

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO EXTREMA DIÁRIA EM RONDÔNIA: APLICAÇÃO DE ÍNDICES E TENDÊNCIAS NA SÉRIE HISTÓRICA 1980-2020

Rodrigo Martins Moreira

Universidade Federal de Rondônia, Departamento de Engenharia Ambiental, Ji-Paraná, RO, Brasil
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Rolim de Moura, RO, Brasil
rodrigo.moreira@unir.br

Bruno César dos Santos

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, São Carlos, SP, Brasil
bcsantos@ufscar.br

Rafael Grecco Sanches

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil
rafagsanches@alumni.usp.br

Paulo Henrique de Souza

Universidade Federal de Alfenas, Departamento Ciências da Natureza, Alfenas, MG, Brasil
paulohenrique.souza@unifal-mg.edu.br

RESUMO

Este estudo analisa as tendências das precipitações diárias no estado de Rondônia ao longo de 40 anos (1980-2020) utilizando índices climáticos. Foram analisados os totais anuais de precipitação (PRCPTOT), máximos diários (RX1-dia), máximos acumulados em 5 dias (RX5-dias), dias consecutivos secos (CDD) e úmidos (CWD), e dias chuvosos com precipitação acima de um determinado limiar (Rnn). Os resultados indicam uma diminuição das precipitações normais no Norte e Sul do estado, enquanto no Centro-Oeste e Centro-Leste, as precipitações normais apresentam um aumento. As chuvas extremas, acima de 45mm, mostram um aumento de 30% em algumas localidades, enquanto as chuvas intensas (≤ 36 mm) permanecem dentro dos padrões normais. A análise espacial revela que a região centro-norte de Rondônia experimenta uma redução dos eventos extremos, sugerindo um impacto das mudanças climáticas sobre o clima equatorial brasileiro. Compreender essas dinâmicas é fundamental para o planejamento e gestão de recursos hídricos e políticas públicas, visando a mitigação dos impactos climáticos na população rondoniense.

Palavras-chave: Mudança climática. Precipitação. Impactos regionais. Gestão hídrica.

ANALYSIS OF DAILY EXTREME PRECIPITATION IN RONDÔNIA: THE USE OF INDICES AND TRENDS IN THE 1980–2020 HISTORICAL SERIES

ABSTRACT

This study analyzes trends in daily precipitation trends in the state of Rondônia over a 40-year period (1980-2020) using climate indices. The analysis covered annual precipitation totals (PRCPTOT), maximum daily precipitation (RX1day), maximum accumulated precipitation over 5 days (RX5day), consecutive dry days (CDD) and consecutive wet days (CWD), and rainy days with precipitation above a specific threshold (Rnn). Results indicate a decrease in normal precipitation in the northern and southern regions of the state, while the central-western and central-eastern areas, exhibit an increase in normal precipitation. Extreme rainfall events above 45mm show an increase of up to 30% in some locations, while intense rainfall (≤ 36 mm) remains within normal patterns. Spatial analysis reveals a reduction in extreme events in the central-northern region of Rondônia, suggesting the influence of climate change on the Brazilian equatorial climate. Understanding these dynamics is crucial for water resource planning and management, as well as the development of public policies aimed at mitigating the impacts of climate change on the population of Rondônia.

Keywords: Climate change. Precipitation. Regional impacts. Water management.

INTRODUÇÃO

O Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) projeta um aumento de 1,5 °C na temperatura média global nas próximas duas décadas (IPCC, 2022). Esse aumento tende a intensificar os processos de evapotranspiração e a elevar a concentração de vapor d'água na atmosfera, promovendo alterações em variáveis climáticas fundamentais, como a pressão barométrica, a velocidade dos ventos e a pressão de vapor, com impactos significativos sobre os padrões de precipitação.

Nesse cenário, a análise de eventos climáticos extremos do passado tem se consolidado como uma estratégia central para a compreensão da natureza e da dinâmica das mudanças nos padrões atuais. Com o avanço das ciências climáticas, estudos voltados à detecção e à caracterização desses eventos têm recorrido a métodos estatísticos cada vez mais robustos, capazes de identificar padrões complexos de variabilidade climática (Kemp et al., 2022). Diversas pesquisas têm relatado o aumento da frequência de eventos extremos, tais como precipitações intensas, ondas de calor, inundações e secas, tanto em escala global quanto regional (Zhou et al., 2021; Mohammed et al., 2022; Gebremichael et al., 2022; De Bodas Terassi et al., 2022).

As agendas internacionais e a comunidade científica climática convergem na constatação de que quaisquer alterações na frequência e intensidade desses eventos resultam em impactos significativos sobre os sistemas naturais e antrópicos. Tais eventos extremos são definidos como a ocorrência de valores de uma variável climática que excedem limites próximos aos máximos ou mínimos historicamente observados (Gebremichael et al., 2022).

Dada a magnitude e os impactos dos eventos extremos de precipitação, estudos voltados à sua identificação demandam séries temporais de alta resolução (diária), que permitam detectar e monitorar variações significativas nos padrões pluviométricos. Um dos principais desafios em análises regionais é a disponibilidade de séries históricas consistentes e com cobertura temporal suficiente — condição essencial para a identificação confiável de tendências estatísticas (De Bodas Terassi et al., 2022). Nesse contexto, a tomada de decisões estratégicas, especialmente no que se refere à mitigação de riscos e à alocação de recursos, depende diretamente da disponibilidade de informações confiáveis e de alta qualidade.

O avanço dos recursos computacionais e das plataformas de código aberto permitiu à climatologia integrar-se a ambientes estatísticos como o R, facilitando a análise de grandes volumes de dados e o cálculo automatizado de índices climáticos. Nesse sentido, destaca-se o uso do pacote RCLimindex, desenvolvido em linguagem R e operado na plataforma RStudio, que possibilita o cálculo de índices recomendados internacionalmente para a análise de extremos climáticos (Zhang et al., 2004).

Estudos recentes têm demonstrado a aplicabilidade e a eficácia do RCLimindex em contextos diversos. Mohammed et al. (2022), por exemplo, identificaram tendências de aumento em índices extremos em escalas anuais e sazonais. Já Buri, Keesara e Loukika (2022) aplicaram o RCLimindex em conjunto com o teste não paramétrico de Mann-Kendall na bacia do rio Munneru, na Índia, e observaram aumento significativo na média anual de dias com precipitação intensa (RX20mm), especialmente em áreas urbanizadas.

No presente estudo, os eventos extremos são analisados a partir da aplicação de um conjunto de índices climáticos específicos, entre os quais: total anual de precipitação (PRCPTOT), precipitação máxima em um único dia (RX1-dia), precipitação máxima em cinco dias consecutivos (RX5-dias), número de dias consecutivos secos (CDD), número de dias consecutivos úmidos (CWD) e número de dias com precipitação superior a um determinado limiar (Rnn).

Em estudos dessa natureza, é imprescindível que os dados utilizados não apresentem lacunas significativas, tanto em termos de continuidade temporal quanto de representatividade espacial. Neste trabalho, utilizaram-se dados provenientes de 17 estações pluviométricas distribuídas no estado de Rondônia, cada uma com séries históricas contínuas de 40 anos de registros diários de precipitação.

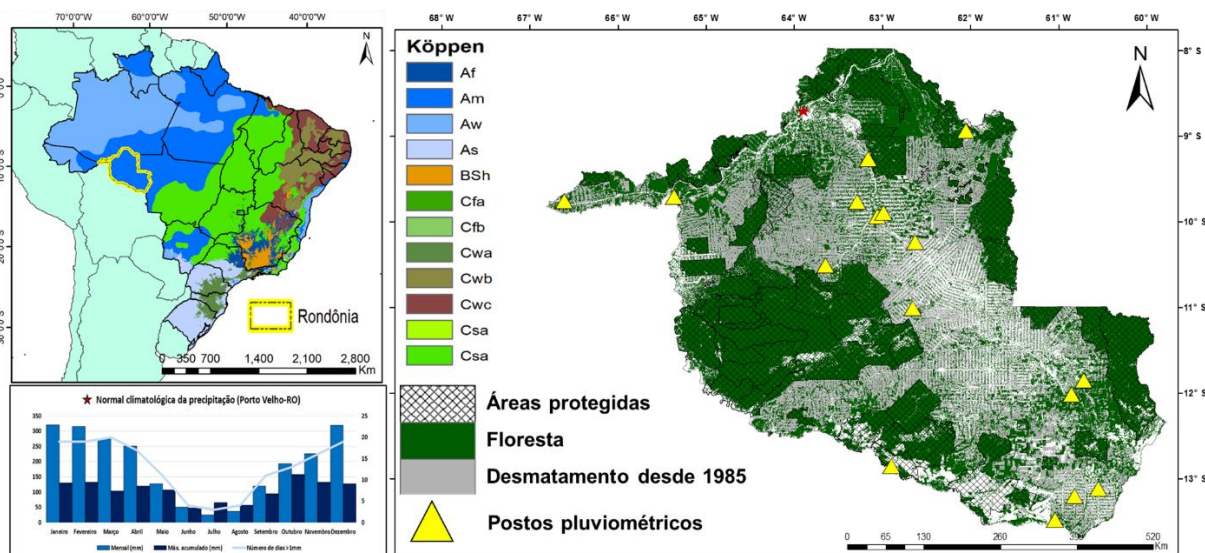
A inovação desta pesquisa reside na aplicação de índices climáticos para análise de tendências associadas às oscilações nos padrões de precipitação, com destaque para a definição e classificação dos valores diários em categorias de chuva normal, intensa e extrema para o estado de Rondônia. Adicionalmente, analisou-se a distribuição espacial desses índices e suas respectivas tendências, contribuindo para a compreensão regionalizada dos impactos das mudanças climáticas em relação ao uso e à ocupação do solo em áreas de floresta e não floresta.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde ao estado de Rondônia, localizado no sudeste do bioma Amazônico, na região Norte do Brasil. A região ocupa uma posição estratégica, tanto do ponto de vista econômico quanto em relação aos recursos hídricos (Figura 1). Do ponto de vista do uso e ocupação do solo, a região está inserida no arco do desmatamento, com intensa conversão de floresta primária em atividades agropecuárias, principalmente pastagens e monoculturas, devido ao avanço da fronteira agrícola sobre o território, resultando na transformação da paisagem nas últimas décadas.

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o território rondoniense apresenta dois tipos predominantes de clima: tropical chuvoso com estação seca bem definida (Aw) e tropical chuvoso com pequena estação seca (Am). A precipitação média anual varia entre 1.300 e 2.600 mm, com maior concentração nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, correspondentes ao trimestre mais chuvoso. A estação seca é bem marcada nos meses de junho, julho e agosto. As temperaturas médias anuais situam-se entre 24 °C e 26 °C (Franca, 2015).

Figura 1 - Localização do Estado de Rondônia: Tipo climático, uso e ocupação do solo, normal climatológica (1961-1990) e localização das estações pluviométricas, 2020



Fontes: Alvares *et al.*, 2013; MapBiomas, 2021; INMET, (2020). Organização: os autores, 2020.

Seleção das estações pluviométricas de superfície

A coleta das informações sobre precipitação registradas pelas estações foi realizada por meio do complemento para o QGIS *ANA Data Acquisition* (Petry *et al.*, 2021). Considerando o limite estadual de Rondônia como área de interesse, foram inicialmente selecionadas 162 estações. Dentre essas, apenas 28 apresentavam séries históricas com observações contínuas no período de 1981 a 2020. Após filtragem adicional, foram selecionadas 17 estações que apresentavam menos de 15% de falhas nos dados (ver Tabela 1).

Tabela 1 - Rondônia: Informações das estações pluviométricas de superfície para Rondônia

Código	Latitude	Longitude	Falhas (%)	Elevação (m)
862000	-8.93	-62.06	10	80
963000	-9.93	-63.06	8.2	114
963001	-9.26	-63.16	2.6	98
963004	-9.89	-62.99	5.8	113
965001	-9.70	-65.36	10.8	98
966000	-9.76	-66.61	4.5	148
1062001	-10.45	-62.47	6.6	143
1062002	-10.24	-62.63	3.1	220
1062003	-11.00	-62.66	10.7	251
1063000	-10.51	-63.65	10.1	187
1063001	-9.76	-63.29	11.3	115
1160000	-12.02	-60.86	5.1	264
1160001	-11.85	-60.72	9.6	269
1262000	-12.85	-62.90	6.3	158
1360000	-13.11	-60.55	11.2	419
1360001	-13.20	-60.82	9.2	257
1360002	-13.48	-61.05	7.6	171

Fonte: ANA, 2021. Elaboração: os Autores, 2020.

A base de dados mostrou-se satisfatória, apesar da presença de erros na série histórica e de falhas em algumas estações, que não ultrapassam 12%. Isso indica que os dados são relativamente robustos e mais completos do que os disponíveis em outras regiões afetadas no Brasil. No entanto, as estações meteorológicas de superfície em Rondônia, especialmente na região sudoeste da Amazônia, ainda são escassas e apresentam infraestrutura precária. Para o tratamento de falhas nas séries temporais, adotou-se como critério a exclusão de estações com mais de 15% de dados ausentes no período de 1981 a 2020, conforme práticas recomendadas em estudos climatológicos.

Ainda assim, os conjuntos de dados espaciais apresentaram limitações devido às falhas nas estações meteorológicas de superfície, cuja distribuição em Rondônia é desigual, concentrando-se principalmente nas regiões norte e sul do estado. Essa distribuição não representa de forma homogênea toda a área de estudo, o que compromete a abrangência dos dados históricos superficiais. Mesmo assim, as séries das estações selecionadas foram utilizadas como base para o cálculo dos índices climáticos extremos, por meio do pacote RCLimindex, conforme descrito na seção seguinte.

RCLimindex e índices climáticos

A observação temporal das chuvas é de grande interesse; contudo, notam-se diferentes técnicas utilizadas para essa finalidade ao longo do tempo. Observar a variabilidade da precipitação é essencial para a compreensão dos padrões climáticos, sendo realizada por meio de diversas técnicas de análise espacial e temporal. Nesse contexto, a identificação de tendências a partir de séries históricas de dados obtidos em estações pluviométricas constitui uma das principais abordagens para o entendimento da variabilidade pluviométrica e de suas associações com aspectos estatísticos, como frequência, picos de variância e significância.

Destaca-se, no cenário das ciências do clima, a importância da análise das tendências temporais e espaciais da precipitação, considerando tanto o volume total quanto os valores diários acumulados (Haylock et al., 2006; Dufek; Ambrizzi, 2008). Além disso, é relevante a investigação das correlações entre a precipitação e anomalias oceânicas (Haylock et al., 2006; Sugahara et al., 2008; Santos et al., 2012; Zilli et al., 2017; Vásquez et al., 2018), bem como o uso de métodos de interpolação de dados (de satélite e superfície) para análises espaciais (Rao et al., 2016).

Neste estudo, foi utilizada a versão 3.1.3 do pacote RClindex (Zhang et al., 2004), que permite o cálculo de uma série de índices climáticos, dos quais foram selecionados apenas aqueles relacionados à precipitação, conforme apresentado na Tabela 2

Diversos estudos têm utilizado essa ferramenta para analisar a evolução temporal e espacial do clima em diferentes regiões do Brasil e do mundo (Haylock et al., 2006; Drummond; Ambrizzi, 2008; Dufek; Ambrizzi, 2008; Mekis; Vincent, 2011; Santos et al., 2012; Stephenson et al., 2014; Santos; Ramos, 2018).

O RClindex calcula 27 índices básicos recomendados pelo grupo ETCCDMI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*), voltados à análise de temperatura e precipitação (Karl et al., 1999; Peterson et al., 2001). No presente trabalho, contudo, foram utilizados apenas os índices de precipitação listados na Tabela 2 (Zhang; Yang, 2004; Haylock et al., 2006; Santos et al., 2012; Stephenson et al., 2014; Sanches, 2015).

Tabela 2 - RClindex: Índices utilizados para análise dos dados de precipitação

Índice	Nome do índice	Definição	Unidade Observada
PRCPTOT	Total de chuvas acumuladas em um ano	Valor total anual de chuvas acumuladas nos dias úmidos (dias ≥ 1 mm)	mm
RX1 dias	Máximo de chuva acumulado em 1 dia	Máximo de chuva acumulada em um único dia	mm
RX5 dias	Máximo de chuva acumulada em 5 dias	Máximo de chuva acumulada em cinco dias consecutivos	mm
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias em que as chuvas < 1 mm	dias
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias em que as chuvas ≥ 1 mm	dias
Rnn^*	Dias chuvosos acima de nn milímetros	Número de dias acima de nn milímetros de chuva	dias

Admite-se RR_{ij} como a quantidade diária de precipitação num dia i num período j . Assim, nn^ representa qualquer valor razoável de precipitação diária, onde soma-se o número de dias, sendo: $RR_{ij} \geq nnmm$

Fonte: Zhang e Yang, 2004. Elaboração: os Autores, 2020.

Os índices foram calculados com base em dados pluviométricos e incluem, entre outros parâmetros, o valor máximo acumulado em um único dia de chuva (RX1-dia), o valor máximo acumulado em cinco dias consecutivos (RX5-dias), o número máximo de dias consecutivos secos (DCS), o número máximo de dias consecutivos úmidos (DCU) e o número de dias com precipitação acima de valores pré-estabelecidos com base na detecção de outliers (Rnn^*). Dentre os índices utilizados, destaca-se o Rnn^* , que representa o número de dias com precipitação superior a um determinado valor de referência, permitindo ajustes no limiar adotado para a caracterização de eventos intensos ou extremos.

A definição do valor de nn^* , correspondente a chuvas com comportamento anômalo (outliers), foi realizada por meio da identificação de outliers. Segundo Chrun, Cukier e Sneeringer (2008), a detecção de outliers pode ser compreendida como parte de um processo de análise da evolução temporal e da identificação de padrões excepcionais em séries históricas. Tal identificação é feita com base na média e na aplicação de limites definidos por três ou quatro desvios padrão (ver Equação 1):

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} + t * \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n}{n}} = \text{Outlier (Observação Anormal)} \quad (1)$$

em que x_i , representa o volume de chuvas em um dia i (em mm), n denota a quantidade de dias, e t é uma constante que pode assumir os seguintes valores: 3 para identificação de chuvas intensas e 4 para chuvas extremas. De acordo com Sanches (2015), as chuvas consideradas “habituais” são aquelas com volumes próximos à média diária; as “intensas” correspondem a volumes equivalentes a três vezes o desvio padrão em relação à média, enquanto as chuvas extremas correspondem a volumes equivalentes a quatro vezes o desvio padrão da média climatológica. Também é possível determinar valores (em milímetros de chuva), obtendo-se, como resposta, o número de dias, por ano, em que tais volumes foram registrados na área de estudo.

Teste de Laplace para tendência das chuvas

O teste de Laplace (*Laplace trend factor*) já foi aplicado em conjuntos de dados climatológicos para observar tendências nos valores de precipitação, como nos estudos de Sanches et al. (2020), Dos Santos et al. (2022) e Santos et al. (2024).

O teste estatístico de tendência de Laplace é um método não paramétrico comumente utilizado para detectar tendências em séries temporais de eventos. Esse teste é particularmente útil para identificar tendências crescentes ou decrescentes em sequências de dados. Valores negativos do fator de tendência de Laplace indicam tendência decrescente, enquanto valores positivos sugerem tendência crescente. Além disso, pontuações próximas de zero podem sinalizar ausência de tendência significativa. Assim como ocorre na análise de confiabilidade de sistemas, o teste de Laplace pode ser empregado para validar a adequação do modelo de taxas de falha (Gaudoin, 1992; Sanches et al., 2020; Dos Santos et al., 2022).

Estudos apontam que tais testes apresentam elevado poder estatístico para detectar diferentes magnitudes de tendência (Yue; Pilon, 2004; Blain, 2013; Natividade; Garcia; Torres, 2017; Cabral Júnior; Lucena, 2020). Hipel e McLeod (1994) investigaram, por exemplo, o desempenho do teste de Mann-Kendall para detecção de tendências em dados com distribuição normal, bem como o teste de correlação serial defasada para identificação de tendências determinísticas (Yue; Pilon, 2004; Blain, 2013; Natividade; Garcia; Torres, 2017; Cabral Júnior; Lucena, 2020).

O teste de Mann-Kendall, por sua vez, tem se mostrado robusto em áreas como a climatologia (Carvalho et al., 2019; Cabral Júnior; Lucena, 2020; Xavier Júnior et al., 2020; Terassi et al., 2022), hidrologia (Tozato; Dubreuil; Mello-Théry, 2013; Trindade et al., 2016; Moreira et al., 2020) e em estudos sobre bacias hidrográficas (Cunha et al., 2014; Penereiro; Martins; Beretta, 2015; Alves; Gonçalves; Nascimento, 2022).

A partir da aplicação desses testes estatísticos, torna-se possível analisar tendências em dados heterogêneos de precipitação, contribuindo para uma melhor compreensão dos padrões pluviométricos. O teste de tendência de Laplace, nesse contexto, destaca-se como uma ferramenta eficaz na detecção de variações na taxa de ocorrência de eventos pluviométricos ao longo do tempo, especialmente em análises de confiabilidade e em séries com presença de outliers (Gaudoin, 1992; Huang; Kuo; Lyu, 2007; Tsang, 2012).

A aplicação do método baseia-se em um conjunto de dados representado por um valor $u(t)$, considerando um dado período $[0, t]$, conforme demonstrado na Equação 2 (Kanoun et al., 1991):

$$u(t) = \frac{\sum_{i=1}^t ((i-1)n_i) - \frac{(t-1)}{2}}{\sqrt{\frac{t^2-1}{12(N(t))}}} \quad (2)$$

Nessa equação, t representa o número de meses; n_i , o valor da variável analisada no tempo i (isto é, o valor da precipitação anual nas respectivas estações); e $N(t)$, o número acumulado relativo à variável em análise.

O teste consiste em examinar os valores de tendência dos dados pluviométricos ao longo de um determinado período, a fim de identificar tendências de aumento ou diminuição da precipitação total nesse intervalo temporal. Quando apropriado, a análise também pode ser conduzida de forma localizada, permitindo a identificação de padrões espaciais distintos.

Para avaliar a significância estatística dessas tendências, é comum o uso de intervalos baseados no desvio padrão. Considerando dois desvios padrão, o intervalo resultante abrange aproximadamente 97% dos valores, sendo, portanto, ligeiramente mais conservador que o intervalo de confiança de 95% (associado a um valor crítico de 1,96), comumente utilizado sob a suposição de normalidade dos dados (Chrun et al., 2008; Chrun, 2011).

Interpolação dos resultados e produção dos mapas

Os mapas foram elaborados por meio da plataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS, utilizando-se o método de interpolação geostatística IDW (*Interpolação por Ponderação do Inverso da Distância*) para a espacialização dos valores de tendência dos índices pluviométricos calculados. Trata-se de um método que permite estimar, de forma espacial, valores em locais sem dados observados, com base na média ponderada dos valores das amostras vizinhas, sendo o peso inversamente proporcional à distância entre o ponto a ser interpolado e os pontos de referência dentro de uma vizinhança definida (Farias et al., 2017).

De acordo com Farias et al. (2017), esse interpolador apresenta desempenho superior na espacialização dos dados, com menores erros nos valores estimados em comparação com outros métodos. Na análise dos mapas gerados, também se consideraram informações sobre o uso e a ocupação do solo — com ênfase em áreas com cobertura florestal e sem floresta —, especialmente no tocante às zonas de proteção ambiental, por meio da sobreposição espacial dos resultados interpolados de cada índice de precipitação (valores máximos e tendências), conforme apresentado a seguir.

RESULTADOS

Análise dos valores máximos dos índices de precipitação entre 1980 e 2020

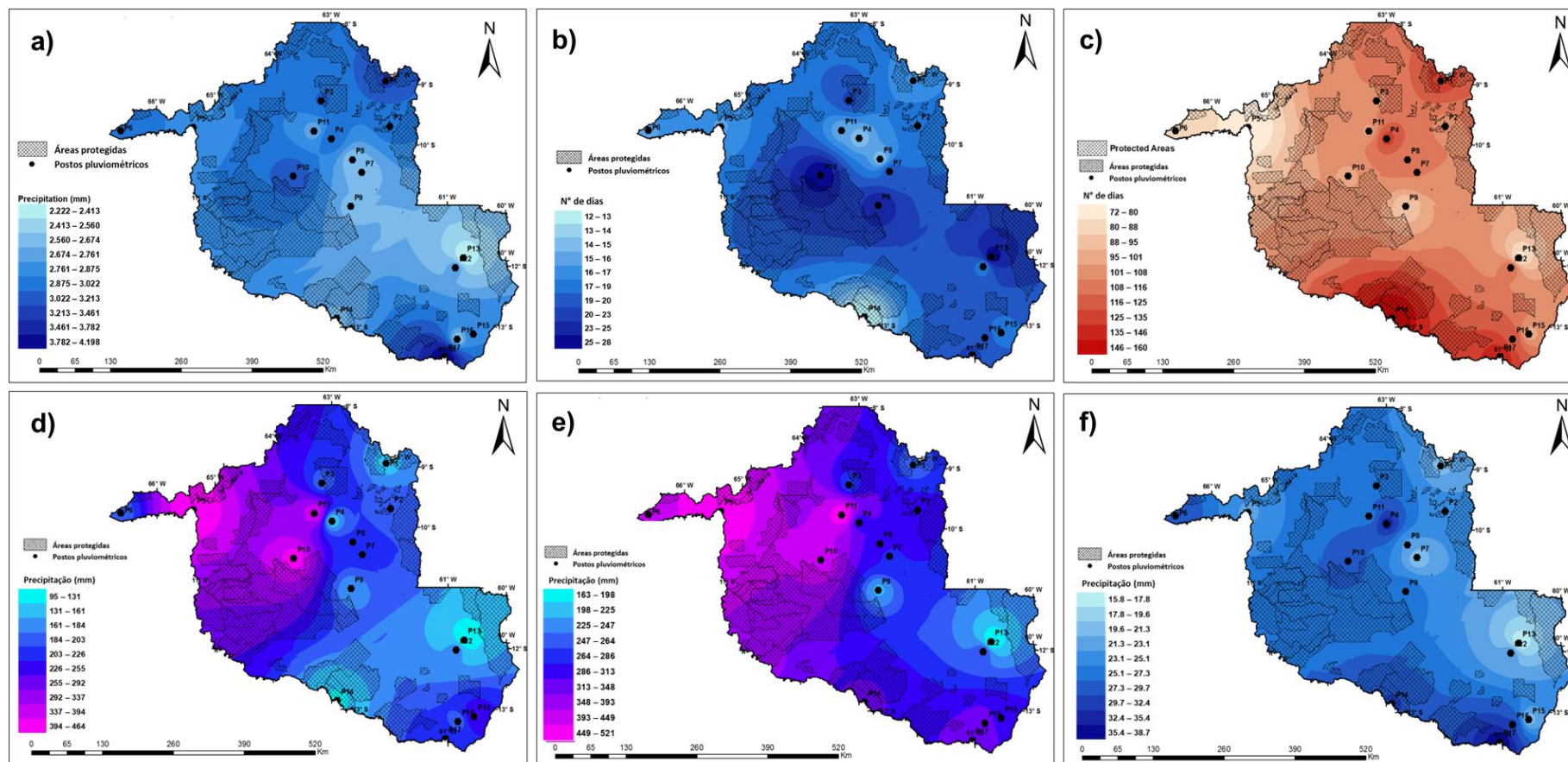
Com base na aplicação dos índices climáticos (PRCPTOT, CWD, CDD, RX1 dia, RX5 dias, SDII e Rnn), os resultados apresentados na Figura 2 ilustram, de forma espacializada, os mapas com os valores máximos de precipitação identificados ao longo da série histórica de quarenta anos (1980–2020). Para cada índice, é possível distinguir, nas áreas de floresta e não floresta, as regiões que registraram os maiores extremos de precipitação diária no território de Rondônia.

Os valores máximos dos volumes anuais de precipitação (PRCPTOT) variaram entre 2.222 mm e 4.198 mm (Fig. 2a). Espacialmente, as áreas localizadas ao sudeste (P7) e ao centro-norte (P10 e P1) do estado apresentaram os maiores acumulados anuais, enquanto a região centro-leste registrou os menores totais pluviométricos.

Quanto ao número de dias consecutivos úmidos (CWD) (Fig. 2b), observou-se um intervalo entre 11 e 28 dias de precipitação contínua. As regiões centro-oeste (P3, P9 e P10) e sudeste (P13) concentraram os maiores valores, ao passo que as regiões norte (P1, P4, P8 e P11) e sul (P14) apresentaram um número significativamente menor de dias chuvosos consecutivos.

Por outro lado, o número de dias consecutivos secos (CDD) (Fig. 2c) oscilou entre 72 e 160 dias de estiagem. As regiões meridional e setentrional foram aquelas que apresentaram os períodos mais prolongados sem precipitação, enquanto as regiões central e noroeste exibiram os menores intervalos de seca.

Figura 2 - Rondônia: Espacialização dos valores máximos das chuvas diárias entre o período 1980-2020. a) Máximo de precipitação acumulada em milímetros anual. b) Máximo de dias consecutivos úmidos. c) Máximo de dias consecutivos secos. d) Máximo acumulado em milímetros em um único dia. e) Máximo acumulado em milímetros em cinco dias. f) Intensidade máxima das chuvas em milímetros



Fonte: Os autores, 2020.

No que se refere aos máximos acumulados de precipitação em um único dia (RX1 dia) (Fig. 2d), os valores variaram entre 95 mm e 464 mm. Observa-se que as áreas situadas no noroeste do estado apresentaram os maiores volumes, enquanto as regiões ao sudeste registraram os menores acumulados. De forma semelhante, os máximos acumulados em cinco dias consecutivos (RX5 dias) (Fig. 2e) oscilaram entre 163 mm e 521 mm, com maiores concentrações no centro-norte e volumes mais baixos ao sudeste de Rondônia.

Por fim, a intensidade diária média da precipitação (SDII), expressa em milímetros por dia, apresentou seus valores mais elevados (38 mm) ao sul e os mais reduzidos (15 mm) ao leste do estado, conforme a distribuição espacial ilustrada na Figura 2f.

Análise das tendências dos índices pluviométricos em 40 anos

Após a avaliação espacial dos valores extremos da precipitação diária, a análise concentra-se agora nas tendências temporais dos índices PRCPTOT, CDD, CWD, RX1 dia, RX5 dias e SDII ao longo dos 40 anos da série histórica. Os mapas da Figura 3 evidenciam as áreas que apresentaram tendências de normalidade, redução ou aumento dos extremos de precipitação diária, tanto em regiões com cobertura florestal quanto sem floresta no estado de Rondônia.

O índice PRCPTOT (Precipitação Total Anual) revelou tendência predominantemente positiva em cerca de 65% dos postos pluviométricos, indicando aumento dos totais anuais de precipitação na maior parte do estado. Em contrapartida, as regiões norte e sul apresentaram tendência de redução, correspondendo a aproximadamente 29% dos postos. Apenas 6% das estações indicaram manutenção da precipitação dentro da normalidade climática.

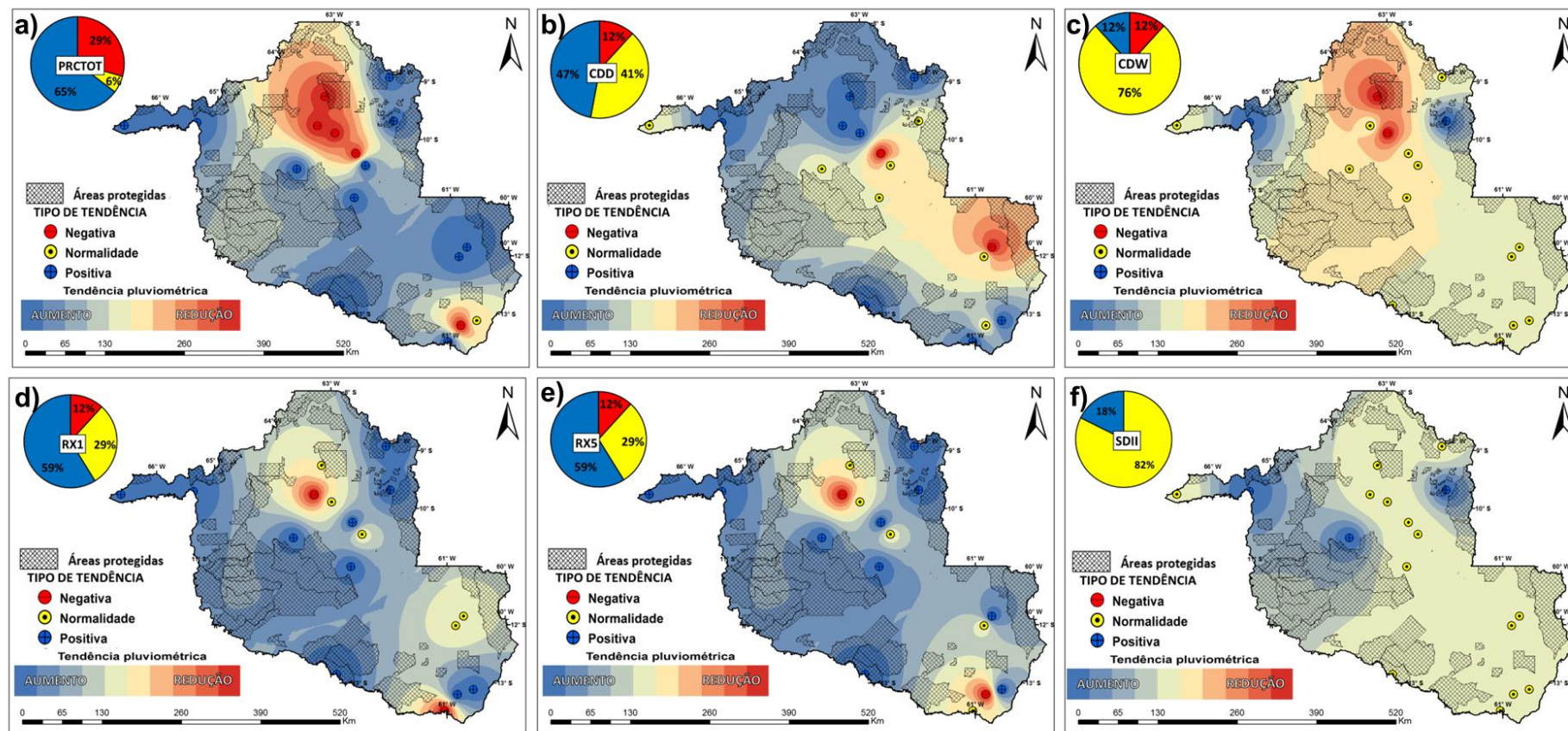
Para o índice CDD (Dias Consecutivos Secos), observou-se tendência de aumento em 47% dos postos, sinalizando maior duração dos períodos de estiagem, especialmente nas regiões norte e sul de Rondônia. Cerca de 41% das estações mantiveram-se dentro dos padrões de normalidade, enquanto 12% indicaram redução na duração do período seco, sobretudo em áreas ao leste do estado. Essas variações podem estar associadas à atuação prolongada de bloqueios atmosféricos, como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), além de fatores geográficos e do uso e ocupação do solo, que influenciam a intensificação ou atenuação dos períodos secos entre abril e setembro. Nos mapas, áreas com tendência de aumento da estiagem aparecem em azul, enquanto aquelas com tendência de redução são destacadas em vermelho, sinalizando um possível retorno aos padrões climáticos usuais.

No caso do índice CWD (Dias Consecutivos Úmidos), verificou-se predomínio de estabilidade em aproximadamente 76% dos postos pluviométricos, o que indica que a sequência de dias chuvosos permanece, em geral, dentro do padrão climático da região. Tendências de redução e de aumento ocorreram em cerca de 12% dos postos cada. Algumas áreas apontam para alterações no regime de chuvas consecutivas, especialmente durante o período úmido (dezembro a fevereiro), sugerindo uma possível diminuição no número de dias sucessivos com precipitação.

O índice RX1 dia (máximo de precipitação em um dia) apresentou tendência de aumento em cerca de 55% das estações, sugerindo intensificação dos eventos de chuva extrema diária em grande parte do estado. Em 29% dos postos, os valores permaneceram dentro da normalidade, enquanto 12% indicaram tendência de redução. Esses resultados revelam variações espaciais significativas no comportamento dos eventos extremos de curta duração.

Quanto ao índice RX5 dias (máximo de precipitação em cinco dias), a tendência também foi majoritariamente positiva: aproximadamente 59% dos postos indicaram aumento nos acumulados ao longo de episódios de cinco dias consecutivos. Cerca de 29% das estações mantiveram valores estáveis e 12% demonstraram redução, especialmente nas porções norte e sul do estado. Essas diferenças espaciais podem estar relacionadas, mais uma vez, às mudanças no uso e cobertura do solo, que afetam a resposta hidrológica local, podendo intensificar ou atenuar os volumes de precipitação associados à atuação de sistemas meteorológicos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Figura 3 - Rondônia: Distribuição espacial das tendências pluviométricas. a) PRCTOT - Precipitação Total Anual (mm). b) CDD – Dias Consecutivos Secos (nº de dia). c) CDW – Dias Consecutivos Úmidos (nº de dia). d) RX1 – Máximo de precipitação em um dia (mm). e) RX5 – Máximo de precipitação em cinco dias (mm). f) SDII – Índice simples de intensidade diária (mm/dia)



Fonte: Os autores, 2020.

Por fim, os dados relativos à intensidade diária da precipitação (SDII) indicaram que 82% das estações apresentaram estabilidade ao longo da série histórica, enquanto 18% registraram tendência de aumento na intensidade média das chuvas diárias.

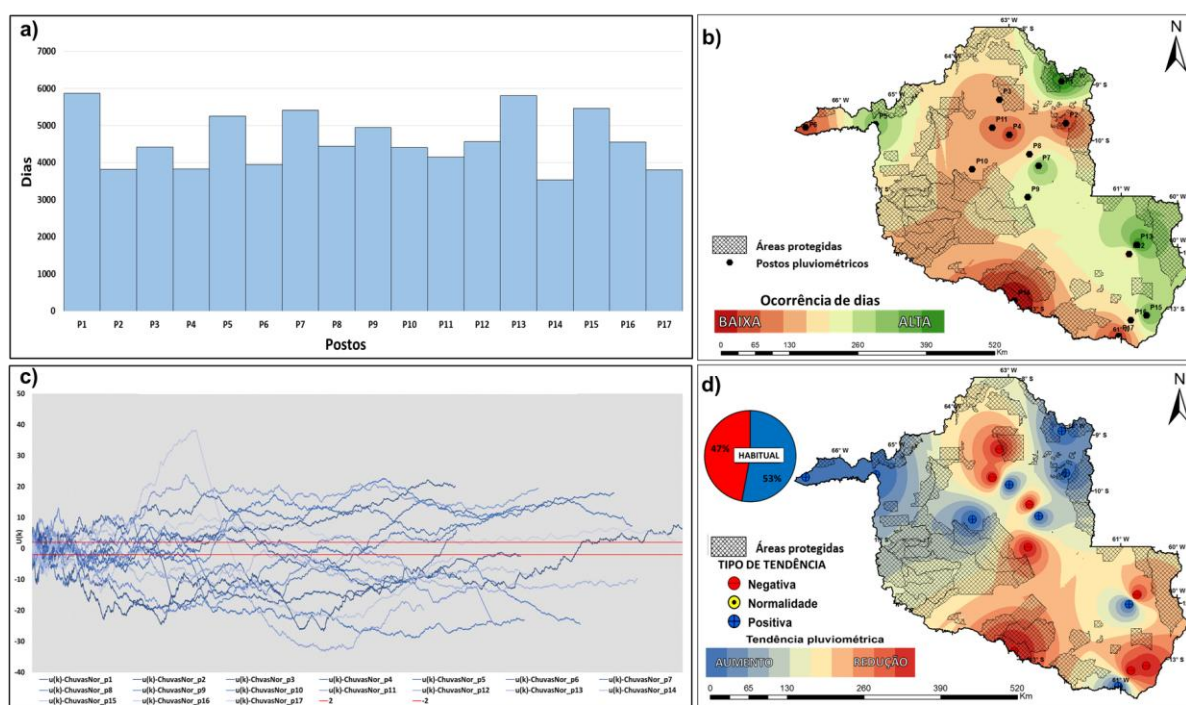
Análise das Chuvas Diárias por Níveis de Intensidade (habitual, intensa e extrema) em Rondônia (1980–2020)

Em última análise, buscou-se compreender o comportamento da precipitação diária com base em três níveis de intensidade: habitual, intensa e extrema. Para tanto, adotaram-se os seguintes limiares: chuvas habituais ($R \leq 36$ mm), chuvas intensas ($R > 36$ mm) e chuvas extremas ($R > 45$ mm).

A Figura 4 apresenta, por meio de gráficos e mapas, os resultados da análise referentes às chuvas diárias habituais. No gráfico da Figura 4a, observa-se que a ocorrência de chuvas habituais superou 3.500 dias na maioria das estações ao longo dos 40 anos analisados. Algumas estações registraram um máximo de aproximadamente 6.000 dias, enquanto outras apresentaram valores inferiores a 3.500 dias.

No mapa à direita (Fig. 4b), constata-se que cerca de 35,3% das estações registraram a maior incidência de dias com precipitação classificada como habitual (em verde). Em contrapartida, a menor frequência de dias com esse tipo de chuva (em vermelho) foi observada na maioria das estações, representando aproximadamente 64,7% do total.

Figura 4 - Rondônia: Chuvas diárias normal entre 1980-2020. a) Gráfico da ocorrência no número de dias de chuva normal. b) Mapa da frequência de dias de chuva normal. c) Gráfico das tendências da chuva normal. e) Mapa da distribuição espacial das tendências da chuva normal



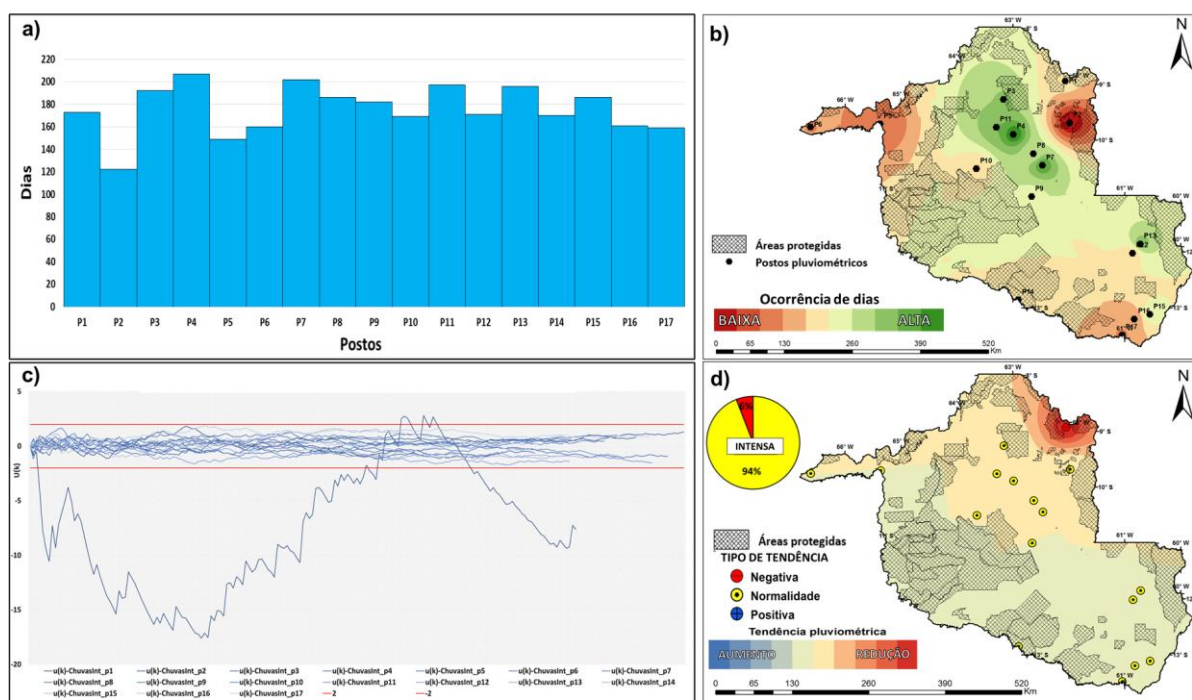
Fonte: Os autores, 2020.

O gráfico inferior da Figura 4(c) revela que as tendências na ocorrência de dias com chuva habitual oscilaram ao longo da série histórica, com períodos de aumento (valores superiores a +2) e de redução (valores inferiores a -2), evidenciando a variabilidade interanual no comportamento pluviométrico.

A Figura 4(d), por sua vez, ilustra espacialmente as tendências da ocorrência de chuvas habituais na área de estudo. Verifica-se um aumento na frequência de dias com chuva habitual em cerca de 53% das estações. Por outro lado, aproximadamente 47% das estações apresentaram tendência de redução, com destaque para as regiões norte e sul. Em contraste, as porções leste e oeste do estado evidenciaram aumento na frequência desse tipo de precipitação, revelando padrões regionais distintos no comportamento das chuvas habituais em Rondônia.

A Figura 5 sintetiza os resultados referentes às chuvas diárias intensas. O gráfico superior indica que, em geral, o número de dias com precipitação intensa ultrapassou 120 ao longo das quatro décadas analisadas. A menor ocorrência foi observada no posto P2, com aproximadamente 122 dias, enquanto o posto P4 registrou o maior número, com cerca de 207 dias.

Figura 5 - Rondônia: Chuvas diárias intensas entre 1980-2020. a) Gráfico do número de dias de chuva intensa b) Mapa da frequência de dias de chuva intensa c) Gráfico da tendência da chuva intensa e) Mapa da distribuição espacial das tendências da chuva intensa



Fonte: Os autores, 2020.

O mapa à direita, na parte superior da Figura 5, mostra que 47,1% das estações apresentaram maior frequência de dias com precipitação intensa (em verde), enquanto 52,9% registraram frequência inferior (em vermelho), evidenciando uma leve predominância de áreas com menor ocorrência de chuvas intensas.

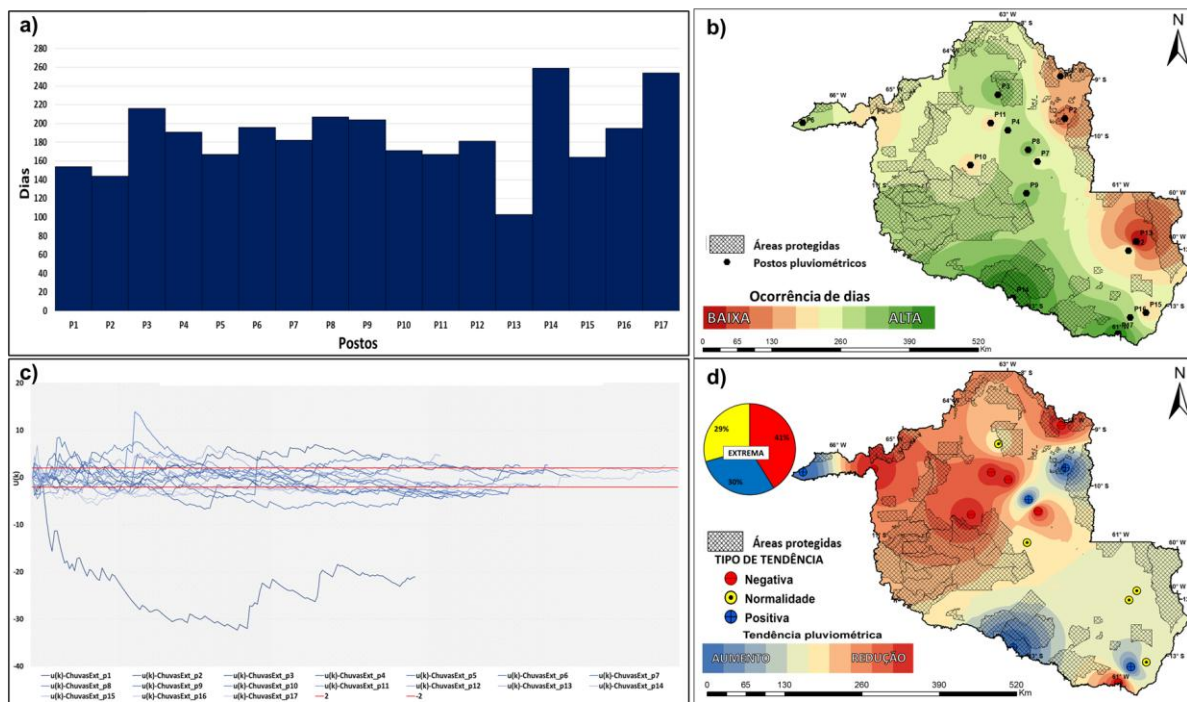
O gráfico inferior da Figura 5 demonstra que, para a maioria das estações, as tendências de dias com chuvas intensas permaneceram dentro do intervalo de +2 a -2, indicando estabilidade ao longo da série histórica. Apenas uma estação apresentou um padrão de tendência distinto.

Por fim, o mapa inferior da Figura 5 apresenta a distribuição espacial dessas tendências. Verifica-se que 94% das estações indicaram estabilidade na frequência das chuvas intensas, enquanto 6% apontaram tendência de redução, concentradas na região nordeste do estado. Esse padrão contribui para a identificação de áreas com maior probabilidade de ocorrência de eventos intensos, o que pode trazer implicações relevantes para o planejamento territorial, sobretudo no que diz respeito à gestão de riscos relacionados à ocupação e ao uso do solo em Rondônia.

A Figura 6 compila os resultados da análise das chuvas diárias extremas no estado de Rondônia. No gráfico superior da Figura 6(a), observa-se que a maioria dos postos pluviométricos registrou mais de

100 dias com ocorrência de chuvas extremas ao longo dos 40 anos analisados, com destaque para o posto P14, que apresentou o valor máximo de 259 dias.

Figura 6 - Rondônia: Chuvas diárias extremas entre 1980-2020. a) Gráfico do número de dias de chuva extrema. b) Mapa da frequência de dias de chuva extrema. c) Gráfico das tendências da chuva extrema. e) Mapa da distribuição espacial das tendências da chuva extrema



Fonte: Os autores, 2020.

No mapa superior direito, apresentado na Figura 6(b), verifica-se que aproximadamente 47,1% das estações registraram maior frequência de dias com precipitação classificada como extrema (indicadas em verde). Em contraste, 52,9% das estações apresentaram menor frequência desse tipo de evento (em vermelho), apontando uma ligeira predominância de áreas com redução na ocorrência de chuvas extremas.

O gráfico inferior da Figura 6(c) mostra que, para a maioria dos postos, as tendências de dias com chuvas extremas permaneceram dentro do intervalo de +2 a -2, o que indica estabilidade ao longo do período analisado. Contudo, algumas estações apresentaram padrões distintos, com tendências de aumento ou redução na frequência desses eventos.

Por fim, o mapa inferior da Figura 6(d) apresenta a distribuição espacial das tendências nas chuvas extremas diárias. Verifica-se que 41% das estações indicaram tendência de redução, 30% apontaram aumento, e 29% permaneceram dentro da normalidade. Especialmente, as regiões centro-norte do estado demonstram tendência de diminuição na ocorrência de dias com chuvas extremas. Por outro lado, algumas regiões isoladas apresentaram tendência de aumento, enquanto nas demais áreas do estado prevaleceu um padrão de estabilidade.

DISCUSSÃO

A análise dos dados diários de precipitação, por meio dos índices climáticos do RCLimindex, permite compreender a habitualidade dos sistemas atmosféricos — como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), os bloqueios atmosféricos, os fenômenos atmosféricos em geral e os Jatos de Baixos Níveis (JBN) —, bem como a heterogeneidade espacial das chuvas na região.

Com base nos eventos registrados entre 1980 e 2020 em Rondônia, observa-se que os totais pluviométricos (PRCPTOT) concentram-se nas regiões Norte e Oeste do estado, enquanto diminuem

na porção Centro-Oeste. Padrão semelhante foi identificado por Moreira et al. (2023), os quais observaram maior recorrência de condições secas no sudoeste e de umidade no norte de Rondônia.

As tendências positivas da precipitação total estão associadas a fenômenos atmosféricos como El Niño e La Niña (Valadão, 2019), além do transporte de umidade oriundo da Amazônia, impulsionado pelos JBN na área de estudo (Franca, 2015; De Sales et al., 2020).

Em relação aos dias consecutivos secos (CDD) e úmidos (CWD), observam-se tendências de normalidade nos dias úmidos na maior parte do estado. No entanto, há aumento na duração dos períodos de estiagem ao longo da série histórica, caracterizado pela ausência de precipitação devido à atuação prolongada de bloqueios atmosféricos, como o ASAS (Borma & Nobre, 2013).

Segundo Moreira et al. (2023), a sazonalidade pluviométrica em Rondônia vem apresentando uma estação chuvosa com menor amplitude nos volumes, além de estações de transição com redução constante da precipitação total.

No que diz respeito ao índice simples de intensidade diária (SDII – mm/dia), observa-se estabilidade. Por outro lado, os índices de precipitação máxima em um dia (RX1 dia) e em cinco dias consecutivos (RX5 dias) indicam tendência de aumento em Rondônia, refletindo o acúmulo de volumes elevados, possivelmente associados à intensificação da atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao longo dos anos (Franca, 2015; De Sales et al., 2020).

De acordo com Moreira et al. (2023, 2024), as mudanças contínuas no uso e ocupação do solo — com expressiva conversão de florestas nativas em pastagens — têm contribuído para a concentração das chuvas em determinadas áreas, aumentando a frequência de inundações repentinas (Silva et al., 2019; Sales et al., 2020).

Muler et al. (2018), utilizando técnicas geoestatísticas como a krigagem ordinária e indicativa, analisaram a distribuição espacial da precipitação e do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) em Rondônia. Identificaram três zonas climáticas distintas: uma região úmida ao norte, uma área progressivamente mais seca ao sudoeste e uma região central de transição. Os autores também apontaram anos de seca significativa (1984, 1992, 1998, 2000 e 2003), os quais coincidiram com eventos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS), reforçando a relevância da variabilidade espaço-temporal da precipitação para o planejamento agrícola e a gestão hídrica regional.

Webler et al. (2007) compararam a precipitação em áreas de floresta primária e pastagens em Rondônia, constatando que a floresta apresentou valores 20% superiores. Embora a distribuição horária da precipitação tenha sido semelhante — com picos no final da tarde —, os resultados indicam que a substituição da floresta por pastagens pode reduzir significativamente a precipitação, com impacto direto no ciclo hidrológico e na disponibilidade de água.

Carvalho et al. (2016), ao analisarem séries temporais de temperatura, umidade e precipitação em Ariquemes (RO), com modelos SARIMA, observaram forte sazonalidade da precipitação, concentrada entre novembro e abril. A temperatura média anual foi de 25,62 °C, com pouca variação, enquanto a umidade relativa oscilou entre 39,79% na estação seca e 94,33% na chuvosa. Esses padrões são compatíveis com o clima tropical úmido e destacam a importância da sazonalidade para o planejamento agrícola e a gestão de recursos hídricos.

Nóbrega et al. (2008) compararam dados de precipitação observada com estimativas do satélite TRMM na bacia do rio Jamari, obtendo boa correlação, especialmente com o uso de rede pluviométrica densa. O TRMM demonstrou boa capacidade de captar a variabilidade sazonal e estimar a precipitação acumulada, com erro relativo de apenas 0,01%, reforçando sua utilidade em áreas com escassez de dados, como a Amazônia.

Observa-se uma redução nas tendências de precipitação diária normal nas regiões norte e sul, e aumento nas regiões centro-oeste, centro-leste e central da Amazônia Legal. As chuvas extremas (≥ 45 mm), por sua vez, aumentaram até 30% em determinados pontos, enquanto as intensas (≤ 36 mm) mantêm-se estáveis. Especificamente na região centro-norte de Rondônia, observa-se redução das chuvas extremas, sugerindo uma possível atenuação desses eventos nesse setor. Esse padrão pode estar associado às mudanças climáticas que afetam o clima equatorial brasileiro, como já discutido por Santos, Melo e Brito (2016) e Silva et al. (2019). Tais resultados ajudam a identificar áreas mais afetadas pelas variações sazonais, em consonância com as dinâmicas amazônicas.

Os estudos consultados (Franca, 2015; Santos, 2017; Silva et al., 2017; De Sales et al., 2020; Moreira, Dos Santos & Sanches, 2023) ressaltam a necessidade de políticas públicas eficazes para a proteção

da floresta, frente a fatores como pressões econômicas, queimadas antrópicas e a expansão agropecuária.

Este trabalho evidencia os impactos do desmatamento sobre o clima amazônico, revelando tendências e índices que apontam para redução das chuvas e aumento dos eventos extremos na área de estudo.

Além disso, os impactos do clima regional em Rondônia têm efeitos diretos sobre a produtividade agrícola, o regime hidrológico, a biodiversidade e as emissões de gases de efeito estufa (Chagnon & Bras, 2005; Bell, Lemos & Scavia, 2010; Caviglia-Harris, 2018).

No caso das chuvas amazônicas, observam-se alterações no transporte de vapor d'água para regiões agrícolas do Brasil, prolongamento da estação seca e variações térmicas, além da influência de fenômenos como o El Niño (Santos, 2017; De Sales et al., 2020; Moreira, Dos Santos & Sanches, 2023).

Compreender essas dinâmicas torna-se fundamental, especialmente frente aos efeitos do desmatamento sobre os padrões de precipitação. A alteração do regime de chuvas impacta diretamente a população rondoniense, como demonstrado por Sales et al. (2020), pelo Relatório Anual do Desmatamento no Brasil (RAD2023)¹ e por pesquisas recentes (Moreira et al., 2023; 2024).

CONCLUSÕES

A análise das precipitações diárias com base em índices climáticos permite uma compreensão aprofundada das tendências pluviométricas, bem como a identificação de episódios intensos e extremos — isto é, eventos que se desviam da habitualidade climática no estado de Rondônia. Observa-se que, em algumas áreas, as chuvas estão diminuindo, enquanto em outras apresentam aumento, com os volumes pluviométricos concentrando-se em um número reduzido de dias. Tal comportamento resulta em episódios de precipitação extrema mais intensos em períodos curtos.

Diante desse contexto, o mapeamento dos índices climáticos, realizado por meio da interpolação de dados e da seleção criteriosa de estações pluviométricas de superfície, revela-se essencial para avaliar a vulnerabilidade da população frente aos impactos climáticos extremos. A melhoria na determinação desses índices e a avaliação das tendências com base em séries históricas diárias são fundamentais para compreender e mitigar os efeitos da variabilidade climática nas regiões afetadas. As informações obtidas neste estudo são, portanto, cruciais para a gestão territorial, contribuindo para o planejamento de ações voltadas à conservação ambiental, à prevenção de desastres, à gestão de recursos hídricos e à formulação de políticas públicas voltadas aos setores sociais, diante dos potenciais impactos do clima sobre o território rondoniense.

Os resultados apontaram para uma expressiva variabilidade das precipitações extremas, especialmente quanto à oscilação das tendências de chuva na área de estudo. Entretanto, em Rondônia, ainda é limitada a capacidade de distinguir de forma conclusiva se tais fenômenos decorrem diretamente das mudanças climáticas globais, da expansão urbana acelerada no último século, das queimadas ilegais contínuas no bioma Amazônico, ou da interação entre esses fatores.

Os dados indicam que os eventos extremos de precipitação em Rondônia apresentam maior magnitude média e ocorrem em um número menor de dias, mantendo, contudo, volumes totais semelhantes. Tal configuração reforça a necessidade de maior atenção ao controle da erosão, ao uso sustentável e à conservação do solo na região (Silva et al., 2017; Caviglia-Harris, 2018; Valadão, 2019).

As mudanças climáticas são fenômenos detectáveis no planeta e, em escala regional, as alterações no uso da terra — especialmente a substituição de áreas florestadas por núcleos urbanos — induzem mudanças nos regimes de precipitação, com destaque para o aumento das chuvas intensas e extremas. A Amazônia, em particular, tem enfrentado crescentes taxas de desmatamento, aquecimento regional e estresse hídrico (Marengo, Tomasella & Uvo, 1998; Gatti et al., 2021), fatores que se refletem nas tendências de redução pluviométrica durante a estação seca.

¹ *RAD2023: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2023 - São Paulo, Brasil - MapBiomas, 2024 - 154 páginas <http://alerta.mapbiomas.org>;

** O desmatamento acumulado em Rondônia, em 2012, foi de 782 km² e em 2021, aumentou para 497,2%. E, em 2023, os desmatamentos em Rondônia, em relação a 2022, diminuiu 70% em dados em área (hectares).

Como ressaltam Gatti et al. (2021), “as alterações dos ciclos da água, energia solar, carbono e nutrientes, resultantes da mudança no uso da terra na região amazônica, podem provocar consequências climáticas e ambientais em escalas local, regional e global”.

Com base nos dados obtidos e nas análises realizadas, verifica-se que a porção sudoeste da Amazônia passa por um processo de reorganização dos padrões climáticos, notadamente no que se refere à distribuição da precipitação. Essa reconfiguração tende a impactar diretamente as atividades antrópicas e os ecossistemas locais, cujas transformações na paisagem já refletem as alterações em curso na atmosfera.

AGRADECIMENTOS

O autor R.M.M. gostaria de agradecer à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Rondônia pelo apoio financeiro, por meio do Edital 004/2024/DPESQ/PROPESQ/UNIR.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), **HIDROWEB**, www.ana.gov.br, acessado em agosto de 2024. <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BELL, A. R.; LEMOS, M. C.; SCAVIA, D. Cattle, Clean Water, and Climate Change: Policy Choices for the Brazilian Agricultural Frontier. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 22, p. 8377–8384, 15 nov. 2010. <https://doi.org/10.1021/es101729z>
- BODAS TERASSI, P. M. et al. Daily rainfall intensity and temporal trends in eastern Paraná state–Brazil. **Urban Climate**, v. 42, p. 101090, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101090>
- BORMA, L. S., NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências** -São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- BURI, ESWAR SAI et al. Spatio-temporal analysis of climatic variables in the Munneru River Basin, India, using NEX-GDDP data and the REA approach. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1715, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14031715>
- CAVIGLIA-HARRIS, J. L. Agricultural innovation and climate change policy in the Brazilian Amazon: Intensification practices and the derived demand for pasture. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 90, p. 232–248, 1 jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.06.006>
- CHAGNON, F. J. F.; BRAS, R. L. Contemporary climate change in the Amazon. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 13, 2005. <https://doi.org/10.1029/2005GL022722>
- CHRUN, D. **Model-Based Support for Information Technology Security Decision Making**. 2011. https://www.researchgate.net/publication/255685007_Model-based_Support_for_Information_Technology_Security_Decision_Making . <https://doi.org/>
- CHRUN, D.; SNEERINGER, G.; CUKIER, M. On the Use of Security Metrics Based on Intrusion Prevention System Event Data: An Empirical Analysis. 2008 11th IEEE High Assurance Systems Engineering Symposium (HASE). **Anais...**2008. Disponível em: doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HASE.2008.52
- DE SALES, F. et al. Impacts of Protected Area Deforestation on Dry-Season Regional Climate in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 125, n. 16, p. e2020JD033048, 2020. <https://doi.org/10.1029/2020JD033048>
- DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, n. 3, p. 167–178, 2008. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0348-7>
- FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 0, 2017. <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/52065>

- FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia–período 1981-2011. **Revista Geografias**, v. 11, n. 1, p. 44-58, 2015. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13392>
- GATTI, L. V. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, n. 7867, p. 388–393, jul. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>
- GEBREMICHAEL, HAFTU BRHANE et al. Changes in daily rainfall and temperature extremes of upper Awash Basin, Ethiopia. **Scientific African**, v. 16, p. e01173, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01173>
- HAYLOCK, M. R. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v. 19, n. 8, p. 1490–1512, 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>
- HUANG, JIANPING et al. Global climate impacts of land-surface and atmospheric processes over the Tibetan Plateau. **Reviews of Geophysics**, v. 61, n. 3, p. e2022RG000771, 2023. <https://doi.org/10.1029/2022RG000771>
- KANOUN, K.; MARTINI, M.; MOREIRA DE SOUZA, J. A method for software reliability analysis and prediction application to the TROPICO-R switching system. **Software Engineering, IEEE Transactions on**, v. 17, p. 334–344, 1991. <https://doi.org/10.1109/32.90433>
- KEMP, LUKE et al. Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 34, p. e2108146119, 2022. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; UVO, C. R. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 103, n. D2, p. 1775–1783, 1998. <https://doi.org/10.1029/97JD02551>
- MEKIS, É.; VINCENT, L. A. An Overview of the Second Generation Adjusted Daily Precipitation Dataset for Trend Analysis in Canada. **Atmosphere-Ocean**, v. 49, n. 2, p. 163–177, 2011. <https://doi.org/10.1080/07055900.2011.583910>
- MIANI, R. S. et al. A Practical Experience on Evaluating Intrusion Prevention System Event Data as Indicators of Security Issues. 2015 IEEE 34th Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS). **Anais...** Em: 2015 IEEE 34TH SYMPOSIUM ON RELIABLE DISTRIBUTED SYSTEMS (SRDS). set. 2015. <https://doi.org/10.1109/SRDS.2015.17>
- MOHAMMED, J.L A. et al. Changes in observed rainfall and temperature extremes in the Upper Blue Nile Basin of Ethiopia. **Weather and Climate Extremes**, Volume 3, p.100468, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100468>
- MOREIRA, R. M. et al. Precipitation Variability for Protected Areas of Primary Forest and Pastureland in Southwestern Amazônia. **Climate**, v. 11, n. 2, p. 27, 2023. <https://doi.org/10.3390/cli11020027>
- MOREIRA, R. M. Trends and correlation between deforestation and precipitation in the Brazilian Amazon Biome. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, n. 5, p. 3683–3692, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04838-5>
- MOREIRA, R. M.; SANTOS, B. C.; SANCHES, R. G. Trend analysis of precipitation for protected areas and pasturelands in southwest Amazônia between 1998 and 2019. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 29, p. 100901, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100901>
- PETERSON, T. C. et al. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs: 1998-2001. **Geneve: International Council for Science; Intergovernmental Oceanographic Commission; World Meteorological Organization**, 2001. <https://etccdi.pacificclimate.org/docs/wgccd.2001.pdf> <https://doi.org/>
- PETRY, I et al. Manual de Aplicação de plugin ANA Data Acquisition V1.0. Manual Técnico, HGE, IPH, UFRGS, 2021.
- PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, acessado em 2021 através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>.

- SALES, F. et al. Impacts of Protected Area Deforestation on Dry-Season Regional Climate in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 125, n. 16, p. e2020JD033048, 2020. <https://doi.org/10.1029/2020JD033048>
- SANCHES, R. G. As chuvas na região de São Carlos/SP: estudo do comportamento pluviométrico a partir de dados de estações climatológicas, 1993-2014. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-16112015-100925/>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- SANCHES, R. G. et al. Analysis of Daily Rainfall in São Carlos/SP, Brazil over 1979-2017 Using Laplace Trend Test. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 8, n. 7, p. 104–125, 14 jul. 2020. doi: <https://doi.org/10.4236/gep.2020.87006>.
- SANCHES, R. G. et al. Intense Rainfall in São Carlos/SP: Determination of Threshold Values Using Climate Indices and Their Spatio-Temporal Repercussion. **American Journal of Climate Change**, v. 07, p. 388, 17 ago. 2018. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2018.73023>
- SANTOS, B. C. et al. On the quality of satellite-based precipitation estimates for time series analysis at the central region of the state of São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Volume 151, p. 467–489, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04287-y>
- SANTOS, B. C.; FONTÃO, P. A. B.; SOUZA, P. H. O efeito do relevo nas chuvas na porção central do Estado de São Paulo em anos padrão extremos. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 40, p. 132–147, 2020. <https://doi.org/10.11606/rdg.v40i0.172973>
- SANTOS, C. A. C. et al. Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 39–47, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000100004>
- SANTOS, C. A. C. et al. Variability of extreme climate indices at Rio claro, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 395–400, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000400003>
- SANTOS, C. A. C.; MELO, M. M. M. S.; BRITO, J. I. B. Tendências de Índices de Extremos Climáticos para o Estado do Amazonas e suas Relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 1–10, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130001>
- SANTOS, C. A. C.; RAMOS, A. R. D. Avaliação dos eventos extremos de precipitação no estado do Piauí. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, 21 mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26266>
- SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SANTOS, C. M. S. et al. Análise de tendência da precipitação diária na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1041-1052, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v8.4.p1041-1052>.
- SANTOS, T. O. Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia Brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 11, n. 2, p. 157–181, 6 dez. 2017. <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/4430>.
- SILVA, M. J. G. DA et al. Análise de tendência nas variáveis meteorológicas de Porto Velho - Rondônia. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 474–481, 21 set. 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1478.474-481>
- SILVA, P. E. et al. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 137–148, 2019. https://doi.org/10.11137/2019_2_137_148
- STEPHENSON, T. S. et al. Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961–2010. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 9, p. 2957–2971, 2014. <https://doi.org/10.1002/joc.3889>
- SUGAHARA, S.; ROCHA, R. P.; SILVEIRA, R. Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in Sao Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 9, p. 1339–1349, 2009. <https://doi.org/10.1002/joc.1760>
- SUKHWANI, H. et al. Software Reliability Analysis of NASA Space Flight Software: A Practical Experience. 2016 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS).

Anais... Em: 2016 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE QUALITY, RELIABILITY AND SECURITY (QRS). ago. 2016. <https://doi.org/10.1109/QRS.2016.50>

VALADÃO, C. C. O Padrão de início da estação chuvosa no estado de Rondônia continua sendo alterado pelas mudanças no uso e cobertura da Terra. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Ambiental) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2019. <http://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/2951>

ZHANG, X. et al. RClimDex (1.0) user manual. **Climate Research Branch Environment Canada**, v. 22, p. 13-14, 2004.

ZHOU, T. et al. 2021: a year of unprecedented climate extremes in Eastern Asia, North America, and Europe. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 39, p. 1598–1607, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00376-022-2063-9>

ZILLI, M. T. et al. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269–2279, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4840>

Recebido em: 13/03/2025

Aceito para publicação em: 26/05/2025