



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

## VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

**Tendências climáticas e resposta da vegetação na bacia do rio Acre (2000–2024):  
Evidências de alterações no ciclo hidrológico e no uso da terra**  
*Hydroclimatic variations and vegetation response in the Acre River basin (2000–2024):  
Implications of land-use change*

BRAGA, Dan Gustavo Feitosa<sup>1</sup>; DE MELO, José Luiz Monteiro Benício<sup>2</sup>; PADILHA, Jesus<sup>3</sup>; ORTEGA, Givanildo Pereira<sup>4</sup>; DELGADO, Rafael Coll<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal do Acre (UFAC), [dan.braga@sou.ufac.br](mailto:dan.braga@sou.ufac.br); <sup>2</sup>Universidade Federal do Acre (UFAC), [jose.monteiro@sou.ufac.br](mailto:jose.monteiro@sou.ufac.br); <sup>3</sup>Universidade Federal do Acre (UFAC), [jesus.padilha@sou.ufac.br](mailto:jesus.padilha@sou.ufac.br); <sup>4</sup>Universidade Federal do Acre (UFAC), [givanildo.ortega@ufac.br](mailto:givanildo.ortega@ufac.br); <sup>5</sup>Universidade Federal do Acre (UFAC), [rafael.delgado@ufac.br](mailto:rafael.delgado@ufac.br)

### RESUMO EXPANDIDO

#### Eixo Temático: Meio ambiente e Conservação da natureza

##### Resumo

O estudo analisou as tendências da chuva (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C) e do Enhanced Vegetation Index (EVI) na Bacia do Rio Acre, entre 2000 e 2024, visando compreender a resposta da vegetação frente às mudanças climáticas e ao uso da terra. Observou-se tendência de diminuição da precipitação, especialmente em outubro (ZMK=-1,89), indicando prolongamento da estação seca. As temperaturas máxima e mínima apresentaram aumento significativo de 0,002 e 0,0008 com destaque o mês de setembro para ambas as variáveis, refletindo maior vulnerabilidade da floresta a variabilidade extremas da temperatura. O EVI demonstrou redução durante a transição da estação chuvosa para a seca (abril e maio) e aumento durante a estação seca (julho a setembro). Os resultados evidenciaram o impacto das alterações no uso e cobertura da terra sobre o ciclo hidrológico, as variáveis climáticas e o vigor vegetativo na região amazônica.

**Palavras-chave:** Variação climática; Regulação Hídrica; Uso dos Recursos; Preservação.

##### Introdução

A Amazônia é a floresta tropical que abrange a maior biodiversidade do planeta e desempenha um papel fundamental na regulação climática (GUAYASAMIN et al., 2024). A Bacia do Rio Acre, localizada no estado do Acre, tem sua nascente no Peru e deságua no município de Boca do Acre, no estado do Amazonas, constituindo um importante sistema hidrográfico da região, caracterizado por sua grande relevância socioambiental (DUARTE, 2017; TAMWING et al., 2021).

Abrangendo ecossistemas diversos, a bacia desempenha um papel essencial na regulação hídrica, na manutenção da biodiversidade e no fornecimento de serviços ecossistêmicos à população local (DUARTE, 2011). Entretanto, devido às ações antrópicas ao longo dos anos, a bacia vem sofrendo significativas perdas de vegetação nativa devido as alterações do uso da terra, que tem provocado a fragmentação das áreas de floresta e a degradação das matas ciliares, afetando diretamente o equilíbrio do ciclo hidrológico, as tipologias vegetais e o clima local (SEMA-AC, 2012).

A mudança no uso da terra de áreas florestais em pastagens, áreas urbanas ou agrícolas, desencadeia uma série de impactos negativos relacionados ao balanço hídrico, como o aumento da vazão, além da diminuição da evapotranspiração, influenciando nos regimes de chuva e na dinâmica da temperatura do ar (DOS



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

### VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

SANTOS et al., 2018).

Nesse sentido, o uso do Enhanced Vegetation Index (EVI), obtido através do sensoriamento remoto pelo produto MOD13Q1 derivado do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS a bordo do satélite TERRA, permite monitorar o vigor da vegetação e analisar seu estresse ambiental, permitindo analisar a resposta da vegetação as modificações das variáveis meteorológicas como a chuva, temperatura máxima e mínima do ar ao longo do tempo (SEMERARO et al., 2020).

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo analisar as tendências da temperatura máxima e mínima do ar, a chuva e o EVI, para identificar ao longo dos anos maior vulnerabilidade da vegetação à degradação, avaliando a resiliência da vegetação frente a eventos extremos da floresta na Bacia do Rio Acre.

### Metodologia

#### Área de estudo

A área de estudo foi contemplada pela bacia do Rio Acre, devido ao seu papel fundamental na regulação hídrica e no fornecimento de serviços ecossistêmicos à população local. O estado do Acre, localiza-se na Amazônia ocidental e apresenta um clima do tipo equatorial, quente e úmido, caracterizado por altas temperaturas, elevados índices de precipitação pluviométrica e alta umidade relativa do ar. A temperatura média anual está em torno de 24,5 °C, enquanto a máxima fica em aproximadamente 32 °C (ACRE, 2010).

A bacia do Rio Acre cobre uma área de aproximadamente 35.000 km<sup>2</sup>, sendo 23.000 km<sup>2</sup> localizados no município de Rio Branco, capital do estado.

Ela possui uma rede hidrográfica formada por cursos de água volumosos e sinuosos, que escoam no sentido do Sudoeste para o Nordeste (ACRE, 2012). Tem cinco microbacias na bacia do rio Acre, na qual são elas: a Trinacional, que faz fronteira com três países, Brasil, Peru e Bolívia, e a Binacional (Acre e Amazonas) (DUARTE, 2011). Além de apresentar um papel de importância na geopolítica no estado, ocupando 1/5 da área total do Estado e mais de 60% da população acreana (ACRE, 2012; DUARTE, 2011).

#### Obtenção dos dados de variáveis meteorológicas do *TERRA CLIMATE* e sensoriamento remoto

Os dados de chuva (Prec, mm), temperatura máxima ( $t_x$ , °C) e mínima ( $t_n$ , °C) do ar foram obtidas do conjunto de dados *TERRA CLIMATE* desenvolvidos por Abatzoglou et al. (2018), em formato “.nc”. O conjunto dos dados abrangeu um período de 2000-2024 em escala mensal e resolução espacial de 4 km x 4 km.

Os dados de EVI, foram baixados do produto MOD13Q1 versão 6.1 que apresenta uma escala temporal de 16 em 16 dias e resolução espacial de 250 m, sendo os dados baixados para uma faixa temporal mensal de 2001 até 2024, na qual foi utilizado a biblioteca modisfast contida no software R versão:4.5.0 até o ano de 2014, e partir de



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

### VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

2015 utilizou-se a plataforma Appears (<https://appears.earthdatacloud.nasa.gov/>) para obtenção dos dados em formato “.nc” com mesma escala e resolução para o restante da faixa temporal (2015-2024).

Posteriormente, para as variáveis temperatura máxima e mínima ( $t_x$  e  $t_n$ ; °C), e EVI, foi executado um recorte para a área de estudo em formato “.shp”, e esses foram extraídos e salvos em formato planilha “.csv”. Essas extrações foram executadas no software R versão: 4.5.0 usando os pacotes raster, dplyr, sf.

#### **Estatística não paramétrica**

Para compreender a tendência positiva ou negativa da vegetação nos diferentes anos, foi realizada a análise do teste não paramétrico de Mann-Kendall (ZMK) (MANN, 1945; KENDALL, 1975), considerando os níveis de significância de 5 e 10%. Dessa forma, foi utilizado o pacote Kendall do software R versão:4.5.0 e gerados gráficos das tendências significativas, sendo usado o pacote ggplot2 do software R.

#### **Resultados e Discussão**

##### **Análise dos dados de chuva**

Ao analisar as tendências ao longo do período de 2000-2024 para a variável Prec, percebe-se que a variável possui tendências a uma diminuição ao longo de todos os meses, apresentando resultado significativo de ZMK somente para o mês de outubro (-1,89) (Figura 1), sendo esse mês considerado mês de transição para a estação chuvosa. Para os demais meses, não houve valores significativos, apesar de demonstrarem uma tendência a diminuição, demonstrando que a estação seca tem tendência a se estender devido as modificações no uso e cobertura da terra principalmente pela expansão de áreas agrícolas, resultando em emissões de gases do efeito estufa (GEE) (DUTRA et al., 2024). Essas reduções da evapotranspiração na região, influencia no papel da Amazônia como reguladora climática, alterando os regimes hidrológicos, conseqüentemente estendendo os períodos de seca e aumentando a frequência de eventos extremos gerados pelo aquecimento da superfície da terra exposta por causa do desmatamento, aumentando a tendência da redução das chuvas (ALMEIDA et al., 2017).

##### **Análise das temperaturas do ar (Máxima e Mínima)**

A  $t_n$  apresentou tendência de aumento em todos os meses para a bacia, indicando tendências positivas. Entretanto, os meses de maio, junho e agosto não apresentaram valores significativos. Ao analisar a estatística o mês que apresentou maior tendência de aumento foi setembro, tendo valor de ZMK de 3,34 (Figura 1), em seguida o mês de dezembro apresentou o segundo maior valor (ZMK=2,87), indicando um aumento da  $t_n$  também nos meses de período chuvoso.

De forma semelhante a  $t_x$  apresentou tendência de aumento para todos os meses, porém apenas os meses de julho (1,94) e setembro (3,11) apresentaram valores significativos. Esses resultados podem indicar uma maior suscetibilidade da floresta em torno da bacia a extremos de seca, corroborando com suas maiores tendências a redução da Prec.

---



Essas mudanças podem ser resultados da alteração da composição florestal ao longo da bacia, ocasionando no atraso do início da estação chuvosa, além de aumentar a temperatura da superfície, intensificando assim os efeitos das mudanças climáticas (ESQUIVEL-MUELBERT et al., 2019; LONGO et al., 2020; DE OLIVEIRA et al., 2021).

### Análise do vigor da vegetação

Ao analisar o EVI para a bacia, foi apresentada uma sazonalidade nas tendências positivas e negativas significativas. Ao analisar o mês de abril observa-se uma tendência a diminuir (Figura 1), apresentando valor de ZMK de -1,86, semelhantemente o mês de maio apresentou tendência de diminuição, sendo apresentado um valor de ZMK de -2,41, essa ocasião pode ter ocorrido devido a transição da estação chuvosa para a seca, que apresenta maior disponibilidade de luz solar, diminuindo a umidade do solo e a disponibilidade de vapor d'água, demonstrando que a vegetação não correspondeu de forma positiva a essas mudanças que vêm ocorrendo ao longo dos tempos.

Em relação aos meses de tendência positivas, sendo eles os meses de julho (2,16), agosto (3,35) e setembro (2,16), caracterizados por serem estação seca, pode significar que nas regiões da bacia a atividade fotossintética durante a estação seca mantém-se seu vigor, tendo modificações negativas durante os meses da estação chuvosa e de transição. Isso pode ocorrer devido a vegetação em regiões mais úmidas terem seu crescimento foliar afetados por variáveis como radiação solar total e a radiação fotossinteticamente ativa (MYNENI et al., 2007; SILVA et al., 2013; WAGNER et al., 2017).

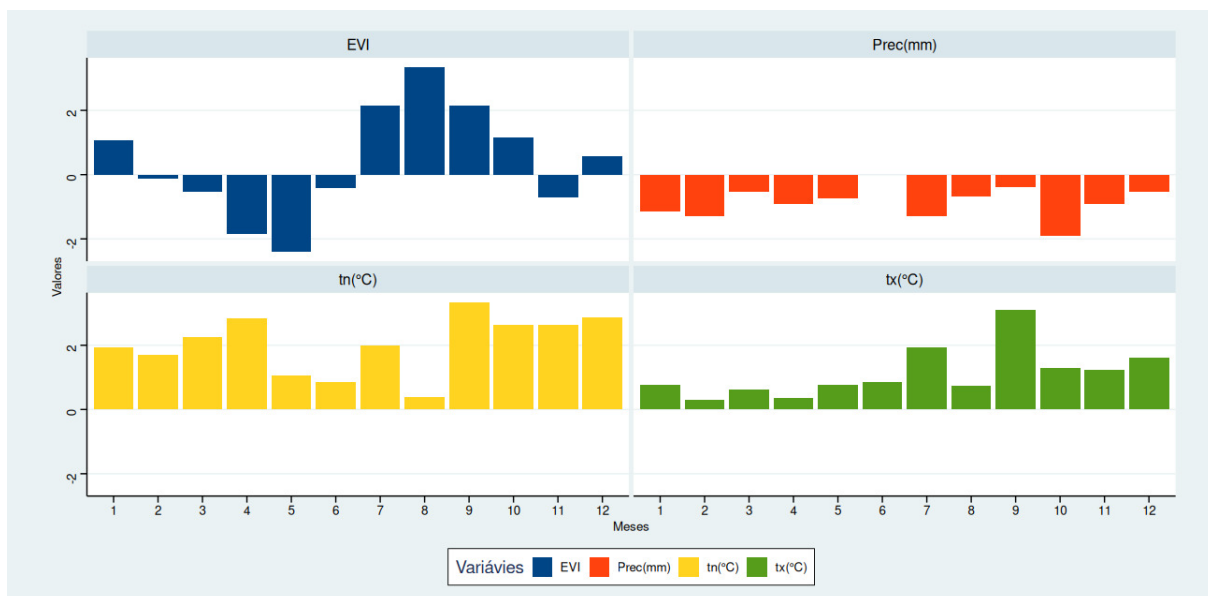


Figura 1- Análise de Mann-Kendall para os testes de significância a 5 e 10%, analisando valor de ZMK para as variáveis EVI, Prec (chuva, mm),  $t_n$  (temperatura mínima, °C) e  $t_x$  (temperatura máxima, °C) da Bacia do Rio Acre.

### Conclusões



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA

### VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

Dessa forma, mediante os resultados obtidos do estudo, evidencia-se que a Bacia do Rio Acre vem apresentando alterações significativas no seu clima e no vigor de sua vegetação ao longo dos últimos anos, devido às mudanças no uso e cobertura da terra. Assim, a diminuição da precipitação, especialmente em meses de transição como outubro, e o aumento consistente das temperaturas máxima e mínima do ar indicam um cenário de intensificação de períodos secos e de mudança no clima regional. A análise do EVI reforça essa tendência, evidenciando perda de vigor vegetativo durante a transição da estação chuvosa para a seca, com recuperação parcial na estação seca. Assim, demonstra a importância do monitoramento contínuo por sensoriamento remoto e do manejo sustentável da bacia, visando à conservação da biodiversidade da região amazônica.

#### Referências bibliográficas

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Plano estadual de recursos hídricos do Acre. Rio Branco: SEMA, 2012.

ACRE. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre. Zoneamento ecológico-econômico do Acre: fase II: documento síntese: escala 1:250.000. Rio Branco: SEMA, 2010. 356 p.

ALMEIDA, C. T.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; CUBO, P.; RAMOS, M. C. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. *International Journal of Climatology*, v. 37, p. 2013–2026, 2017.

DUTRA, Débora J. et al. Challenges for reducing carbon emissions from land-use and land cover change in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 22, n. 3, p. 213-218, 2024.

DE OLIVEIRA, Renan G. et al. Temporal trend changes in reference evapotranspiration contrasting different land uses in southern Amazon basin. *Agricultural Water Management*, v. 250, p. 106815, 2021.

DOS SANTOS, Vanessa et al. Hydrologic response to land use change in a large basin in eastern Amazon. **Water**, v. 10, n. 4, p. 429, 2018.

DUARTE, Alejandro F. As chuvas e as vazões na bacia hidrográfica do rio Acre, Amazônia Ocidental: caracterização e implicações socioeconômicas e ambientais. **Amazônia Ciência e desenvolvimento**, v. 6, n. 12, p. 161-183, 2011.

DUARTE, Alejandro F. Climatologia das chuvas e efeitos antrópicos da urbanização na bacia do rio Acre, Amazônia Ocidental. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, v. 11, p. 199–213, 2017.

ESQUIVEL-MUELBERT, Adriane et al. Compositional response of Amazon forests to climate change. **Global change biology**, v. 25, n. 1, p. 39-56, 2019.

GUAYASAMIN, Juan M. et al. Evolution of Amazonian biodiversity: A review. **Acta**



## VI SEMANA ACADEMICA DE AGRONOMIA VII SEMANA FLORESTAL

02 a 05 de Dezembro de 2025

**Amazonica**, v. 54, n. spe1, p. e54bc21360, 2024.

KENDALL, Maurice G. Rank correlation methods. 4. Ed. London: Charles Griffin, 272 p, 1975.

LONGO, Marcos et al. Impacts of degradation on water, energy, and carbon cycling of the Amazon tropical forests. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 125, n. 8, p. e2020JG005677, 2020.

MANN, Henry B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, v. 13, p. 245–259, 1945.

MYNENI, Ranga B. et al. Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 12, p. 4820-4823, 2007.

SILVA JÚNIOR, Luiz A. S. Fire dynamics in extreme climatic events in western Amazon. *Environmental Development*, v. 32, p. 100450, 2019.

SILVA, Fabrício B. et al. Large-scale heterogeneity of Amazonian phenology revealed from 26-year long AVHRR/NDVI time-series. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, p. 024011, 2013.

SEMERARO, Teodoro et al. Recurrence analysis of vegetation indices for highlighting the ecosystem response to drought events: An application to the Amazon forest. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 907, 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (AC). Programa de recuperação e conservação de nascentes e matas ciliares da bacia do rio Acre. Rio Branco: SEMA-AC, 2012. Disponível em: <https://sema.ac.gov.br/programa-de-recuperacao-e-conservacao-de-nascentes-e-matas-ciliares-da-bacia-do-rio-acre/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

TAMWING, Daniela. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio Acre. **Research, Society and Development**, 2021.

WAGNER, Fabien H. et al. Climate drivers of the Amazon forest greening. **PLoS One**, v. 12, n. 7, p. e0180932, 2017.

---