

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### AUTOMATIZAÇÃO NA ELABORAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS PARA ANÁLISES HIDROLÓGICAS A PARTIR DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA BASE DE DADOS CHIRPS

*Tomás Xavier Cavedon<sup>1</sup> & Camila Dalla Porta Mattiuzzi<sup>2</sup>*

**Abstract:** This article presents a tool developed by the Geological Survey of Brazil (SGB) – Porto Alegre unit, designed to automate the creation of cartographic products for hydrological analyses within the scope of the Hydrological Alert System (SAH) of the Uruguay River Basin. The tool, programmed in Python on the Google Colab platform, uses the Google Earth Engine (GEE) API and data from the Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) to generate accumulated precipitation maps. The automated cartographic products include monthly accumulated precipitation for specific years, monthly and annual averages over defined periods, precipitation ratios, and annual precipitation accumulation averages, meeting the demand for speed and efficiency previously limited by traditional GIS software. The automation enabled the generation of 37 maps in about 30 minutes for a basin covering just over 219,000 km<sup>2</sup>, producing lightweight files organized by naming conventions that adapt to input information such as month, year, and period of interest. This significantly reduced the time spent on repetitive tasks, allowing greater focus on hydrological analyses. Although developed for the Uruguay River Basin, the tool can be applied to any region of the globe. The source code is available at the end of this paper, promoting its reproducibility, adaptability, and use by other institutions.

**Resumo:** Este artigo apresenta uma ferramenta desenvolvida pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) – unidade Porto Alegre para automatizar a elaboração de produtos cartográficos voltados a análises hidrológicas no contexto do Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai. A ferramenta, programada em Python na plataforma Google Colab, utiliza a API do Google Earth Engine (GEE) e dados do *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) para gerar mapas de precipitação acumulada e média. Os produtos cartográficos automatizados incluem precipitação mensal acumulada em anos específicos, médias mensais e anuais em períodos definidos, e razões de precipitação, suprindo a demanda por agilidade e eficiência anteriormente limitada pelo uso de softwares SIG tradicionais. A automatização permitiu a geração de 37 mapas em cerca de 30 minutos para uma bacia de pouco mais de 219 mil km<sup>2</sup>, gerando arquivos leves, com layout padronizadas e organizados por nomenclatura adaptável às informações de entrada como mês, ano e período de interesse. Isso reduziu significativamente o tempo dedicado a tarefas repetitivas, permitindo maior dedicação às análises hidrológicas. Embora desenvolvida para a Bacia do Rio Uruguai, a ferramenta pode ser aplicada em qualquer região do globo. O código está disponível ao final do trabalho, promovendo sua reproduzibilidade, adaptabilidade e uso por outras instituições.

**Palavras-Chave** – Cartografia, Google Earth Engine, CHIRPS.

1) Estagiário do SGB/GEHITE – PA. Geografia – IGEO/UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9090 -

Agronomia, Porto Alegre/RS - CEP: 90040-060, Tel.: (51) 33086000. tomascavedon@gmail.com

2) SGB - Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300. camila.mattiuzzi@sgb.gov.br

## INTRODUÇÃO

A precipitação é um fenômeno com grande variabilidade espacial e temporal, e é uma informação essencial para o entendimento dos processos hidrológicos, subsidiando o planejamento do ambiente e as tomadas de decisões (Bernardo *et al.*, 2023). Neste cenário, os produtos de precipitação por satélite têm sido amplamente utilizados, principalmente devido à cobertura espacial, disponibilidade temporal e pela facilidade na obtenção destas informações (Silva *et al.*, 2024; Hsu *et al.*, 2021).

A utilização de dados de sensoriamento remoto depende da capacidade computacional de armazenamento e processamento das imagens. Entretanto, atualmente existem ferramentas que podem facilitar a utilização, como meios de computação em nuvem e acesso aos repositórios de produtos de sensoriamento remoto, tais como a plataforma Google Colab e o Google Earth Engine. Estas ferramentas permitem a utilização dos produtos sem a necessidade de download de imagens intermediárias e de altos recursos computacionais.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta automatizada para a elaboração de produtos cartográficos para análises hidrológicas no âmbito do projeto Sistema de Alerta Hidrológico (SAH) da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, o qual é operado e mantido pelo Serviço Geológico do Brasil. Fazem parte desse projeto trabalhos que demandam materiais cartográficos no contexto da hidrologia como relatórios anuais de operação, boletins de monitoramento de estiagem e estudos hidrológicos. A ferramenta em questão, desenvolvida em linguagem Python para a plataforma Google Colab e que utiliza API do Google Earth Engine (GEE) e a base de dados *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS), irá suprir a necessidade de agilidade na produção cartográfica de mapas de precipitação acumulada, de precipitação média e de razão de precipitação acumulada com a média, de modo a minimizar processos repetitivos e demorados que anteriormente eram realizados em softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como QGIS e ArcGIS.

## METODOLOGIA

A automatização da elaboração dos mapas de precipitação foi feita a partir das seguintes ferramentas: Google Earth Engine (GEE), Google Colab e produtos de precipitação da base de dados *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS).

### Plataforma Google Earth Engine (GEE)

De acordo com Gorelick *et al.* (2017), o Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma em nuvem para análises geo-espaciais em escala planetária e que utiliza as massivas capacidades computacionais da empresa Google para lidar com uma grande variedade de questões de alto impacto para a sociedade como desmatamento, secas, administração dos recursos hídricos, monitoramento climático, entre outros. Ainda segundo os autores, o catálogo de dados espaciais abriga um grande repositório de datasets públicos provenientes de dados observacionais de satélites e imagens aéreas, tanto no comprimento de onda óptico quanto no não-óptico. O editor de código da plataforma GEE trabalha na linguagem JavaScript e possui uma biblioteca de mais de 800 funções que variam em complexidade, desde funções matemáticas simples até operações de geoprocessamento, aprendizado de máquina e processamento de imagens (Gorelick *et al.*, 2017). No entanto, permite, por meio de API, trabalhar em outras plataformas com a linguagem Python, o que permite fluxos de trabalho avançados, automação e integração com bibliotecas de ciência de dados como Pandas e NumPy. Uma vez que este trabalho envolve geração de mapas com elementos cartográficos e processos de repetição, foi utilizada a API do GEE através da plataforma do Google Colab em linguagem Python.

## Base de dados CHIRPS Daily

A base de dados CHIRPS consiste em um produto construído a partir de um algoritmo que combina estimativas de precipitação provenientes de satélite com dados de estações pluviométricas terrestres para produzir imagens diárias de precipitação. A resolução espacial das imagens é de 0.05° e estão disponíveis no período de 01 de janeiro de 1981 até o presente, com uma latência de aproximadamente 3 semanas (Funk *et al.*, 2015).

As principais vantagens da utilização do produto CHIRPS são a ampla cobertura global (50°S-50°N através de todas as longitudes), o longo período de série temporal (desde 1981) e a alta resolução espacial. Além disso, os produtos estão disponíveis em intervalo diário na coleção do GEE CHIRPS Daily: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation With Station Data (Version 2.0 Final), permitindo a utilização no prompt do GEE ou através da API sem a necessidade de download dos arquivos individuais.

A latência na disponibilização das imagens dificulta a utilização deste produto em análises durante os eventos de precipitação; entretanto, a boa resolução espacial, o longo período temporal e as correções com dados de estações in situ facilitam a utilização do produto CHIRPS em análises hidrológicas pós-evento e de longo período. Estudos de validação dos produtos CHIRPS a partir de séries históricas de precipitação medidas in situ apontaram boas correlações (Silva *et al.*, 2024; Hsu *et al.*, 2021), mas que podem variar com a geografia do local analisado e a discretização temporal (Horta *et al.*, 2023; Lopez-Bermeo *et al.*, 2022).

## Estrutura do código no Google Colab

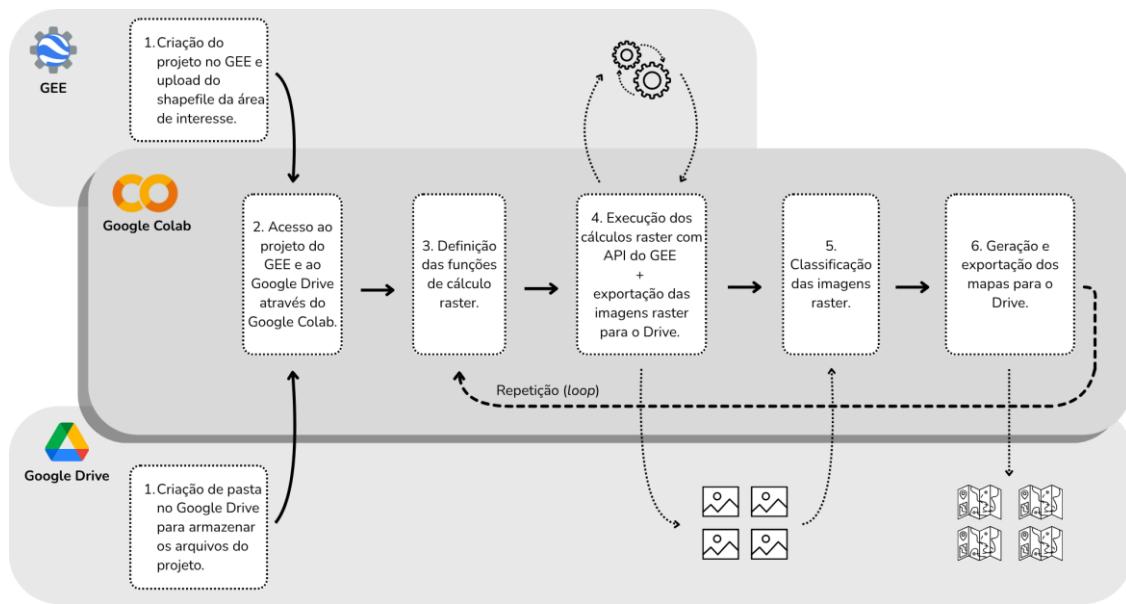
O código foi elaborado na linguagem de programação Python para ser executado na plataforma Google Colab. Como produto, são quatro tipos de mapas possíveis de serem gerados: i) mapa de precipitação acumulada para o mês de interesse; ii) mapa de média de precipitação para o mês de interesse; iii) mapa de razão de precipitação (produto da razão entre os mapas anteriores: raster de precipitação acumulada e raster da média da precipitação); iv) mapa da precipitação média anual no período determinado. A limitação do período escolhido para a elaboração dos mapas corresponde à disponibilidade de dados CHIRPS na coleção do GEE.

Antes de tudo, é necessária a criação de um projeto no GEE e o *upload*, como *asset*, neste mesmo projeto, de um *shapefile* (ou outra extensão suportada) em formato de polígono da área de interesse (área de estudo). Além disso, é necessário que seja criada uma pasta exclusiva no Google Drive para armazenamento e utilização dos arquivos gerados ao longo da execução. Após isso, já na plataforma Colab, é necessário fornecer algumas informações de entrada (*inputs*): i) o ano de interesse e o mês de interesse para os três primeiros tipos de mapa; ii) o período de anos para os cálculos de média (disponível a partir de 1981); iii) os mapas que irão ser produzidos; iv) a habilitação ou não da estrutura de repetição (para os casos em que se deseja produzir mapas para vários meses de interesse); v) locais de armazenamento dos arquivos no Google Drive.

A execução do código, cujo fluxograma pode ser visualizado na Figura 1, foi estruturada da seguinte forma: primeiramente, é feito o acesso, com as devidas credenciais fornecidas, tanto ao projeto do GEE quanto ao Google Drive. São definidas, então, três funções que, quando chamadas, acessam as imagens do produto CHIRPS Daily via API do GEE e realizam os seguintes cálculos para a área de interesse: i) cálculo da média de precipitação na série histórica para o período de interesse; ii) cálculo de precipitação acumulada para o período de interesse no ano de interesse; iii) cálculo da razão de precipitação, que é a razão entre os produtos dos cálculos anteriores (precipitação acumulada e média de precipitação); iv) cálculo da precipitação média anual para o período definido.

Após isso, são realizadas as exportações para o drive das imagens raster de precipitação acumulada, de razão de precipitação, da precipitação média para o mês de interesse no período determinado e precipitação média anual para o período determinado. Quando executadas, as células de exportação chamam as funções de cálculo anteriormente citadas e realizam efetivamente estes cálculos para gerar as imagens raster e armazená-las no Google Drive. É importante destacar que o cálculo da precipitação média na série histórica para o mês de interesse é feito considerando que o período da série histórica não pode compreender os valores do ano de interesse para o qual está sendo calculado a razão de precipitação. Isso se dá em função de um princípio da estatística de independência dos dados, onde não se deve incluir o que está sendo analisado no que temos como referência, de acordo com diversos exemplos no livro de Diez *et al.* (2019).

Figura 1 – Fluxograma do código.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

As próximas células do código chamam as imagens raster, armazenadas no Google Drive, para classificá-las de modo personalizado, preparando-as para a etapa seguinte de geração dos produtos cartográficos. A classificação dos rasters é feita utilizando a biblioteca de estatística *NumPy* que, conforme Harris *et al.* (2020), permite criar arranjos de dados a partir de, por exemplo, dados matriciais. Os limites e as cores das classes de cada mapa são manualmente configuráveis de acordo com a realidade e a necessidade de cada região de interesse. Neste trabalho, em função da área de interesse escolhida, a imagem raster de precipitação acumulada para o mês de interesse é classificada com os limites, em milímetros, de 100, 200, 300, 400 e 500 e a última classe compreende os valores acima de 500mm. Já a imagem raster de razão de precipitação é classificada com os seguintes limites adimensionais: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 e 2.5 e a última classe agrupa os valores acima de 2.5 vezes a média histórica. Por sua vez, a imagem raster de média de precipitação acumulada para o mês de interesse é classificada com os seguintes limites, em milímetros: 50, 100, 150, 200, 250 e acima de 250mm. Finalmente, a imagem raster de precipitação acumulada média anual é classificada com os limites de: 1500, 1700, 1900, 2100, 2300 e a última classe abrange os valores acima de 2300mm.

Por fim, são executadas as células responsáveis por gerar os produtos cartográficos. Nesta etapa, cria-se uma figura em branco com dimensões configuráveis onde são incorporados, além do raster classificado, todos os elementos cartográficos como, por exemplo, coordenadas geográficas, Norte geográfico, escala gráfica, legenda, título do mapa, informações sobre fontes de dados e sistema

de referência de coordenadas utilizado. Além disso, também são incluídos elementos geográficos importantes para a localização dos dados raster como massa terrestre (continente), oceano e limites políticos-territoriais. Finalizando, o código salva a imagem na pasta do Google Drive como arquivo de extensão .png com nome padronizado, especificando qual mapa é, bem como com o mês, o ano e/ou o período de interesse.

Caso seja interessante executar todo o processo novamente e gerar mapas para os próximos meses do ano (por exemplo, até Dezembro e a partir do mês de interesse utilizado nos processos anteriores), uma última célula de execução foi elaborada com a finalidade de gerar um processo de repetição (*loop*). Sendo assim, ao ser habilitado e executado, esse trecho de código faz com que o Google Colab execute novamente as células a partir da definição dos cálculos somando o valor 1 à variável do mês de interesse a cada rodada e interrompe o processo após finalizar o mês 12 (Dezembro). Esta alternativa é útil para os casos em que se deseja gerar mapas de todos os meses de um ano determinado, sem a necessidade de, para cada mês, alterar o mês de interesse e reexecutar as células novamente de forma manual.

Todos os elementos de geração das figuras, elementos cartográficos e geográficos supracitados, são configuráveis e baseados, principalmente, nas bibliotecas *Matplotlib* e *Cartopy*. A biblioteca *Matplotlib*, de acordo com Hunter (2007), “é um pacote gráfico 2D utilizado em Python para desenvolvimento de aplicações, scripts interativos e geração de imagens com qualidade de publicação, compatível com diversas interfaces de usuário e sistemas operacionais.” Por sua vez, a biblioteca *Cartopy* é, conforme Elson *et al.* (2024), uma biblioteca baseada em *Matplotlib* criada para processar dados geoespaciais com o objetivo de produzir mapas e outras análises geoespaciais. Portanto, permite trabalhar com sistemas de referência de coordenadas (SRC), sendo possível, assim, georreferenciar e desenhar corretamente todos os elementos na figura.

## Área de estudo

O projeto de automatização na elaboração de produtos cartográficos para análises hidrológicas foi desenvolvido no âmbito do projeto Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, o qual é operado e mantido pelo Serviço Geológico do Brasil. A área de interesse corresponde à área de drenagem da Bacia do Rio Uruguai com exutório na tríplice fronteira entre Brasil, Argentina e Uruguai, que corresponde à uma área de 219 mil km<sup>2</sup>. A área de estudo pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

## RESULTADOS

Com relação ao tempo de execução do código, sem a estrutura de repetição ativada e com a produção dos quatro tipos de mapa possíveis de serem gerados habilitada, levou cerca de 3 minutos nos casos nos quais não ocorreram erros, e pouco mais de 6 minutos nos casos mais lentos em que o código teve de fazer algumas tentativas de localizar algum arquivo no Google Drive (instabilidade que pode ocorrer no tempo de upload e disponibilização dos arquivos em nuvem).

A execução do código com a estrutura de repetição (*loop*) habilitada, por sua vez, gerou 37 arquivos rasters e 37 mapas (3 para cada mês e um para o período de ano) em arquivos de extensão *png*. O tempo total de execução, sem a necessidade de supervisão, variou aproximadamente entre 28 e 35 minutos. Em termos de tempo de produção dos mapas, fica evidente que, mesmo nos casos mais lentos, a automatização do processo se mostrou mais eficiente do que a elaboração manual.

Os arquivos rasters gerados para a área de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai variaram em tamanho de 59 a 91kb. Os arquivos de imagem dos mapas gerados variaram, por sua vez, de 425 a 466kb. Para a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai a pasta com rasters e imagens totalizou 18,9Mb. No que diz respeito ao armazenamento dos arquivos, portanto, percebe-se que o espaço de armazenamento total necessário não é muito expressivo.

### Aplicação

Como exemplo da aplicação do script e de análises que podem ser feitas a partir dos produtos gerados, trouxemos os mapas de (a) precipitação média mensal de maio (1981 a 2023), (b) precipitação acumulada em maio de 2024, e (c) razão da precipitação de maio de 2024 com a média mensal, que podem ser observados na Figura 3. A escolha deste período se deu em razão do recente evento de precipitação extrema ocorrido no Estado do Rio Grande do Sul entre o final de Abril e o início de Maio do ano de 2024, que causou diversos eventos de inundação e de outros desastres como movimentos de massa.

Analizando o mapa de precipitação média (Figura 3a) é possível observar que a área central da bacia, localizada sobre a porção Norte do estado do Rio Grande do Sul e Oeste do estado de Santa Catarina, é a região na qual ocorreram as maiores médias de precipitação entre 1981 e 2023: valores entre 150 e 200mm foram registradas, em média, nos meses de Maio dentro do analisado.

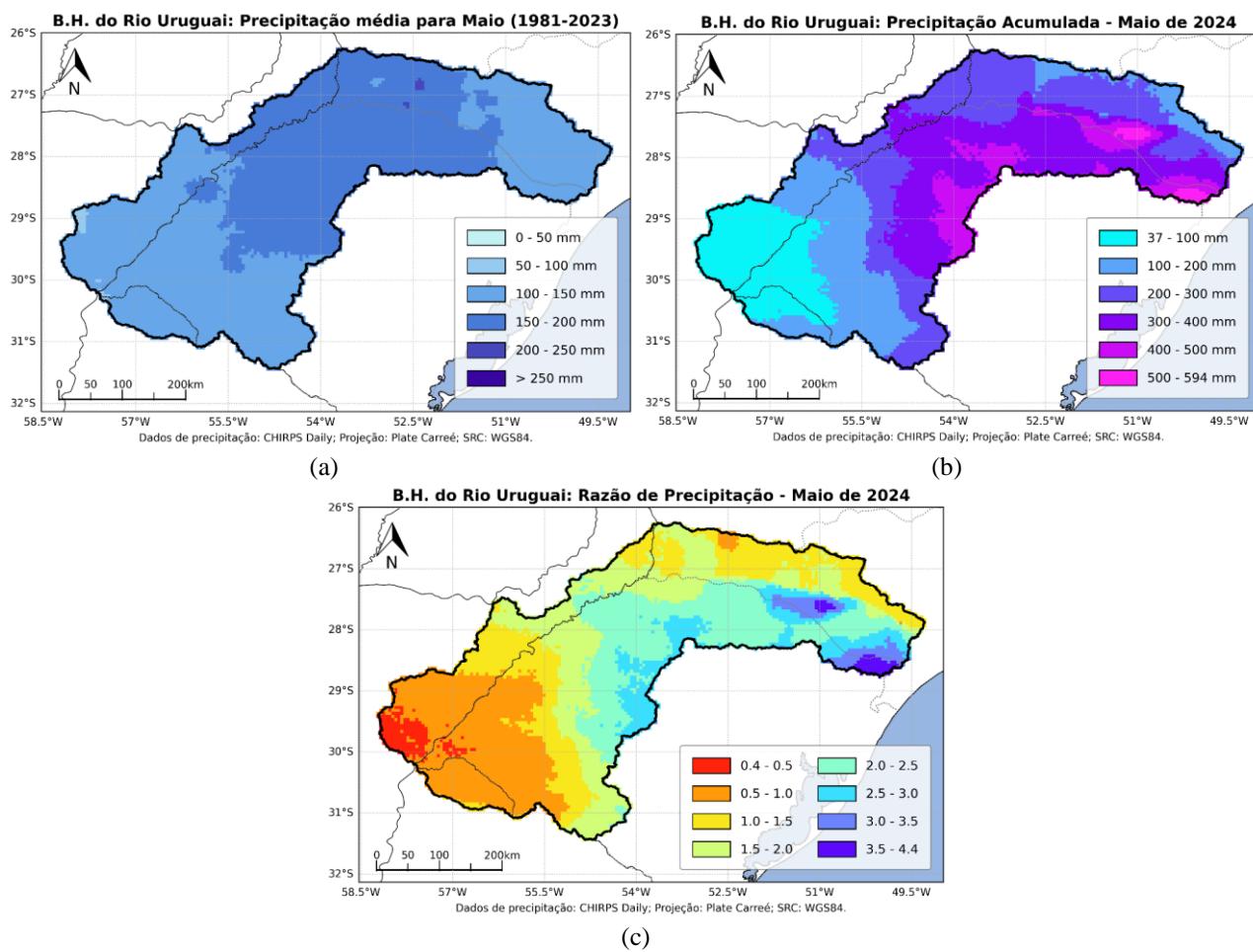
O mapa de precipitação acumulada (Figura 3b), por sua vez, nos mostra que mais da metade da área da bacia recebeu precipitações acima de 200mm no mês de Maio de 2024 e que essa precipitação coincidiu, em sua maior parte, com a área de maior média no período considerado analisada no mapa anterior.

Ainda sobre o mapa de precipitação acumulada, observa-se que os extremos de precipitação se dão nos tons púrpuras à rosa, compreendendo precipitações acima de 300mm. Destaca-se as regiões mais a montante do Rio Uruguai e em suas nascentes que receberam, em alguns pontos, precipitações acima de 400mm e em outros acima de 500mm, chegando a um máximo de 594mm. Destaca-se que uma análise com mais acurácia para o evento específico demanda metodologias diferentes considerando, por exemplo, recortes de períodos entre 27 de Abril e 14 de Maio, assim como fizeram os trabalhos dos autores Collischonn *et al.* (2024) e Collischonn *et al.* (2025) para a Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, onde analisaram que houveram polígonos dentro desta bacia onde as precipitações acumuladas médias, em diferentes recortes do período Abril-Maio, ficaram acima de 700mm. No entanto, os produtos cartográficos desenvolvidos neste trabalho permitem a visualização espacial e da magnitude das precipitações observadas.

23 a 28 de novembro de 2025 - Vitória - ES

A partir dos mapas anteriores temos o mapa de razão de precipitação (Figura 3c), que nos possibilita observar as áreas onde ocorreram precipitações acima e abaixo da média do período considerado em Maio de 2024. Para a exposição exclusiva deste mês optou-se por utilizar uma classificação em 8 classes, ao invés de 6, com a intenção de trazer maior destaque à localização dos extremos de precipitação. Portanto, neste caso, a graduação do tom amarelo até o mais azul representa as áreas com precipitações acima da média (cerca de 85% da área total da bacia), sendo que, como analisado anteriormente, a área das nascentes foram as que receberam as precipitações acima de três vezes a média do período, chegando a 4,4 vezes esta mesma média.

Figura 3 – Mapas gerados para o mês de Maio de 2024.



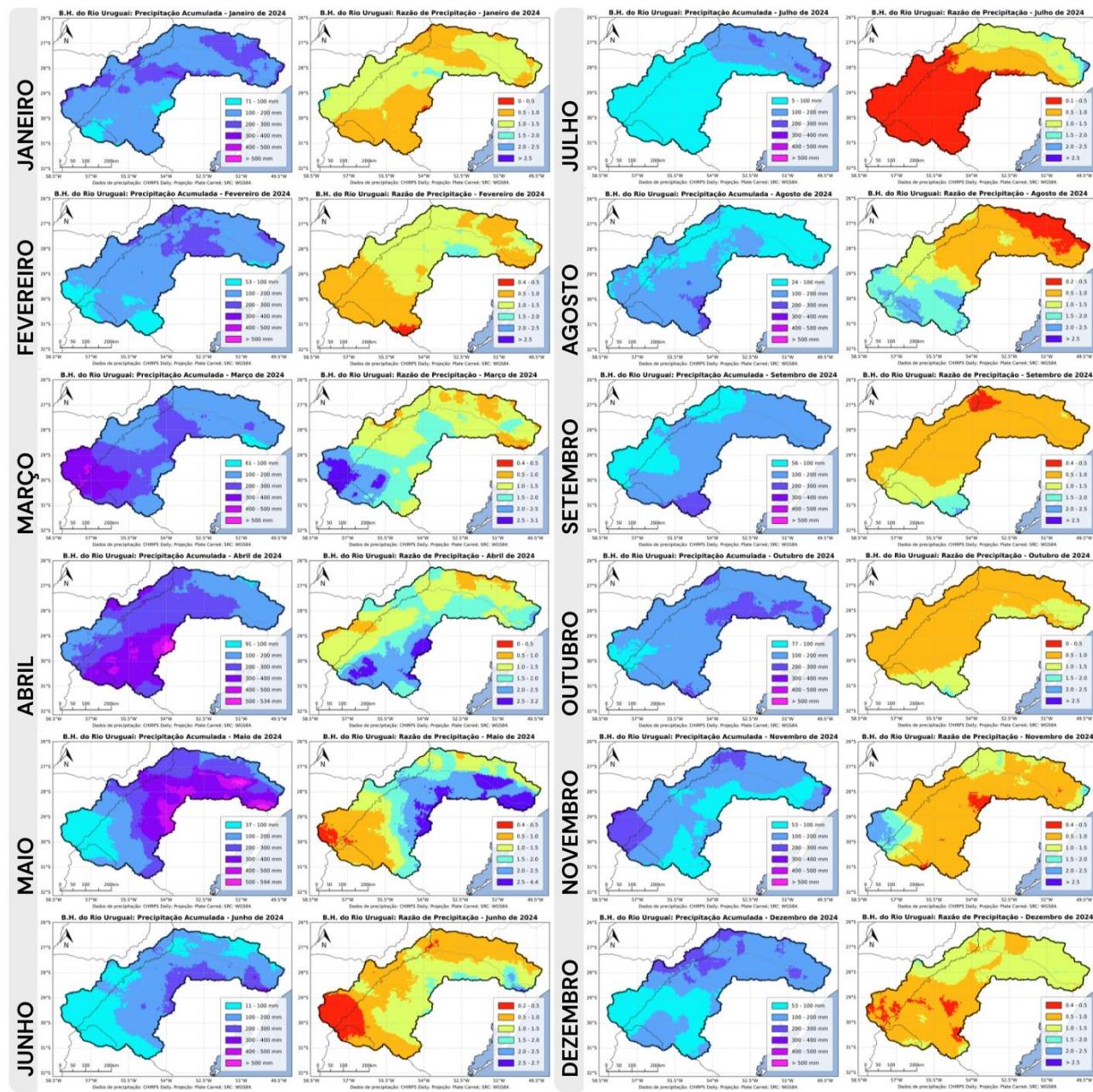
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Como outro exemplo de possibilidade de utilização dessa cartografia em análises hidrológicas, elaboramos um mosaico com os mapas de precipitação acumulada e de razão de precipitação para cada mês do ano de 2024, que pode ser observado na Figura 4.

A disposição organizada e ordenada dos mapas para cada mês, de Janeiro a Dezembro de 2024, permite a análise visual comparativa das precipitações. Percebe-se que no ano de 2024, para a bacia em análise, os meses de Março, Abril e Maio foram os meses de maiores áreas com precipitações acima da média (tom amarelo-esverdeado até o azul escuro dos mapas de razão de precipitação). Além disso, estes também foram os únicos meses onde registraram-se áreas expressivas com acumulados acima de 300mm. Por outro lado, os meses de Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro foram os que apresentaram maiores áreas com precipitações abaixo da média do período.

considerado (cores vermelho e laranja). Dentre esses, Julho se destaca por apresentar mais da metade da área da bacia em tom vermelho, representando precipitações entre 0,1 e 0,5 vezes a média do período considerado para o ano de 2024. Ainda sobre Julho, no mapa de precipitação acumulada é possível ver que nesta área, agora em azul claro, as precipitações acumuladas variaram entre 5 e 100mm. Por fim, os meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro apresentaram um maior equilíbrio entre áreas levemente abaixo e levemente acima da média.

Figura 4 – Mosaico de 24 mapas gerados para o ano de 2024.

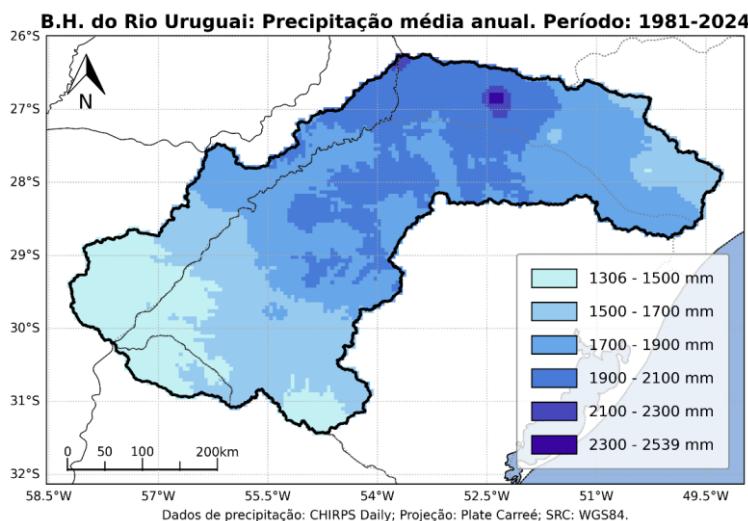


Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Um último exemplo é apresentado na Figura 5: o mapa de precipitação média anual para o período de 1981 a 2024. Observa-se que as médias de precipitação acumulada são maiores sobre o Oeste catarinense, parte do território argentino e partes do Norte do estado do Rio Grande do Sul. Os valores de precipitação acumulada média nessas áreas são acima de 1900mm anuais, com destaque para uma pequena área próxima ao município catarinense de Xanxerê, onde as precipitações

acumuladas médias ficam entre 2100mm e 2539mm. Importante observar que essas áreas estão sobre trechos mais a montante do Rio Uruguai, o que significa que impactam diretamente os trechos mais a jusante. A maior parte da área da bacia, no entanto, tem média que varia entre 1500mm e 1900mm de precipitação acumulada anual e a área mais a jusante do Rio Uruguai, próxima a tríplice fronteira, apresenta as menores médias de precipitação acumulada: de 1306mm a 1500mm.

Figura 5 – Mapa de precipitação média anual para o período de 1981 a 2024.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

## CONCLUSÕES

Avalia-se que o objetivo de automatização na elaboração de produtos cartográficos para análises hidrológicas foi atingido, considerando que, para uma bacia de área de pouco mais de 219 mil km<sup>2</sup>, foram produzidos 37 mapas em cerca de 30 minutos e gerados arquivos leves e de fácil armazenamento em nuvem. Avalia-se, também, que a diminuição do tempo e esforço necessários para a produção dos mapas supracitados possibilitou o emprego de maior tempo de dedicação e de qualidade às etapas de análise dos dados de precipitação.

Além disso, a organização dos produtos finais e a fácil identificação a partir da padronização automática dos nomes dos arquivos, dos layouts e das legendas se mostraram um ponto bastante positivo, tornando-se fácil a posterior localização e utilização dos mapas. Embora tenha sido desenvolvida para a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, a rotina pode ser aplicada a qualquer outra bacia, área ou região de interesse na qual exista cobertura dos dados de precipitação CHIRPS. O *script*, de autoria de Cavedon e Mattiuzzi (2025), está disponível em <https://doi.org/10.5281/zenodo.15620837> e pode ser utilizado alterando apenas as informações de entrada ou adaptando à diferentes realidades e objetivos, neste último caso exigindo um certo grau de conhecimento em linguagem Python.

## REFERÊNCIAS

- BERNARDO, J.A. et al. (2023). “Avaliação do produto CHIRPS na estimativa de eventos extremos de precipitação em Florianópolis/SC” In Anais do XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, Brasil, 2023.
- CAVEDON, T. X.; MATTIUZI, C. D. P. (2025). “Script de automatização para elaboração de produtos cartográficos a partir da base de dados CHIRPS (All Versions)”. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15620837>

COLLISCHONN, W.; BRÉDA, J.P.L.F.; WONGCHUIG, S.; RUHHOFF, A.; PAIVA, R.C.D.; FAN, F.M.; MACHADO FILHO, R.C.C.; RAMALHO, N. (2024). “*Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 29, pp. 1-16. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.292420240088>. Acesso em: 05/06/2025.

COLLISCHONN, W.; FAN, F.M.; POSSANTTI, I.; DORNELLES, F.; PAIVA, R.; MEDEIROS, M.S.; MICHEL, G.P.; FILHO, F.J.C.M.; MORAES, S.R.; MARCUZZO, F.F.N.; MICHEL, R.D.L.; BESKOW, T.L.C.; BESKOW, S.; FERNANDES, E.H.L.; LAIPELT, L.; RUHHOFF, A.; KOBIYAMA, M.; COLLARES, G.L.; BUFFON, F.; DUARTE, E.; LIMA, S.; MEIRELLES, F.S.C.; PICCILI, D.G.A. (2025). “*The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 30, pp. 1-35. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119>. Acesso em: 05/06/2025.

DIEZ, D.; RUNDEL, M.Ç.; BARR, C.D. (2019). “*OpenIntro Statistics*”. Open Intro, 422p. Disponível em: <https://www.openintro.org/book/os/>. Acesso em: 05/06/2025.

ELSON, P.; DE ANDRADE, E.S.; LUCAS, G.; MAY, R.; HATTERSLEY, R.; CAMPBELL, E.; COMER, R.; DAWSON, A.; LITTLE, B.; RAYNAUD, S.; SCMC72; SNOW, A.D.; IGOLSTON; BLAY, B.; KILLICK, P.; IBDREYER.; PEGLAR, P.; WILSON, N.; ANDREW; KIRKHAM, D. (2024). “*SciTools/cartopy: REL: v0.24.1*”. Zenodo. Disponível em: <https://zenodo.org/records/13905945>. Acesso em: 04/06/2025.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. (2017). “*Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*”. Remote Sensing of Environment 202, pp. 18-27. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>. Acesso em: 03/06/2025.

HARRIS, C.R.; MILLMAN, J.; WALT, S.J.V.D.; GOMMERS, R.; VIRTANEN, P.; COURNAPEAU, D.; WIESER, E.; TAYLOR, J.; BERG, S.; SMITH, N.J.; KERN, R.; PICUS, M.; HOYER, S.; VAN KERKWIJK, M.H.; BRETT, M.; HALDANE, A.; FERNÁNDEZ DEL RÍO, J.; WIEBE, M.; PETERSON, P.; GÉRARD-MARCHANT, P.; SHEPPARD, K.; REDDY, T.; WECKESSER, W.; ABBASI, H.; GOHLKE, C.; OLIPHANT, T.E. (2020). “*Array programming with NumPy*”. Nature 585, Set. 2020, pp. 357-362. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2649-2>. Acesso em: 03/06/2025.

HORTA, I.T.L.G. et al. DAILY RAINFALL DATA VALIDATION: IMERG, CHIRPS, AND GAUGES. (2023) In Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; Florianópolis-SC, Brasil, 2023.

HSU, J.; HUANG, W.-R.; LIU, P.-Y.; LI, X. (2021). “*Validation of CHIRPS Precipitation Estimates over Taiwan at Multiple Timescales*.” Remote Sens. 2021, 13, 254. <https://doi.org/10.3390/rs13020254>

HUNTER, J.D.; (2007). “*Matplotlib: a 2D graphics environment*”. IEEE Xplore: Computing in Science & Engineering 9, pp. 90-95. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4160265>. Acesso em: 03/06/2025.

LÓPEZ-BERMEJO, C. et al. (2022). “*Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America*”. Physics and Chemistry of the Earth 127, 2022.

SILVA, S. F.; ARAÚJO, D. C. S.; VIANA, J. F. S.; MEDEIROS, Y. D. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2024) “*Validation of the CHIRPS precipitation estimate in a Brazilian Savanna Basin*”. Revista Brasileira de Geografia Física v.17, n.2 (2024) 860-881.