

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PROJEÇÕES DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA O PERÍODO 2006-2040 NA BACIA DO RIO MACHADO-RO

Aline Corrêa de Sousa¹; Luiz Antonio Cândido²

Abstract: Extreme precipitation events are often associated with a variety of environmental disasters. Given the negative impacts caused by such phenomena, studies analyzing changes and projections of heavy rainfall are essential to provide insights into climate change, aiming to support more efficient management of hydrological processes. Projected changes in extreme precipitation events over the Machado River Basin in Rondônia, Brazil, were assessed using downscaled climate projections from the Eta regional model, forced by four different CMIP5 global climate models (BESM, CanESM2, HadGEM2-ES, and MIROC5), under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. Five climate indices (PRCPTOT, R95p, RX5day, CWD, and CDD) were evaluated, and differences between the historical period (1976–2005) and mid-term projections (2006–2040) were computed. The results indicate that future scenarios, particularly RCP8.5, project more severe impacts, with intensification of both droughts and extreme rainfall events in the basin. The projections reveal spatially heterogeneous patterns across the models, with some areas showing increased total precipitation and more intense extreme events, while others indicate reduced precipitation and prolonged dry spells. The combination of heavier rainfall and longer droughts suggests a future climate with more polarized extreme events, highlighting the urgent need for adaptation strategies and improved water resource management in the Machado River Basin.

Resumo: Eventos extremos de precipitação estão frequentemente associados a diversos desastres ambientais. Diante dos impactos negativos causados por esses fenômenos, estudos que analisam mudanças e projeções de chuvas intensas são essenciais para obter dados sobre as alterações climáticas, visando uma gestão mais eficiente dos processos hidrológicos. As mudanças projetadas nos eventos de precipitação extrema sobre a bacia do rio Machado (Rondônia, Brasil), foram analisadas a partir das projeções climáticas regionalizadas (modelo Eta), forçado por 4 diferentes modelos climáticos globais do CMIP5 (BESM, CanESM2, HadGEM2-ES e MIROC5), sob os cenários RCP4.5 e RCP8.5. Cinco índices climáticos (PRCPTOT, R95p, RX5day, CWD e CDD) foram avaliados e as diferenças entre o período histórico (1976-2005), e as projeções focadas no médio prazo (2006-2040) foram computadas. Os resultados indicam que os cenários futuros, especialmente o RCP8.5, preveem impactos mais severos, com intensificação de secas e chuvas extremas na bacia. As projeções revelam padrões espaciais distintos entre os modelos, com algumas áreas apresentando aumento de precipitação total e eventos extremos mais intensos, enquanto outras mostram redução na precipitação e aumento na duração de períodos secos. A combinação de chuvas mais intensas e secas mais longas sugere um clima futuro com eventos extremos mais polarizados, o que demanda medidas urgentes de adaptação e gestão de recursos hídricos na bacia do rio Machado-RO.

Palavras-Chave – CMIP5, Modelo ETA, Extremos de Precipitação, Bacia do Rio Machado-RO.

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Av. Rodrigo Otávio, Petrópolis, Manaus-AM.69055-010. E-mail: acs.aline.sousa@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Av. Rodrigo Otávio, Petrópolis, Manaus-AM.69055-010. E-mail: luizantonio.candido@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças climáticas globais têm imposto desafios crescentes, manifestando impactos expressivos em sistemas naturais e humanos em escala planetária (IPCC, 2021). Regiões tropicais, como a Amazônia, são particularmente vulneráveis a essas alterações, com projeções indicando mudanças significativas nos padrões de precipitação e temperatura (Leite-Filho *et al.* 2019; Mu *et al.* 2023). Dentre as áreas de particular sensibilidade à variabilidade e mudança do clima, destaca-se a bacia hidrográfica do rio Machado, em Rondônia, cuja dinâmica hidrológica é fortemente modulada pela sazonalidade da precipitação (Sousa *et al.* 2023) e da temperatura.

Eventos extremos, como o mais recente ocorrido na Amazônia sul-occidental em 2023, evidenciam a vulnerabilidade climática da região, que experimentou uma das estiagens mais intensas registradas nas últimas décadas (Marengo *et al.* 2024). Alterações nesses padrões climáticos podem comprometer a disponibilidade hídrica, a agricultura, os ecossistemas florestais e a segurança energética regional (IPCC, 2021).

A bacia do rio Machado-RO desempenha papel fundamental no abastecimento hídrico (Sousa *et al.* 2023) e na manutenção de serviços ecossistêmicos na porção sul da Amazônia brasileira. Apesar de sua relevância, ainda são escassos os estudos com foco na projeção de eventos extremos e na tendência de variabilidade climática futura nesta região, particularmente com alta resolução espacial e temporal. Nesse sentido, a análise orientada por índices climáticos padronizados, como os definidos pelo ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*, Karl *et al.* 1999, Peterson *et al.* 2001), oferece subsídios técnicos e científicos para o manejo de recursos hídricos, formulação de políticas públicas e estratégias de adaptação ao clima em escalas sub-regionais.

Para abordar essa lacuna, as projeções climáticas regionalizadas, como as obtidas por meio da iniciativa CORDEX (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*) (Giorgi *et al.* 2009; Llopis *et al.*, 2020), representam uma oportunidade de aplicação de projeções de maior resolução espaço-temporal. As simulações do modelo regional Eta sobre o domínio da América do Sul, forçadas por modelos climáticos globais do CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) (Taylor *et al.* 2012; Tavares *et al.* 2024), permitem avaliar os impactos futuros em escalas mais compatíveis com as necessidades do planejamento ambiental e territorial. O emprego de índices climáticos do ETCCDI, nesse contexto, permite quantificar de forma precisa as alterações nos extremos de precipitação, fornecendo métricas sensíveis para identificar tendências significativas e relevantes para a tomada de decisão.

Portanto, este estudo buscou avaliar as mudanças em índices climáticos de precipitação na bacia do rio Machado-RO, com foco no período histórico (1976–2005) e para o clima futuro (2006-2040), considerando os cenários de emissão RCP4.5 e RCP8.5 projetados pelo modelo regional ETA, forçado por modelos climáticos globais do CMIP5. O período 2006–2040 foi escolhido por representar um horizonte temporal de planejamento estratégico, em consonância com diretrizes de políticas públicas como o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima.

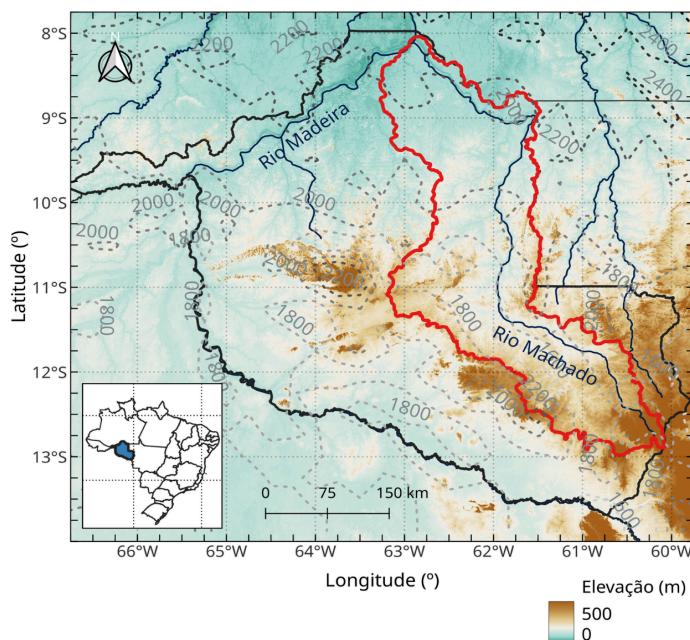
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A bacia do rio Machado está localizada no estado de Rondônia, na Amazônia sul-occidental, abrangendo municípios como Ji-Paraná, Cacoal e Presidente Médici (Figura 1). A região apresenta clima tropical úmido (classificação de Köppen: Am/Aw), com estação chuvosa de novembro a abril

e seca entre maio e setembro. A precipitação média anual varia de 1.800 a 2.500 mm (Figura 1), com temperatura média de 25,3 °C (23,1 °C mín. e 26,7 °C máx.) (Rao *et al.* 2016).

Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Machado, em Rondônia (contorno vermelho). Precipitação média anual (1976-2005) da reanálise ERA5-ECMWF (linhas tracejadas na cor cinza em intervalos de 200 mm). Modelo de elevação digital global ASTER V003, em segundo plano.



2.2 Projeções climáticas do modelo ETA

As projeções climáticas futuras foram baseadas nos resultados do modelo regional Eta do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). As projeções de precipitação do ETA com resolução horizontal de 0.20°, forçado por quatro modelos climáticos globais do CMIP5 (BESM - *Brazilian Earth System Model*; CanESM2 - *Canadian Earth System Model Second Generation*; HadGEM2-ES - *Hadley Center Global Environmental Model*; e MIROC5 - *Model for Interdisciplinary Research, version 5*), foram realizadas sob dois cenários de emissão de gases de efeito estufa (*Representative Concentration Pathways*, RCP): RCP4.5, que representa um cenário de estabilização das emissões de gases de efeito estufa em um nível intermediário; e o RCP8.5, que representa o cenário de altas emissões, sem políticas de mitigação significativas. Os cenários foram utilizados para avaliar mudanças futuras nos índices climáticos de precipitação em relação ao período histórico (1976–2005) e para o período 2006–2040. Mais informações sobre os modelos e a descrição dos métodos aplicados podem ser encontrados em Tavares *et al.* (2024) e referências nele contidas.

A representação dos valores de precipitação simulados em relação aos observados foi aprimorada aplicando um método de correção de viés ao modelo Eta. Conforme detalhado por Tavares *et al.* (2024), o método não-paramétrico de mapeamento quantil empírico (*Empirical Quantile Mapping*) foi utilizado para ajustar as saídas do modelo Eta. Este método compara as curvas de probabilidade acumulada entre as variáveis observadas e as simuladas pelo modelo climático, tanto para o clima presente quanto para as projeções futuras. A correção de viés demonstrou ser bem-sucedida na redução de erros sistemáticos, especialmente para os valores mais frequentes de precipitação, e na melhoria da representação do ciclo anual e da distribuição de

frequência dessas variáveis, aproximando-as das observações. A aplicação da correção de viés às projeções futuras preservou as tendências de mudança, embora tenha suavizado os picos das alterações (Tavares *et al.* 2024).

2.3 Índices climáticos de precipitação e análises dos cenários

Cinco índices de precipitação definidos pelo ETCCDI (Karl *et al.* 1999, Peterson *et al.* 2001), foram analisados para fornecer informações sobre a frequência, intensidade e duração dos eventos extremos de precipitação na bacia do rio Machado-RO. Os índices foram: o número de dias secos consecutivos e dias úmidos consecutivos (CDD e CWD, respectivamente); a precipitação total anual em dias muito chuvosos (R95p), correspondentes ao percentil 95 da distribuição de precipitação diária; e a precipitação máxima em 5 dias consecutivos (RX5day). A precipitação total (PRCPTOT, ≥ 1 mm), também foi avaliada neste estudo, para medir a contribuição dos dias mais chuvosos para a precipitação total.

O padrão de precipitação espacial médio anual juntamente com os campos de variação nos cenários foram calculados, e a significância estatística (teste *t-Student*) foi determinada considerando o número de anos de ambos os períodos (histórico e das projeções) para avaliar a robustez das alterações nos extremos de precipitação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Histórico (1976-2005)

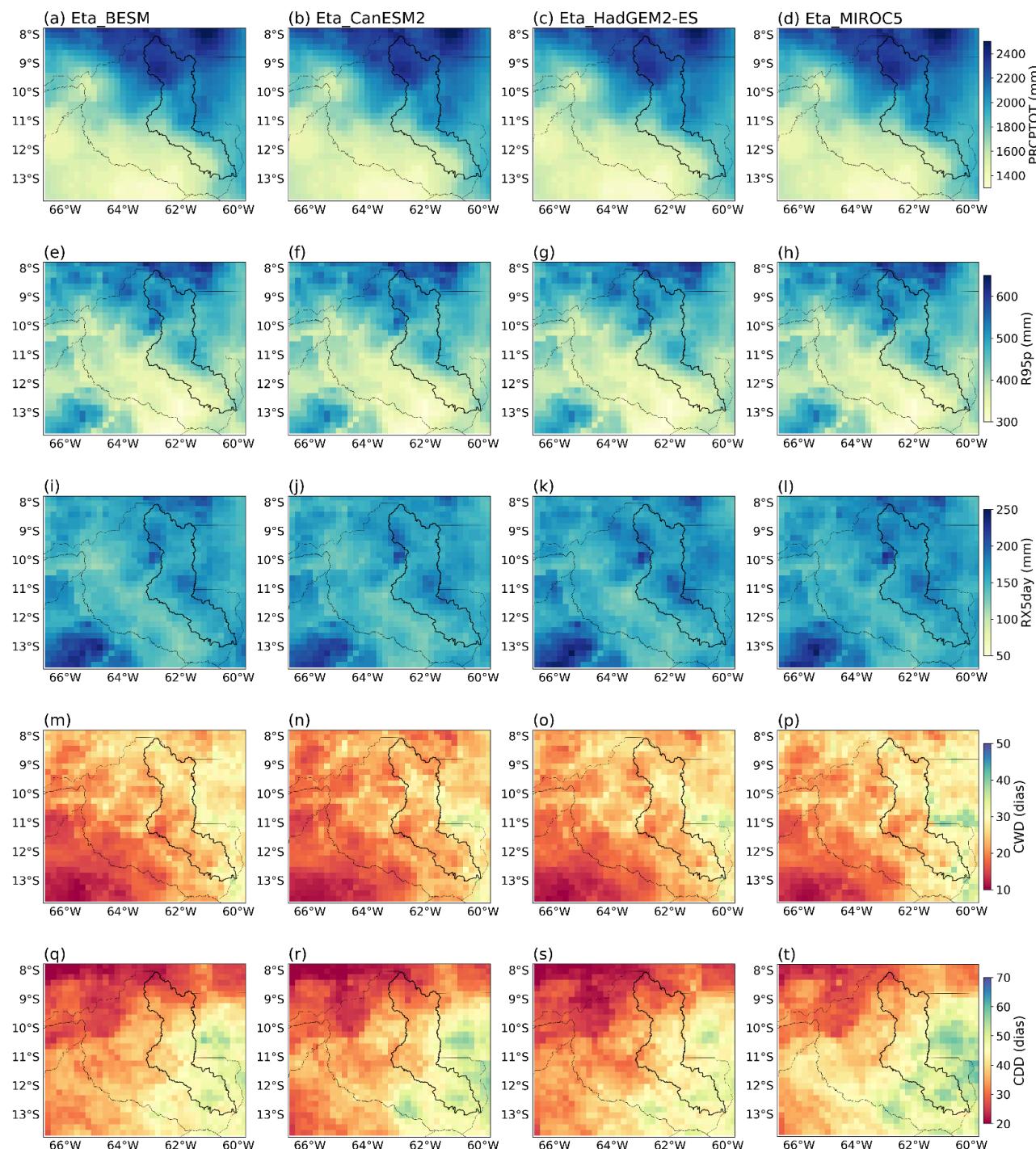
A análise histórica da precipitação total média anual (ou PRCPTOT) sobre a bacia do rio Machado é caracterizada, em todos os modelos, por uma faixa de maiores volumes se estendendo entre 8°S e 10°S, com totais anuais superiores a 2200 mm. No setor sul da bacia, os totais anuais de precipitação são mais baixos chegando até 1300 mm (Figura 2a-d). Esse padrão de totais anuais de precipitação no setor norte e leste da bacia é influenciado pelo relevo elevado como a Chapada dos Parecis e a Serra dos Pacaás Novos, onde as cotas chegam a 700 metros (Figura 1).

Diferenças sutis entre os modelos são observadas também nos índices R95p (Figura 2e-h) e RX5day (Figura 2i-l). O R95p indica que a proporção maior (menor) da precipitação total anual ocorre em um número menor de dias nas porções norte e central (sul) da bacia (Figura e-h), variando entre 450-550 mm (350-400 mm), enquanto o RX5day indica que os maiores volumes de chuva em 5 dias ocorrem na porção central da bacia, atingindo até 200 mm (Figura h-l).

O método de correção de viés aplicado aos resultados do modelo Eta (Tavares *et al.* 2024) foi bem-sucedido em aproximar os valores de precipitação simulados aos valores observados, incluindo os índices. Além disso, a regionalização incorporou as influências do relevo da região na distribuição espacial da precipitação, o que não existia nos dados dos modelos globais. Por este motivo, os padrões espaciais de PRCPTOT, R95p e RX5day foram melhorados e semelhantes nos cenários históricos dos diferentes modelos.

O CDD (CWD) corresponde à média do período mais longo de dias secos (úmidos) a cada ano. Períodos de secagem mais longos (55 dias) são observados sobre o sul da bacia (Figura 2q-t). O CWD mais longo ocorre principalmente na porção central-sul da bacia, não superior a 30 dias (Figura 2m-p). Essa variabilidade intrínseca do clima atual é um fator importante a ser considerado ao avaliar as projeções futuras.

Figura 2 – Índices climáticos calculados para o período histórico (1976-2005), de acordo com os modelos Eta_BESM, Eta_CanESM2, Eta_HadGEM2-ES, Eta_MIROC5: (a-d) PRCPTOT (mm); (e-h) R95p (mm); (i-l) RX5day (mm); (m-p) CWD (dias); (q-t) CDD (dias). Bacia do rio Machado-RO (contorno preto).



3.2 Padrão espacial das mudanças da precipitação projetadas para 2006-2040

As mudanças projetadas em PRCPTOT são evidentes no curto prazo em todos os conjuntos de dados dos modelos no cenário RCP4.5 (Figura 3a-d) e tornam-se ainda mais fortes no cenário RCP8.5 (Figura 4a-d). A variação positiva indica um aumento na intensidade dos eventos de precipitação extrema, ou seja, tendência de aumento dos eventos de precipitação extrema no futuro.

A variação negativa indica uma diminuição na intensidade da precipitação associada a eventos extremos. Ou seja, sugere-se uma redução na magnitude dos eventos de maior intensidade, com implicações para o escoamento superficial e risco hidrológico. Existem diferenças nos sinais projetados: enquanto Eta_BESM projeta anomalias positivas de PRCPTOT na região centro-norte da bacia do rio Machado (Figuras 3a e 4a), Eta_CanESM2 projeta um padrão de variações negativas (Figuras 3b e 4b), ambos sem significância estatística. Por outro lado, Eta_HadGEM2-ES (Figuras 3c e 4c) e Eta_MIROC5 projetam variações negativas significativas em toda a bacia, embora a intensidade das mudanças seja mais fraca em Eta_MIROC5 (Figuras 3d e 4d).

As mudanças projetadas em PRCPTOT, que se intensificam no cenário RCP8.5, demonstram a sensibilidade da bacia do rio Machado às emissões de gases de efeito estufa. A divergência entre os modelos, com Eta_BESM projetando aumento de precipitação na região central e Eta_CanESM2 indicando redução no centro-norte, ressalta a incerteza inerente às projeções climáticas regionais. Essa incerteza é um desafio comum em estudos de modelagem climática e pode ser atribuída a diferentes parametrizações e representações dos processos físicos nos modelos (Reboita *et al.* 2022)

Uma variação positiva (negativa) no R95p sugere um aumento (redução) na intensidade dos eventos de precipitação extrema. Um aumento em torno de 50 mm na precipitação dos eventos mais extremos foi projetado nas porções centro-norte pelo Eta_BESM, nos dois cenários (Figuras 3e e 4e). No centro-sul (norte) da bacia, Eta_CanESM2 e Eta_HadGEM2-ES apresentam sinais de aumento (redução) dos extremos de precipitação (Figuras 3f-g e 4f-g). A precipitação extrema é reduzida em toda a bacia nas projeções do Eta_MIROC5, com valores médios de redução de até 50 (75) mm no cenário RCP4.5 (RCP8.5) (Figuras 3h e 4h). O fato dos modelos projetarem sinais diferentes nos eventos mais extremos (R95p) em diferentes áreas da bacia, reforça a necessidade de considerar um conjunto (*ensemble*) de modelos para capturar a gama de possíveis futuros (Reboita *et al.* 2022).

Eventos de precipitação acumulada em um período de 5 dias consecutivos (RX5day) são menores em metade dos modelos (Figuras 3j-l e 4j-l), com reduções não significativas de até 30 mm nas porções norte e central da bacia, principalmente no cenário RCP8.5. Variações positivas não significativas são projetadas nos dois cenários apenas por Eta_BESM (Figuras 3i e 4i). A redução do RX5day em todos os modelos, especialmente no cenário RCP8.5, sugere uma diminuição na intensidade da precipitação mais forte em curtos períodos, o que pode ter implicações para o manejo de enchentes e a disponibilidade de água.

A variação do número máximo de dias consecutivos com precipitação (CWD) na bacia do rio Machado é positiva somente em Eta_BESM (Figura 3m), no cenário RCP4.5, com valores significativos acima de 10 dias, na porção central da bacia. Isso sugere um aumento na persistência dos eventos de precipitação. Entretanto, no cenário RCP8.5, este padrão é enfraquecido e o sinal de CWD torna-se negativo, principalmente nas porções norte e sul da bacia, mostrando, portanto, reduções nos dias consecutivos com precipitação (Figura 4m). As projeções dos demais conjuntos de modelos (Figuras 3n-p e 4n-p), sugerem uma diminuição na persistência dos eventos consecutivos de precipitação sobre toda a bacia. As reduções significativas de CWD projetadas por HadGEM-ES são mais fortes, nos dois cenários de RCPs (Figura 4n-p), cujos números máximos ultrapassam os 10 dias.

Figura 3 – Variação dos índices climáticos projetados para o cenário RCP4.5 (2006-2040), para os modelos Eta_BESM, Eta_CanESM2, Eta_HadGEM2-ES, Eta_MIROC5: (a-d) PRCPTOT (mm); (e-h) R95p (mm); (i-l) RX5day (mm); (m-p) CWD (dias); (q-t) CDD (dias). Contorno em preto indica a bacia do rio Machado-RO. Regiões com significância estatística ao nível de 95% ($p < 0,05$) são destacadas com hachuras. O sombreamento representa o consenso por maioria entre os modelos, ou seja, as áreas onde pelo menos 3 dos 4 modelos apontam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

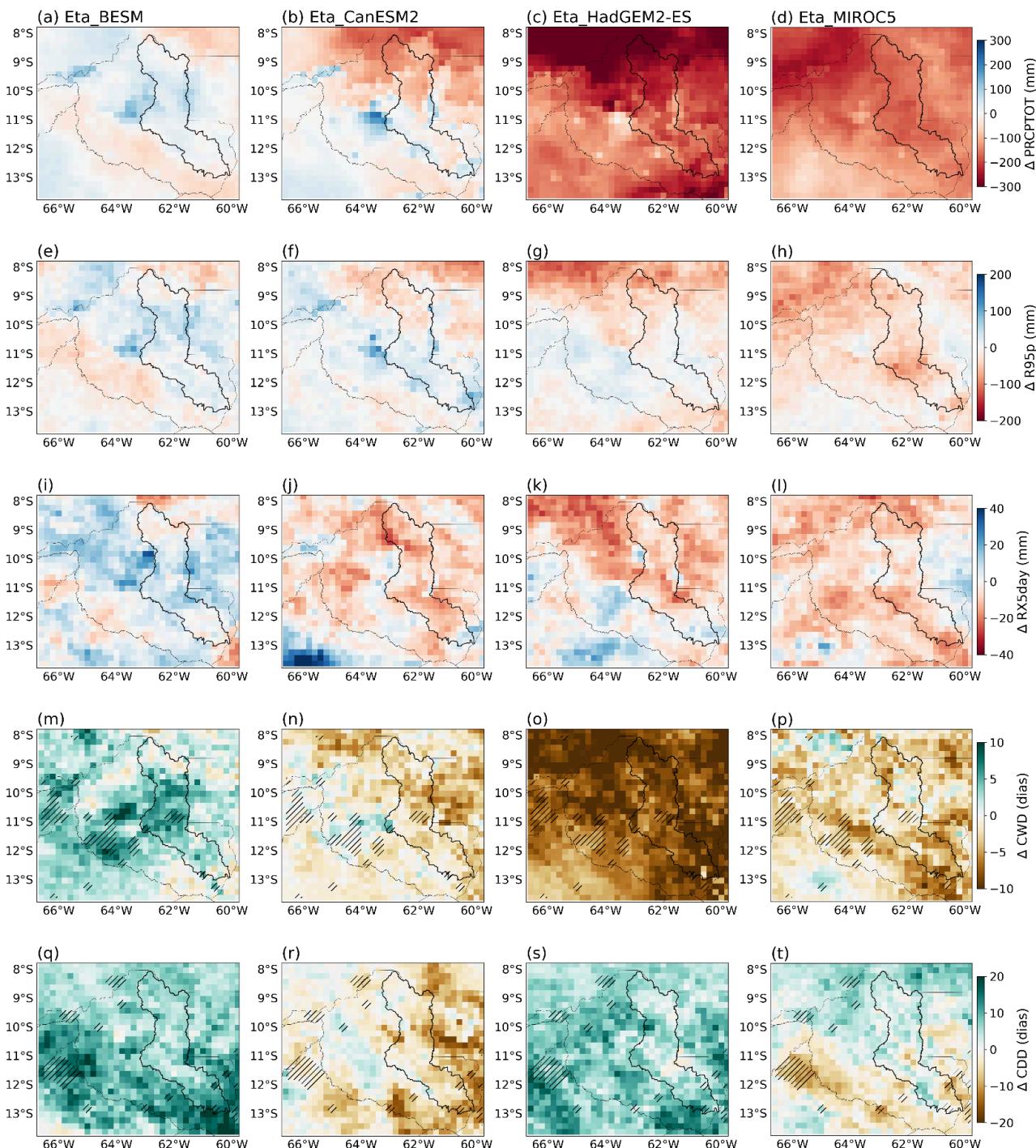
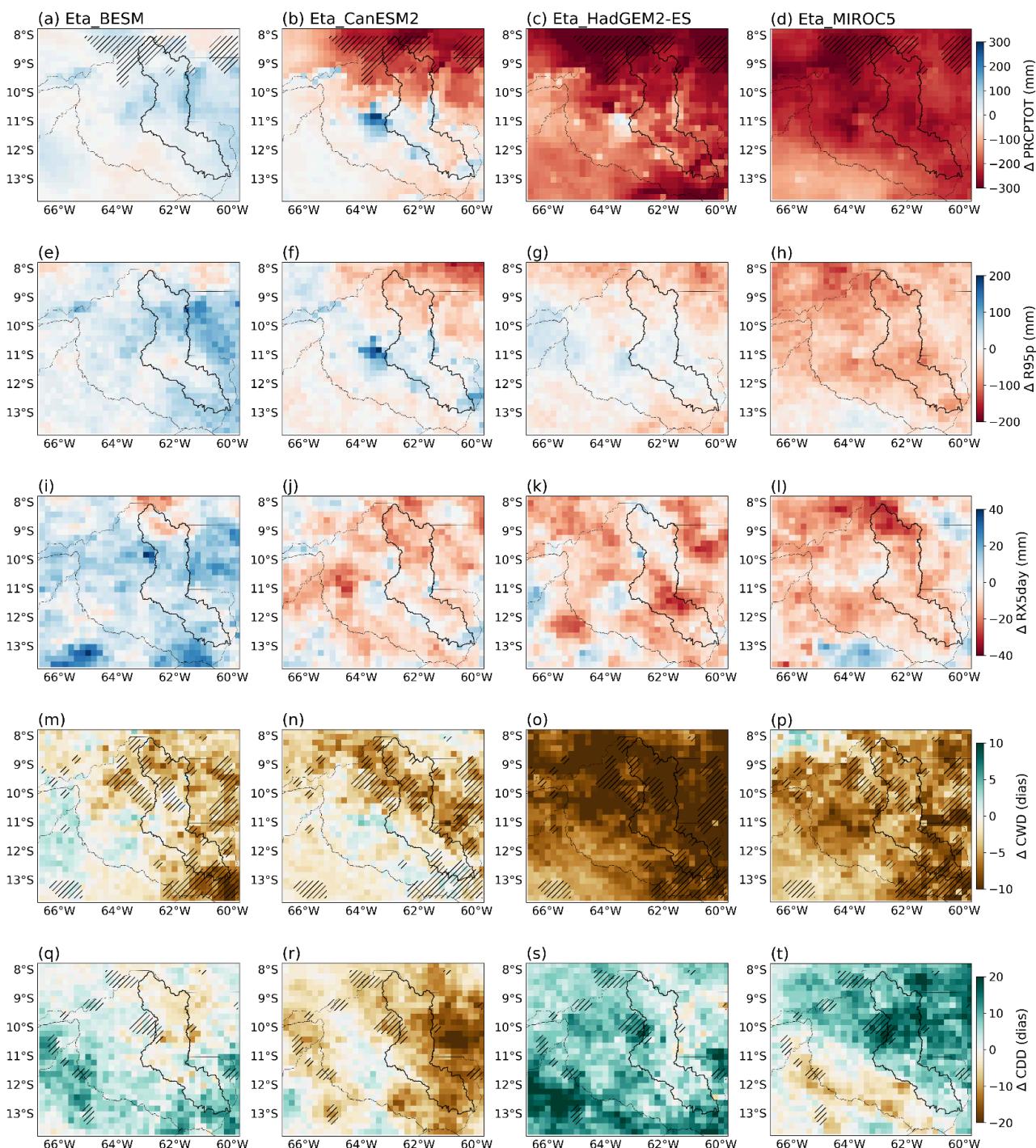


Figura 4 – Como na Figura 3, porém para o cenário RCP8.5.



Variações positivas (negativas) de CDD sugerem um aumento (diminuição) na duração dos períodos de dias secos. Apesar do aumento no número de dias chuvosos (CWD) terem sido projetados por Eta_BESM no cenário RCP4.5 (Figura 3m), um aumento significativo no número de dias secos (CDD) também é projetado no setor sul da bacia (Figura 3q). Contudo, as projeções de CDD do Eta_BESM no cenário de altas emissões são enfraquecidas, e sugerem sinais de secas mais longas somente no sul, enquanto que reduções destes períodos de seca são projetadas no centro-norte da bacia (Figura 4q), sem significância estatística. O modelo Eta_CanESM2 projeta

redução (de até 15 dias) dos períodos mais secos (Figura 3r e 4r). E os modelos Eta_HadGEM2-ES e Eta_MIROC5 apresentam sinais de aumento significativo do CDD em grande parte da bacia do rio Machado, de até 20 dias no cenário RCP8.5 (Figuras 3s-t e 4s-t).

As projeções para CWD e CDD são igualmente críticas. O aumento da persistência dos eventos de precipitação projetado pelo Eta_BESM no cenário RCP4.5, seguido por uma redução no RCP8.5, e a diminuição geral da persistência dos eventos de precipitação pelos demais modelos, indicam uma possível alteração nos padrões de sazonalidade da precipitação. O aumento significativo do CDD projetado por Eta_HadGEM2-ES e Eta_MIROC5, especialmente no cenário RCP8.5, é um sinal de alerta para o aumento da frequência e duração de secas na bacia. Essa tendência, combinada com a possível redução na intensidade da precipitação (R95p), pode levar a um estresse hídrico considerável na região.

4 CONCLUSÕES

As projeções de precipitação do modelo regional Eta forçado por modelos climáticos globais do CMIP5 (BESM, CanESM2, HadGEM2-ES e MIROC5), foram utilizadas para avaliar os padrões espaciais, identificar tendências e quantificar os potenciais impactos das mudanças climáticas na bacia do rio Machado, em Rondônia, sob os cenários RCP4.5 e RCP8.5, ao longo do período de 1976-2040. As projeções revelam uma complexidade espacial e temporal nas mudanças, com variações significativas entre os modelos. Essa heterogeneidade enfatiza a importância de considerar múltiplos modelos e cenários para uma avaliação de risco mais robusta. As projeções com correção de viés, utilizadas neste estudo, foram cruciais para aumentar a confiança nas projeções e fornecer informações mais precisas para o planejamento e a adaptação climática, embora incertezas quanto à magnitude das variações ainda tenham sido verificadas.

A combinação da análise de variações de intensidade (como R95p e RX5day) com as de duração (CWD e CDD) mostrou uma visão mais completa dos impactos das mudanças climáticas em curso nos regimes de precipitação extrema na região da bacia do rio Machado. Em síntese, as projeções de 2006-2040 sob o cenário RCP4.5 sugerem tendências mistas na bacia do rio Machado: algumas áreas podem experimentar precipitações mais intensas e persistentes (principalmente o centro), enquanto outras enfrentam redução na precipitação total e na intensidade de eventos extremos. No sul da região as projeções indicam aumento generalizado dos extremos de precipitação nos períodos tipicamente secos. E no cenário RCP8.5, a tendência geral é de redução ainda mais pronunciada na magnitude e intensidade da precipitação.

A incerteza nas projeções dos eventos extremos, caracterizada por áreas com precipitações concentradas em curtos períodos, ou áreas apresentando aumento do período de estiagem, representa um desafio substancial para a gestão dos recursos hídricos, a agricultura e a conservação dos ecossistemas na região amazônica. A bacia do rio Machado-RO, vital para o abastecimento hídrico e a manutenção de serviços ecossistêmicos, exigirá medidas de adaptação urgentes e bem planejadas para mitigar os impactos adversos das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INPE através do grupo de pesquisa da Dra. Priscila Tavares pela disponibilização dos dados dos modelos utilizados neste estudo. A CAPES/PDPG-AL/PROAP pelo apoio financeiro e bolsa pós-doc do primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- GIORGI, F., *et al.* (2009). The CORDEX initiative: An overview. *WCRP Report*, 13/2009.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Masson-Delmotte, V. *et al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KARL, T.R.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. In: T.R. Karl, N. Nicholls, A. Ghazi (eds) **Weather and Climate Extremes**. Dordrecht, Springer, p. 3-7. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2
- LEITE-FILHO, A.T.; SOARES-FILHO, B.S.; DAVIS, J.L. *et al.* (2021). “Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon”. *Nat Commun* 12, 2591. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>
- LLOPART, M.; SIMÕES REBOITA, M.; & PORFÍRIO DA ROCHA, R. (2020). “Assessment of multi-model climate projections of water resources over South America CORDEX domain”. *Clim Dyn* 54, 99–116. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04990-z>
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ESPINOZA, J.-C.; *et al.* (2024). The Drought of Amazonia in 2023-2024. *American Journal of Climate Change*, 13, 567-597. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2024.133026>
- MU, Y.; BIGGS, T. W.; JONES, C. (2023). “Importance in shifting circulation patterns for dry season moisture sources in the Brazilian Amazon”. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL103167. <https://doi.org/10.1029/2023GL103167>
- PETERSON, T.C.; FOLLAND, C.; GRUZA, G.; *et al.* (2001). Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. **WMO**, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143 p. Disponível em: <https://etccdi.pacificclimate.org/docs/wgccc.2001.pdf>
- RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; SANTO, C. M. E.; GAN, M. A. (2016). “An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011”. *Int. J. Climatol.* 36: 291-302. doi: 10.1002/joc.4345. Acesso em: 8 jun. 2025.
- REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. da; SOUZA, C. A. de; *et al.* (2022). “Future Projections of Extreme Precipitation Climate Indices over South America Based on CORDEX-CORE Multimodel Ensemble”. *Atmosphere* 13, no. 9: 1463., 2022. doi: 10.3390/atmos13091463. Acesso em: 8 jun. 2025.
- SOUSA, A. C.; CANDIDO, L. A.; RIBEIRO-NETO, A.; TEMOTEO, G. G. (2023). *Análise da precipitação e da disponibilidade hídrica na bacia do rio Machado-RO. Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* - XXV-SBRH, 2023. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15355>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- TAVARES, P.; PILOTTO, I. L.; CHOU, S. C.; SOUZA, S. A.; FONSECA, L. M. G.; CHAGAS, D. J. (2024). *Um conjunto de dados de projeções de mudanças climáticas de alta resolução para a América do Sul com correção de viés*. *Derbyana*, [S. l.], v. 45, 2024. DOI: 10.69469/derb.v45.821. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/821>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- TAYLOR, K.E., STOUFFER, R.J. MEEHL, G.A. (2012). *An overview of CMIP5 and the experiment design*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.