



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DASHBOARD DE
DADOS DE PRECIPITAÇÃO UTILIZANDO GOOGLE
EARTH ENGINE, STREAMLIT E PYTHON**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Natanael Silva Oliveira

Itajubá, MG, Brasil

2025

DESENVOLVIMENTO DE UM DASHBOARD DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO UTILIZANDO GOOGLE EARTH ENGINE, STREAMLIT E PYTHON

por

Natanael Silva Oliveira

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

Orientador: Enrique Vieira Mattos

Coorientador: Michelle Simões Reboita

Itajubá, MG, Brasil

2025

Universidade Federal de Itajubá Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**DESENVOLVIMENTO DE UM DASHBOARD DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO
UTILIZANDO GOOGLE EARTH ENGINE, STREAMLIT E PYTHON**

elaborada por

Natanael Silva Oliveira

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ENRIQUE VIEIRA MATTOS**
Data: 21/11/2025 11:44:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Enrique Vieira Mattos, Dr. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **MICHELLE SIMOES REBOITA**
Data: 24/11/2025 09:12:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Michelle Simões Reboita, Dra. (UNIFEI)
(Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 **ROMULO AUGUSTO JUCA OLIVEIRA**
Data: 24/11/2025 11:44:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rômulo Augusto Jucá Oliveira, Dr. (Hydro Matters)

Documento assinado digitalmente
 **FABRINA BOLZAN MARTINS**
Data: 24/11/2025 08:22:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fabrina Bolzan Martins, Dra. (UNIFEI)

Documento assinado digitalmente
 **GEOVANE CARLOS MIGUEL**
Data: 25/11/2025 20:59:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Geovane Carlos Miguel, Bel Met. (UNIFEI)

Itajubá, 19 de novembro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Nilzo Garcia de Oliveira e Marcia Elizete Silva Oliveira e meus amigos do peito, pelo apoio incondicional, paciência e por acreditarem em mim, especialmente nos momentos mais difíceis, não me deixando desistir desta jornada. Aos meus colegas de curso, obrigado pela parceria, pelas trocas de conhecimento e pelo companheirismo ao longo desses anos. Aos professores do curso de Ciências Atmosféricas e em especial meu orientador Enrique Vieira Mattos e coorientadora Michelle Simões Reboita, expresso minha gratidão pela dedicação no ensino, pelo acolhimento e pelas oportunidades, que foram fundamentais para minha formação acadêmica e pessoal.

A todos vocês, o meu muito obrigado!

“Tudo é incerto e derradeiro. Tudo é disperso, nada é inteiro.”

Fernando Pessoa, 1934

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

Desenvolvimento de um dashboard de dados de precipitação utilizando Google Earth Engine, Streamlit e Python.

AUTOR(A): Natanael Silva Oliveira
ORIENTADOR: Enrique Vieira Mattos
COORIENTADOR: Michelle Simões Reboita.

Local e Data da Defesa: Itajubá, 19 de novembro de 2025.

A precipitação é um dos principais elementos climáticos e sua variabilidade exerce forte influência sobre a agricultura, os recursos hídricos e a gestão de riscos ambientais. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar o *AquaGEE Analytics* (disponível em: <https://aquagee.streamlit.app/>), um *dashboard* interativo para análise de precipitação a partir de dados de satélite. A pesquisa utiliza os produtos GSMAP, IMERG e CHIRPS, integrados ao *Google Earth Engine* (GEE) e ao *framework Streamlit* em linguagem Python para disponibilizar informações sobre precipitação. Para isso foi realizada validação comparando as estimativas dos satélites com dados de cinco estações pluviométricas do INMET. Os resultados da validação para os produtos CHIRPS e IMERG na escala mensal, com coeficientes de correlação (r) frequentemente superiores a 0,90. Na escala diária, que apresentou maior desafio, o IMERG mostrou superioridade consistente, apresentando os menores RQME e a maior correlação ($r=0,77$), enquanto o GSMaP apresentou as maiores discrepâncias. O sistema possibilita a visualização em mapas interativos e séries temporais na escala momentânea, diária, mensal e anual de precipitação. A ferramenta permite mostrar de forma rápida e intuitiva as estimativas de precipitação de satélites, possibilitando a identificação de anomalias associadas a eventos de grande escala.

Palavras-chave: Precipitação, Sensoriamento remoto, GEE, IMERG, CHIRPS, GSMap, Streamlit.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Estrutura do código da página de mapas interativos.....	11
FIGURA 2 - Estrutura do código da página de séries temporais.....	12
FIGURA 3 - Estrutura do script da página de Comparações.....	12
FIGURA 4 - Acumulado anual de precipitação do CHIRPS, IMERG e GSMaP para os anos de 2022, 2023 e 2024 para o Brasil com resolução espacial de 15 km.....	14
FIGURA 5 - Precipitação média mensal (mm mês ⁻¹) para dezembro, janeiro e fevereiro para o Brasil considerando o período de 2022 a 2024.....	16
FIGURA 6 - Precipitação média mensal (mm mês ⁻¹) para março, abril e maio para o Brasil considerando o período de 2022 a 2024.....	18
FIGURA 7 - Precipitação média mensal (mm mês ⁻¹) para junho, julho e agosto para o Brasil considerando o período de 2022 a 2024.....	20
FIGURA 8 - Precipitação média mensal (mm mês ⁻¹) para setembro, outubro e novembro para o Brasil considerando o período de 2022 a 2024.....	21
FIGURA 9 - Relação de dispersão entre as estimativas diárias (mm dia ⁻¹) de satélite e as estações.....	23
FIGURA 10 - Relação de dispersão entre as estimativas mensais (mm mês ⁻¹) de satélite e as estações.....	25
FIGURA 11 - Tela inicial do dashboard AquaGEE Analytics.....	26
FIGURA 12 - Continuação da tela inicial do dashboard AquaGEE Analytics.....	26
FIGURA 13 - Mapa de precipitação instantânea (mm h ⁻¹) para o dia 17 de outubro de 2025 às 05:30 UTC utilizando dados do produto IMERG.....	27
FIGURA 14 - Carta sinótica da Marinha do Brasil de 17 de outubro de 2025 às 00:00 UTC.....	28
FIGURA 15 - Visualização do acumulado diário de precipitação (mm/dia) para o dia 17 de outubro de 2025 utilizando dados do produto IMERG.....	29
FIGURA 16 - Mapa de acumulado mensal de precipitação (mm mês ⁻¹) para agosto de 2025, utilizando dados IMERG.....	30
FIGURA 17 - Visualização do acumulado anual de precipitação (mm ano ⁻¹) para 2024, utilizando dados CHIRPS.....	31

FIGURA 18 - Interface de resultados do módulo de análise por região para o município de Itajubá (MG), exibindo as estatísticas anuais e o mapa da área de interesse.....	32
FIGURA 19 - Série temporal da precipitação anual acumulada (barras) e anomalias em relação à média histórica (linha tracejada amarela) para Itajubá, MG (1981-2024)	32
FIGURA 20 - Classificação dos eventos El Niño e La Niña por intensidade entre 1951 e 2024.	33
FIGURA 21 - Climatologia da precipitação média mensal para Itajubá (MG) para o período de 1981-2024.....	34
FIGURA 22 - Precipitação média trimestral (DJF) no Brasil para o período 2022-2024 Série temporal diária total de precipitação para Itajubá (MG) entre 2015 e 2024.....	35
FIGURA 23 - Precipitação média trimestral (MAM) no Brasil para o período 2022-2024 Comparação da precipitação diária das três bases de dados (GSMAP, IMERG e CHIRPS) para o dia 30/09/2025 para a América do Sul.....	36
FIGURA 24 - Precipitação média trimestral (JJA) no Brasil para o período 2022-2024 Comparação da precipitação mensal das três bases de dados (GSMAP, IMERG e CHIRPS) para o mês de setembro de 2025.....	36
FIGURA 25 - Comparação da precipitação anual das três bases de dados (GSMAP, IMERG e CHIRPS) para o ano de 2024.....	37
FIGURA 26 - Comparação entre a série temporal diária de precipitação do CHIRPS (linha azul clara), GSMAP (linha azul escuro) e IMERG (linha rosa). Usando latitude e longitude da cidade do município de Itajubá (MG) para janeiro de 2025.....	38
FIGURA 27 - Comparação gráfica mensal das três bases de dados, CHIRPS (linha azul clara), GSMAP (linha azul escuro) e IMERG (linha rosa). Usando latitude e longitude da cidade de Itajubá Minas Gerais, para 2024.....	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Comparativo entre os produtos de precipitação por satélite IMERG, CHIRPS e GSMaP.....	6
TABELA 2 - Informações das estações selecionadas.....	6
TABELA 3 - Estatísticas utilizadas.....	8
TABELA 4 - Classificação do coeficiente r.....	9
TABELA 5 - Resultados diário estatísticos Estação vs. Satélite.....	22
TABELA 6 - Resultados mensais estatísticos Estação vs. Satélite.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS

AM	-	Amazonas
API	-	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicações)
BA	-	Bahia
BCH	-	Baixa do Chaco
CHIRPS	-	<i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data</i>
d	-	Índice de Concordância de Willmott
DF	-	Distrito Federal
DJF	-	Dezembro, Janeiro e Fevereiro
ENOS	-	El Niño-Oscilação Sul
GEE	-	<i>Google Earth Engine</i>
GPM	-	<i>Global Precipitation Measurement</i>
GSMaP	-	<i>Global Satellite Mapping of Precipitation</i>
IMERG	-	<i>Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM</i>
INMET	-	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	-	Infravermelho
JAXA	-	Agência de Exploração Aeroespacial do Japão
JJA	-	Junho, Julho, Agosto
MAM	-	Março, Abril e Maio
MG	-	Minas Gerais
MW	-	Micro-ondas
r	-	Coeficiente de Correlação de Pearson
ROI	-	Região de Interesse
RQME	-	Raiz do Erro Quadrático Médio
RS	-	Rio Grande do Sul
SON	-	Setembro, Outubro, Novembro
UI	-	<i>User Interface</i> (Interface do Usuário)
UTC	-	Tempo Universal Coordenado
VIES	-	Viés Absoluto Médio
ZCAS	-	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	-	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1 DADOS GEOESPACIAIS.....	5
2.2 SELEÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	6
2.3 VALIDAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DO IMERGE, GSMAP E CHIRPS	7
2.3.1 MÉTODOS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA	8
2.4 ARQUITETURA DO SISTEMA	9
2.5 METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO E PROCESSAMENTO	10
2.5.1 MÓDULO MAPAS INTERATIVOS	10
2.5.2 MÓDULO SÉRIES TEMPORAIS	11
2.5.3 MÓDULO COMPARAÇÕES	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1 ACUMULADO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO (2022-2024).....	13
3.1.1 COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS POR SATÉLITE COM AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	22
3.2 APRESENTAÇÃO DA INTERFACE E ESTRUTURA FUNCIONAL GERAL DO DASHBOARD	26
3.3 MÓDULO DE VISUALIZAÇÃO ESPACIAL: MAPAS INTERATIVOS	27
3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DE PADRÕES SAZONAIS E CLIMATOLÓGICOS	29
3.4 MÓDULO DE ANÁLISE TEMPORAL: APLICAÇÃO PARA UM ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ (MG).....	31
3.4.1 EXTRAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS E ESTATÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	31
3.4.2 ANÁLISE DO CICLO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO	33
3.4.3 ANÁLISE DIÁRIA TOTAL	34
3.5 MÓDULO COMPARAÇÕES.....	35
3.5.1 COMPARAÇÃO ESPACIAL	35
3.5.2 COMPARAÇÃO TEMPORAL.....	37
4. CONCLUSÃO	40
5. REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas de maior relevância para a meteorologia. Ela integra processos essenciais ao ciclo hidrológico, é vital para o suporte à produção agrícola, o planejamento de obras e a prevenção de desastres naturais, como inundações e secas. A caracterização da precipitação em escala temporal e espacial é elemento central para decisões em setores que vão desde a segurança hídrica até a proteção civil. O monitoramento contínuo e a capacidade de detectar anomalias pluviométricas possibilitam ações de mitigação mais eficazes, reduzindo perdas econômicas e impactos sociais associados a extremos hidrológicos (Mello; Viola, 2012).

No Brasil, a precipitação apresenta grande variabilidade espacial e sazonal. Por exemplo, grande parte do Sudeste e Centro-Sul do Brasil concentra a maior fração das chuvas no verão, enquanto o Sul possui distribuição quase homogênea da precipitação (Reboita *et al.*, 2012; Marengo *et al.*, 2012). Fatores orográficos, gradientes latitudinais e sistemas atmosféricos como frentes frias, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e convecção diurna modulam fortemente a distribuição pluviométrica em diferentes escalas, o que exige produtos observacionais com resoluções espaciais e temporais compatíveis às perguntas científicas e aplicações operacionais (Reboita *et al.*, 2015; Palharini *et al.*, 2020).

Cada sistema atmosférico impõe desafios distintos para observação e estimação, desde capturar episódios intensos e localizados até mapear padrões persistentes em escala regional. Essas diferenças motivam a integração de múltiplos tipos de observação (*in situ*, radar e satélite meteorológico) e de métodos analíticos capazes de tratar diversidade espaço-temporal dos eventos pluviométricos (Vicente *et al.*, 1998; Reboita *et al.*, 2012).

As medições por redes de pluviômetros, representam pontos isolados e muitas vezes distribuídos de forma desigual, o que limita o monitoramento adequado da precipitação. Satélites meteorológicos surgem como uma alternativa indispensável, pois permitem acompanhar grandes áreas de forma quase contínua no espaço e no tempo, viabilizando análises em escala continental. Contudo, as estimativas de precipitação derivadas de sensoriamento remoto carregam incertezas ligadas ao tipo de sensor, às técnicas de estimativa baseadas em propriedades das nuvens e aos ajustes feitos com dados de superfície. Por isso, a comparação e validação desses

produtos tornam-se fundamentais para aplicações operacionais (Petty, 1995; Palharini *et al.*, 2020).

De modo geral, esses métodos são classificados em três grandes categorias: i) técnicas baseadas em observações nos canais infravermelho (IR) e visível (VIS), que inferem a precipitação a partir de propriedades das nuvens, como temperatura do topo e refletância; ii) técnicas que utilizam micro-ondas (MW), capazes de detectar diretamente a emissão e a espalhamento associados aos hidrometeoros no interior das nuvens; e iii) abordagens combinadas, que integram informações de múltiplas fontes (IR, MW, polarimetria) e calibram os resultados com dados de estações pluviométricas, reduzindo assim os vieses regionais. Enquanto os métodos que usam IR possuem elevada resolução temporal devido à operação de satélites geoestacionários, os sensores MW, embarcados em órbitas polares, oferecem maior precisão na detecção de precipitação, ainda que com menor frequência de observação. A combinação de ambos os sistemas busca equilibrar essas limitações, aprimorando a acurácia e a consistência espacial e temporal das estimativas (Vicente *et al.*, 1998; Wilhelm, 1986).

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS) é um dos conjuntos de dados mais amplamente empregados em análises climatológicas e hidrológicas de precipitação. Desenvolvido pelo *Climate Hazards Center* da Universidade da Califórnia, o CHIRPS combina observações de satélite com medições pluviométricas em superfície para gerar uma série temporal contínua de precipitação a partir de 1981. O algoritmo utiliza dados do canal infravermelho proveniente de satélites geoestacionários e calibra por meio de estações meteorológicas, resultando em uma cobertura quase global (50°S - 50°N) com resolução espacial de 0,05°. Essa integração garante maior robustez na representação de padrões regionais de precipitação, tornando o CHIRPS uma base amplamente utilizada para estudos de variabilidade climática, secas e eventos extremos (Funk *et al.*, 2015).

O *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG), desenvolvido no âmbito da missão *Global Precipitation Measurement* (GPM) da NASA e da JAXA, representa a atual geração de produtos combinados de precipitação. O algoritmo integra estimativas de precipitação derivadas de sensores de micro-ondas e infravermelho de múltiplos satélites, aplicando técnicas avançadas de fusão e ajuste estatístico baseadas em redes de pluviômetros globais. O IMERG cobre a faixa latitudinal entre aproximadamente 60°N e 60°S, com resolução espacial de 0,1° e

temporal de até 30 minutos, e é disponibilizado em diferentes versões conforme o tempo de latência (*Early*, *Late* e *Final Run*). Essas características o tornam um produto de referência tanto para aplicações operacionais em tempo quase real quanto para estudos climatológicos de longo prazo. No entanto, sua validação frente a redes pluviométricas regionais é essencial para garantir a confiabilidade em escalas locais (Huffman *et al.*, 2019).

O *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP), desenvolvido pela JAXA, utiliza uma metodologia de integração baseada principalmente em radiômetros de micro-ondas passivos, complementados por dados de infravermelho para preencher lacunas temporais. O algoritmo emprega um filtro de Kalman para assimilação sequencial das informações, o que permite estimar a evolução temporal dos sistemas precipitantes e reduzir ruídos entre passagens orbitais. O GSMaP fornece estimativas horárias de precipitação com resolução espacial de $0,1^\circ$, abrangendo regiões tropicais e extratropicais, e apresenta versões específicas voltadas tanto para aplicações operacionais em tempo real quanto para análises científicas de reprocessamento. Essa combinação de alta resolução temporal e espacial o torna especialmente adequado para estudos de eventos extremos e monitoramento hidrológico (Kubota *et al.*, 2020).

O acesso e processamento aos dados tornou-se rápido e prático a partir da criação da plataforma *Google Earth Engine* (GEE, <https://earthengine.google.com/>). Uma plataforma escalável para processamento e análise de grandes coleções de dados geoespaciais, reduzindo barreiras técnicas para pré-processamento, extração e visualização de séries e mapas de precipitação em grandes escalas. Em adição, a construção de painéis interativos com frameworks Python como o *Streamlit* permite transformar rotinas técnicas em aplicações acessíveis, com baixo custo de desenvolvimento *front-end* e rápida prototipação; uma combinação que facilita a transferência de resultados científicos para usuários finais e favorece reprodutibilidade e automação de rotinas de monitoramento (Costa *et al.*, 2022; Streamlit, 2025).

1.1 Objetivos

O trabalho tem como objetivo geral desenvolver, implementar e avaliar uma aplicação interativa para análise de precipitação sobre o Brasil, integrando produtos de satélites de diferentes metodologias CHIRPS, IMERG e GSMaP por meio da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Com este objetivo busca-se oferecer um

ambiente acessível e dinâmico que permita a exploração espacial e temporal das bases de dados utilizadas.

Como objetivos específicos, tem-se:

- 1) Realizar a extração, o processamento e a padronização dos dados de precipitação provenientes dos produtos CHIRPS, IMERG e GSMaP via GEE;
- 2) Avaliar a consistência e as diferenças entre os produtos de satélite e dados de estações pluviométricas;
- 3) Desenvolver um *dashboard* interativo, utilizando o framework *Streamlit* e Python que possibilite a visualização de séries temporais, mapas e estatísticas descritivas de precipitação;
- 4) Disponibilizar uma ferramenta de uso aberto que auxilia pesquisadores e tomadores de decisão na análise de anomalias pluviométricas e eventos extremos.

O diferencial deste trabalho reside na integração direta e simplificada entre bases de dados de satélites a uma interface de análise interativa, reduzindo a complexidade técnica do acesso e manipulação de grandes volumes de dados. Ao unir o poder do GEE à flexibilidade do *Streamlit*, a proposta promove transparência e facilidade no uso de dados de precipitação por satélite.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados geoespaciais

O primeiro produto de precipitação é o IMERG *Late Run* (Versão 07) da missão GPM. ele oferece uma resolução espacial de $0,1^\circ$ e temporal de 30 minutos, com cobertura a partir de junho de 2000. Oferece uma estimativa melhorada com uma latência de 14 horas após o tempo de observação, a banda utilizada foi a *precipitation* (mm h^{-1}).

O segundo produto, o GSMap, desenvolvido pela Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA). Fornece estimativas de precipitação horária com a mesma resolução espacial de $0,1^\circ$. Sua variável *hourlyPrecipitationRate* (mm h^{-1}) é especialmente útil para o monitoramento de eventos e complementa as análises de curto prazo realizadas com o IMERG.

O último produto utilizado, o CHIRPS devido à sua extensa série histórica, que se inicia em 1981. Duas versões foram utilizadas: o CHIRPS *Daily*, com dados diários e resolução de $0,05^\circ$, ideal para análises históricas com mais detalhes, e o CHIRPS *Pentad*, que consolida os dados em acumulados de 5 dias, ideal para agilizar o processamento dos produtos anuais. A banda utilizada para ambos foram *precipitation* (mm h^{-1} e mm pentad h^{-1}), sendo a versão pentadal utilizada preferencialmente na visualização do acumulado anual, mensal e nos cálculos da análise temporal, aproveitando sua natureza já agregada para otimizar o desempenho da plataforma. Como o CHIRPS combina observações de satélite com estações pluviométricas em superfície para gerar uma série temporal, os dados são apenas sobre o continente não abrangendo os oceanos.

Tabela 1: Comparativo entre os produtos de precipitação por satélite IMERG, CHIRPS e GSMaP.

Produto	Resolução espacial	Resolução temporal	Fonte
CHIRPS Pentad	0,05°	Pentada (5 dias)	ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/PENTAD")
CHIRPS Daily	0,05°	1 Dia	ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY")
IMERG (GPM)	0,1°	30 minutos	ee.ImageCollection("NASA/GPM_L3/IMERG_V07")
GSMAP	0,1°	1 Hora	ee.ImageCollection("JAXA/GPM_L3/GSMaP/v6/operational")

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 Seleção e Descrição das Estações Pluviométricas

Para a validação das fontes de dados, foi escolhido cinco estações pluviométricas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas nas seguintes cidades do país: Brasília (DF), Manaus (AM), Salvador (BA), Porto Alegre (RS) e Belo Horizonte (MG), foram selecionados os dados referentes aos anos de 2022 a 2024. A escolha dessas estações buscou contemplar a diversidade climática do Brasil. Para esta comparação com os dados do GEE foi utilizada as estações pluviométricas do INMET listadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Informações das estações selecionadas.

Região	Latitude (°S)	Longitude (°W)	Altitude	Código da estação
Belo Horizonte (MG)	19,88	43,96	854,02 m	A521
Brasília (DF)	15,78	47,92	1160,96 m	A001
Manaus (AM)	3,10	60,01	61,25 m	A101
Porto Alegre (RS)	30,05	51,17	41,18 m	A801
Salvador (BA)	13,00	38,50	47,56 m	A401

Fonte: Elaborado pelo autor.

A estação selecionada para representar a região Centro-Oeste foi a de Brasília (DF), localizada em ambiente típico de cerrado, com relevo suavemente ondulado que favorece um regime de precipitação fortemente sazonal. De acordo com a

classificação Köppen–Geiger, o clima é tropical do tipo Aw, caracterizado por estação chuvosa de outubro a março e período seco no inverno, com precipitação anual média próxima de 1500 mm (Cardoso *et al.*, 2014).

Para representar a região Norte, a estação selecionada foi a de Manaus (AM), equatorial úmido (Af) segundo a classificação de Köppen, caracterizado por temperaturas elevadas e pouca variação ao longo do ano. De modo geral, os valores médios permanecem próximos de 26 °C a 28 °C, com amplitude reduzida entre os meses, a estação chuvosa se concentra entre dezembro e maio, com máximos em março e abril. (Ferreira *et al.*, 2025.).

A estação selecionada para representar a Região Nordeste foi a de Salvador (BA), região que apresenta clima tropical quente e úmido (Af), com maior concentração de chuvas entre abril e julho. A forte influência do oceano Atlântico modula o regime pluviométrico, resultando em alta umidade relativa e precipitação anual média em torno de 1500 mm (SEI, 2023).

Para a região Sul, foi selecionada a estação de Porto Alegre (RS), local com clima subtropical úmido (Cfa), caracterizado por verões quentes, com temperaturas superiores a 22 °C no mês mais quente, e invernos frios, porém sem características de clima continental rigoroso (Kuinchtner, 2001).

Por fim, para representar a região Sudeste, foi selecionada a estação de Belo Horizonte (MG), região caracterizada por relevo acentuadamente irregular e clima tropical do tipo Aw. A estação chuvosa ocorre entre outubro e março, seguida por inverno seco, com precipitação anual variando entre 1400 e 1600 mm. A altitude média de 852 m e a complexa topografia local exercem influência significativa sobre a temperatura e a distribuição espacial e temporal das chuvas (Martins *et al.*, 2018).

2.3 Validação das Estimativas de Precipitação do IMERGE, GSMAP e CHIRPS

A verificação dos produtos de precipitação por satélite foi realizada com base na comparação direta entre as estimativas diárias e mensais dos três conjuntos com precipitação registradas pelas estações do INMET. Os dados dos produtos de satélite possuem resoluções espaciais distintas (11, 5 e 11 km). Com o objetivo de garantir a comparação justa entre as fontes de dados, foi realizado a interpolação dos dados de precipitação para uma grade com resolução espacial de 15 km.

2.3.1 Métodos de Análise Estatística

Para realizar a validação dos dados comparados com as observações diárias das estações INMET. A extração dos dados consistiu em calcular, para cada estação, os valores médios dos pixels do satélite localizados em um raio de 15 km em torno de sua latitude e longitude. Esse procedimento gerou séries temporais pareadas de valores observados (pluviômetro) e estimados (satélite).

Para avaliar o desempenho, foram aplicadas as seguintes estatísticas: Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), Viés Absoluto Médio (VIES), Coeficiente de Correlação de Pearson (r) (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009) e Índice de Concordância de Willmott (d) (WILLMOTT *et al.*, 1985). As equações correspondentes estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Estatísticas utilizadas.

Métrica	Equação
Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE)	$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{nd} (E_i - O_i)^2}{nd}}$
Viés Absoluto Médio (VIES)	$VIES = \frac{\sum (E_i - O_i)}{n}$
Correlação de Pearson (r)	$r = \frac{\sum (E_i - \bar{E})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum (E_i - \bar{E})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2}}$
Índice de Concordância (d)	$d = 1 - \left(\frac{\sum (E_i - O_i)^2}{\sum (E_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2} \right)$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas formulas o (E) representa cada valor estimado pelo satélite, enquanto (O) representa cada valor observado pela estação.

A Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) quantifica a magnitude média do erro, sendo expressa na unidade de medida original (mm dia⁻¹ ou mm mês⁻¹). Ao elevar os erros ao quadrado antes de calcular a média, o RMSE penaliza discrepâncias maiores. O VIES foi usado para indicar a tendência sistemática do modelo em subestimar (valores negativos) ou superestimar (valores positivos) a precipitação.

Adicionalmente, o Coeficiente de Correlação de Pearson (r) foi aplicado para medir a força da associação entre os dados estimados e observados, cuja interpretação é detalhada na Tabela 4. Por fim, o Índice de Concordância de Willmott (d) mediu o grau de concordância ou exatidão, variando de 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita).

Tabela 4 - Classificação do coeficiente r .

Valor de r	Desempenho
0,0 a 0,1	Muito Baixo
0,1 a 0,3	Baixo
0,3 a 0,5	Moderado
0,5 a 0,7	Alto
0,7 a 0,9	Muito Alto
0,9 a 1,0	Quase Perfeito

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4 Arquitetura do Sistema

O *dashboard*, denominado *AquaGEE Analytics* foi desenvolvido inteiramente na linguagem de programação Python. Esta linguagem é conhecida pela sua versatilidade, vasta comunidade de suporte e ao ecossistema robusto de bibliotecas para análise de dados e desenvolvimento. A arquitetura do sistema é fundamentada na interação entre três componentes principais. O primeiro é o GEE, utilizado como o motor de processamento dos dados geoespaciais. Todas as operações de filtragem por data e local, agregações temporais e reduções espaciais são executadas do lado do servidor do GEE, com a comunicação sendo realizada através da sua API para Python.

O segundo componente é o *Streamlit*, uma biblioteca em Python empregado para construir e implantar a interface gráfica do usuário (GUI) do *dashboard*. Sua principal vantagem é a capacidade de criar aplicações *Web* interativas com códigos Python simples, o que acelera o ciclo de desenvolvimento. A biblioteca é responsável

por renderizar todos os elementos da interface como menus de seleção, seletores de data, *sliders*, botões, mapas e gráficos, além de gerenciar o fluxo de interação com o usuário.

Os conjuntos de bibliotecas de utilizadas para processamento e visualização de dados foi essencial para complementar as funcionalidades. A biblioteca *geemap* atuou como uma ponte entre o GEE e o *folium* para renderizar os mapas de precipitação diretamente na interface. A extensão *streamlit-folium* foi crucial para implementar a interatividade do mapa, incluindo a funcionalidade de desenho de polígonos pelo usuário. Os dados tabulares retornados pelo GEE, como as séries temporais, foram estruturados e manipulados com a biblioteca *pandas*. Por fim, a biblioteca *Plotly* foi utilizada para gerar os gráficos interativos de barras e linhas, oferecendo uma análise para o usuário.

2.5 Metodologia de implementação e processamento

A arquitetura da plataforma foi segmentada em três módulos principais: i) Análise Espacial, ii) Análise Temporal e iii) Comparações Visuais.

2.5.1 Módulo Mapas Interativos

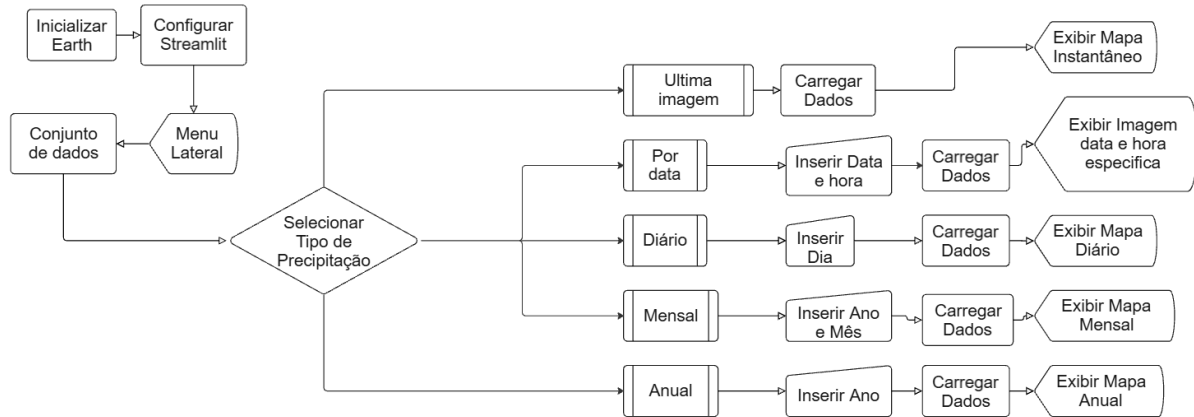
O Módulo de Análise Espacial é dedicado à visualização de dados de precipitação em mapas interativos. O fluxo de processamento (Figura 1) é iniciado pela seleção de uma fonte de dados entre CHIRPS, IMERG ou GSMaP e de uma escala temporal. As opções de escala incluem "Última Imagem", "Acumulado Diário", "Acumulado Mensal" e "Acumulado Anual".

Para a opção "Última Imagem", o sistema busca a imagem mais recente disponível na coleção selecionada. Para as análises de acumulados (Diário, Mensal e Anual), o sistema primeiramente filtra a coleção de imagens correspondente ao período de interesse definido pelo usuário.

O tratamento dos dados é específico para cada produto. Para o IMERG, cujos dados são fornecidos em taxa de precipitação (mm h^{-1}) a cada 30 minutos, cada imagem é multiplicada por 0,5 para converter a taxa de precipitação em acumulado horário. Para o GSMaP, que fornece dados horários (mm h^{-1}), o valor já representa o acumulado no intervalo de uma hora. Os dados do CHIRPS (diários ou em pêntadas) já se encontram em valores acumulados. A imagem resultante é então renderizada

em um mapa interativo na interface da aplicação por meio da biblioteca *geemap*, com uma legenda de cores que representa a intensidade da precipitação.

Figura 1 - Estrutura do código da página de mapas interativos.

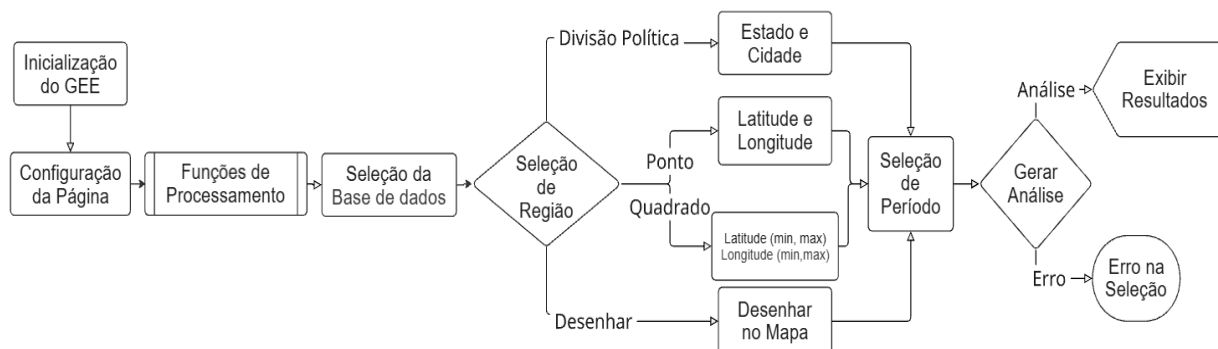


Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5.2 Módulo Séries Temporais

O Módulo de Análise Temporal (Figura 2) permite extrair e visualizar séries temporais de precipitação para uma Região de Interesse (ROI). O usuário pode escolher um Estado ou Município, definir um ponto com raio, criar um retângulo por coordenadas ou desenhar um polígono livre no mapa. Também é possível selecionar a fonte de dados (CHIRPS, IMERG ou GSMaP) e o período desejado. Uma vez definidos os parâmetros, o sistema executa o processamento. Para gerar a série temporal, o sistema percorre cada unidade de tempo escolhida (dia, mês ou ano). Somando a precipitação do período e calcula a média espacial da ROI. Na climatologia mensal, os dados de todos os anos são agrupados por mês; depois se calcula a média anual da precipitação acumulada de cada mês.

Os dados processados voltam ao painel em forma de tabela e servem para calcular estatísticas simples, como identificar o ano mais seco e o mais chuvoso. Além disso, o sistema produz a série anual de precipitação, onde as barras mudam de cor para mostrar anomalias positivas ou negativas em relação à média histórica. Também é exibida a climatologia mensal, que revela o padrão sazonal de chuva da região.

Figura 2 - Estrutura do código da página de séries temporais.

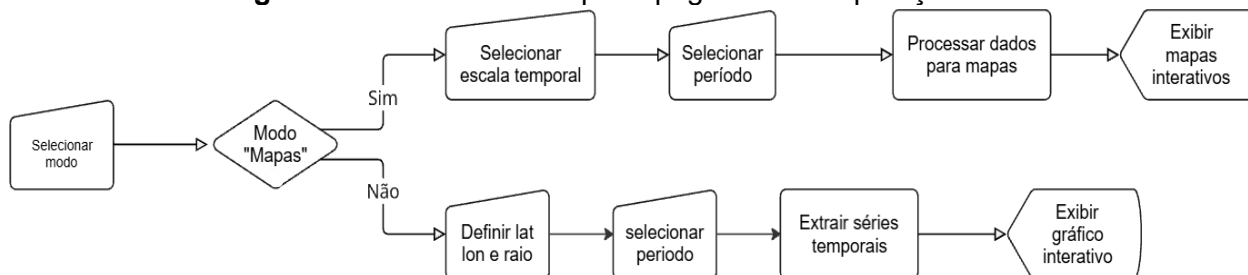
Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5.3 Módulo Comparações

O Módulo de Comparações Visuais foi desenvolvido para facilitar a validação das estimativas de precipitação dos produtos. Ele funciona em dois modos: “Mapas” e “Gráfico” (Figura 3).

No modo “Mapas”, o usuário escolhe a escala temporal diária, mensal ou anual e define o período desejado. A partir disso, o sistema processa, em paralelo, os três conjuntos de dados para o mesmo intervalo, usando a mesma lógica de agregação adotada no Módulo de Análise Espacial. O resultado aparece como três mapas interativos lado a lado, cada um mostrando a distribuição espacial da precipitação estimada dos produtos.

No modo “Gráfico”, a comparação temporal é focada em um ponto específico. O usuário define a região de interesse circular indicando o centro (latitude e longitude) e o raio. Com esses parâmetros, a plataforma extrai as séries temporais diárias ou mensais para a mesma área nos três produtos. As séries são então reunidas em um único gráfico de linhas interativo, permitindo observar, no mesmo painel, onde as estimativas convergem e onde se afastam ao longo do tempo.

Figura 3 - Estrutura do script da página de Comparações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

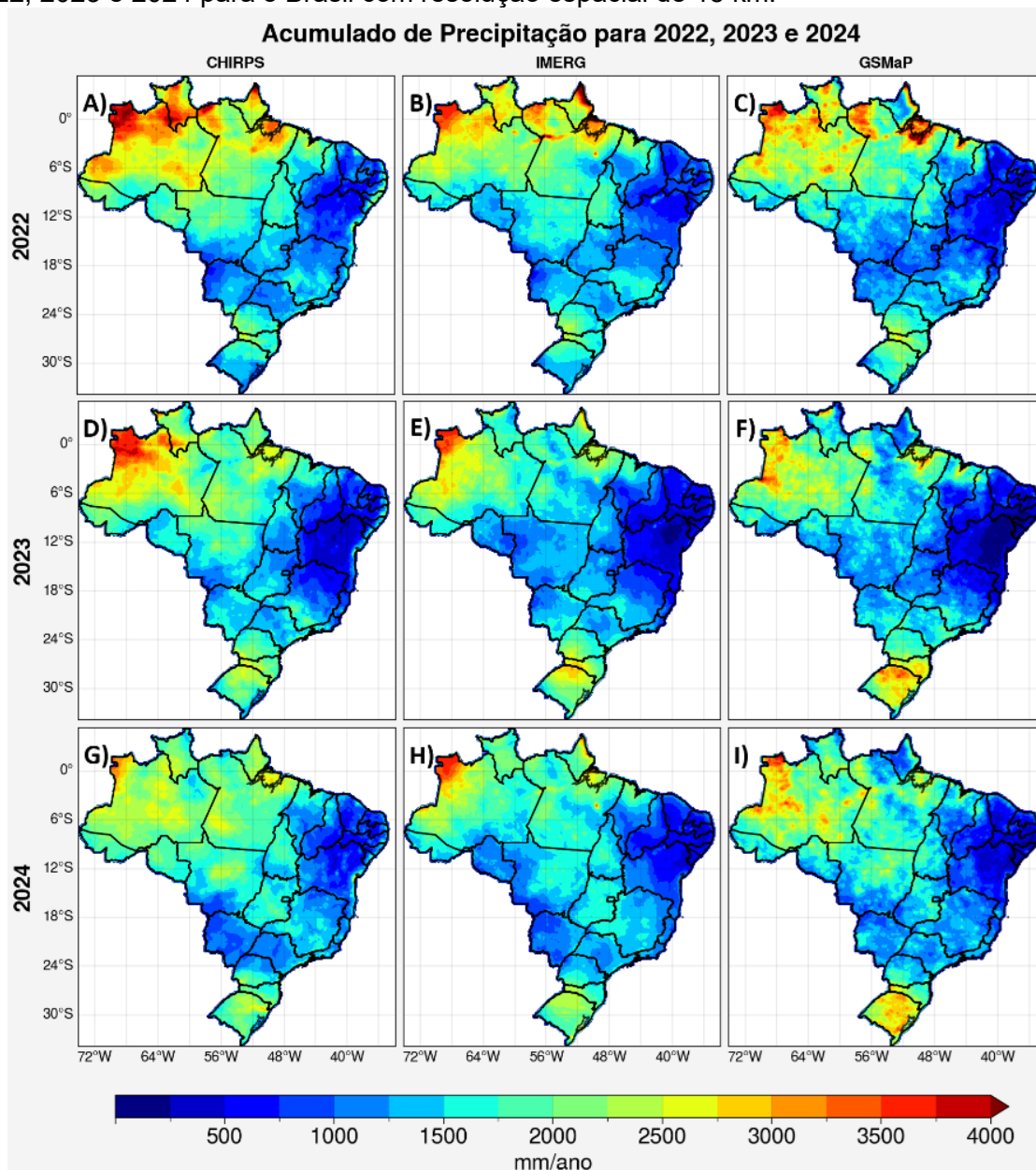
3.1 Acumulado Anual de Precipitação (2022-2024)

Em escala anual, os resultados observados (Figura 4) evidenciam padrões coerentes com a climatologia brasileira. As três bases de dados identificaram corretamente as regiões de maiores acumulados, destacando o noroeste do país, na região Amazônica, onde os máximos superam 3500 a 4000 mm ano⁻¹, e setores da região Sul, com valores entre 2000 e 2500 mm ano⁻¹. Em contrapartida, os menores volumes anuais se concentram no Nordeste, onde são comuns totais próximos de 500 mm ano⁻¹.

Esses padrões espaciais destaca a forte heterogeneidade pluviométrica da América do Sul devido à atuação de diferentes sistemas atmosféricos e características de relevo. Segundo Reboita *et al.* (2010), a precipitação na América do Sul não é distribuída de forma homogênea ao longo do ano e apresenta máximos significativos na região amazônica e valores reduzidos no Nordeste brasileiro. Da mesma forma, Reboita *et al.* (2015) enfatizam que os maiores valores de precipitação no Brasil se concentram no setor norte e áreas do sul, enquanto regiões interiores e parte do Nordeste são mais secas.

Apesar de capturarem adequadamente os padrões espaciais, os produtos apresentam diferenças importantes de magnitude. O CHIRPS (Figura 4a, d, g) mostrou os maiores volumes acumulados, com extensas áreas da região Norte e Centro-Oeste superando 2000 mm ano⁻¹. O IMERG apresentou distribuição espacial semelhante, porém com intensidade inferior, com valores predominantes em torno de 1500 mm ano⁻¹. Já o GSMaP demonstrou maior subestimativa dos máximos pluviométricos, com dificuldades em representar adequadamente áreas de elevada precipitação no Centro-Oeste, reduzindo os valores observados no CHIRPS de cerca de 2000 mm ano⁻¹ para aproximadamente 1000 mm ano⁻¹.

Figura 4 - Acumulado anual de precipitação do CHIRPS, IMERG e GSMaP para os anos de 2022, 2023 e 2024 para o Brasil com resolução espacial de 15 km.



Fonte: Elaborado pelo autor.

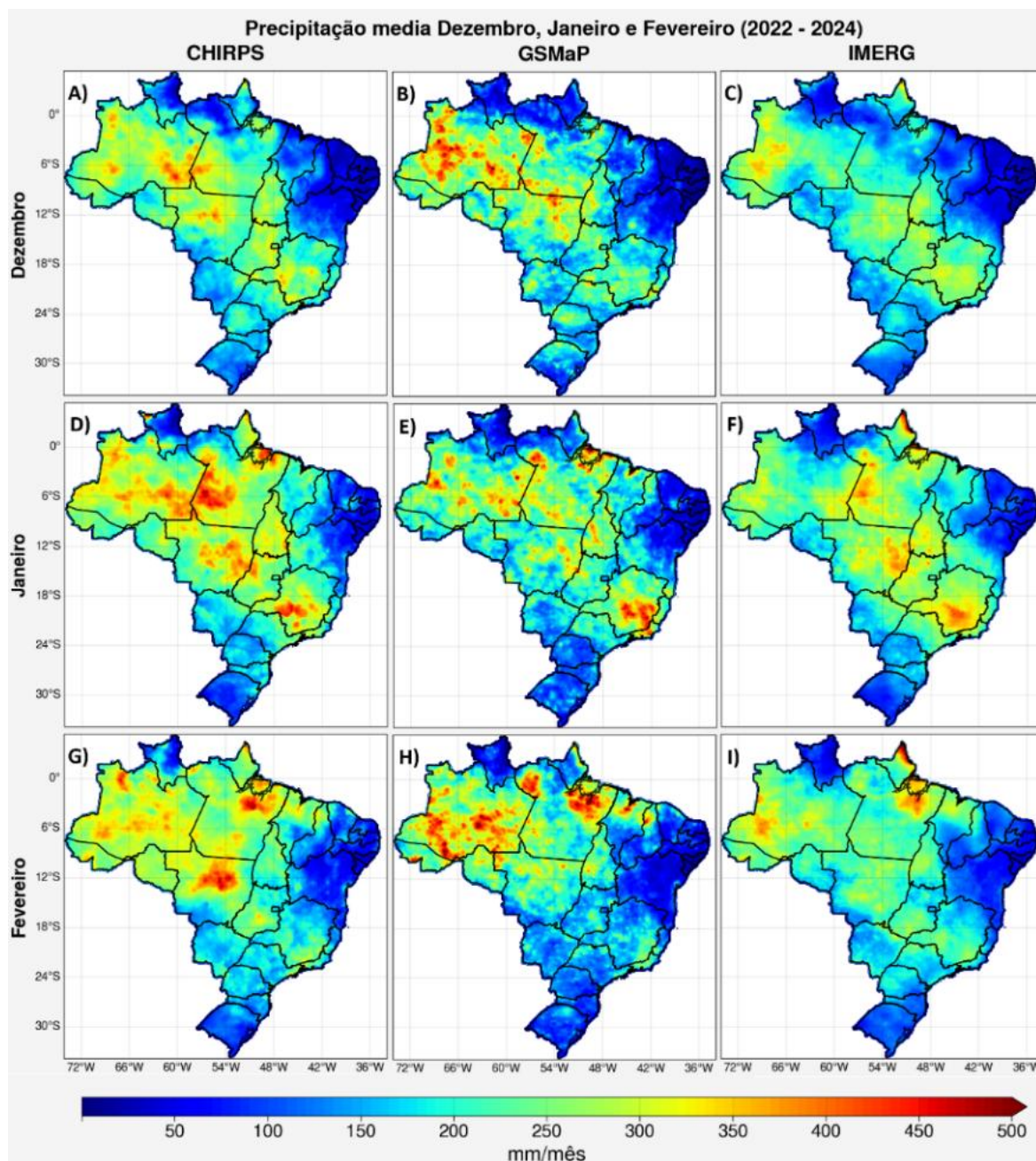
As Figuras 5 a 8 apresentam a distribuição espacial da precipitação média mensal (mm mês^{-1}) agrupada em trimestres do ciclo sazonal no Brasil para o período de 2022 a 2024. O trimestre de verão (dezembro, janeiro e fevereiro Figura 5) corresponde ao auge da estação chuvosa no Sudeste e Centro-Oeste, período marcado pela forte atuação da Monção Sul-Americana (MSA) e pela formação frequente da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Como apontam Reboita *et al.* (2015), a MSA intensifica o transporte de umidade da Amazônia para o Sudeste, enquanto a ZCAS organiza a convergência de umidade e sustenta episódios de chuva

persistente sobre Minas Gerais e regiões vizinhas. Estudos de climatologia sazonal mostram que mais de 50% da precipitação anual dessas áreas ocorre justamente nesse trimestre, refletindo o papel dominante desses sistemas atmosféricos (REBOITA et al., 2010; REBOITA et al., 2015).

Os três produtos CHIRPS (Figura 5d), GSMaP (Figura 5e) e IMERG (Figura 5f) indicam precipitações superiores a 400 mm mês⁻¹ em grandes áreas do Centro-Oeste e Sudeste, padrão que está de acordo com o comportamento esperado para anos com atuação intensa da convergência de umidade (REBOITA *et al.*, 2015).

O mês de fevereiro, por outro lado, apresenta um sinal mais moderado, com valores entre 250 e 350 mm mês⁻¹, especialmente no GSMaP (Figura 5h). A redução é coerente com o recuo gradual da MSA ao longo do fim do verão e com a menor persistência da ZCAS nessa fase da estação (REBOITA *et al.*, 2010). Em Minas Gerais, os menores totais observados (100 a 200 mm mês⁻¹) são compatíveis com o comportamento climatológico descrito por Reboita *et al.* (2015), que aponta diminuição da precipitação no final do verão, especialmente no norte do estado, área de transição entre clima úmido e semiárido.

Figura 5 - Precipitação média mensal (mm mês^{-1}) para dezembro, janeiro e fevereiro para o Brasil considerando o período de 2022 a 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor.

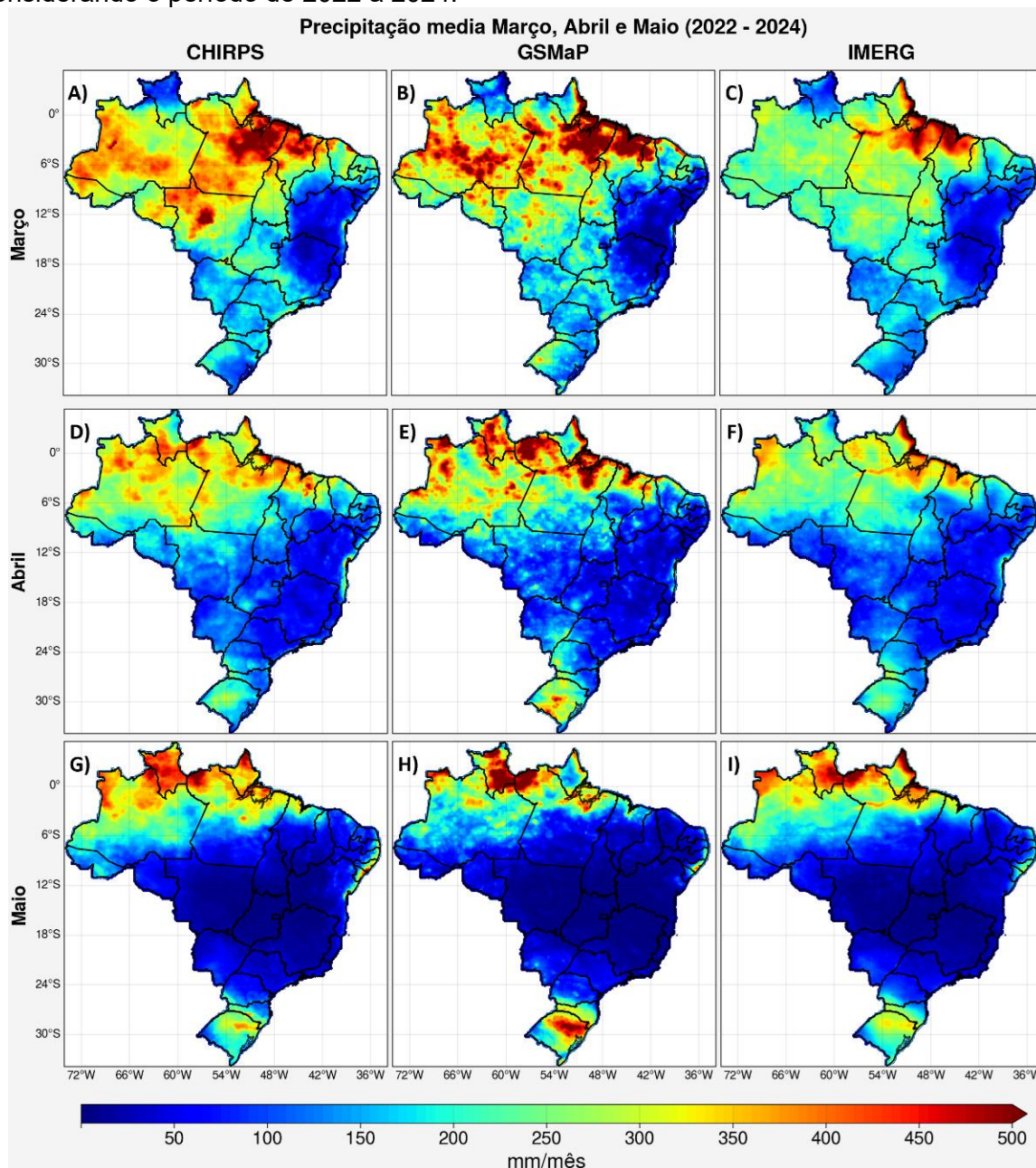
No outono (março, abril e maio Figura 6), o mês de março (Figuras 6a, 6b e 6c) ainda apresenta um padrão semelhante ao observado no verão, com forte atividade convectiva e totais elevados de precipitação. Entretanto, nota-se uma intensificação relativa no norte do país, onde áreas com valores superiores a 500 mm mês^{-1} permanecem bem definidas. Esse comportamento está alinhado ao deslocamento gradual da convecção profunda para latitudes mais baixas conforme a Monção Sul-

Americana enfraquece ao longo do trimestre (REBOITA et al., 2010; REBOITA *et al.*, 2015).

A partir de abril (Figuras 6d, 6e e 6f) e com maior clareza em maio (Figuras 6g, 6h e 6i), os mapas mostram a retração da precipitação sobre o Centro-Oeste e Sudeste, que passam a apresentar valores típicos do início da estação seca. Essa transição coincide com a migração sazonal dos sistemas atmosféricos de grande escala: o Jato de Baixos Níveis perde intensidade, a Zona de Convergência do Atlântico Sul deixa de se organizar e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul volta a atuar de forma mais marcante sobre o centro-sul do Brasil, inibindo a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical (REBOITA *et al.*, 2010).

Enquanto isso, as precipitações se concentram sobre a faixa norte do país e ao longo da costa leste do Nordeste. Essa distribuição segue o padrão climatológico descrito para o outono, período em que o máximo de precipitação migra progressivamente em direção ao norte da América do Sul e à região equatorial, como demonstrado por Reboita *et al.* (2010). Além disso, a persistência de chuvas na costa leste do nordeste está associada ao aporte de umidade dos ventos alísios e às condições oceânicas favoráveis à formação de instabilidades nessa área (REBOITA *et al.*, 2015).

Figura 6 - Precipitação média mensal (mm mês^{-1}) para março, abril e maio para o Brasil considerando o período de 2022 a 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor.

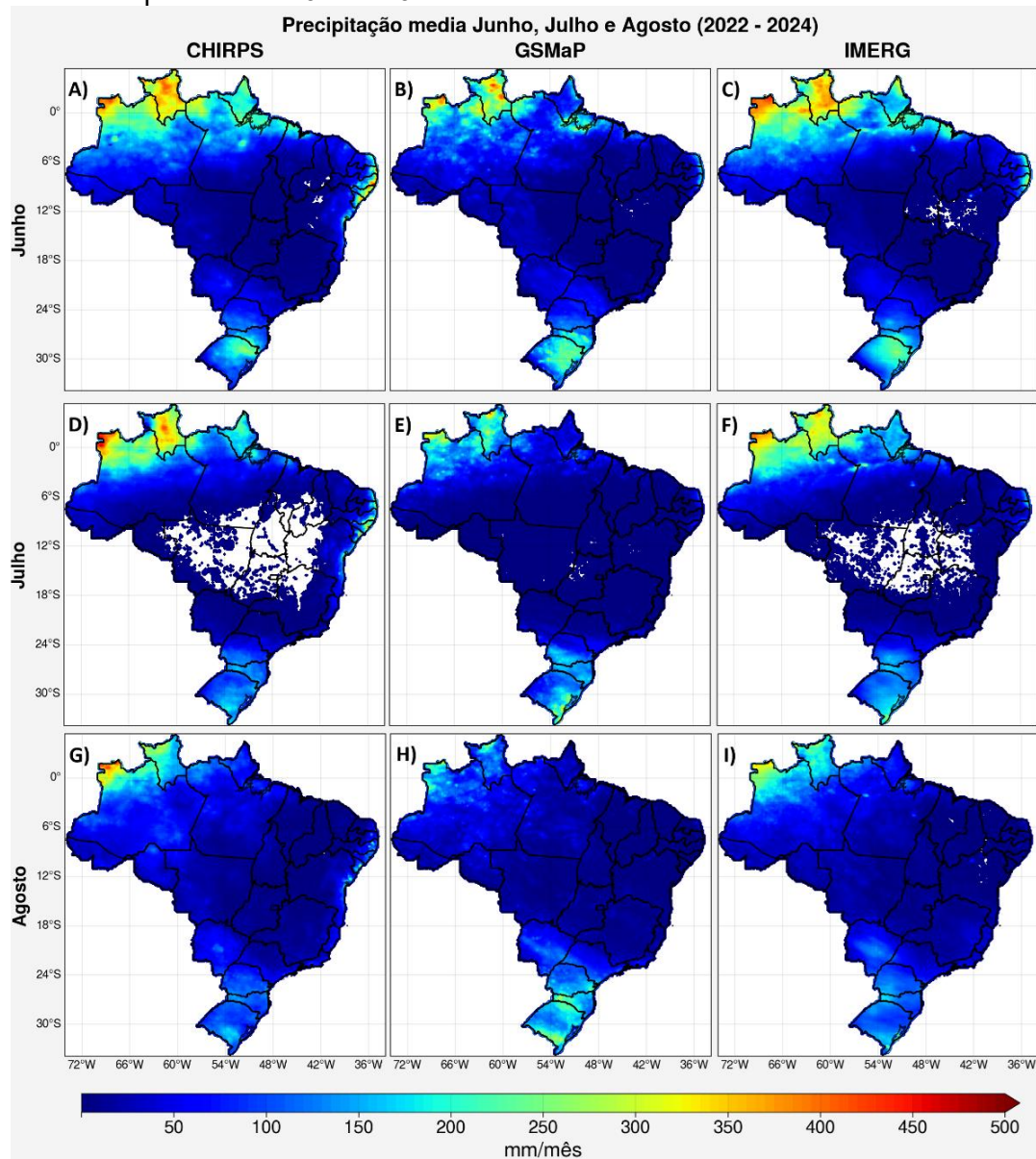
No inverno (junho, julho e agosto Figura 7), observa-se o auge da estação seca na porção central do Brasil. Os três produtos analisados apresentam forte concordância, indicando precipitação muito baixa ou praticamente nula sobre o Sudeste, Centro-Oeste e interior do Nordeste. Esse padrão é coerente com o regime climatológico descrito por Reboita *et al.* (2015), no qual o inverno é caracterizado pela atuação mais intensa e ampliada do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que inibe

movimentos ascendentes e reduz a ocorrência de sistemas produtores de chuva nessas regiões.

Segundo Reboita *et al.* (2010) sobre os regimes de precipitação na América do Sul, o período de inverno marca uma migração dos principais sistemas convectivos para norte, enquanto o centro do continente permanece sob condições de céu claro e ar mais seco. Dessa forma, a precipitação significativa se restringe ao extremo noroeste do Amazonas área influenciada pela convecção amazônica e pela proximidade da Zona de Convergência Intertropical e à costa leste do Nordeste, onde os ventos alísios favorecem a ocorrência de chuvas orográficas e instabilidades costeiras.

Os valores nulos observados no interior do país resultam do filtro de precipitação aplicado, no qual totais inferiores a $0,1 \text{ mm mês}^{-1}$ não são representados nos mapas. Ainda assim, essa ausência gráfica é compatível com o comportamento climatológico da estação, já que a precipitação média mensal na região central brasileira tende a valores muito baixos no período invernal (REBOITA *et al.*, 2015).

Figura 7 - Precipitação média mensal (mm mês⁻¹) para junho, julho e agosto para o Brasil considerando o período de 2022 a 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor.

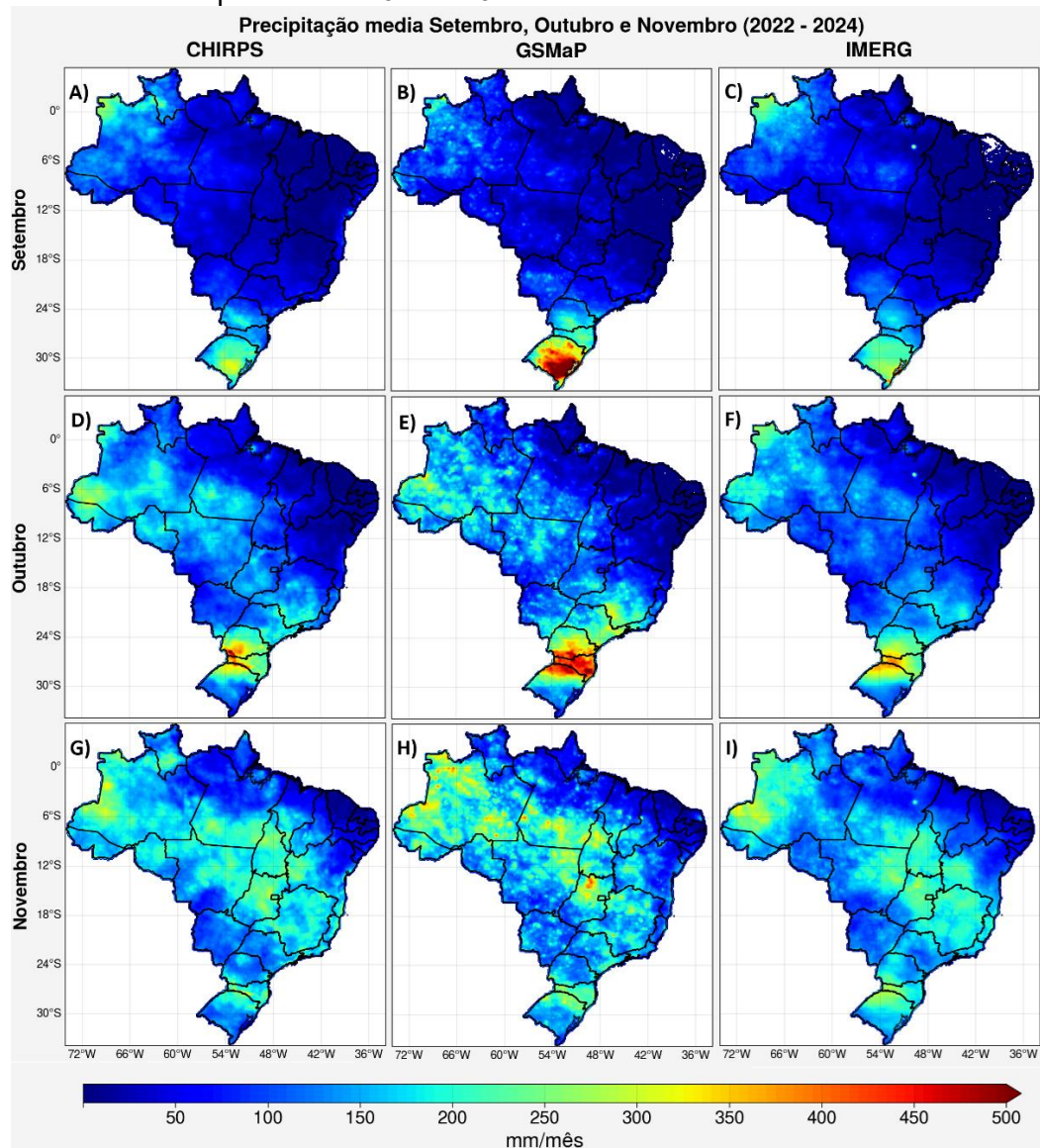
A primavera (setembro, outubro e novembro Figura 8) corresponde ao período de transição entre a estação seca e o retorno gradual das chuvas no Brasil central. Em setembro (Figuras 8a, 8b e 8c), prevalece um padrão ainda predominantemente seco sobre o Centro-Oeste e Sudeste, o que está de acordo com a climatologia descrita por Reboita *et al.* (2015), segundo a qual a estação chuvosa geralmente se inicia entre o final de outubro e a segunda quinzena de novembro em grande parte de Minas Gerais e regiões vizinhas.

A partir de outubro (Figuras 8d, 8e e 8f) e com maior intensidade em novembro (Figuras 8g, 8h e 8i), observa o retorno progressivo da convecção sobre o Centro-

Oeste e Sudeste, resultado da intensificação do transporte de umidade para o interior do continente e do estabelecimento das condições prévias à Monção Sul-Americana (REBOITA *et al.*, 2010).

Um aspecto que se destaca é o núcleo de elevada precipitação observado no Sul do Brasil em setembro e outubro, mais evidente no GSMaP (Figuras 8b e 8e) e no IMERG (Figura 8f), e menos pronunciado no CHIRPS (Figuras 8a e 8d). Estudos de Reboita *et al.* (2010), que apontam que, durante a primavera, a Região Sul é frequentemente influenciada pela passagem de frentes frias e pelo trânsito de sistemas ciclônicos, responsáveis por episódios de chuva volumosa especialmente no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina.

Figura 8 - Precipitação média mensal (mm mês^{-1}) para setembro, outubro e novembro para o Brasil considerando o período de 2022 a 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.1 Comparação entre as Estimativas por Satélite com as Estações Meteorológicas

As Figuras 9 e 10 apresentam a relação de dispersão entre as estimativas diárias de precipitação dos produtos CHIRPS, IMERG e GSMaP e os dados observados em estações. A avaliação diária (Tabela 5) indica desempenho superior do IMERG, que apresentou os menores valores de RQME entre as cinco localidades, oscilando entre 12,5 mm dia⁻¹ em Porto Alegre e 14,9 mm dia⁻¹ em Manaus. O IMERG também obteve os maiores coeficientes de correlação e de concordância de Willmott, sobretudo em Porto Alegre ($r = 0,77$; $d = 0,87$), enquanto Brasília apresentou os piores índices para todos os satélites, comportamento esperado em função da elevada variabilidade pluviométrica da região Centro-Oeste e da dificuldade dos algoritmos em caracterizar precipitação convectiva de pequena escala (Reboita *et al.*, 2010).

Os valores de VIES revelam tendência à subestimação, como observado no IMERG em Salvador (-6,1 mm dia⁻¹), resultado compatível com limitações já descritas para a estimativa de chuva quente em regiões tropicais, especialmente no Nordeste brasileiro (Rozante *et al.*, 2010).

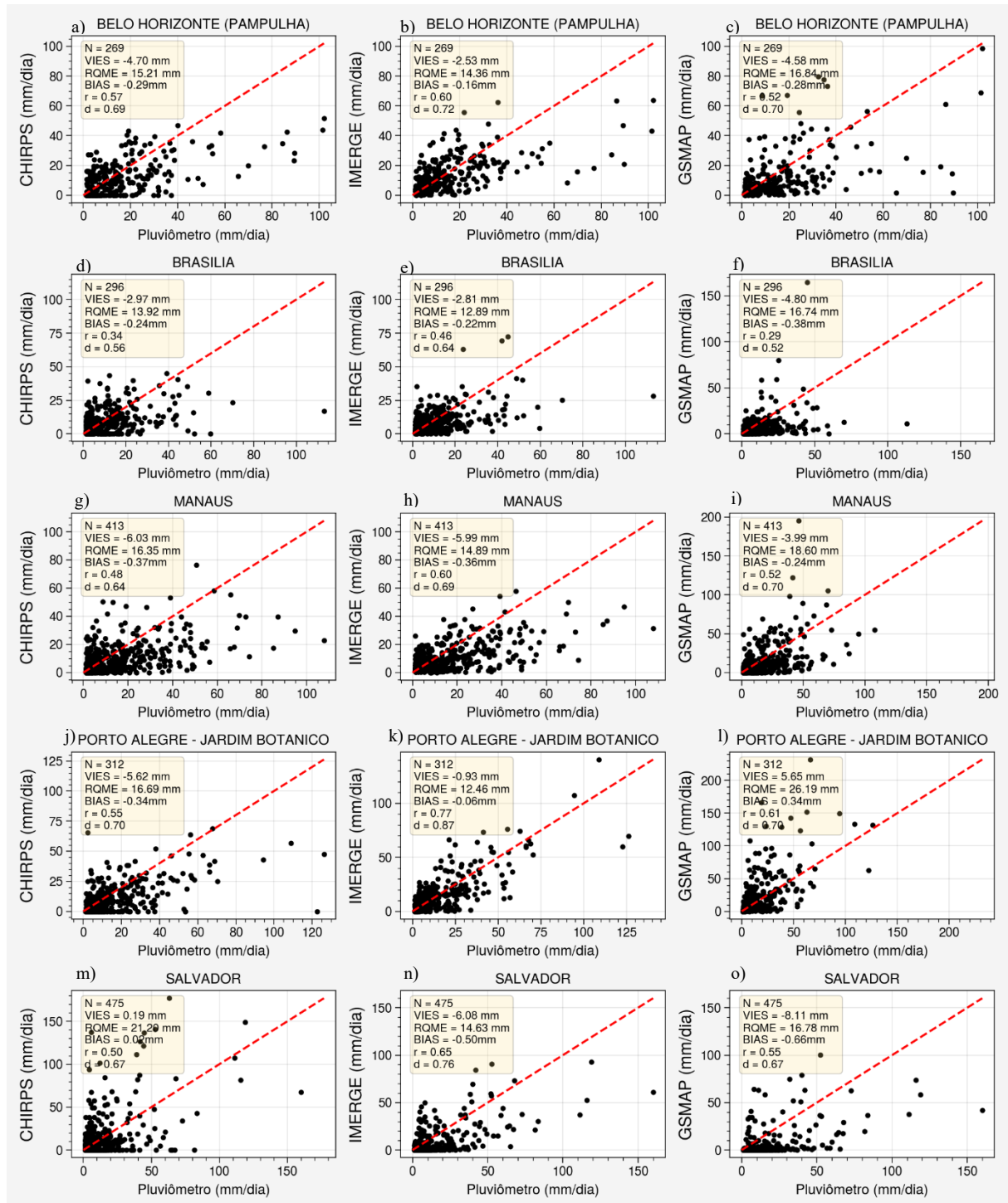
Tabela 5 – Resultados diário estatísticos Estação vs. Satélite.

ESTAÇÃO	SATÉLITE	VIES (mm dia ⁻¹)	RQME (mm dia ⁻¹)	CORRELAÇÃO (r)	WILLMOTT (d)
BELO HORIZONTE	CHIRPS	-4,7	15,2	0,57	0,69
	IMERGE	-2,5	14,4	0,60	0,72
	GSMAP	-4,6	16,8	0,52	0,70
BRÁSILIA	CHIRPS	-3,0	13,9	0,34	0,56
	IMERGE	-2,8	12,9	0,46	0,64
	GSMAP	-4,8	16,7	0,29	0,52
MANAUS	CHIRPS	-6,0	16,4	0,48	0,64
	IMERGE	-6,0	14,9	0,60	0,69
	GSMAP	-4,0	18,6	0,52	0,70
PORTO ALEGRE	CHIRPS	-5,6	16,7	0,55	0,70
	IMERGE	-0,9	12,5	0,77	0,87
	GSMAP	5,6	26,2	0,61	0,70
SALVADOR	CHIRPS	0,2	21,2	0,50	0,67
	IMERGE	-6,1	14,6	0,65	0,76
	GSMAP	-8,1	16,8	0,55	0,67

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos de dispersão diários (Figura 9) corroboram os dados da Tabela 5, evidenciando uma grande dispersão dos dados em relação à linha de 1:1, o que é característico das dificuldades em estimar eventos de precipitação em alta frequência temporal.

Figura 9 – Relação de dispersão entre as estimativas diárias (mm dia⁻¹) de satélite e as estações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na escala mensal (Tabela 6), observa uma melhora no desempenho dos três produtos, com coeficientes de correlação e índices de concordância superiores a 0,95 na maior parte das estações como no CHIRPS em Belo Horizonte ($r = 0,98$) e no

IMERG em Porto Alegre ($d = 0,96$). O IMERG apresenta os menores valores de RQME em Belo Horizonte ($35,7 \text{ mm mês}^{-1}$) e Porto Alegre ($42,3 \text{ mm mês}^{-1}$), além dos menores VIES, indicando alta acurácia e baixa tendenciosidade nas estimativas.

O CHIRPS, por sua vez, apresentou melhor desempenho em Brasília (RQME: $34,6 \text{ mm mês}^{-1}$). Em contraste, o GSMap apresentou desempenho inferior, registrando os maiores RQME alcançando $127,6 \text{ mm mês}^{-1}$ em Porto Alegre e $155,1 \text{ mm mês}^{-1}$ em Salvador além das menores correlações, como $r = 0,79$ para Porto Alegre e $r = 0,64$ para Salvador. A sensibilidade do GSMap a sistemas convectivos intensos e à presença de topografia complexa, ambos fatores conhecidos na climatologia da América do Sul (Reboita *et al.*, 2010), ajuda a explicar essa baixa performance em ambientes com elevada variabilidade.

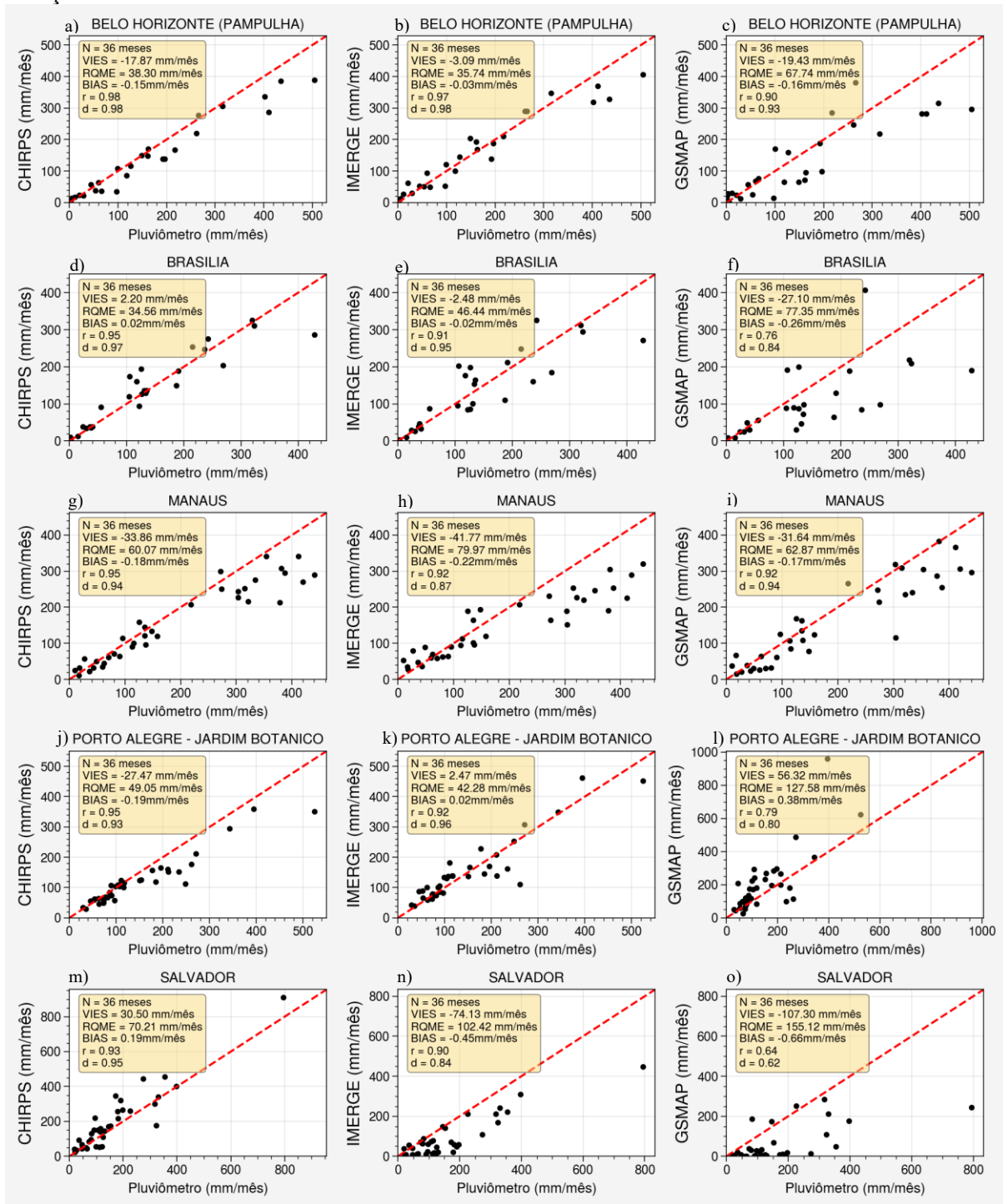
Tabela 6 - Resultados mensais estatísticos Estação vs. Satélite.

ESTAÇÃO	SATÉLITE	VIES (mm mês^{-1})	RQME (mm mês^{-1})	CORRELAÇÃO (r)	WILLMOTT (d)
BELO HORIZONTE	CHIRPS	-17.9	38.3	0.98	0.98
	IMERGE	-3.1	35.7	0.97	0.98
	GSMAP	-19.4	67.7	0.90	0.93
BRASILIA	CHIRPS	2.2	34.6	0.95	0.97
	IMERGE	-2.5	46.4	0.91	0.95
	GSMAP	-27.1	77.3	0.76	0.84
MANAUS	CHIRPS	-33.9	60.1	0.95	0.94
	IMERGE	-41.8	80.0	0.92	0.87
	GSMAP	-31.6	62.9	0.92	0.94
PORTO ALEGRE	CHIRPS	-27.5	49.1	0.95	0.93
	IMERGE	2.5	42.3	0.92	0.96
	GSMAP	56.3	127.6	0.79	0.80
SALVADOR	CHIRPS	30.5	70.2	0.93	0.95
	IMERGE	-74.1	102.4	0.90	0.84
	GSMAP	-107.3	155.1	0.64	0.62

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos de dispersão mensais (Figura 10) revela que CHIRPS e IMERG se aproximam mais da linha 1:1, ao passo que o GSMap apresenta maior espalhamento, com destaque para Porto Alegre e Salvador. Essa maior dispersão é coerente com limitações identificadas em produtos baseados em micro-ondas, quando comparados a composições que integram observações de superfície como ressalta no estudo de Rozante *et al.* (2010) sobre técnicas de combinação e calibração de estimativas orbitais na América do Sul.

Figura 10 - Relação de dispersão entre as estimativas mensais (mm mês^{-1}) de satélite e as estações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Apresentação da Interface e Estrutura Funcional Geral do Dashboard

A interface do usuário (UI) é fundamental do desenvolvimento, pois determina a acessibilidade e a usabilidade do sistema, influenciando diretamente sua adoção por diferentes públicos. As Figuras 11 e 12 mostram a tela inicial do *dashboard AquaGEE Analytics*.

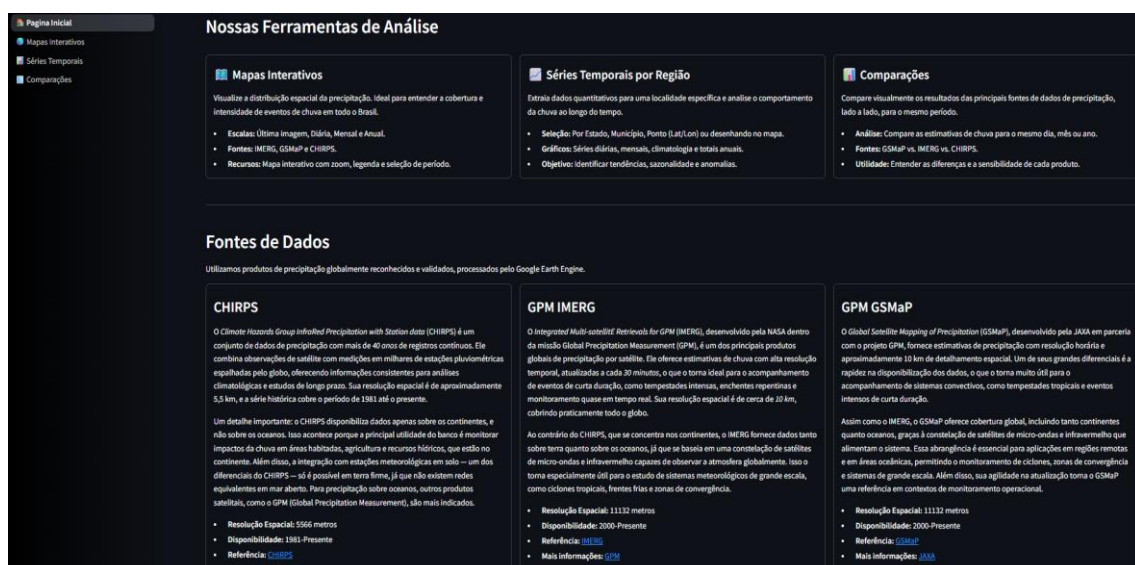
A Figura 11 mostra a tela inicial do *dashboard*. A estrutura da página é dividida em um painel de navegação à esquerda, que serve como o centro de comando, e uma área de visualização principal à direita, para dar destaque aos mapas e gráficos. Já a figura 12 a plataforma informa para o usuário sobre as ferramentas, fontes de dados que foram utilizados.

Figura 11 - Tela inicial do *dashboard AquaGEE Analytics*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 – Continuação da tela inicial do *dashboard AquaGEE Analytics*.



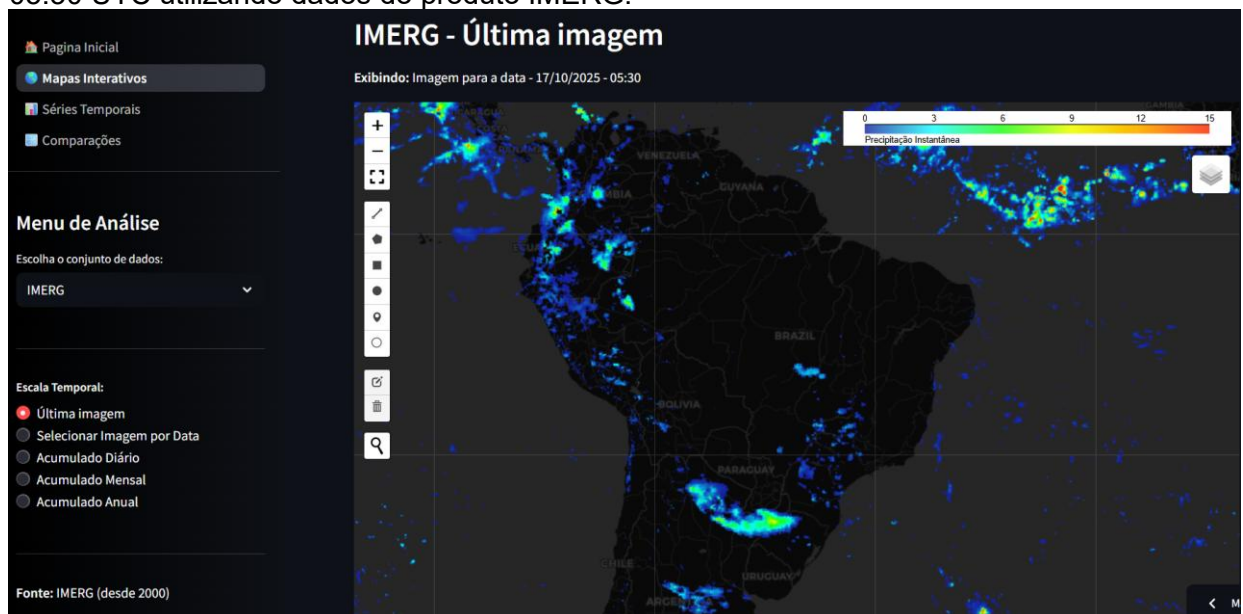
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Módulo de Visualização Espacial: Mapas interativos

O módulo "Mapas Interativos" constitui o núcleo de análise espacial do *AquaGEE Analytics* (https://aquagee.streamlit.app/Mapas_Interativos). Ele foi projetado para permitir que os usuários explorem a distribuição e a intensidade da precipitação em diferentes escalas de tempo.

Na Figura 13 é possível observar o padrão espacial da precipitação sobre a América do Sul. Nota-se a ocorrência de precipitação, concentrando-se principalmente sobre a faixa norte do continente, associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Reboita *et al.*, 2015). Observa-se, na Figura uma célula de precipitação de intensidade moderada a forte sobre o norte da Argentina, o que pode ser confirmada verificando-se a carta sinótica da marinha (Figura 14).

Figura 13 - Mapa de precipitação instantânea (mm h^{-1}) para o dia 17 de outubro de 2025 às 05:30 UTC utilizando dados do produto IMERG.

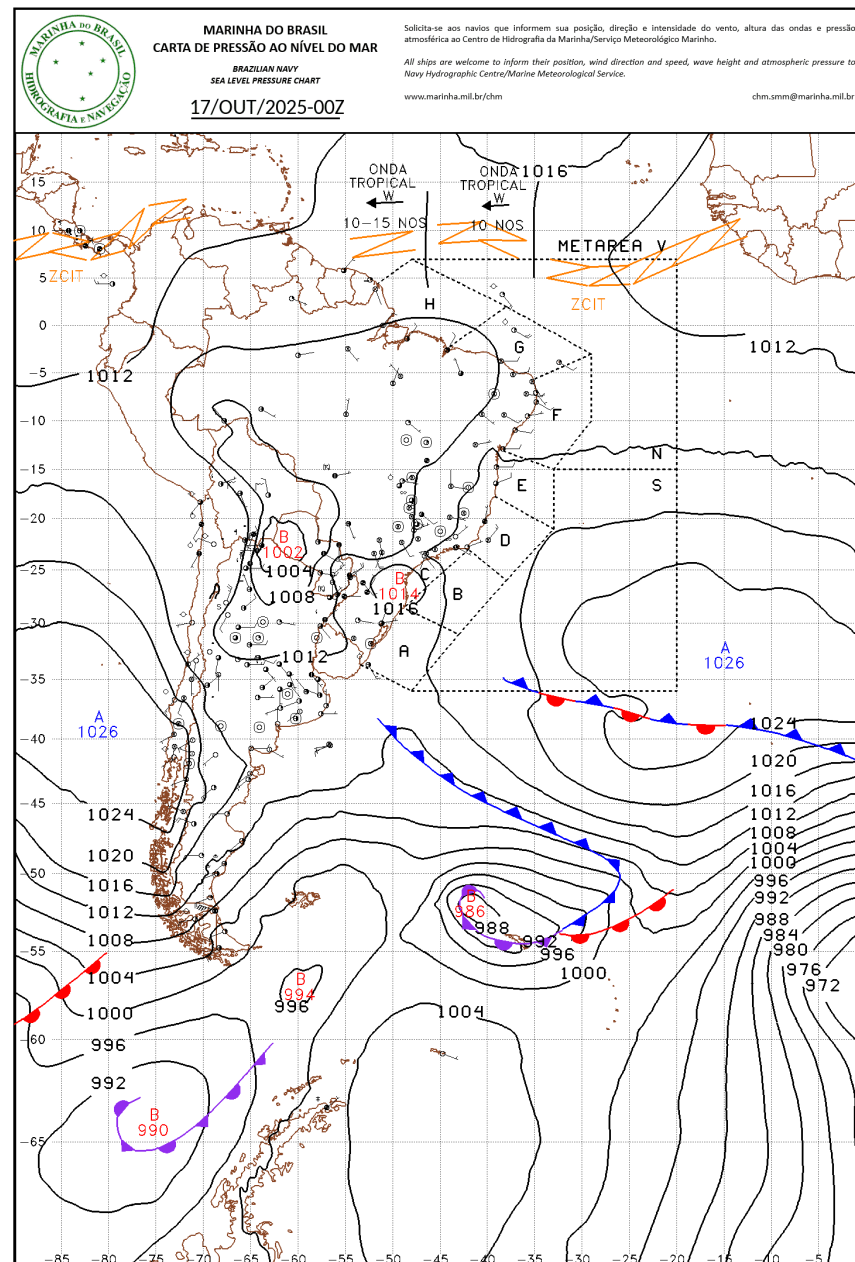


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 14 apresenta a carta sinótica ao nível do mar disponibilizada pela Marinha do Brasil (disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>) para o dia 17 de outubro de 2025 às 00:00 UTC. Observa-se uma região de baixa pressão de 1002 hPa centrado aproximadamente em 20°S / 62°W, região correspondente à planície do Chaco, configurando a presença da Baixa do Chaco (BCH). A BCH caracteriza-se como um sistema térmico sazonal de baixa pressão, intensificado pelo forte aquecimento superficial e responsável por

favorecer a convergência de umidade proveniente da Amazônia através do jato de baixos níveis (Seluchi; Saulo, 2012). Esse padrão sinótico contribui para a formação de áreas de instabilidade sobre o norte da Argentina e o sul da Bolívia, como evidenciado pela imagem de precipitação do produto IMERG (Figura 13), que mostra núcleos de precipitação intensa sobre essa mesma região.

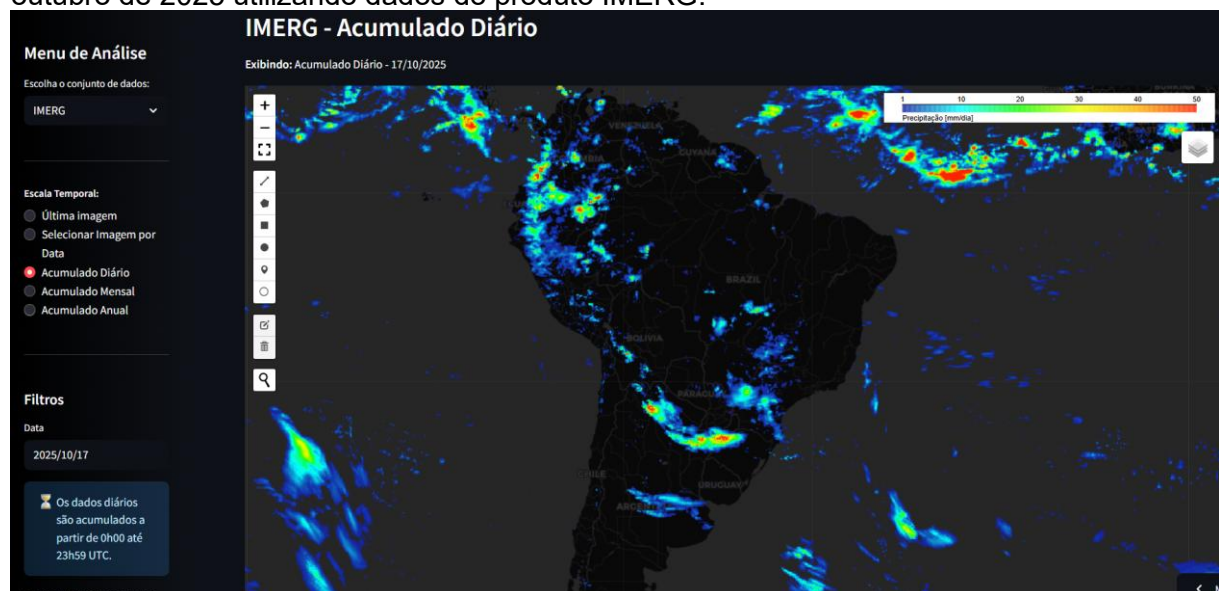
Figura 14 - Carta sinótica da Marinha do Brasil de 17 de outubro de 2025 às 00:00 UTC.



Fonte: Marinha do Brasil.

Enquanto a visão instantânea é útil para identificar a atividade convectiva numa determinada região, muitas aplicações hidrológicas e de gestão de riscos de desastres naturais dependem do volume total de água precipitado ao longo de um período. Para atender a essa necessidade, a ferramenta oferece a visualização de acumulado "Diário", cujo resultado é apresentado na Figura 15. A figura apresenta o acumulado diário (mm/dia) de precipitação obtido pelo produto IMERG para o dia 17 de outubro de 2025, com dados integrados entre 00:00 e 23:59 UTC. Observa-se que os maiores acumulados de precipitação, com valores superiores a 40 mm dia⁻¹, concentram-se no norte da Argentina, Paraguai e sul do Brasil, configurando um eixo de precipitação intensa coerente com a presença da Baixa do Chaco.

Figura 15 - Visualização do acumulado diário de precipitação (mm/dia) para o dia 17 de outubro de 2025 utilizando dados do produto IMERG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

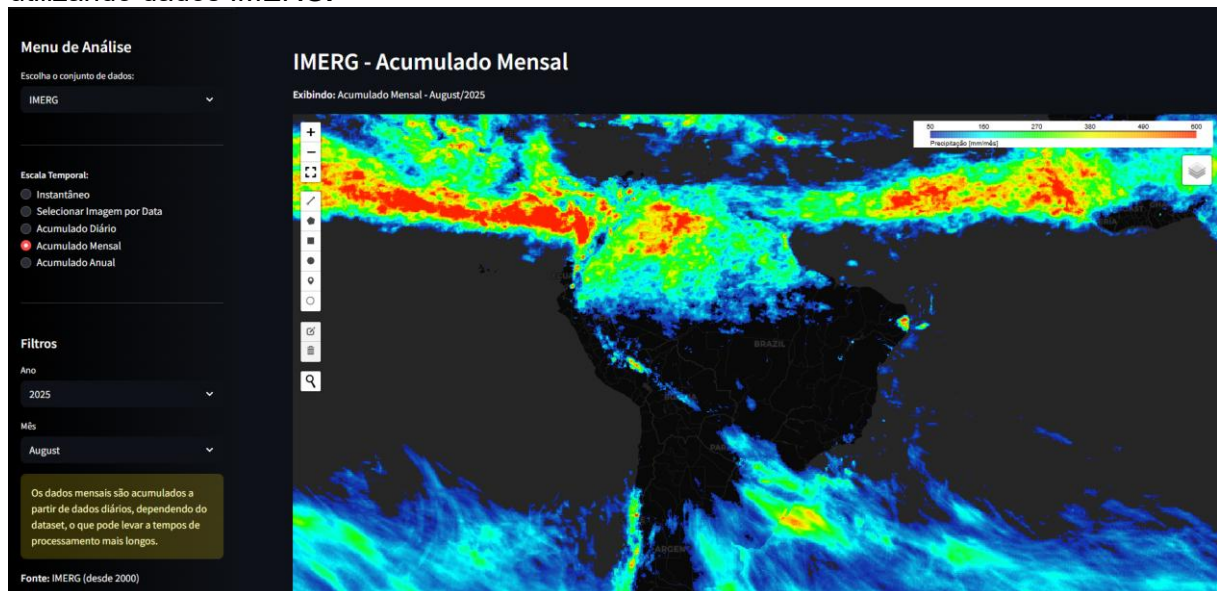
3.3.1 Caracterização de Padrões Sazonais e Climatológicos

Para análises em escalas de tempo mais longas, como mensal e anual, a ferramenta realiza acumulados temporais que revelam padrões sazonais e climatológicos. A Figura 16 mostra o resultado da agregação mensal realizada com os dados do IMERG para o mês de agosto de 2025.

Ao agregar os dados acumulados mensais, os padrões espaciais tornam-se ainda mais amplos e representativos das condições climáticas. Por exemplo, a Figura 16 indica a existência de um período tipicamente seco em grande parte central do Brasil, enquanto a precipitação permanece concentrada no extremo norte da

Amazônia e em partes do Sul do Brasil, associada à passagem de sistemas frontais. Além disso, mostra também claramente a localização da ZCIT devido banda de nebulosidade com alta (600 mm mês^{-1}) precipitação ao norte do continente.

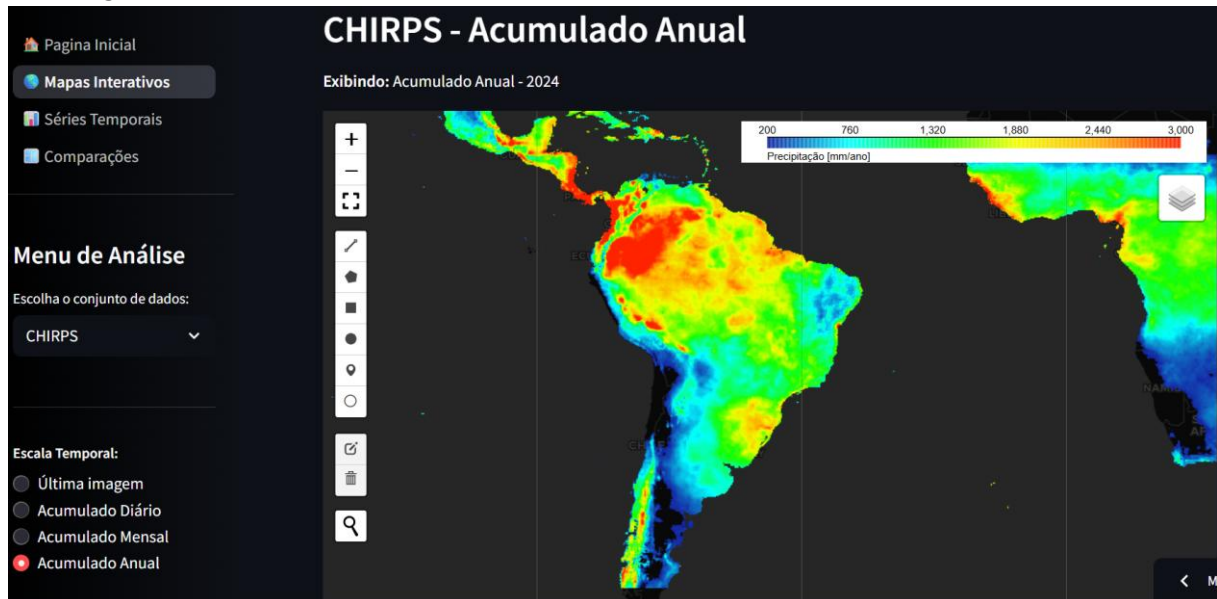
Figura 16 - Mapa de acumulado mensal de precipitação (mm mês^{-1}) para agosto de 2025, utilizando dados IMERG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 17 exibe o mapa de precipitação acumulada anual de 2024. Destacam-se os elevados volumes de precipitação na Bacia Amazônica (em vermelho e laranja), superando 2500 mm ano^{-1} . Em adição, observa-se um corredor de umidade que se estende do sul da Amazônia, passando pelo Centro-Oeste até a região Sudeste com precipitação em torno de 1900 mm ano^{-1} , e as condições comparativamente mais secas no interior da região Nordeste, com valores mínimos de 500 mm ano^{-1} . Os altos índices pluviométricos na Amazônia são uma consequência da intensa atividade convectiva na região equatorial, potencializada pela massiva convergência de umidade do Oceano Atlântico e pela quantidade de vapor d'água da própria floresta (Reboita *et al.*, 2010; 2015).

Figura 17 - Visualização do acumulado anual de precipitação (mm ano^{-1}) para 2024, utilizando dados CHIRPS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Módulo de Análise Temporal: Aplicação para um Estudo de Caso para o Município de Itajubá (MG)

Além da visualização espacial, uma das funcionalidades mais interessantes do *AquaGEE Analytics* é o módulo de "Series temporais" (https://aquagee.streamlit.app/Séries_Temporais). Este módulo foi projetado para extrair dados quantitativos e gerar séries temporais de precipitação para uma ROI específica. Para demonstrar a capacidade deste módulo foi realizado um estudo de caso para o município de Itajubá (MG).

3.4.1 Extração de Séries Temporais e Estatísticas Climatológicas

O primeiro passo no módulo de análise temporal é a definição da área de estudo e do período de interesse. Na Figura 18 o município de Itajubá foi selecionado a partir da base de dados do CHIRPS na opção de área de divisões políticas, e o período de análise foi definido de 1981 a 2024. Após a execução, a ferramenta retorna um conjunto de estatísticas descritivas e um mapa da área selecionada.

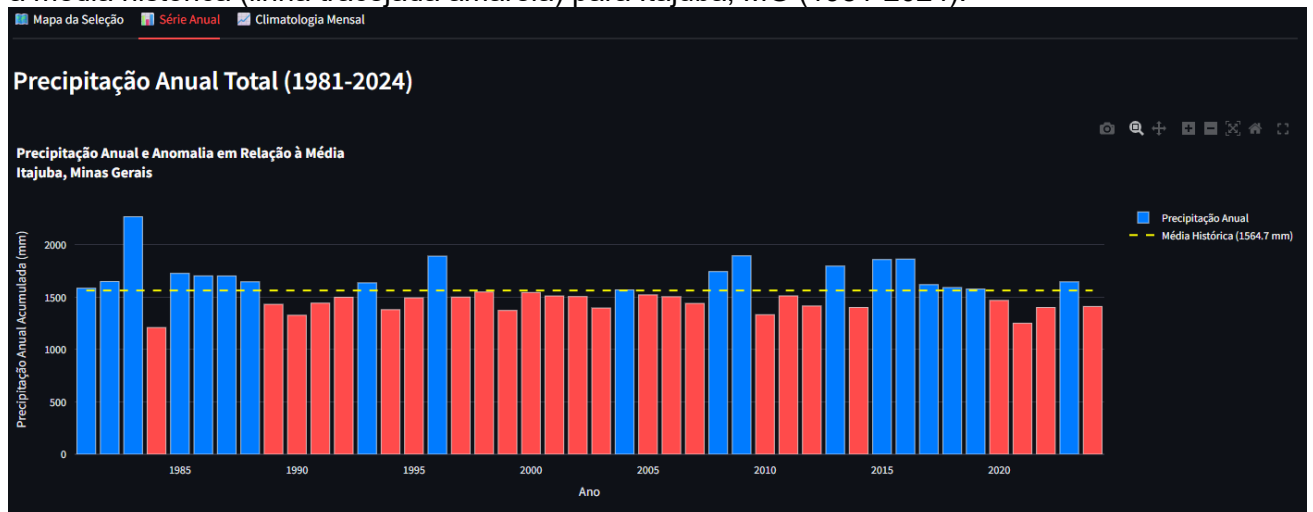
Figura 18 - Interface de resultados do módulo de análise por região para o município de Itajubá (MG), exibindo as estatísticas anuais e o mapa da área de interesse.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das estatísticas agregadas, a ferramenta gera um gráfico interativo da série temporal completa da precipitação anual, conforme apresentado na Figura 19. A linha tracejada horizontal, representa a média histórica. A coloração das barras representa se a precipitação foi acima (cor azul) ou abaixo (cor vermelha) da precipitação. Este recurso permite a identificação e comparação entre anos com maior quantidade ou menor quantidade de precipitação, facilitando a análise de tendências, a identificação de extremos e a percepção da variabilidade climática.

Figura 19 - Série temporal da precipitação anual acumulada (barras) e anomalias em relação à média histórica (linha tracejada amarela) para Itajubá, MG (1981-2024).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da figura 19 revela a variabilidade anual da precipitação em Itajubá. O contraste entre o ano mais chuvoso registrado, 1983, e o ano menos chuvoso, 1984, é extremo. Em 1983, a precipitação atingiu 2269,4 mm, um valor aproximadamente 45% acima da média histórica. No ano seguinte, 1984, o total foi de apenas 1210,7 mm, cerca de 23% abaixo da média. A ocorrência do ano mais chuvoso em 1983 pode ser contextualizada por fenômenos climáticos de larga escala. Por exemplo, o período de 1982-1983 foi marcado por um dos eventos de El Niño mais intensos (Figura 20) do século XX (GOLDEN GATE WEATHER SERVICES, 2025). Embora os impactos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) no Sudeste do Brasil sejam complexos e variem entre eventos, é plausível que as anomalias atmosféricas associadas a este forte El Niño tenham contribuído para o regime de chuvas excepcionalmente elevado em 1983 na região.

Figura 20 - Classificação dos eventos El Niño e La Niña por intensidade entre 1951 e 2024.

El Niño - 27				La Niña - 25		
Weak - 11	Moderate - 7	Strong - 6	Very Strong - 3	Weak - 12	Moderate - 6	Strong - 7
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84	2020-21	1999-00
1977-78	2002-03	2023-24		1984-85	2021-22	2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
2018-19				2017-18		
				2022-23		

Fonte: Golden Gate Weather Services.

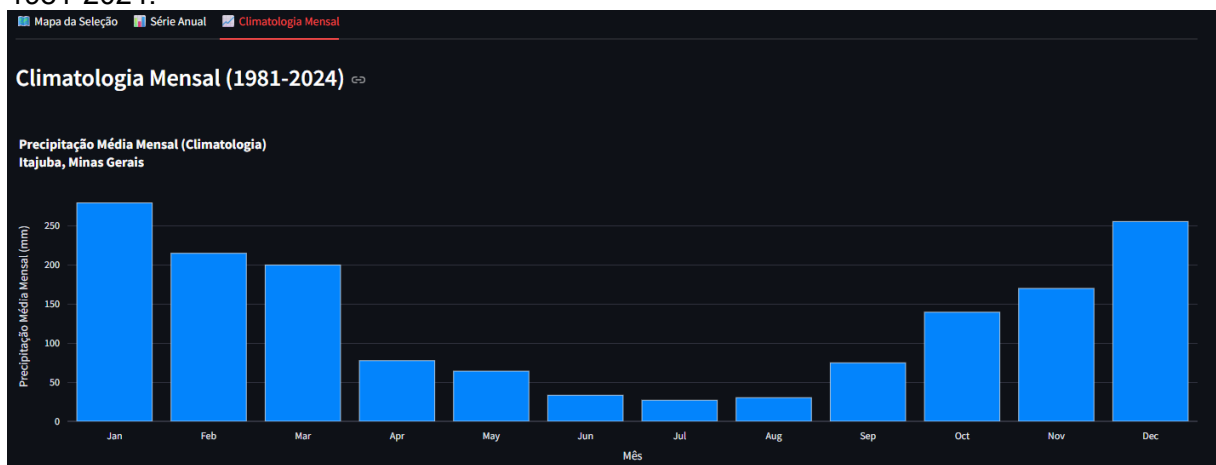
3.4.2 Análise do Ciclo Sazonal da Precipitação

Para complementar a análise, o módulo produz a série temporal mensal climatológica, que descreve o ciclo sazonal médio da precipitação para a região de interesse.

Na Figura 21 Observa-se um período chuvoso bem definido durante o verão, com a precipitação atingindo seu pico em dezembro e janeiro, com valores médios mensais que ultrapassam 250 mm. Em contrapartida, o inverno é caracterizado por

um período seco, com os meses de junho, julho e agosto registrando os menores volumes de chuva, frequentemente abaixo de 50 mm. Esta sazonalidade pluviométrica é um fator determinante para o balanço hídrico climatológico da região, influenciando diretamente a disponibilidade hídrica ao longo do ano. Estudos específicos para o município, como o de Alves, Martins e Reboita (2020), corroboram essa caracterização ao analisarem a climatologia local e seus impactos na evapotranspiração e nos recursos hídricos.

Figura 21 - Climatologia da precipitação média mensal para Itajubá (MG) para o período de 1981-2024.

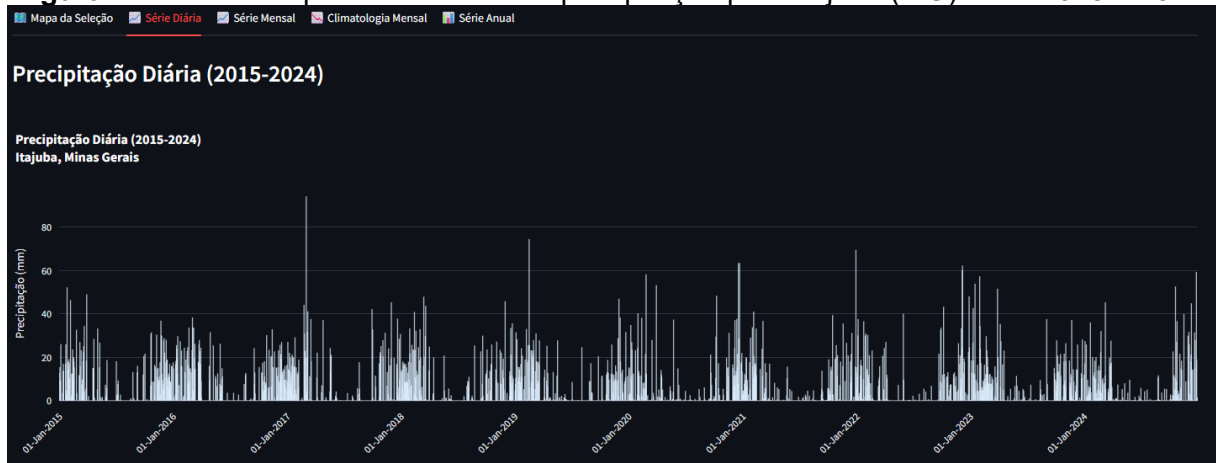


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.3 Análise diária total

A Figura 22 mostra a série temporal diária total entre 2015 e 2024 para o município de Itajubá (MG). Nota-se que o período selecionado mostra um comportamento bastante chuvoso, com a precipitação atingindo seu pico em dezembro e janeiro, com valores diários que ultrapassam 20 mm dia⁻¹ e picos em alguns dias acima de 40 mm dia⁻¹. Em contrapartida, o inverno é caracterizado por um período seco registrando os menores volumes de chuva, frequentemente próximo a 0 mm dia⁻¹.

Figura 22 – Série temporal diária total de precipitação para Itajubá (MG) entre 2015 e 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor.

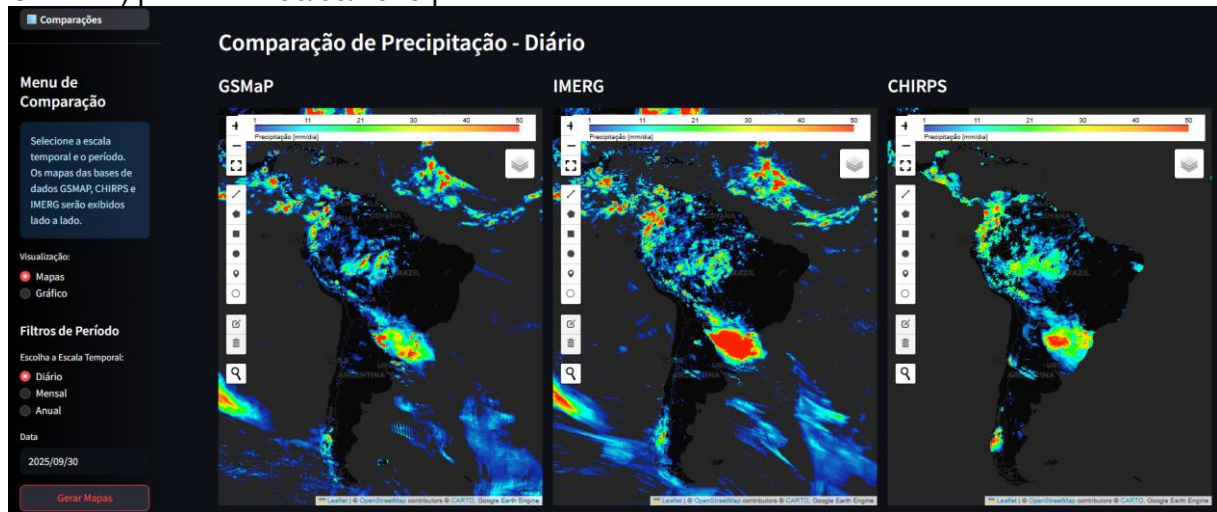
3.5 Módulo Comparações

A página “Comparações” (<https://aquagee.streamlit.app/Comparações>) foi desenvolvida com o objetivo de permitir uma análise integrada entre os três produtos de estimativa. Essa funcionalidade possibilita a avaliação simultânea de diferentes bases de dados, em múltiplas escalas temporais diária, mensal e anual de forma visual e interativa.

3.5.1 Comparação Espacial

Na escala diária (Figura 23), observa-se o comportamento da precipitação sobre a América do Sul. As diferenças entre os produtos são perceptíveis na intensidade e na distribuição espacial dos eventos. Por exemplo, o IMERG apresenta áreas mais concentradas de precipitação intensa, com valores na região sul do Brasil ultrapassando 50 mm dia^{-1} , enquanto o GSMaP exibe padrões mais contínuos e suavizados com alguns valores em torno de 50 mm dia^{-1} , mas em geral valores em torno de 21 mm dia^{-1} . Em contrapartida, o CHIRPS que combina dados de satélite e de estações pluviométricas, revela uma cobertura mais heterogênea, principalmente nas regiões continentais valores próximos ao GSMaP. Por essa visualização o IMERG é o que está mais superestimando, em contrapartida o GSMaP tem os valores mais subestimados.

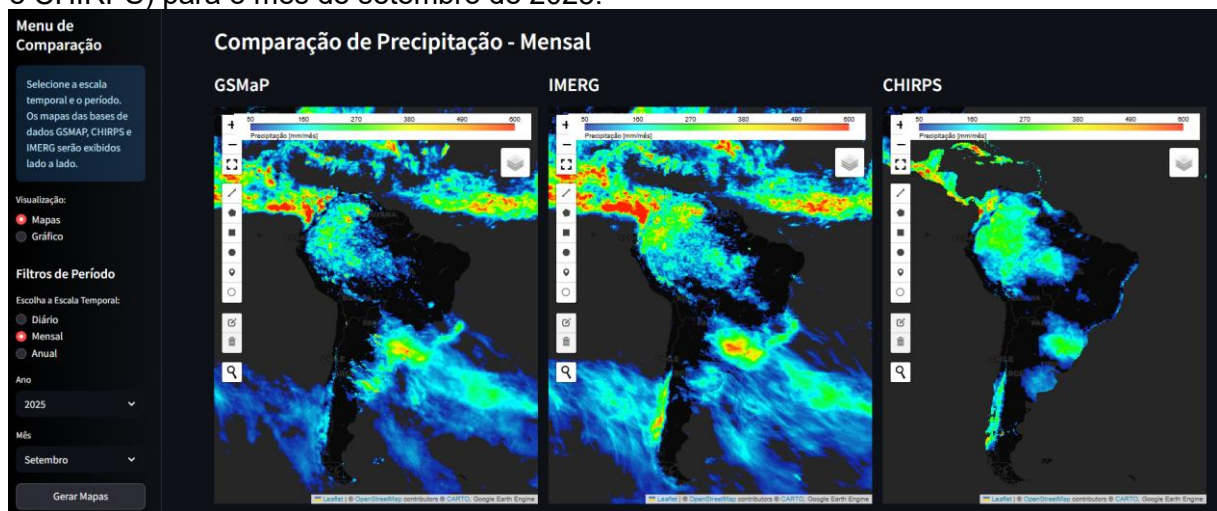
Figura 23 - Comparação da precipitação diária das três bases de dados (GSMAP, IMERG e CHIRPS) para o dia 30/09/2025 para a América do Sul.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na escala mensal (Figura 24), é possível identificar o comportamento acumulado da precipitação, evidenciando feições climatológicas como a ZCIT e as áreas de máxima precipitação associadas à Amazônia e ao Atlântico tropical. O IMERG e o GSMaP demonstram padrões semelhantes, com pequenas variações em magnitude, enquanto o CHIRPS tende a apresentar menores valores acumulados nas regiões.

Figura 24 - Comparação da precipitação mensal das três bases de dados (GSMAP, IMERG e CHIRPS) para o mês de setembro de 2025.

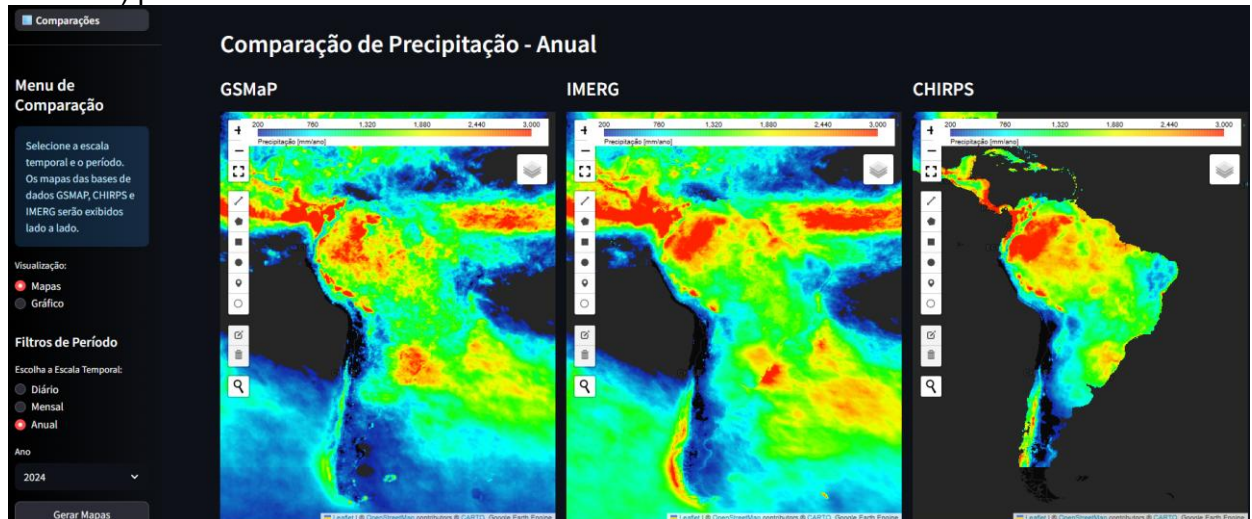


Fonte: Elaborado pelo autor.

A visualização anual (Figura 25) destaca as diferenças amplas entre as zonas úmidas e áridas do continente sul-americano. As maiores acumulações ocorrem sobre

a Amazônia e norte do Brasil valores próximos a 3000 mm ano⁻¹, enquanto os menores valores são observados na região central com valores em torno de 1300 mm ano⁻¹ e no nordeste brasileiro com os menores valores da figura no continente entre 200 a 700 mm ano⁻¹.

Figura 25 - Comparação da precipitação anual das três bases de dados (GSMaP, IMERG e CHIRPS) para o ano de 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor.

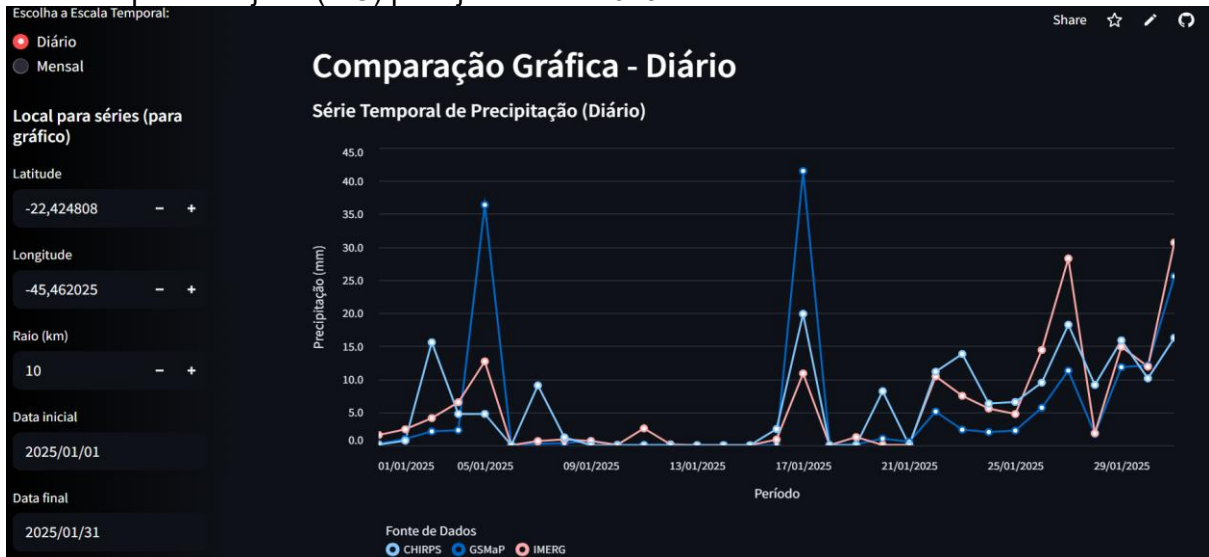
3.5.2 Comparação Temporal

A Figura 26 apresenta a comparação das séries temporais diárias de precipitação observadas sobre o município de Itajubá (MG), localizado aproximadamente em 22,42°S e 45,46°O, considerando os produtos CHIRPS, GSMaP e IMERG para o período de 1 a 31 de janeiro de 2025. Observa-se que todos os conjuntos de dados reproduzem de forma coerente a variabilidade temporal da precipitação, com picos de precipitação bem definidos ao longo do mês. Os maiores acumulados diários ocorreram nos dias 5 e 17 de janeiro, alcançando valores superiores a 35 mm dia⁻¹ para o GSMaP, e ligeiramente inferiores no CHIRPS e IMERG.

Entre os dias 8 e 15 de janeiro, todos os produtos convergem para valores próximos de zero, evidenciando boa concordância quanto à detecção de ausência de precipitação. De modo geral, as séries temporais de precipitação diárias mostram que os três produtos captam satisfatoriamente a variabilidade de curto prazo, embora o GSMaP aparentemente tenda a superestimar, e o CHIRPS e IMERG subestimar a precipitação, a calibração de sensores ou a técnica específica de cada algoritmo

podem levar a vieses de subestimativa, enquanto a complexidade regional como a orografia e padrões de circulação pode levar a superestimativas em certas áreas, como observado no caso do GSMap

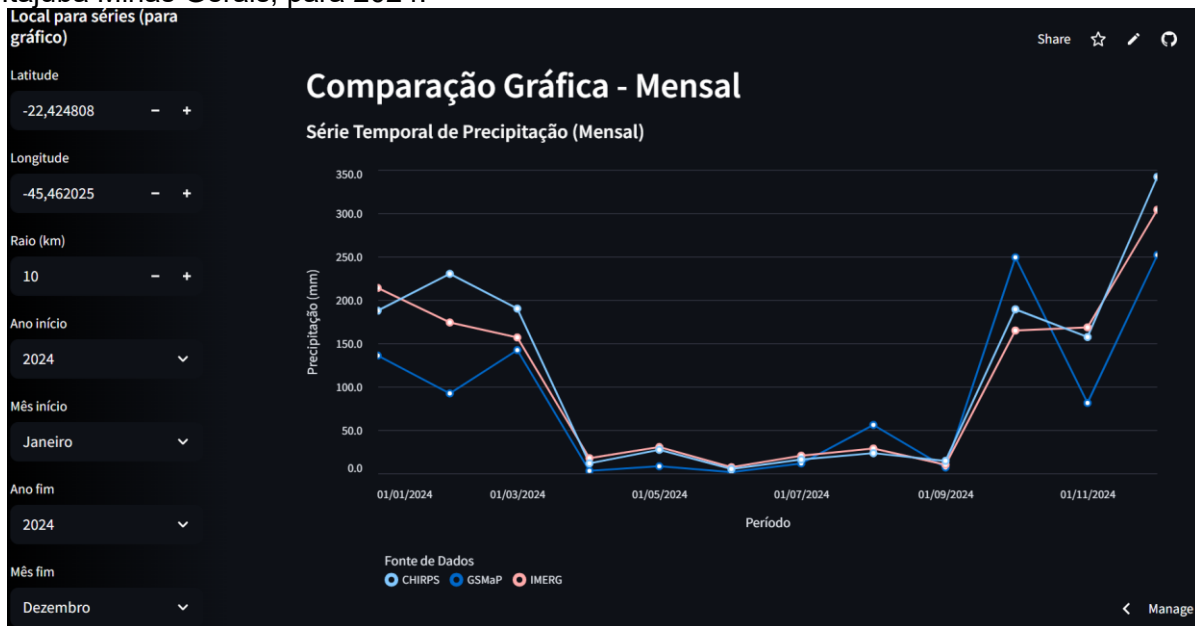
Figura 26 – Comparação entre a série temporal diária de precipitação do CHIRPS (linha azul clara), GSMap (linha azul escuro) e IMERG (linha rosa). Usando latitude e longitude da cidade do município de Itajubá (MG) para janeiro de 2025.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 27 representa a comparação entre os mesmos produtos na escala mensal para 2024. Nota-se que a sazonalidade da precipitação é capturada pelos três conjuntos, com maiores acumulados nos meses de verão (dezembro a março) ($250 - 350 \text{ mm mês}^{-1}$) e valores mínimos entre maio e agosto ($0 - 50 \text{ mm mês}^{-1}$), padrão climático típico da região Sudeste (Reboita *et al.*, 2015). Durante o início do ano, os produtos CHIRPS e IMERG apresentam valores próximos a 200 mm mês^{-1} , enquanto o GSMap exibe ligeira subestimativa. No final do ano, há um novo aumento dos totais mensais, indicando o retorno da estação chuvosa.

Figura 27 - Comparação gráfica mensal das três bases de dados, CHIRPS (linha azul clara), GSMAP (linha azul escuro) e IMERG (linha rosa). Usando latitude e longitude da cidade de Itajubá Minas Gerais, para 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho desenvolveu o *dashboard AquaGEE Analytics* (<https://aquagee.streamlit.app/>), que é um aplicativo que integra e exibe a estimativa de precipitação globalmente realizada por três produtos diferentes: IMERGE, GSMAP e CHIRPS. Ao integrar o poder computacional do GEE com a interface de usuário acessível do *Streamlit* em Python, a ferramenta efetivamente construiu uma ponte entre os complexos conjuntos de dados de satélite CHIRPS, IMERG e GSMaP e uma ampla gama de usuários finais. Simplificando assim o processo de busca e *download* de dados de precipitação estimado por satélite.

Os resultados do trabalho, a validação dos produtos de satélite através da comparação com dados de estações pluviométricas do INMET em cinco capitais brasileiras, representando assim a diversidade climática do país. Os resultados desta validação, revelaram que para a escala mensal os produtos CHIRPS e IMERG apresentaram ótimo desempenho e alta confiabilidade, com coeficientes de Correlação de Pearson (r) e índices de Willmott (d) frequentemente superiores a 0,90 e 0,95, respectivamente. O GSMaP, em contrapartida, demonstrou maiores erros (RQME) e vieses, especialmente em Salvador e Porto Alegre.

Na escala diária, a análise confirmou a maior dificuldade em estimar eventos de precipitação de curto prazo (escala mensal versus diária), resultando em correlações mais moderadas. O produto IMERG mostrou-se consistente com o melhor desempenho, apresentando os menores valores de RQME em todas as localidades e os maiores (r) e (d), atingindo $r=0,77$ em Porto Alegre. Brasília (DF) mostrou-se uma localidade desafiadora para todos os produtos, possivelmente devido à natureza convectiva. Todos os produtos tenderam a subestimar os acumulados diários, conforme indicado pelos valores de VIES predominantemente negativos.

Uma etapa fundamental do trabalho, as capacidades da plataforma. O módulo "Mapas Interativos" provou ser condizente na exibição de padrões espaciais de precipitação em múltiplas escalas (instantânea, diária, mensal e anual), reproduzindo corretamente características meteorológicas e climatológicas conhecidas, como a influência da BCH e a ZCIT. O módulo "Séries Temporais" extraiu dados quantitativos para o estudo de caso em Itajubá (MG), validando a capacidade da ferramenta de identificar a climatologia local (verão chuvoso e inverno seco) e a variabilidade interanual, como o impacto do intenso El Niño de 1982-83. O módulo "Comparações"

permitiu uma análise visual direta das divergências e convergências entre os três produtos.

Como perspectiva para trabalhos futuros, recomenda-se a expansão do *AquaGEE Analytics* para incorporar dados atmosféricos e ambientais adicionais disponíveis no GEE, como séries globais de concentração de dióxido de carbono (CO_2) derivadas de missões como OCO-2. Essa integração permitiria explorar correlações entre variáveis climáticas e emissões de gases de efeito estufa, ampliando o potencial da plataforma para estudos sobre variabilidade climática e balanço energético. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de um módulo de visualização de dados provenientes de estações meteorológicas automáticas, permitindo a comparação em tempo quase real entre observações locais e estimativas de satélites, fortalecendo a validação e o uso operacional do sistema.

5. REFERÊNCIAS

- ALVES, Alexandre Magalhães de Moraes Ramos; MARTINS, Fabrina Bolzan; REBOITA, Michelle Simões. Balanço hídrico climatológico para Itajubá-MG: cenário atual e projeções climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020. DOI: 10.5380/abclima.v26i0.70387. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14239>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- BAUMHARDT, O F. et al. Correlação entre a precipitação pluviométrica registrada por estações meteorológicas automáticas e estimada a partir de dados CHIRPS - Estudo de caso em Balneário Camboriú/SC. **Revista Brasileira de Climatologia, Dourados**, v. 34, n. 20, p. 360-383, 2024. DOI: 10.55761/abclima.v34i20.17645. Disponível em: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7Wv3GDa9/>. Acesso em: 2 abr. 2025.
- COSTA, W S. et al. Sistema web para pré-processamento e análise de dados meteorológicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 30, n. 18, p. 591-610, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.15079. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/15079>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- CARDOSO, Murilo Raphael Dias et al. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. 2014. DOI: 10.5654/actageo2014.0004.0016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/15047/1/1384-9805-1-PB.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- FERREIRA, Maria Leidiane; SILVA, Joélia Natalia Bezerra da; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. A influência das teleconexões climáticas nas precipitações do município de Manaus, Amazonas, Brasil. **Rebena - Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem**, [S. l.], v. 12, p. 336–349, 2025. Disponível em: <https://rebena.emnuvens.com.br/revista/article/view/427>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista política hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009. Disponível em: https://dirin.s3.amazonaws.com/drive_materias/1666287394.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.
- FUNK, Chris et al. The climate hazards infrared precipitation with stations a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific data**, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2015. DOI: 10.1038/sdata.2015.66. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/sdata201566>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. Índice ONI (Oceanic Niño Index). **GGWeather.com**, 2025. Disponível em: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- HUFFMAN, G. J. GPM IMERG final precipitation L3 half hourly 0.1 degree× 0.1 degree V06. (No Title), 2019. DOI: 10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/07. Disponível em: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGHH_07/summary. Acesso em: 27 out. 2025.

KUBOTA, Takuji et al. Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) products in the GPM era. In: **Satellite precipitation measurement: Volume 1**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 355-373. DOI: 10.1007/978-3-030-24568-9_20. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-24568-9_20. Acesso em: 15 ago. 2025.

KUINCHTNER, Angélica; BURIOL, Galileo Adeli. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1136>. Acesso em 25 nov. 2025.

KOPPEN, Wladimir. Das geographische system de klimate. **Handbuch der klimatologie**, 1936.

MARENGO, J. A. et al. Extreme climatic events in the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, p. 73-85, 2012. DOI: 10.1007/s00704-011-0465-1. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/258723887_Extreme_climatic_events_in_the_Amazon_basin. Acesso em: 15 ago. 2025.

MARINHA DO BRASIL. Cartas Sinóticas. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Serviço Meteorológico Marinho. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>. Acesso em: 17 out. 2025.

MARTINS, Fabrina Bolzan; GONZAGA, Gabriela; SANTOS, Diego Felipe dos; REBOITA, Michelle Simões. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E DE THORNTHWAITTE PARA MINAS GERAIS: CENÁRIO ATUAL E PROJEÇÕES FUTURAS. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 1, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v1i0.60896. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14064>. Acesso em: 28 nov. 2025.

MELLO, Carlos Rogério de; VIOLA, Marcelo Ribeiro. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 37-44, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/DrR5Fff8VNP7njWwvbPvmJv/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 set. 2025

MENDES, L P O et al. Análise da precipitação pluviométrica por meio de dados CHIRPS e Google Earth Engine. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 25, n. 101, p. 174-192, 2024. DOI: 10.14393/RCG2510172626. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/72626>. Acesso em: 15 set. 2025.

PALHARINI, Rayana Santos Araujo et al. Assessment of the extreme precipitation by satellite estimates over South America. **Remote Sensing**, v. 12, n. 13, p. 2085, 2020. DOI: 10.3390/rs12132085. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/13/2085>. Acesso em: 13 set. 2025.

PETTY, G. W. The Status of Satellite-Based Rainfall Estimation over Land. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, p. 125-137, 1995. DOI: 10.1016/0034-4257(94)00070-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425794000704>. Acesso em: 16 set. 2025.

REBOITA, Michelle Simões et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, p. 185-204, 2010. DOI: 10.1590/S0102-77862010000200004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yhrG5QPXhBCkZXcGKgyzWvf/?lang=pt>. Acesso em: 16 set. 2025.

REBOITA, Michelle Simões et al. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.. DOI: 10.5380/abclima.v17i0.41493. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/41493>. Acesso em: 28 nov. 2025.

REBOITA, Michelle Simões et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terræ didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012. DOI: 10.20396/td.v8i1.8637425. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637425>. Acesso em: 28 nov. 2025.

ROZANTE, José Roberto et al. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather and forecasting**, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/25/3/2010waf2222325_1.xml. Acesso em: 25 nov. 2025

SELUCHI, Marcelo Enrique; SAULO, Andrea Celeste. Baixa do Noroeste Argentino e Baixa do Chaco: características, diferenças e semelhanças. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 49-60, 2012.. DOI: 10.1590/S0102-77862012000100006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/8nZ6WpQw5DwvSkDrQtryrGv/?lang=pt>. Acesso em: 22 set. 2025.

SEI, superintendência de estudos econômicos e sociais da Bahia. Cartograma climático do estado da Bahia: tipologia climática Koppen & Geiger. 2023. Disponível em: https://ftp.sei.ba.gov.br/Geoinformacao/cartograma/estado/carto_tipclim-kg_ba_6v5m_2023_cor.pdf. Acesso em: 25 nov. 2025.

STREAMLIT. Documentação oficial do Streamlit. Disponível em: <https://docs.streamlit.io/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

VICENTE, Gilberto A.; SCOFIELD, Roderick A.; MENZEL, W. Paul. The operational GOES infrared rainfall estimation technique. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 9, p. 1883-1898, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<1883:TOGIRE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<1883:TOGIRE>2.0.CO;2) Disponível

em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/79/9/1520-0477_1998_079_1883_togire_2_0_co_2.xml. Acesso em: 19 set. 2025.

WILHEIT, Thomas T. Some comments on passive microwave measurement of rain. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 67, n. 10, p. 1226-1232, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1986\)067<1226:SCOPMM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1986)067<1226:SCOPMM>2.0.CO;2). Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/67/10/1520-0477_1986_067_1226_scopmm_2_0_co_2.xml. Acesso em: 24 set. 2025.