transporte de umidade da Amazônia central e do Atlântico favoreceu a ocorrência de precipitação extrema, mesmo sob instabilidade termodinâmica moderada. Os impactos observados — como alagamentos, interrupções em rodovias e danos materiais — evidenciam a vulnerabilidade das áreas urbanas e rurais diante de eventos meteorológicos intensos. O estudo reforça a importância da integração de múltiplas fontes de dados para aprimorar o monitoramento e as previsões de curto prazo na Amazônia Legal.

Palavras-chave: Evento extremo; Transporte de Umidade; Dinâmica Atmosférica.

ABSTRACT

Extreme meteorological events, such as severe storms, have become more frequent and intense on the Legal Amazon. This study analyzes the synoptic atmospheric patterns associated with a severe storm that occurred in Rondônia between March 19 and 22, 2023. The event was related to an intense convective environment, which resulted in high rainfall accumulations and significant socio-environmental impacts. The research seeks to understand the atmospheric dynamics that favored the intensification of the phenomenon, contributing to the improvement of forecasts and responses to extreme events in the region. The methodology integrated ERA5 reanalysis data, GOES-16 satellite imagery, and MERGE rainfall estimates. The results showed that the combination of cyclonic circulation at low and mid-levels, anticyclonic flow at upper levels, and intense moisture transport from central Amazonia and the Atlantic favored the occurrence of extreme precipitation, even under moderate thermodynamic instability. The observed impacts — such as flooding, road interruptions, and material damage — highlight the vulnerability of urban and rural areas to intense meteorological events. The study reinforces the importance of integrating multiple data sources to improve monitoring and short-term forecasting in the Legal Amazon.

Keywords: Extreme Event; Moisture Transport; Atmospheric Dynamics.

RESUMEN

Los eventos meteorológicos extremos, como las tormentas severas, se han vuelto más frecuentes e intensos en la Amazonia Legal. Este estudio analiza los patrones atmosféricos sinópticos asociados a una tormenta severa ocurrida en Rondônia entre el 19 y el 22 de marzo de 2023. El evento estuvo relacionado con un ambiente convectivo intenso, que resultó en altos acumulados de precipitación e importantes impactos socioambientales. La investigación busca comprender la dinámica atmosférica que favoreció la intensificación del fenómeno, contribuyendo a mejorar los pronósticos y las respuestas ante eventos extremos en la región. La metodología integró datos de reanálisis ERA5, imágenes del satélite GOES-16 y estimaciones de precipitación del MERGE. Los resultados mostraron que la combinación de circulación ciclónica en niveles bajos y medios, flujo anticiclónico en niveles altos e intenso transporte de humedad desde la Amazonia central y el Atlántico favoreció la ocurrencia de precipitaciones extremas, incluso bajo condiciones de inestabilidad termodinámica moderada. Los impactos observados —como inundaciones, interrupciones en carreteras y daños materiales— evidencian la vulnerabilidad de las áreas urbanas y rurales frente a eventos meteorológicos intensos. El estudio refuerza la importancia de integrar múltiples fuentes de datos para mejorar el monitoreo y los pronósticos a corto plazo en la Amazonia Legal.

Palabras clave: Evento Extremo; Transporte de Humedad; Dinámica Atmosférica.

Introdução

Fenômenos meteorológicos extremos, como tempestades severas e chuvas intensas, têm ocorrido com frequência e intensidade crescentes em diversas regiões do mundo, incluindo a Amazônia Legal (Brito; Veiga; Yoshida, 2014; Zubieta et al., 2017; Souza et al., 2020). Esses eventos, além de desafiarem os sistemas de monitoramento meteorológico e os métodos de previsão, evidenciam os riscos territoriais enfrentados pelas áreas afetadas. No

Brasil, o estado de Rondônia, situado no sul da Amazônia Legal, tem registrado um aumento na ocorrência de tempestades convectivas severas, cujos impactos socioambientais são potencializados por fatores como a urbanização desordenada, a ocupação de áreas de risco e a infraestrutura precária (Souza et al., 2011; Santos et al., 2018; Andrade et al., 2021; Moreira, 2024).

Neste estudo, analisa-se especificamente o evento ocorrido entre os dias 19 e 22 de março de 2023, caracterizado pela atuação de um ambiente convectivo intenso sobre Rondônia. Esse episódio segundo relatos da imprensa local (Afonso, 2023; Corona, 2023; G1 RO, 2023a; 2023b; 2023c) resultou em acumulados expressivos de precipitação, alagamentos e interdição de rodovias, destacando a vulnerabilidade tanto de áreas urbanas quanto rurais do estado. Além disso, chama atenção o fato de o evento ter ocorrido em um período em que as previsões climáticas indicavam condições menos favoráveis à ocorrência de precipitação acima da climatologia da região tanto a mensal (INMET, 2023), quanto a trimestral (INMET, 2023; Censipam, 2023).

A análise sinótica desse caso busca compreender de que forma as condições atmosféricas da região contribuíram para a formação, manutenção e intensificação do ambiente convectivo sobre a região. Entender essa dinâmica é essencial para o aprimoramento do ambiente operacional de *Nowcasting* em desenvolvimento na região amazônica. Nesse sentido, caracterizar adequadamente esse fenômeno constitui passo fundamental para a antecipação de sua formação e para o aperfeiçoamento das previsões meteorológicas na Amazônia Legal.

Há evidências na literatura de que a vulnerabilidade socioambiental na Amazônia assume múltiplas dimensões e se intensifica em municípios e comunidades locais. Gonçalves et al. (2014) demonstraram, em Porto Velho (RO), que fatores como urbanização

desordenada, infraestrutura precária e exposição a riscos ambientais (como queimadas e poluição) agravam os impactos socioambientais. Em comunidades ribeirinhas, Almudi e Sinclair (2022) observaram que eventos hidrológicos extremos, como tempestades e inundações, afetam diretamente a subsistência, a infraestrutura e a saúde, sobretudo onde há baixa capacidade adaptativa. De forma complementar, Souza et al. (2024) identificaram que pequenas cidades da Amazônia Legal apresentam alta vulnerabilidade a desastres devido a fragilidades socioeconômicas e deficiências em infraestrutura, serviços públicos e mobilidade urbana. Esses estudos reforçam que os impactos observados em Rondônia (alagamentos, interdição de vias e riscos urbanos) refletem processos estruturais de vulnerabilidade na região amazônica.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar a gênese, a estrutura e os impactos do evento de tempestade severa ocorrido em Rondônia entre os dias 19 e 22 de março de 2023, discutindo os fatores atmosféricos que favoreceram sua ocorrência e intensificação, bem como as implicações desse episódio para o monitoramento e a previsão de eventos extremos na região.

Materiais e Métodos

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo, foram realizadas etapas que englobam a caracterização da área de estudo e a condução de análises sinóticas das condições atmosféricas.

Área de Estudo

O estudo foca no estado de Rondônia, uma região de mais de 237 mil km² na Amazônia Legal (Figura 1). Com uma população de 1.581.196 habitantes e densidade

demográfica de 6,65 hab/km² (IBGE, 2022), a maior parte de seu relevo varia entre 100 e 600 metros, com altitudes superiores a 1000 metros na Serra dos Pacaás Novos (Franca, 2015).

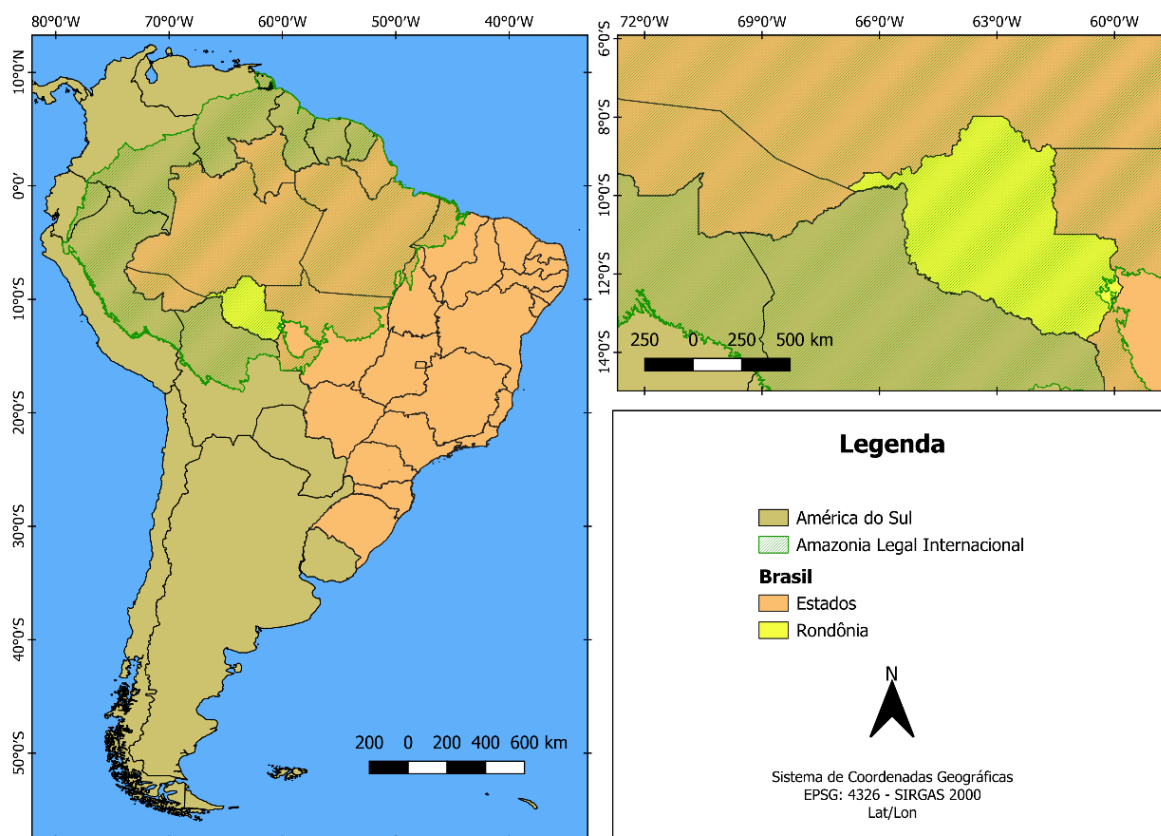


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo, destacando a Amazônia Legal Internacional (contorno em verde) e o estado de Rondônia (polígono em amarelo).

A região tem um clima Tropical de Monções (Am), segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2014), caracterizado por temperaturas elevadas e constantes (médias mensais $> 18^{\circ}\text{C}$) e uma estação chuvosa bem definida. A precipitação anual frequentemente ultrapassa os 2000 mm, com uma estação seca curta, de um a três meses, onde a precipitação raramente cai abaixo de 60 mm/mês. Essas condições climáticas suportam a densa e exuberante floresta tropical amazônica, rica em biodiversidade (Alvares et al., 2014).

Metodologia de Análise Atmosférica

A análise das condições atmosféricas para o período de 19 a 22 de março de 2023 foi conduzida por meio da linguagem de programação Python, utilizando-se diversas bibliotecas especializadas para o processamento, reamostragem, visualização e manipulação de dados geoespaciais e meteorológicos. As principais bibliotecas empregadas foram: s3fs, GOES, pyproj, pyresample, numpy, matplotlib, cartopy, Pillow (PIL), xarray, pandas, pygrib e geopandas.

A seleção de variáveis focou em parâmetros-chave para a compreensão da dinâmica atmosférica e da convecção. Em seguida, procedeu-se à integração das múltiplas fontes de dados, incluindo reanálises, produtos de satélite e estimativas de precipitação.

Utilizou-se dados de reanálise do ERA5 (Hersbach et al., 2020) para o período de estudo. A seleção de variáveis focou em parâmetros-chave para a compreensão da dinâmica atmosférica e da convecção:

- **Vento:** Analisou-se as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento nos níveis de 850 hPa, 500 hPa e 200 hPa para avaliar a circulação em diferentes camadas da atmosfera, essencial para identificar o transporte de umidade e a organização de sistemas convectivos.
- **Fluxo de Vapor d'Água Integrado na Coluna Atmosférica:** Calculado a partir da integração vertical dos fluxos de vapor d'água para o leste e para o norte. Essa variável é um indicador fundamental do transporte horizontal de umidade, que alimenta os sistemas de precipitação.

- **Energia Potencial Convectiva Disponível (CAPE):** Utilizou-se o valor máximo diário do CAPE. Por ser uma variável com forte ciclo diurno, essa abordagem garante a captura dos momentos de maior instabilidade atmosférica, que são os mais relevantes para o desenvolvimento de tempestades.
- **Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM):** usou-se informações sobre a distribuição de massa atmosférica e a presença de sistemas de baixa ou alta pressão na superfície.

A partir dessas variáveis, elaborou-se campos médios diários para representar a evolução das condições atmosféricas ao longo do período analisado. Para complementar a análise dos dados de reanálise, foram incorporadas observações de sensoriamento remoto (satélite) e produtos de precipitação:

- **Imagens de Satélite GOES-16:** Analisou-se imagens do canal infravermelho (IR), Banda 13, que fornecem informações sobre a altura e a temperatura dos topos de nuvens. Elas foram cruciais para a identificação e o monitoramento da evolução dos sistemas convectivos.
- **Estimativas de Precipitação MERGE:** Utilizou-se dados de precipitação horária e acumulados diários do MERGE (Rozante et al., 2010; 2020; Rozante e Rozante, 2024). Essa base de dados, que combina observações de estações de superfície e estimativas de satélite, é reconhecida por sua qualidade e validação para a América do Sul.

A integração das diferentes fontes de dados possibilitou uma análise robusta das características do sistema de precipitação durante o período estudado.

Resultados e Discussão

A análise sinótica do evento permitiu identificar os principais padrões atmosféricos associados às precipitações extremas entre 19 e 22 de março de 2023. Foram examinados os campos de vento em 850, 500 e 200 hPa, o fluxo integrado de vapor d'água, a energia potencial convectiva disponível (CAPE), a pressão ao nível médio do mar (PNMM), derivados da reanálise ERA5, além da precipitação estimada pelo MERGE. Esses parâmetros possibilitam compreender os mecanismos dinâmicos e termodinâmicos que favoreceram a organização da convecção e a intensificação das chuvas.

Durante o período, a região central da América do Sul foi impactada por intensa atividade convectiva, com núcleo principal em Rondônia, resultando em elevados volumes pluviométricos, alagamentos e impactos socioambientais (Afonso, 2023; Corona, 2023; G1 RO, 2023a; 2023b; 2023c). Além disso, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) emitiu alertas hidrológicos de chuvas com risco Moderado para os dias 20, 21 e 22 de março de 2023 (CEMADEN, 2023a; CEMADEN, 2023b; CEMADEN, 2023c). O evento foi marcado pela persistência de circulação ciclônica em baixos e médios níveis, associada a escoamento anticiclônico em altos níveis e forte advecção de vapor d'água da Amazônia central e do Atlântico. Essa configuração, frequentemente relacionada à convecção profunda na Amazônia (Marengo et al., 2004; Schiro et al., 2018; Viscardi et al., 2024), apresentou variações diárias que explicam a evolução das chuvas extremas.

Em 19 de março (Figura 2), observou-se transporte intenso de vapor d'água para Rondônia, com valores superiores a $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (Figura 2D), sustentado por circulação ciclônica em baixos níveis. Apesar da elevada umidade, a precipitação foi relativamente baixa, restrita a núcleos isolados de 20–40 mm/dia (Figura 2E). Esse comportamento indica

fase de pré-condicionamento atmosférico, marcada pelo acúmulo de umidade e intensificação da convergência, sem resposta convectiva generalizada (Velasco e Fritsch, 1987; Machado et al., 1998).

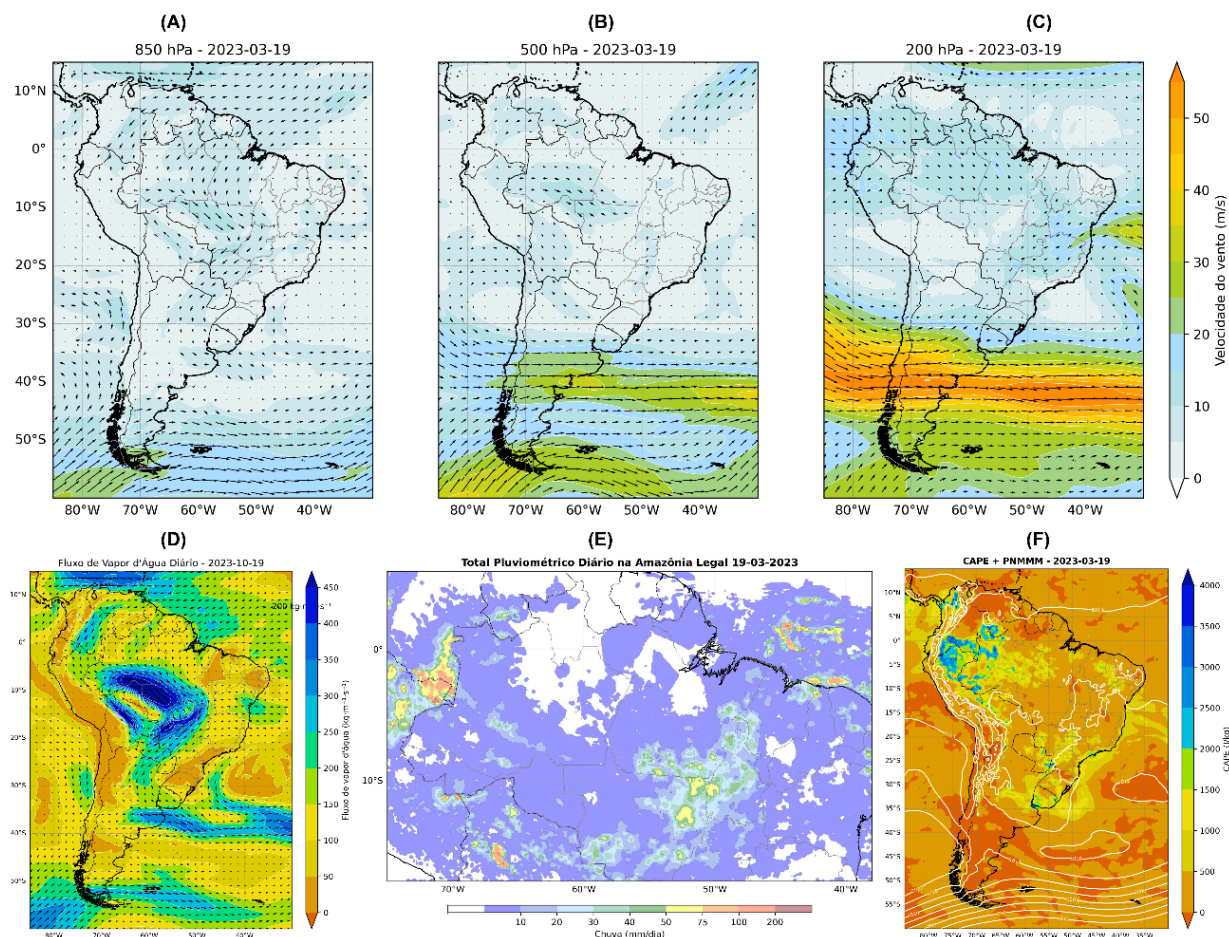


Figura 2 – Campos médios de velocidade e direção do vento nos níveis de 850 hPa (A), 500 hPa (B) e 200 hPa (C); Fluxo de Vapor d'Água Integrado na Coluna Atmosférica – Fvapor (D); precipitação estimada pelo MERGE (E); e valores de CAPE e PNMM (F), referentes ao dia 19 de março de 2023.

Complementando a análise sinótica apresentada na Figura 2, as imagens do satélite GOES-16 (Figura 3), referentes à Banda 13, permitem observar a evolução da nebulosidade sobre Rondônia ao longo do dia 19 de março de 2023, evidenciando o comportamento diurno da convecção na região. Foram analisados os horários de 06, 12 e 18 UTC de 19/03 e 00 UTC de 20/03, correspondentes, respectivamente, a 2h, 8h, 14h e 20h no horário local de Rondônia

(UTC-4). Entre 06 e 12 UTC, predominaram nuvens de topo quente, com temperaturas de brilho superiores a 240 K, indicando convecção fraca e a presença de nebulosidade predominantemente média e baixa (Lee, Kummerow & Zupanski, 2020; Wilcox, Yuan & Song, 2023). No período entre 18 UTC de 19/03 e 00 UTC de 20/03, as temperaturas de brilho diminuíram, atingindo valores inferiores a 240 K, sugerindo maior desenvolvimento vertical das nuvens. Contudo, o padrão ainda se apresentava esparsos, sem formação de sistemas convectivos organizados ou estruturas circulares típicas de cumulonimbus (Lee, Kummerow & Zupanski, 2020; Wilcox, Yuan & Song, 2023), principais responsáveis por eventos de precipitação intensa.

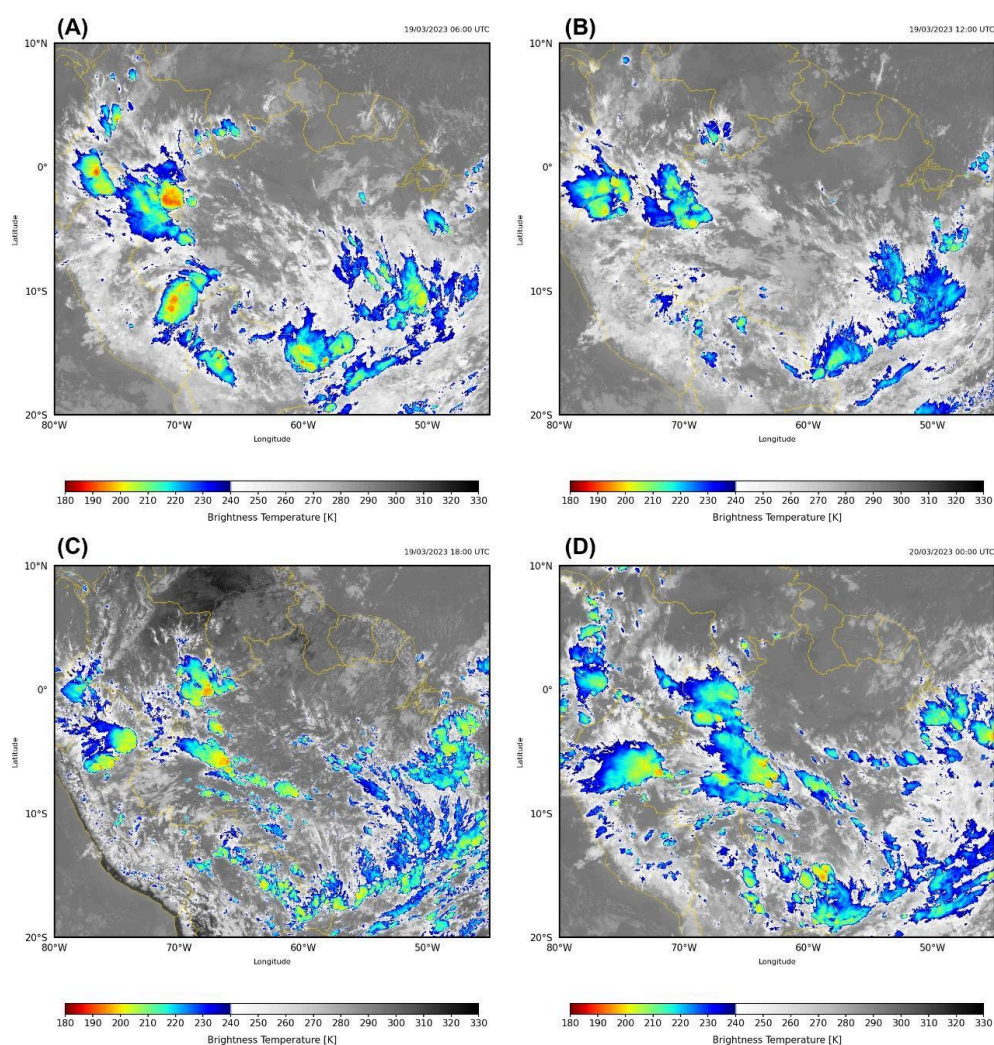


Figura 4 – Temperatura de brilho do canal infravermelho (Banda 13) do satélite GOES-16 sobre a Amazônia Legal, para as 06 UTC (A), 12 UTC (B) e 18 UTC (C) de 19/03/2023 e 00 UTC (D) de 20/03/2023.

As características observadas sobre Rondônia são compatíveis com nuvens estratiformes (Figura 4), possivelmente do tipo nimbostratus, associadas a chuvas fracas, em concordância com os baixos acumulados de precipitação estimados pelo MERGE (Figura 2E). Além disso, as imagens de satélite destacam o transporte de umidade em direção ao estado de Rondônia, coerente com o padrão de fluxo de vapor d'água identificado na análise sinótica (Figura 2D), reforçando a fase de pré-condicionamento atmosférico observada no início do evento.

No dia 21 de março (Figura 5), registrou-se fortalecimento do sistema ciclônico em baixos e médios níveis, associado a um corredor de umidade oriundo da Amazônia setentrional e do Atlântico (Figura 5D). A instabilidade termodinâmica aumentou, com CAPE de 1500–2000 J/kg em Porto Velho e valores superiores a 2000 J/kg no Acre e sudoeste da Amazônia (Figura 3F). Entretanto, mesmo em áreas com CAPE reduzido (<500 J/kg), ocorreram acumulados superiores a 100 mm/dia, indicando que a precipitação extrema foi condicionada principalmente por forçantes dinâmicas. Esse resultado reforça que a intensidade da chuva não depende unicamente da magnitude da instabilidade, mas da interação entre dinâmica e disponibilidade de umidade (Schiro et al., 2018; Viscardi et al., 2024).

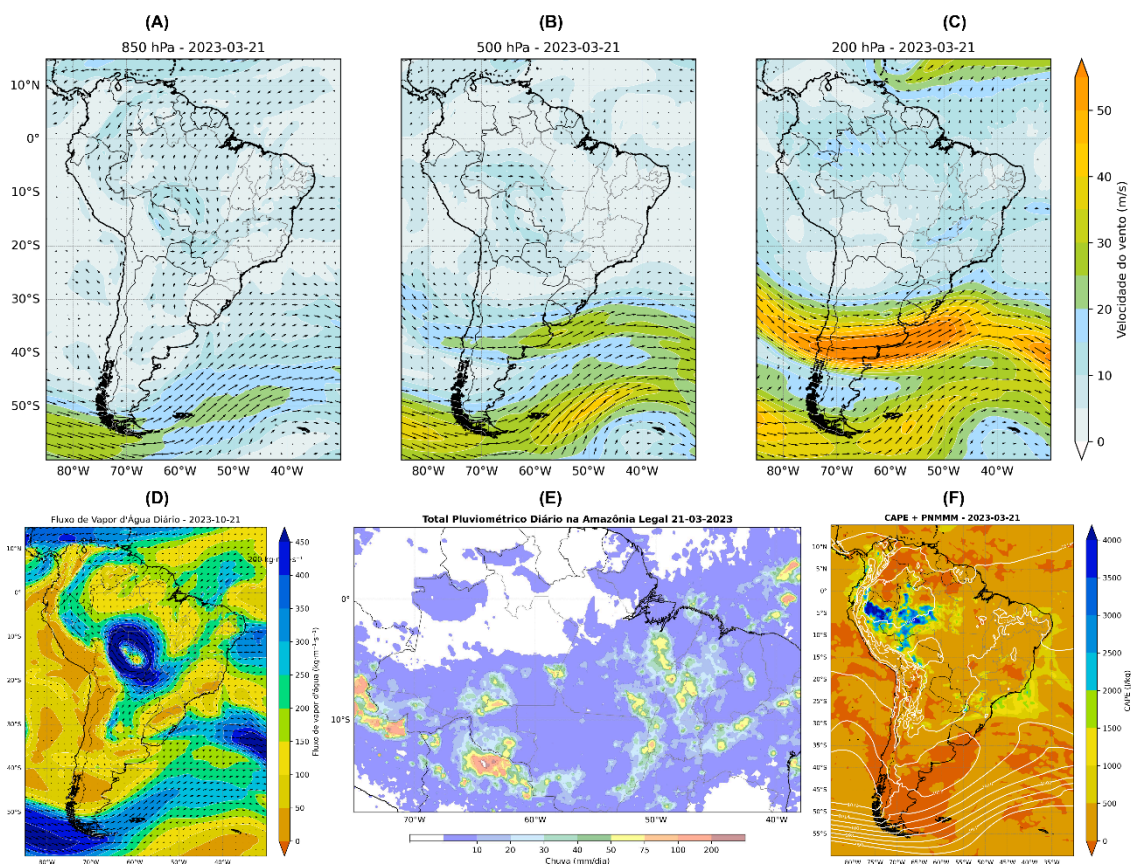


Figura 5 – Campos médios de velocidade e direção do vento nos níveis de 850 hPa (A), 500 hPa (B) e 200 hPa (C); Fluxo de Vapor d'Água Integrado na Coluna Atmosférica – Fvapor (D); precipitação estimada pelo MERGE (E); e valores de CAPE e PNMM (F), referentes ao dia 21 de março de 2023.

Na Figura 6, as imagens do satélite GOES-16, referentes à Banda 13, permitem observar a evolução da nebulosidade sobre Rondônia ao longo do dia 21 de março de 2023. Foram analisados os horários de 06, 12 e 18 UTC de 21/03 e 00 UTC de 22/03, correspondentes, respectivamente, a 2h, 8h, 14h e 20h no horário local de Rondônia (UTC-4). Comparativamente ao dia 19/03/2023, observa-se um padrão significativamente distinto na forma e na temperatura de brilho das nuvens. Predominam núcleos com forma circular e temperatura de brilho inferior a 220 K, características típicas de nuvens cumulonimbus associadas a tempestades severas (Lee, Kummerow e Zupanski, 2020; Wilcox, Yuan e Song, 2023; Viscardi et al., 2024). Esse desenvolvimento vertical indica

maior convecção profunda e está em concordância com os elevados acumulados de precipitação estimados pelo MERGE para o dia 21 (> 100 mm/dia), refletindo o pico da atividade convectiva da sequência de eventos entre 19 e 22 de março.

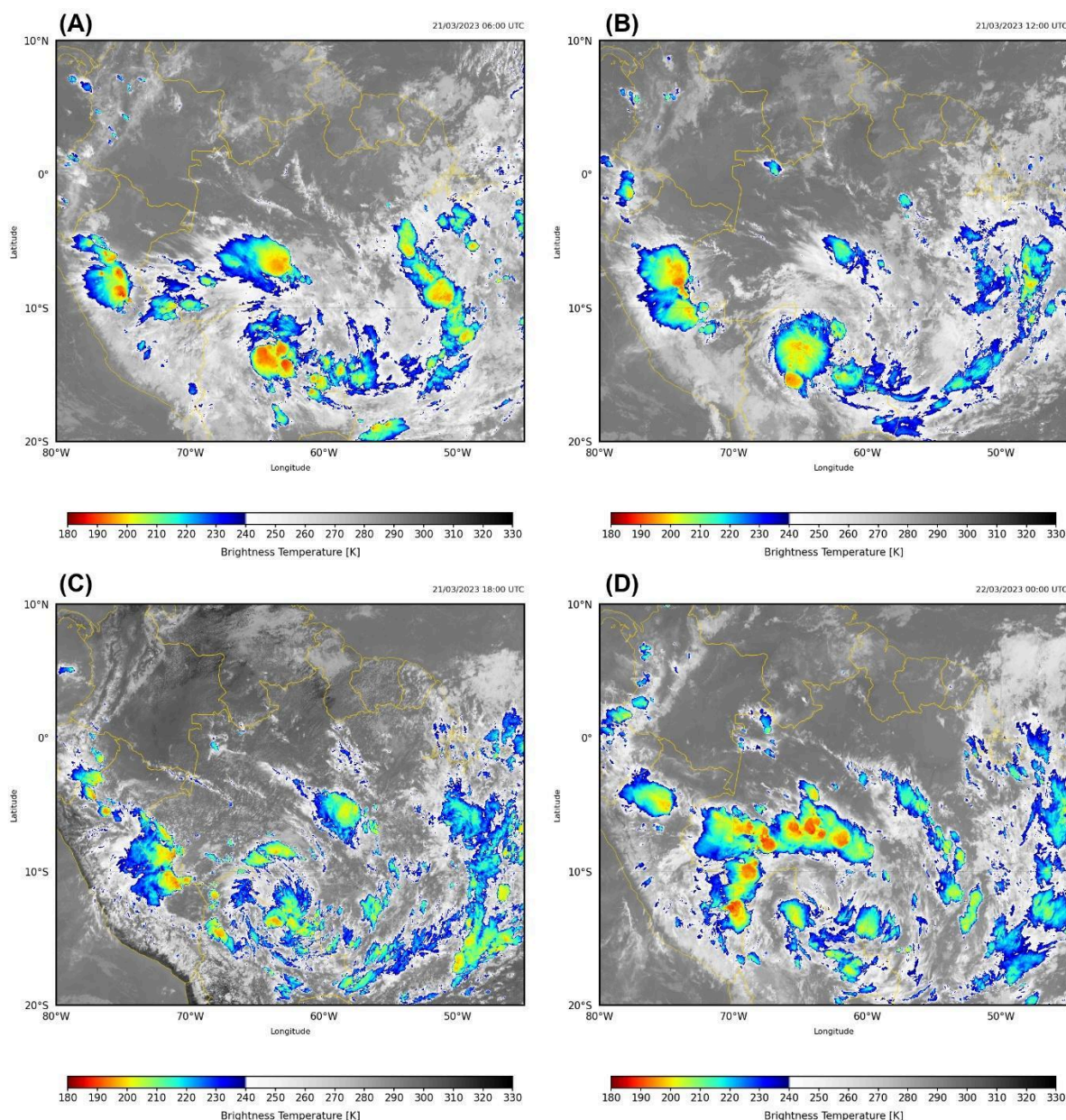


Figura 6 – Temperatura de brilho do canal infravermelho (Banda 13) do satélite GOES-16 sobre a Amazônia Legal, para as 06 UTC (A), 12 UTC (B) e 18 UTC (C) de 21/03/2023 e 00 UTC (D) de 22/03/2023.

A análise da Figura 6D evidencia ainda um padrão de circulação ciclônica associado à organização da nebulosidade, consistente com o escoamento de ventos observado nos níveis baixos e médios da atmosfera (Figura 5A, B) e com o transporte intenso de umidade sobre Rondônia (Figura 5C). Esse padrão atmosférico reforça a interpretação de instabilidade dinâmica e termodinâmica, demonstrando como a convergência de umidade e a circulação ciclônica favoreceram a intensificação da convecção profunda. Dessa forma, a integração das imagens de satélite com os campos sinóticos fornece uma visão coerente e detalhada da dinâmica das tempestades, permitindo correlacionar a morfologia das nuvens com os mecanismos meteorológicos responsáveis pela ocorrência de chuvas intensas na região.

O episódio de 19 a 22 de março de 2023 mostrou que precipitações extremas na Amazônia meridional não dependem exclusivamente de altos valores de CAPE. A combinação de circulação ciclônica em baixos e médios níveis, escoamento anticiclônico em altos níveis e transporte intenso de vapor d'água sustentou a intensificação das chuvas, mesmo com instabilidade termodinâmica moderada. Esses resultados confirmam a importância da sinergia entre processos dinâmicos e termodinâmicos, em concordância com estudos anteriores (Marengo et al., 2004; Schiro et al., 2018; Viscardi et al., 2024).

Considerações Finais

A análise do evento de tempestade severa ocorrido entre 19 e 22 de março de 2023 em Rondônia permitiu identificar os principais fatores atmosféricos responsáveis por sua gênese e intensificação. Verificou-se que a combinação entre circulação ciclônica em baixos e médios níveis, escoamento anticiclônico em altos níveis e intenso transporte de vapor d'água da Amazônia central e do Atlântico favoreceu a formação de um ambiente altamente úmido e propício à convecção profunda.

Os resultados mostraram que a ocorrência de precipitação extrema não dependeu exclusivamente de altos valores de instabilidade termodinâmica (CAPE), mas da interação entre mecanismos dinâmicos e termodinâmicos, que sustentaram a organização e a persistência das chuvas. Essa constatação reforça a necessidade de análises integradas, que considerem tanto o transporte de umidade quanto a estrutura da circulação atmosférica para a compreensão e previsão de eventos extremos na região amazônica.

Os impactos observados, como alagamentos e interrupções de vias, evidenciam a vulnerabilidade urbana e rural de Rondônia frente a tempestades severas. O estudo reforça a importância de integrar observações meteorológicas, dados de satélite e reanálises para aprimorar o monitoramento e o Nowcasting na Amazônia Legal. Tais resultados podem subsidiar medidas de prevenção e mitigação de danos socioambientais.

Referências

- AFONSO, M. Chuvas alagam ruas, causam desbarrancamentos e inundam casas e comércios de Nova Brasilândia, RO. g1, Porto Velho, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2023/03/21/chuvas-alagam-ruas-causam-desbarrancamentos-e-inundam-casas-e-comercios-de-nova-brasilandia-ro.ghml>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- ALMUDI, Tiago; SINCLAIR, A. John. Extreme hydroclimatic events in rural communities of the Brazilian Amazon: local perceptions of change, impacts, and adaptation. **Regional environmental change**, v. 22, n. 1, p. 27, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01857-0>.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDRADE, L. de M. B. *et al.* Health-related vulnerability to climate extremes in homoclimatic zones of Amazonia and Northeast region of Brazil. **PloS one**, v. 16, n. 11, p. e0259780, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259780>.
- BRITO, A. L.; VEIGA, J. A. P.; YOSHIDA, M. C. Extreme rainfall events over the Amazon basin produce significant quantities of rain relative to the rainfall climatology. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 4, n. 2, p. 179-191, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.42021>.

CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (CENSIPAM). Boletim Climático da Amazônia: Prognóstico março, abril e maio/2023. Volume 19, número 02, fevereiro de 2023. ISSN 2966-4470. Disponível em: <https://panorama.sipam.gov.br/painel/meteorologia/boletim/download/712>. Acesso em: 14 agosto de 2025.

CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (CENSIPAM). Boletim Climático da Amazônia: Prognóstico outubro, novembro e dezembro/2024. Volume 20, número 09, setembro de 2024. ISSN 2966-4470. Disponível em: <https://panorama.sipam.gov.br/painel/meteorologia/boletim/download/731>. Acesso em: 14 agosto de 2025.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Previsão de risco geo-hidrológicos. 20 mar. 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/ceaden/pt-br/assuntos/riscos-geo-hidrologicos/20-03-2023-previsao-de-risco-geo-hidrologicos>. Acesso em: 6 out. 2025.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Previsão de risco geo-hidrológicos. 21 mar. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/ceaden/pt-br/assuntos/riscos-geo-hidrologicos/21-03-2023-previsao-de-risco-geo-hidrologicos>. Acesso em: 6 out. 2025.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Previsão de risco geo-hidrológicos. 22 mar. 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/ceaden/pt-br/assuntos/riscos-geo-hidrologicos/22-03-2023-previsao-de-risco-geo-hidrologicos>. Acesso em: 6 out. 2025.

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. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123%3C3163:ECAWAS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123%3C3163:ECAWAS%3E2.0.CO;2).

CORONA, F. (2023, março 23). **Atenção:** Defesa Civil estadual e de Porto Velho estão em alerta com cheia do Rio Madeira. Rondoniaovivo. Disponível em: <https://www.rondoniaovivo.com/noticia/geral/2023/03/23/atencao-defesa-civil-estadual-e-de-porto-velho-estao-em-alerta-com-cheia-do-rio-madeira.html>. Acesso em 12 de maio de 2025.

DA FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia—período 1981-2011. **Revista Geografias**, v. 11, n. 1, p. 44-58, 2015. DOI: <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13392>.

G1 RO. Cratera na BR-364: não há previsão para liberação da rodovia entre RO e AC, diz PRF. g1, Porto Velho, 20 mar. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2023/03/20/interdicao-cratera-br-364-extrema-porto-velho-e-acre.ghml>. Acesso em: 20 ago. 2025.

G1 RO. Pelo menos cinco pontos de rodovias estaduais estão interditados por causa das enchentes em RO. g1, Porto Velho, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2023/03/21/pelo-menos-cinco-pontos-de-rodovias-e-estaduais-estao-interditados-por-causa-das-enchentes-em-ro.ghhtml>. Acesso em: 20 ago. 2025.

G1 RO. Rio Madeira ultrapassa 14 metros e entra em cota de atenção em Porto Velho. g1, Porto Velho, 22 mar. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2023/03/22/rio-madeira-ultrapassa-14-metros-e-entra-em-cota-de-atencao-em-porto-velho.ghhtml>. Acesso em: 20 ago. 2025.

GALARNEAU JR, T. J. *et al.* Tropical mesoscale convective system formation environments. **Atmospheric Science Letters**, v. 24, n. 5, p. e1152, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/asl.1152>.

GIANGRANDE, S. E.; BISCARO, T. S.; PETERS, J. M. Seasonal controls on isolated convective storm drafts, precipitation intensity, and life cycle as observed during GoAmazon2014/5. **Atmospheric chemistry and physics**, v. 23, n. 9, p. 5297-5316, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-23-5297-2023>.

GONÇALVES, K. dos S. *et al.* Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3809-3818, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.14272013>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 12 maio 2025.

LEE, Y.; KUMMEROW, C. D.; ZUPANSKI, M. A simplified method for the detection of convection using high resolution imagery from GOES-16. **Atmospheric Measurement Techniques Discussions**, v. 2020, p. 1-26, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-14-3755-2021>.

MACHADO, L. A. T. *et al.* Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 6, p. 1630-1654, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1998\)126%3C1630:LCVOMC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1998)126%3C1630:LCVOMC%3E2.0.CO;2).

MARENGO, J. A. *et al.* Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP–NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. **Journal of climate**, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017%3C2261:COTLJE%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017%3C2261:COTLJE%3E2.0.CO;2).

MARENGO, J. A. *et al.* Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 5, p. 833-852, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014%3C0833:OAEOTR%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014%3C0833:OAEOTR%3E2.0.CO;2).

MARENGO, J. A. *et al.* Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 1-21, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.2254>.

MOREIRA, R. E. de A. Deslocamentos induzidos por desastres relacionados à chuva no Brasil entre 2013 e 2022. **REMHU: Revista Interdisciplinar da Mobilidade Humana**, v. 32, p. e321876, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-858525038800032206>.

NOAA/NESDIS/STAR. **GOES-R Series Advanced Baseline Imager (ABI) Level 2 Cloud and Moisture Imagery Product (CMIPF)**. NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI), 2017. Disponível em: <https://registry.opendata.aws/noaa-goes/>. Acesso em: 7 out. 2025.

OLMO, M. E., BETTOLLI, M. L. Extreme daily precipitation in southern South America: statistical characterization and circulation types using observational datasets and regional climate models. *Clim Dyn* **57**, 895–916 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05748-2>.

ROZANTE, J. R. *et al.* Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather and forecasting**, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>.

ROZANTE, J. R. *et al.* Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 19, p. 7585-7604, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1763504>.

ROZANTE, J. R.; ROZANTE, G. IMERG V07B and V06B: A Comparative Study of Precipitation Estimates Across South America with a Detailed Evaluation of Brazilian Rainfall Patterns. **Remote Sensing**, v. 16, n. 24, p. 4722, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16244722>.

SANTOS, R. S. *et al.* Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55285>.

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, n. 1, p. 195-209, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0637-7>.

SÁTYRO, Z. C. *et al.* Urban sprawl can inhibit convection and decrease rainfall over an Amazonian city during a squall line type phenomenon. **Urban Climate**, v. 40, p. 101023, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101023>.

SBALCHIERO, R. (2023, março 21). **Urgente**: Alta Floresta D'Oeste amanhece com vários pontos alagados. Floresta Notícias. Disponível em: <https://www.florestanoticias.com>. Acesso em 12 de maio de 2025.

SOUZA, E. B. de et al. Small municipalities in the Amazon under the risk of future climate change. **Climate**, v. 12, n. 7, p. 95, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli12070095>.

SOUZA, V. A. S. *et al.* Análise de eventos pluviométricos extremos no município de Ji-Paraná, Rondônia/Analysis of extreme rainfall events in the city of Ji-Paraná, Rondônia. **Revista Pesquisa & Criação**, v. 10, n. 2, p. 139-151, 2011. Disponível em: <https://periodicos.unir.br/index.php/propesq/article/view/420>.

SOUZA, V. A. S. *et al.* Extreme rainfall events in Amazonia: The Madeira river basin. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100316, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100316>.

TSAI, W.-M. *et al.* Co-occurring atmospheric features and their contributions to precipitation extremes. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 130, n. 5, p. e2024JD041687, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1029/2024JD041687>.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 92, n. D8, p. 9591-9613, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1029/JD092iD08p09591>.

VISCARDI, L. A. M. *et al.* Environmental controls on isolated convection during the Amazonian wet season. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 24, n. 15, p. 8529-8548, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-24-8529-2024>.

WILCOX, E. M.; YUAN, T.; SONG, H. Deep convective cloud system size and structure across the global tropics and subtropics. **Atmospheric Measurement Techniques**, v. 16, n. 21, p. 5387-5401, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-16-5387-2023>.

WU, M. *et al.* Suppressed daytime convection over the Amazon River. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 126, n. 13, p. e2020JD033627, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020JD033627>.

YOON, A. *et al.* Extreme events in the Amazon after deforestation. **EGUsphere**, v. 2025, p. 1-21, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-3221>.

ZUBIETA, R. *et al.* Assessing precipitation concentration in the Amazon basin from different satellite-based data sets. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 7, p. 3171-3187, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6009>.