

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Avaliação Temporal da Chuva no Parque Nacional
de Itatiaia: Assimilação de Dados Orbitais e de
Superfície para Subsidiar Estudos Erosivos em Solos**

Tales Gaspar de Mattos Reis

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DA CHUVA NO PARQUE NACIONAL DE
ITATIAIA: ASSIMILAÇÃO DE DADOS ORBITAIS E DE SUPERFÍCIE
PARA SUBSIDIAR ESTUDOS EROSIVOS EM SOLOS**

TALES GASPAR DE MATTOS REIS

Sob a Orientação da Professora
Lúcia Helena Cunha dos Anjos

e Coorientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

Seropédica, RJ
Março de 2023

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R375a	Reis, Tales Gaspar de Mattos, 1996- Avaliação temporal da chuva no Parque Nacional de Itatiaia: assimilação de dados orbitais e de superfície para subsidiar estudos erosivos em solos / Tales Gaspar de Mattos Reis. - Seropédica, 2023. 48 f. : il. Orientadora: Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Coorientador: Marcos Gervasio Pereira. Dissertação (Mestrado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, 2023. 1. Precipitação pluviométrica. 2. Floresta Atlântica. 3. Sensoriamento remoto. I. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos Anjos, 1957-, orient. II. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-, coorient. III. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo. IV. Título.
-------	---

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A referida pesquisa está inserida no Projeto PENSA Rio (Edital 34/2014) através do apoio e financiamento da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro- Processo E-26/010/002987/2014



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE
JANEIRO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA (CIÊNCIAS DO SOLO)



HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO Nº 17 / 2023 - CPGACS (12.28.01.00.00.00.27)

Nº do Protocolo: 23083.015610/2023-35

Seropédica-RJ, 16 de março de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

TALES GASPAR DE MATOS REIS

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

TESE APROVADA EM 09/03/2023.

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ
(Orientadora)

Rafael Coll Delgado. Dr. UFRRJ
Rafael de Ávila Rodrigues. Dr. UFCAT
Roriz Luciano Machado. Dr. IF Goiano

(Assinado digitalmente em 21/03/2023 11:32)
LÚCIA HELENA CUNHA DOS ANJOS
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptS (12.28.01.00.00.00.33)
Matrícula: 387335

(Assinado digitalmente em 20/03/2023 11:39)
RAFAEL COLL DELGADO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCamb (12.28.01.00.00.00.00.29)
Matrícula: 1872560

(Assinado digitalmente em 27/03/2023 14:40)
RORIZ LUCIANO MACHADO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 903.506.501-87

(Assinado digitalmente em 23/03/2023 19:55)
RAFAEL DE ÁVILA RODRIGUES
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 903.506.501-87

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **17**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **16/03/2023** e o código de verificação: **813d1d51c8**

AGRADECIMENTOS

Quero expressar meu agradecimento ao meu Deus pela oportunidade de alcançar mais um objetivo e por não me desamparar durante todo o percurso que fiz até aqui. À minha mãe, Natalina, minha maior fonte de inspiração, que me motivou a não desistir durante os percalços da vida acadêmica e da trajetória profissional.

Aos meus amigos Nicolas, Samuel e Felipe, por todo o apoio e encorajamento. Aos meus geoamigos de graduação, Rufino, Beatriz, Andreilson, Gabriel e Niriele, pelos momentos de trocas e apoio mútuo.

À professora Sarah Lawall, por me apresentar a Ciência do Solo ainda na graduação, e também ao grupo de pesquisa EVOL, em conjunto com a professora Laura Mendes, por toda a experiência.

Aos professores Marcos Gervasio Pereira e Lúcia Anjos, por toda a paciência, ajuda, indicações e, principalmente, pelo trabalho de orientação. Sem vocês, essa pesquisa não seria possível e, por isso, o meu muito obrigado.

Ao professor Rafael Delgado, por todo o suporte e paciência durante todo o período de coleta de dados. Aos membros da banca por sua valiosa contribuição na revisão do documento.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo e a todo o corpo de técnicos e alunos que fazem esse programa ter excelência e prestígio.

Às agências de fomento, CNPq e FAPERJ, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo financiamento do projeto no Edital Faperj - Pensa Rio, que possibilitaram a produção desta referida pesquisa. Ainda, ao Parque Nacional de Itatiaia e seus servidores pelo apoio contínuo na execução do projeto.

Gratidão!

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Declaro que ferramentas de inteligência artificial generativa foram utilizadas neste trabalho nas seguintes condições.

A Ferramenta de IA Gemini do Google foi utilizada com a finalidade de revisão de ortografia e gramática em algumas partes do texto, e na tradução de texto do resumo para o inglês na construção do Abstract. As referências foram ordenadas pela ferramenta NotebookLM pelo Google Labs que também usa o Google Gemini.

Todo o conteúdo gerado com o apoio dessas ferramentas foi submetido à revisão crítica pelo autor, que assume integral responsabilidade pela originalidade, veracidade e integridade do texto final, em conformidade com a política de integridade na atividade científica do CNPq (portaria nº 2.664/2026).

RESUMO

REIS, Tales Gaspar de Mattos. **Avaliação temporal da chuva no Parque Nacional de Itatiaia: assimilação de dados orbitais e de superfície para subsidiar estudos erosivos em solos**. 2023. 48f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Os danos causados pelo grande volume de chuvas ou a sua escassez são debatidos constantemente a nível nacional e local, por cientistas e gestores e a sociedade em geral. Quando associadas às mudanças climáticas, hoje apontadas como principal causadora de eventos extremos, o tema é ainda mais relevante nas áreas agricultáveis, protegidas e nas cidades. No Brasil, diversos trabalhos têm sido feitos com uso de dados de sensoriamento remoto (SR) e sua comparação com estações meteorológicas in situ, muitos deles tem associado índices de precipitação aos dados do SR para analisar o comportamento, estimativas e possíveis correlações. Neste estudo são utilizados os dados do *Climate Hazards Group Infra Red Precipitation with Station Data* (CHIRPS), que foi desenvolvido através de cooperação entre: *Earth Resources Observation and Science* (EROS), *Climate Hazards Group* (CHG) e *United States Geological Survey* (USGS), elaborado inicialmente para acompanhar os impactos das secas sazonais a partir de séries temporais de chuva. O CHIRPS apresenta resolução espacial de 0,05°, entorno de 5 km, de abrangência espacial de 50° N e 50° S e como produtos derivados do CHIRPS temos conjuntos diários, pênadas e mensais de chuva. Diversos estudos já validaram o CHIRPS, muitos deles por intermédio da correlação entre os dados pluviométricos estimados utilizando sensoriamento remoto e os obtidos em estações meteorológicas de superfície. A Unidade de Conservação Parque Nacional de Itatiaia (PNI), escolhida para esse estudo de validação dos dados está completamente inserida no domínio morfoclimático de Mares de Morros e no Bioma Floresta Atlântica. A validação dos dados estimados para a parte baixa do PNI se deu em série anual, de 2021-2022, através das principais métricas estatísticas. Os dados do CHIRPS foram validados a partir da correlação dos dados de estação meteorológica (ITWH1080) fixada na Torre de Fluxo da Parte Baixa do Parque Nacional do Itatiaia, parte do projeto PENSA Rio. Os resultados mostram que a correlação entre as precipitações do período chuvoso do CHIRPS e da estação ITWH1080 não apresentam disparidades significativas. O coeficiente de correlação de Pearson (r), que foi aplicado para mostrar a associação linear entre a série anual de precipitação do CHIRPS, com valores definidos até 400 mm e da ITWH1080, apresentou valor de $r = 0,90$, apontando para uma boa associação entre as matrizes de dados. O r^2 apresentou boa variação com valor igual a 0,82 e o índice Willmott (d) mostrou valor de 0,90, o que denota boa concordância entre os dados estimados e os observados. Portanto, pode-se concluir que o uso dos dados do CHIRPS é uma alternativa para as análises do comportamento das chuvas na parte baixa do PNI, contribuindo para avaliação do potencial erosivo das mesmas.

Palavras-chave: Precipitação pluviométrica. Floresta Atlântica. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

REIS, Tales Gaspar de Mattos. **Temporal assessment of rainfall in Itatiaia National Park: assimilation of orbital and surface data to support soil erosion studies.** 2023. 48p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

The damages caused by the large volume of rainfall or its scarcity have been constantly debated at the national and local level, by scientists, government and the society. When associated with climate change, pointed as the main cause of extreme events, the theme becomes even more relevant in agricultural areas, protected areas, and cities. In Brazil, several works have been done using remote sensing (RS) data and its comparison with in situ meteorological stations, many of them associating precipitation indices to the SR data to analyze the pattern, estimates and possible correlations. In this study the Climate Hazards Group Infra Red Precipitation with Station data (CHIRPS), which was developed through cooperation between: Earth Resources Observation and Science (EROS), Climate Hazards Group (CHG), and the United States Geological Survey (USGS), initially designed to track the impacts of seasonal droughts from rainfall time series. CHIRPS presents a spatial resolution of 0.05°, around 5 km, spatial coverage of 50° N and 50° S, and as derived products from CHIRPS we have daily, penta and monthly rainfall sets. Several studies have validated CHIRPS, many of them through the correlation between rainfall data estimated using remote sensing and those obtained from surface meteorological stations. The Itatiaia National Park Conservation Unit (PNI), chosen for this data validation study is completely inserted in the morphoclimatic domain of *Mares de Morros* and the Atlantic Forest Biome. The validation of the estimated data for the lower part of PNI was done in annual series, from 2021-2022, through the main statistical metrics. The CHIRPS data were validated from the correlation of data from a meteorological station (ITWH1080) fixed at the Flow Tower of the lower part of Itatiaia National Park, part of the PENSARio project. The results show that the correlation between the rainy season precipitation from CHIRPS and the ITWH1080 station do not show significant disparities. The Pearson correlation coefficient (r), which was applied to show the linear association between the annual precipitation series from CHIRPS with values defined up to 400 mm and from ITWH1080, showed a value of $r = 0.90$, pointing to a good association between the data matrices. The r^2 showed good variation with value equal to 0.82 and the Willmott index (d) showed value of 0.90, which denotes good agreement between the estimated and observed data. Therefore, it can be concluded that the use of rainfall data from CHIRPS is an alternative for the analysis of its pattern in the lower part of PNI, thus contributing to the evaluation of the the erosive potential.

Keywords: Pluviometric precipitation. Atlantic Forest. Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Totais Pluviométricos (mm) anuais do ERJ Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET, da ANA e do Alerta Rio. Fonte: Silva & Derecznski (2014).....	4
Figura 2. Especificações técnicas do Sensor MODIS. Fonte: Justice et al. (2022).....	6
Figura 3. Índices mensais de precipitação (mm) 1998 a 2010. (A) Distribuição espacial dos índices médios da precipitação anual estimada a partir dos dados INMET/CPTEC; (B) Distribuição espacial dos índices médios da precipitação anual estimada a partir do CHIRPS; (C) Índices médios da precipitação anual ajustados pelas regressões regionais aplicado aos dados do CHIRPS. Fonte: Costa (2019).	7
Figura 4. Visão geral do processo e validação do CHIRPS. Fonte: Funk et al. (2015).	8
Figura 5. Localização e limites do PNI. Fonte: Barreto et al (2014).....	11
Figura 6. Uso e Ocupação do solo do PNI. Uso e ocupação do solo (A) Afloramento Rochoso, (B) Agricultura, (C) Área urbana, (D) Campos de altitude, (E) Áreas de plantação (F) Floresta Ombrófila Densa AltoMontana, (G) Floresta Ombrófila Densa Montana e (H) Floresta Ombrófila Densa SubMontana. Fonte: Delgado et al (2018).	12
Figura 7. Domínios climáticos do PNI. Fonte: Andrade (2021).	13
Figura 8. Mapa de precipitação e temperatura para o PNI no período de 30 anos adaptado de Fick e Hijimans (2017). Fonte: Costa (2019).	14
Figura 9. Unidades geomorfológicas do PNI, adaptado de Santos (2000). Fonte: Costa (2019).	16
Figura 10. Mapa de geologia do PNI, adaptado de Santos (2000). Fonte: Costa (2019).	16
Figura 11. Localização da área de estudo e da Torre de Fluxo no PNI. Fonte: TITO (2021).	18
Figura 12. Estrutura da estação meteorológica mostrando a sua base (a), sensor de temperatura e umidade relativa do ar na mesma altura da estação a 2 m (b), caixa que serve de abrigo ao Monitor LCD (c) e a estação completa mostrando todos os sensores e o monitor (d). Fonte: Delgado (2021).	18
Figura 13. Etapas metodológicas do processamento de dados. Elaborado pelo autor (2023).	19
Figura 14. Classificação dos valores do coeficiente de correlação Pearson (r) por Cohen (1988). Fonte: Andrade (2019).....	21
Figura 15. Precipitação em escala anual acumulada obtida pelo CHIRPS e ITWH1080, no período de 10/05/2021 a 10/05/2022, para a parte baixa do PNI.	23
Figura 16. Precipitação mensal acumulada no periodo sazonal da estação chuvosa, de outubro de 2021 a março de 2022, correspondente a área da Torre de Fluxo, na parte baixa do PNI.	24
Figura 17. Precipitação mensal acumulada no periodo sazonal da estação seca, de abril a setembro de 2022, correspondente a área da Torre de Fluxo, na parte baixa do PNI.	24
Figura 18. Gráfico de correlação de Pearson (r) para os dados de precipitação obtidos pelo CHIRPS e ITWH10180, para a parte baixa do PNI.	25
Figura 19. Média das chuvas estimadas pelo CHIRPS, em série histórica de 20 anos na área do PNI (2001-2021). Fonte: Autor (2022).....	26
Figura 20. Bloxplot (A) do erro médio diário de valores de precipitação para a estação seca no PNI.....	27

Figura 21. Bloxplot (B) do erro médio diário de valores de precipitação para a estação chuvosa no PNI.	28
Figura 22. Representação na forma de <i>heatmap</i> das chuvas no ano de 2021, nas estações seca e chuvosa, estimadas pelo CHIRPS para a área do PNI.	29
Figura 23. Representação na forma de <i>heatmap</i> das chuvas no ano de 2022, nas estações seca e chuvosa, estimadas pelo CHIRPS para a área do PNI.	29
Figura 24. Representação na forma de <i>heatmap</i> das chuvas no ano de 2021, nas estações seca e chuvosa, registrada na ITWH1080 para a área do PNI.	30
Figura 25. Representação na forma de <i>heatmap</i> das chuvas no ano de 2022, nas estações seca e chuvosa, registrada na ITWH1080 para a área do PNI.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Máximos e mínimos de valores diários de precipitação, no período de 10/05/2021 a 10/05/2022, na parte baixa do PNI.	22
Tabela 2. Médias e medianas de valores diários de precipitação, no período de 10/05/2021 a 10/05/2022, na parte baixa do PNI.	22
Tabela 3. Desvio padrão e variância dos dados diários de precipitação obtidos pelo CHIRPS e ITWH1080, no período de 10/05/2021 a 10/05/2022, para a parte baixa do PNI.	23
Tabela 4. Dados primários de precipitação estimada pelo CHIRPS e observadas pela ITWH1080 no período de 10/05/2021 a 10/05/2022.	45

LISTA DE ABREVIACÕES

ANA	Agência Nacional das Águas
BIAS	Desvio sistemático do valor padrão
CPC	Climate Prediction Center
CHG	Climate Hazards Group
CHIRPS	Climate Hazards Group Infra Red Precipitation with Station data
CHPClim	Climate Hazards Group's Precipitation Climatology
CPTEC	Centro de Previsão de tempo e estudos climáticos
EOS	Earth Observing System
EMQ	Erro médio quadrático
EROS	Earth Resources Observation and Science
FEI	Floresta secundária em Estádio Inicial
FEM	Floresta secundária em Estádio Médio
FEA	Floresta secundária em Estádio Avançado
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
GPCC	Global Precipitation Climatology Center
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IDEAM	Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales
IMERG	Integrate Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Mission
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NEB	Nordeste do Brasil
NCDC	National Climatic Data Center Climáticos
PNI	Parque Nacional do Itatiaia
PBIAS	Erro Percentual Médio
REM	Radiação Eletromagnética pelos Sensores
RMSE	Erro Quadrático Médio da Raiz
SR	Sensoriamento Remoto
SPI	Índice de Precipitação Padronizado
TIR	Thermal Infrared
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UC	Unidade de Conservação
USLE	Equação Universal de Perdas de Solo
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Ambiente do Solo e Fatores Erosivos.....	2
2.2 Dinâmica Hidroatmosférica das Chuvas no Estado do Rio de Janeiro.....	3
2.3 Estimativas de Chuvas por Sensores Orbitais.....	5
2.4 CHIRPS: Dados Hidroatmosféricos	7
2.5 Validação do CHIRPS no Mundo e no Brasil	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Área de Estudo.....	11
3.2 Vegetação e Clima	11
3.2.1 Caracterização das chuvas no Parque Nacional do Itatiaia.....	13
3.3 Solos, Geomorfologia e Geologia.....	14
3.4 Estação Meteorológica Profissional Wireless – ITWH1080	17
3.5 Geoprocessamento	19
3.5.1 Obtenção de dados de precipitação CHIRPS e ITWH1080.....	19
3.5.2 Processamento, validação e calibração	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Correlação dos Índices por Métricas Estatísticas de Amplitude e Tendência	22
4.2 Comparação e Validação dos Dados do CHIRPS e da Estação Meteorológica	26
5. CONCLUSÕES	32
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
8. ANEXOS	43

1. INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas em todo o mundo vêm afetando, principalmente, os regimes de chuvas nas áreas tropicais, com impactos negativos socioeconômicos e ambientais, como apontado pelo relatório do IPCC (2022). Assim, torna-se imprescindível o conhecimento do potencial erosivo das chuvas que, não sendo interceptadas pela vegetação, chegam à superfície do solo, o que se soma às características que determinam a suscetibilidade à erosão hídrica dos diversos tipos de solos (OLIVEIRA et al., 2012; TERASSI & GALVANI, 2017).

A erosividade da chuva e a erodibilidade do solo estão correlacionadas nos estudos que visam compreender e estimar valores de perdas e, ao longo dos anos, diversos modelos foram desenvolvidos na tentativa de mensurar e quantificar as perdas de sedimentos, partindo do trabalho de Wischmeier e Smith (1978), que estabeleceu a Equação Universal de Perda de Solos como referência para a grande maioria deles. Ressalta-se a importância do conhecimento do regime pluviométrico de uma região, do relevo e dos tipos de solos para se obter o potencial natural de erosão (GALDINO e WEILL, 2010).

Dito isso, pontua-se a grande dificuldade no acesso aos dados de precipitação para séries maiores que 10 anos no Brasil, fato que limita boa parte dos trabalhos que objetivam entender a dinâmica hidroatmosférica. A cobertura de pluviômetros, em nível nacional, é coordenada, em sua maioria, pelas bases de dados da Agência Nacional das Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (SANTOS JUNIOR et al., 2018). Na ausência de estações pluviométricas, muitas pesquisas têm utilizado os dados estimados de sensoriamento remoto (SR) em plataformas orbitais, tais como os do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS), que foi desenvolvido por meio de cooperação entre o *Earth Resources Observation and Science* (EROS), o *Climate Hazards Group* (CHG) e o *United States Geological Survey* (USGS), sendo elaborado inicialmente para acompanhar os impactos das secas sazonais a partir de séries temporais de chuva.

A plataforma CHIRPS fornece dados de precipitação desde 1981, sendo alimentada e validada por dados pluviométricos de estações *in situ* na superfície (FUNK et al., 2015). Em pesquisa no Brasil utilizando o CHIRPS em validações Costa et al. (2019) observaram boa correlação com dados observados nas estações de superfície. Dessa forma, seguindo trabalhos que analisam as chuvas de uma dada região, em que há ausência de dados observados em grandes séries, em conjunto com a avaliação de fatores ambientais e de solos que conduzem à intensificação da erosão hídrica, foi formulada a hipótese deste estudo, qual seja: os dados de precipitação pluviométrica estimados pelo CHIRPS e validados por estação meteorológica *in situ* podem ser usados para estudos de medição do seu potencial erosivo sobre os solos na parte baixa do Parque Nacional do Itatiaia (PNI).

Assim, como objetivos do estudo, temos:

- i) validar as estimativas do CHIRPS a partir da correlação com dados da estação meteorológica (ITWH1080), fixada na Torre de Fluxo da parte baixa do PNI;
- ii) obter estimativas de dados de precipitação pluviométrica a partir da plataforma CHIRPS, em série anual de 2021 e 2022;
- iii) aplicar métricas estatísticas, como coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (r^2), índice de concordância de Willmott (d), entre outras que corroborem a validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para a área de pesquisa; e
- iv) avaliar o uso dos dados de precipitação do CHIRPS como alternativa para análises do comportamento das chuvas na parte baixa do PNI, contribuindo, assim, para a avaliação do potencial erosivo destas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ambiente do Solo e Fatores Erosivos

Considerando o aumento das demandas da crescente população humana quanto ao uso dos recursos naturais, em especial do solo e da água, conhecer mais sobre os processos erosivos é de suma importância. Diante disso, compreender fatores controladores, tais como a forma e a intensidade dos processos erosivos, é essencial para entender e, possivelmente, mensurar os eventos e a ação das chuvas sobre a superfície do solo. Destacam-se cinco fatores: a erosividade das chuvas, as propriedades intrínsecas do solo (erodibilidade), a cobertura vegetal, as características das encostas e o uso e manejo dos solos.

A erosividade da chuva foi definida por Hudson (1961) como a habilidade da chuva em causar erosão, sendo que, para a sua avaliação, é importante obter dados do total da chuva, da intensidade e da energia cinética. Wischmeier (1958) indica que, a partir do cálculo do índice I30, tem-se o efeito da chuva em 30 min de duração. Já Elwell e Stocking (1976) apontam o tamanho das gotas e a energia cinética como características determinantes para cada intensidade de chuva. Segundo Carvalho et al. (2014), a erosividade da chuva pode ser entendida como o potencial da precipitação associado à quantidade, à intensidade, à intensidade máxima em 30 min, à forma das gotículas, à velocidade e à energia cinética. Os solos são fortemente afetados pela erosão hídrica, mas se comportam de forma diferente conforme as suas características intrínsecas e as da paisagem circundante.

A erodibilidade do solo pode ser definida como a resistência ou suscetibilidade do solo a ser removido pelos processos erosivos (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Dentre as propriedades dos solos, destacam-se, nos estudos da literatura, algumas que mais influenciam na erosão hídrica, sendo elas: estabilidade dos agregados [De Ploey e Poesen (1985); Farres (1978)], pH [Allison (1973)], teor de matéria orgânica [Greenland et al. (1975); De Ploey e Poesen (1985); Wischmeier e Mannering (1969); Verhaegen (1984)], porosidade [Morgan (2005)], densidade do solo [Fullen e Catt (2004); Voroney et al. (1981); Hamblin e Davies (1977); Tacket e Pearson (1964); Morgan (1985)] e granulometria ou textura [Farmer (1973); Wischmeier e Mannering (1969); Evans (1990); Guerra (2016); Poesen (1981)].

O papel da cobertura vegetal é definido por Morgan (1984) como o de reduzir a quantidade de energia que chega ao solo durante uma chuva e minimizar os impactos das gotas, diminuindo a formação de crostas e a erosão hídrica. Ainda, Finney (1984) aponta para o papel da cobertura vegetal em áreas onde há chuvas de maiores intensidades. Noble e Morgan (1984) mostram que determinadas coberturas vegetais influenciam o efeito de espalhamento (*splash*), em função das características da própria vegetação. Já Francis (1990) destaca que solos em encostas sem cobertura vegetal apresentam valores de infiltração menores do que os mesmos solos em encostas vegetadas.

Sobre as características das encostas, elas afetam a erodibilidade dos solos de diferentes maneiras, por meio da forma, do comprimento e da declividade (GUERRA, 2015). A depender das características da vertente, principalmente quanto à forma, pode-se ter maior concentração dos fluxos em superfície. Conforme Poesen (2018), a orientação das vertentes define as taxas de insolação e umidade, que influenciam diretamente nas propriedades e nos atributos do solo, os quais, associados à declividade, aumentam a capacidade de transporte de sedimentos encosta abaixo, principalmente em encostas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal.

O uso e manejo do solo são fatores extremamente importantes no processo erosivo (JORGE e GUERRA, 2016). Durante o Simpósio Global sobre Erosão do Solo (GSER19), promovido pela FAO (FAO, 2019), foi discutido o atual estado das intervenções e inovações no âmbito dos estudos de erosão, chamando a atenção para a influência do manejo dos solos. Dentre os estudos apresentados, no contexto de solos em regiões tropicais, o trabalho de Gomes

et al. (2019), realizado em uma área de encosta no município de Pinheiral (RJ), aponta diferenças nas propriedades físicas e químicas dos solos sob processo de ravinamento em diferentes fases e avanços, e que esse conhecimento pode subsidiar a tomada de decisões para controlar e recuperar essa seção da vertente. Nesse sentido, o manejo e o uso do solo em áreas de relevo íngreme requerem ainda maior atenção no que tange aos impactos gerados.

Em uma área da bacia hidrográfica Guapi-Macacu (RJ), com diferentes usos e coberturas da terra, Cardoso et al. (2019) apontam a necessidade de adotar ações mitigadoras estratégicas para evitar ou, ao menos, diminuir a sedimentação dos rios, visto que as principais fontes de assoreamento estão no uso do solo para pastagem, agricultura e construção nas margens. O manejo adequado do solo promove, entre as muitas melhorias, a recuperação de terras improdutivas pela degradação resultante da erosão. O trabalho de Vischi Filho et al. (2019) descreve que, ao longo de 20 anos, intervenções, monitoramento e reabilitação agroambiental, em ações do poder público na bacia do Rio do Peixe (SP), transformaram áreas degradadas em áreas agricultáveis, melhorando a qualidade da água e do solo.

Ao reafirmar o papel do manejo sustentável do solo em seus diversos âmbitos de uso, Stuchi et al. (2019) apontam para a necessidade de um plano nacional de construção participativa contra a erosão do solo no Brasil, sugerindo que esse plano deve ter como base uma política multinstitucional e participativa. Para tal, além de uma gama de dados de pesquisas e ações, faz-se necessário o diálogo com os produtores rurais e, para o avanço do conhecimento sobre o controle e manejo da erosão do solo no Brasil, são necessários critérios nacionalmente definidos, para pequenas e grandes escalas, com base em um banco de dados de erosão que possa ser adaptado a cada região do Brasil, para promover, regular e reproduzir ações que reduzam a erosão do solo (ANJOS & PEREIRA, 2019). As alterações na cobertura vegetal, em conjunto com o clima, o relevo e o tipo de solo, são os fatores que influenciam o processo natural, mas, de certa forma, os condicionantes antrópicos são os principais aceleradores, devido às profundas alterações no ambiente (SANTORO, 2009). Os riscos ambientais gerados pela ação antrópica intensificam a erosão (VEYRET, 2007), tais como a degradação, iniciada pela derrubada das matas, grandes queimadas, cortes de estradas em vertentes íngremes, além do superpastoreio sobre o solo (LEPSCH, 2011). A proporção em que essas atividades ocorrem é também proporcional à quantidade de solos perdidos e degradados, ou seja, a relação que se estabelece é de causa e consequência, em que o homem é o principal responsável e também é afetado (ARAUJO, 2009).

2.2 Dinâmica Hidroatmosférica das Chuvas no Estado do Rio de Janeiro

Conhecer a dinâmica da precipitação em um ambiente é fundamental para a gestão e organização de territórios urbanizados, preservados ou voltados para a produção agropecuária, no Brasil e no mundo. Ao mesmo tempo, as diversas transformações ocorridas no padrão de precipitação, que não mais apresentam estabilidade em seus volumes, desafiam os modelos (SUN et al., 2015). Segundo Marengo (2008), a grande preocupação com a forma de resolver o problema que a ausência das chuvas (secas) traz, bem como o grande volume associado às enchentes, pautou diversas reuniões por parte dos governos brasileiros, em parte pelo impacto preconizado das mudanças climáticas, apontadas como principal causadora de eventos extremos que atingem as grandes cidades e destroem áreas agricultáveis.

Conforme Reboita et al. (2010), a Região Sudeste tem características intrínsecas ao comportamento da chuva. Isso se deve, em parte, ao relevo acidentado e escarpado e à própria dinâmica atmosférica atuante em escalas de meso e sinótica, que, por sua vez, trazem chuvas da Zona de Convergência (frentes frias), com grandes volumes hídricos, e ao Vórtice Ciclônico, que fica responsável por estiagens. Ainda segundo Sobral (2018), no estado do Rio de Janeiro, a topografia é o fator de máxima influência, ao passo que as áreas de baixada recebem as chuvas

interceptadas pelo relevo, a exemplo das chuvas orográficas, que ocorrem por influência das massas de ar que colidem e precipitam nas áreas montanhosas, como no Planalto do Itatiaia, alimentando as bacias hidrográficas importantes para a região. Ainda, Silva e Dereczynski (2014) apontam que a grande variação climática do estado do Rio de Janeiro é condicionada às áreas de baixada e elevadas, que variam de morros a serras, e, principalmente, à proximidade com o Oceano Atlântico. Ainda segundo os autores, as precipitações nas porções mais altas do estado, como nas serras da Mantiqueira, nos planaltos do Itatiaia e nos maciços costeiros, são comumente as que apresentam os maiores índices pluviométricos (Figura 1). São nessas áreas serranas que as precipitações anuais chegam, em média, a 2.500 mm e 2.800 mm (SILVA & DERECZYNSKI, 2014).

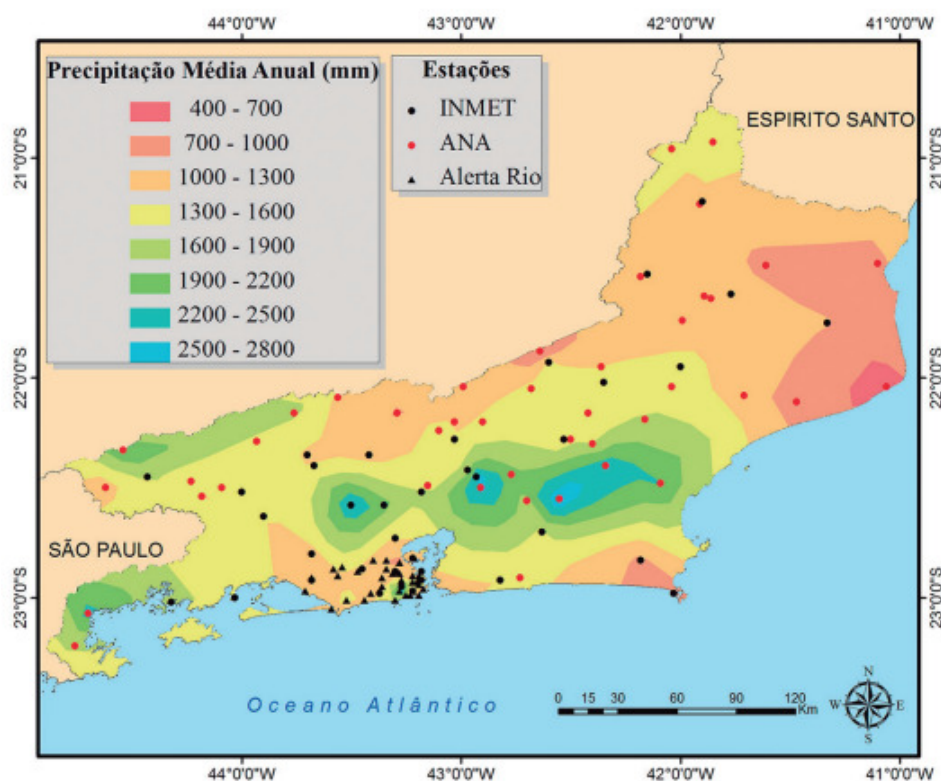


Figura 1. Totais Pluviométricos (mm) anuais do ERJ Valores médios no período 1961 – 2012 a partir dos dados observacionais do INMET, da ANA e do Alerta Rio. Fonte: Silva & Dereczynski (2014).

Com relação à sazonalidade das chuvas no estado, os meses de junho, julho e agosto são definidos como os de menor volume pluviométrico, enquanto as maiores precipitações ocorrem nas regiões Norte, Noroeste, Serrana, Centro-Sul e Baixadas Litorâneas, nos meses de novembro, dezembro e janeiro (SOBRAL, 2018). Nas regiões Metropolitana e Médio Paraíba, as chuvas apresentam os maiores valores de precipitação nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Com isso, é importante destacar o papel que o relevo tem na variabilidade e distribuição das chuvas nas diversas áreas com diferentes tipos de terreno. As chuvas, em sua interação com os demais componentes do ambiente, caracterizam-se por grandes volumes concentrados nas áreas tropicais, florestadas ou não, aumentando gradativamente o potencial de erosividade.

2.3 Estimativas de Chuvas por Sensores Orbitais

O sensoriamento remoto (SR) é uma ferramenta essencial para estudos em diversas áreas da ciência. Segundo Figueiredo (2005), o SR pode ser descrito como um processo capaz de capturar informações de diversos fenômenos nas feições terrestres, por intermédio de sensores e modelos, de forma remota e utilizando-se, principalmente, da radiação eletromagnética de ondas curtas. São usados, para tal, vários métodos e técnicas, que incluem o armazenamento e tratamento dos dados e das informações. Autores como Ribeiro et al. (2007) apontam a importância do sensoriamento remoto em estudos sobre cobertura vegetal e uso da terra. Segundo os autores, a avaliação da radiação eletromagnética pelos sensores, abreviada por REM, é útil em levantamentos de recursos naturais, gerenciamento ambiental e desenvolvimento regional, auxiliando na produção de materiais cartográficos.

Os sensores orbitais permitem estudos diversos sobre a superfície terrestre, e conhecer o uso da terra é também compreender os possíveis vetores de impactos sobre a deterioração ambiental e a degradação das terras agricultáveis. Assim, satélites (sensores) como Landsat, CBERS, IKONOS, TERRA e AQUA (MODIS), CHIRPS e outros são importantes para fornecer dados hidroatmosféricos em várias pesquisas (ROSENDO & ROSA, 2007).

Dentre os sensores e satélites mais utilizados no monitoramento de dados de variáveis do planeta Terra, destacam-se os sensores MODIS e o CHIRPS. Segundo Rosendo et al. (2005), o sensor MODIS é um instrumento alocado nos satélites TERRA e AQUA, lançados pela NASA, respectivamente, em 1999 e 2002. Ambos fazem parte do programa idealizado para coletar dados do planeta, o EOS (Earth Observing System), o qual busca monitorar mudanças de maneira diária e duas vezes ao dia. Conforme Silva (2007), o satélite TERRA tem sua varredura na linha do Equador, em órbita norte-sul. No conjunto do AQUA, têm-se 36 faixas espectrais. Segundo o autor, na época do seu lançamento, o satélite teve importante papel no avanço do monitoramento da Terra, principalmente quando se pensa na integração com os dados do AQUA.

Ainda segundo o mesmo autor, o MODIS, a bordo do satélite TERRA, tem produtos importantes em estudos da atmosfera, do oceano e da superfície terrestre. As bandas espectrais e espaciais garantem cerca de 36 faixas, com distribuição que vai de 0,407 μm a 14,385 μm , possuindo ainda 100° de visada, com 2.230 km de largura, 705 km de altitude e resoluções de 250 m, 500 m e 1.000 m. O MODIS permite a análise da superfície terrestre em cinco níveis de processamento, variando do grau 0 ao 4. Conforme Latorre (2003), os níveis são: nível 0, como imagem em estado bruto, sem tratamento e não disponível; nível 1(a), base de 36 canais, com dados de entrada para calibração, processamento e geolocalização; nível 1(b), cujos produtos já possuem calibração para as 36 bandas geradas anteriormente; nível 2, que possui produtos derivados de radiâncias já calibradas dos produtos anteriores; e nível 3, com produtos espacialmente reamostrados, com capacidade para estimativa de variáveis geofísicas em grades de localização. As especificações técnicas gerais do MODIS são apresentadas na Figura 2, extraída de Justice et al. (2022) e mantida a versão original em inglês.

Orbit	705 km, sun-synchronous, near-polar nominal descending equatorial crossing at 10:30 local time (specific overpass times can be found at http://www.earthobservatory.nasa.gov/ MissionControl/overpass.html)
Swath	2330 km $\pm$ 55° cross-track
Spectral bands	36 bands, between 0.405 and 14.385 μ m with onboard calibration subsystems
Spectral calibration	band 1–4, 2% for reflectance band 5–7, under investigation (some scene-dependent electronic crosstalk)
Data rate	11 Mbps (peak daytime)
Radiometric resolution	12 bits
Spatial resolutions at nadir	250 m (bands 1–2), 500 m (bands 3–7), 1000 m (bands 8–36)
Duty cycle	100%
Repeat coverage	daily, north of $\sim$ 30° latitude every 2 day for $<$ $\sim$ 30° latitude
Gridded land products geolocation accuracy	within 150 m (1 sigma) at nadir
Band-to band registration for band 1–7	within 50 m in the along scan direction within 100 m in the along track direction

Figura 2. Especificações técnicas do Sensor MODIS. Fonte: Justice et al. (2022).

Segundo Latorre et al. (2003), para dados de cobertura terrestre, o MOD12 apresenta três produtos, que contêm variáveis de tipo de cobertura e mudanças na cobertura do solo, com resolução espacial de 1 km. Nele são realizadas duas aproximações, com dados de mudança de cobertura, sendo uma de resolução mais fina (250 m) e a segunda com dados de resolução mais ampla (1 km), condicionadas por técnicas como o Vetor de Mudança. Para análise de precipitação, o MODIS pode fornecer dados a partir dos produtos 13 e 16 (CORREA, 2013).

Apesar de o MODIS ser um grande aliado dos cientistas, fornecendo produtos de dados da superfície terrestre e outras variáveis do clima, apresenta limitações para analisar as precipitações de determinadas áreas em séries longas, especialmente em regiões com ausência desses dados. Por isso, o CHIRPS assume destaque como fonte de dados estimados de precipitação. O CHIRPS, segundo Funk et al. (2015), é uma fonte de dados hidroatmosféricos alimentada mundialmente desde 1981 e com cobertura quase global. O conjunto de dados é baseado em abordagens de técnicas de interpolação automática e de alta resolução (0,05°). O CHIRPS fornece dados a partir de um longo período de estimativas de precipitação no infravermelho, baseadas nas baixas temperaturas, utilizando as nuvens e combinando dados de estações interpoladas (estações in situ) para produzir uma gama de dados que pode ser obtida ao longo das atualizações que ocorrem trimestralmente (FUNK et al., 2015). No Brasil, o CHIRPS já foi usado para validar dados de precipitação em nível nacional (COSTA et al., 2019) (Figura 3).

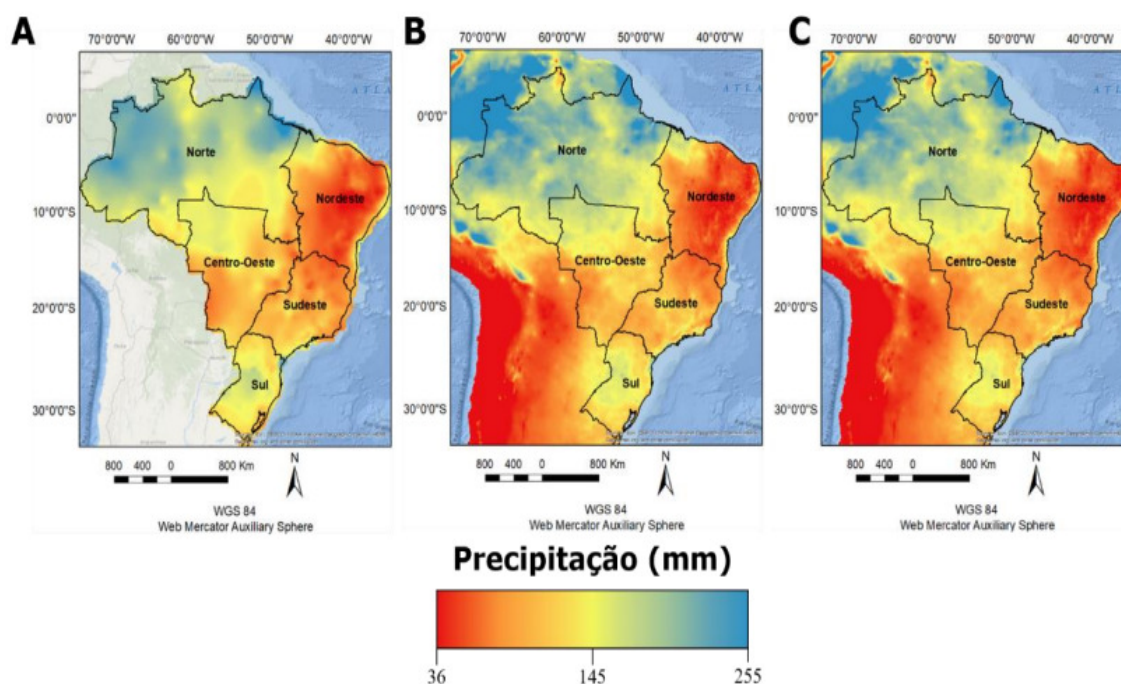


Figura 3. Índices mensais de precipitação (mm) 1998 a 2010. (A) Distribuição espacial dos índices médios da precipitação anual estimada a partir dos dados INMET/CPTEC; (B) Distribuição espacial dos índices médios da precipitação anual estimada a partir do CHIRPS; (C) Índices médios da precipitação anual ajustados pelas regressões regionais aplicado aos dados do CHIRPS. Fonte: Costa (2019).

2.4 CHIRPS: Dados Hidroatmosféricos

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) foi amplamente desenvolvido pela cooperação entre o EROS (*Earth Resources Observation and Science*), o CHG (*Climate Hazards Group*) e o USGS (*United States Geological Survey*), com recursos e cooperação de outros cientistas e organizações, com o objetivo de auxiliar na construção de um banco de dados de precipitação composta (SILVA et al., 2020). Historicamente, o CHIRPS possui dados hidroatmosféricos desde 1981, sendo atualizado até hoje, e fornece subsídios para novas análises, com cobertura quase global (UCSB, 2022). As diferentes fontes de informação que compõem o CHIRPS, segundo Funk et al. (2015), são: *Climate Hazards Group's Precipitation Climatology* (CHPClim); *Thermal Infrared* (TIR); *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA); *Climate Prediction Center* (CPC); *National Climatic Data Center* (NCDC); *Coupled Forecast System* da NOAA; e dados observacionais de estações meteorológicas *in situ*.

Apresenta resolução espacial de 0,05°, em torno de 5 km, abrangência espacial entre 50° N e 50° S e, apesar de ter sido elaborado inicialmente para acompanhar os impactos decorrentes das secas sazonais a partir de séries temporais de chuva em grades, os produtos derivados do CHIRPS fornecem também conjuntos de dados diários, pântadas e mensais (FUNK et al., 2015). As séries são adquiridas a partir de três bases de dados, segundo Nawaz et al. (2021), sendo elas: a observação local, a partir de estações meteorológicas; a estimativa realizada pelos sensores em satélites; e a dinâmica atmosférica da precipitação nas latitudes globais. Com isso, tem-se no CHIRPS um grande aliado nos estudos climatológicos e na emissão de alertas de chuvas e estiagens (FARIAS, 2019). Para melhor visualização da geração, validação e aplicação dos dados, a Figura 4 apresenta as etapas metodológicas conforme Funk et al. (2015).

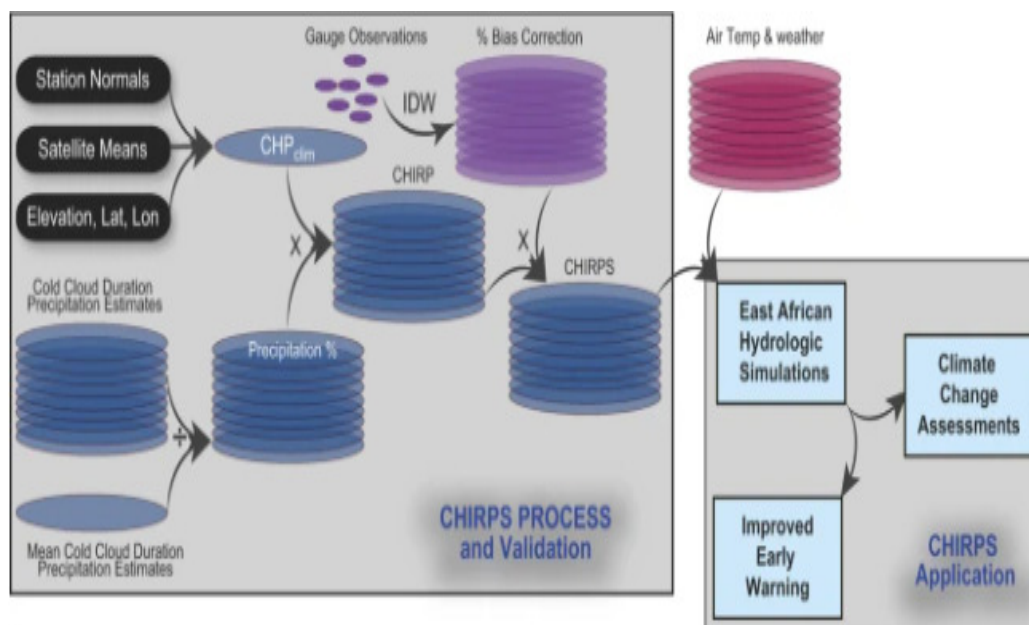


Figura 4. Visão geral do processo e validação do CHIRPS. Fonte: Funk et al. (2015).

2.5 Validação do CHIRPS no Mundo e no Brasil

A validação de dados do CHIRPS foi feita em vários trabalhos por intermédio da correlação entre os dados pluviométricos estimados por meio do SR e estações meteorológicas de superfície. Entre eles, o trabalho de Funk et al. (2015) mostra resultados para a Colômbia, o Peru e o sudoeste da América do Norte. Na Colômbia, o estudo contou com cerca de 338 das 3.380 estações de superfície espalhadas por todas as províncias do país, cujos dados foram adquiridos por intermédio do Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Para esta análise, foram consideradas todas as complexidades de um sistema condicionado às chuvas tropicais, calculando-se as médias mensais de cada local e considerando também a principal estação chuvosa (setembro a novembro). Dentre os outros programas que permitem estimativas utilizados no trabalho, o CHIRPS teve um desempenho considerado baixo ($R = 0,97$ e MAE [erro médio absoluto] = 38 mm). Apesar disso, é apontada a vantagem de novas estimativas que apresentam baixas latências.

As validações realizadas no Peru foram baseadas em 403 estações, com dados obtidos na principal estação chuvosa (janeiro a março) (FUNK et al., 2015). Nesta validação, que visou também comparar os dados in situ com o GPCC (Global Precipitation Climatology Centre), foram observados valores de correlação para o CHIRPS de $R = 0,72$ e MAE = 37 mm, enquanto o GPCC obteve $R = 0,82$ e MAE = 42 mm. Para os autores, ambos apresentaram valores satisfatórios; apesar disso, também apontam problemas de subestimação dos valores de precipitação. As validações apresentadas pelos autores para a região do sudoeste da América do Norte foram concentradas nos meses de outubro a junho e ocorreram por meio dos dados das estações GHCN, que foram krigados para a região de estudo. Dos resultados, observaram-se valores de $R = 0,91$; porém, o modelo apresenta subestimação da oscilação entre valores altos e baixos. Contudo, os autores afirmam que, em todas as correlações, os valores foram superiores a $R > 0,75$ nas diversas áreas do mundo, indicando que os estudos preliminares de validação para o uso global já apontavam resultados promissores e válidos.

Seguindo essa tendência, os dados do CHIRPS foram correlacionados por Habitou (2020), sendo avaliados a partir de 11 estações meteorológicas espalhadas pelo território da bacia do Tensift, na região oeste de Marrocos, em uma escala temporal de 1990 a 2017. A comparação foi realizada a partir de parâmetros estatísticos, como coeficientes de correlação e

BIAS (desvio sistemático do valor padrão). Dentre os resultados, destaca-se a estreita relação com os dados de precipitação observados nas diferentes escalas de tempo: mensal, sazonal e anual. A escala mensal é apontada com valores que variam de $R = 0,56$ a $R = 0,86$. A partir dessa correlação, pôde-se verificar, com base no CHIRPS, episódios de secas severas que ocorreram na região da bacia, validando a utilização dos dados para a observação desses fenômenos.

Estudo de Jie Hsu et al. (2021), em Taiwan, teve como objetivo validar os dados da última versão do CHIRPS e compará-los ao IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement), para avaliar a variação da precipitação ao longo de diferentes escalas de tempo (ciclo anual, sazonal, interanual e diária), considerando observações de 2001 até 2019. Para os autores, ao longo da validação, o IMERG se destacou na maioria dos aspectos; porém, o CHIRPS mostrou melhor desempenho na magnitude do ciclo anual da climatologia da precipitação mensal, na distribuição espacial da precipitação, na variação interanual no período de inverno em Taiwan, nas médias sazonais das estações climáticas e nas grandes ocorrências de chuvas no inverno. Com isso, os autores apontam que o CHIRPS tem 95% de significância para os estudos sobre as condições hidrometeorológicas de Taiwan.

Outro trabalho de validação da precipitação do sensor CHIRPS com estações de superfície foi realizado por Lei Bai et al. (2018), para toda a China Continental, analisando as estimativas quantitativas de precipitação por satélites (QPEs), por meio dos dados do CHIRPS, no padrão espaço-temporal. Segundo os autores, foram utilizados 2.480 pluviômetros, em escala nacional, com dados diários associados às observações em grades do sensor. A escala temporal analisada foi de 1981 a 2014. Dentre as métricas estatísticas utilizadas, destacam-se: o PBias, para representar todo o conjunto de dados das chuvas do CHIRPS e dos pluviômetros; o erro médio (EM), para observação das diferenças; o erro quadrático médio (RMSE), para avaliar o erro aleatório; e a correlação de Pearson (R), para medir a linearidade entre as duas matrizes. Dentre os principais resultados, verificou-se que o CHIRPS e as redes pluviométricas situadas em terrenos complexos não apresentam dados bem aproximados. Em comparação com o TRMM, os dados do CHIRPS apresentam melhor desempenho nas áreas ao sul da China, que possuem grandes quantidades de precipitação (movimento de monções), em contraponto às áreas áridas e semiáridas. Além disso, verificou-se que o CHIRPS se comporta melhor nas estações quentes do que no inverno (LEI BAI et al., 2018).

No Brasil, diversos trabalhos têm acrescentado referências sobre o uso dos dados do CHIRPS e de estações in situ, muitos deles associando outros índices de precipitação ao uso do sensoriamento remoto para analisar o comportamento, as estimativas e as possíveis correlações entre as duas matrizes. No trabalho de Pelinson et al. (2021), para o estado do Rio Grande do Sul, foram considerados os dados das estações do INMET dos municípios de Passo Fundo, Porto Alegre e Santa Maria, além de dados mensais dos anos de 1990 a 2020. Os autores calcularam o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) de cada estação para cada um dos municípios e o compararam com os dados obtidos a partir do CHIRPS. Dentre os resultados, destaca-se a correlação entre os dados das estações, sendo essa mais expressiva nos períodos de estiagem recentemente ocorridos. Além disso, as estações de Santa Maria e Passo Fundo tiveram a mesma classificação do SPI em cerca de 70% dos meses e, em Porto Alegre, o valor foi de 76%. Por fim, observou-se que o CHIRPS se mostrou uma boa alternativa diante da ausência de estações meteorológicas, dada a correlação satisfatória dos dados.

No trabalho de Nogueira et al. (2018), foi avaliada a eficácia dos produtos originados do CHIRPS para a região sul do estado de Minas Gerais, os quais foram comparados com os dados de precipitação de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre 2009 e 2015. Dentre os resultados, destaca-se que o modelo superestimou a precipitação em alguns pontos; porém, em geral, apresentou padrão semelhante ao obtido nas estações. Outro estudo de comparação relevante foi proposto por Paredes-Trejo et al. (2017), com dados da Região

Nordeste do Brasil (NEB), obtidos em 21 estações terrestres e no período de 1981 a 2013. Os autores aplicaram diversas métricas de comparação, e os dados do CHIRPS foram bem correlacionados aos dados in situ ($r = 0,94$). Também foram observados valores que subestimam os altos índices de chuva, como precipitações de 100 mm/mês. Com isso, concluíram que os dados do CHIRPS são importantes para os estudos pluviométricos em várias regiões, para além do semiárido. O trabalho de Costa et al. (2019) correlacionou dados de precipitação do CHIRPS para o Brasil, com a escala mensal definida, verificando similaridades entre 183 estações e os dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para a comparação dos dados, foram feitos os cálculos do coeficiente de determinação (r^2), do erro médio quadrático (EMQ), do BIAS e do erro absoluto para cada região do Brasil. Dentre os resultados, o coeficiente de determinação apontou que, no nível de comparação, cerca de 95,4% dos dados são equivalentes, indicando considerável associação entre os conjuntos de dados para o território brasileiro, em que todas as regiões apresentaram valores acima de 92%. Por fim, os autores definiram que a escala temporal usada na validação dos dados do CHIRPS é confiável.

No estado do Pará, Silva et al. (2020) validaram e avaliaram o comportamento das chuvas a partir de **uma série temporal** de dezesseis anos, de 2003 a 2018, em uma sub-bacia, com dados de superfície do INMET e da Agência Nacional de Águas (ANA). Neste trabalho, foram calculados, para fins de validação, o coeficiente de correlação (r), o erro percentual médio (PBIAS), o índice de concordância (d) e a raiz do erro quadrático médio (RMSE). Dada a interpolação, foi observada, nos dados, uma superestimação da precipitação referente ao período chuvoso, em contraponto ao período menos chuvoso; apesar disso, os autores definiram o CHIRPS como adequado para a reprodução da variabilidade da precipitação na área de estudo.

Para avaliação da precipitação, Barbosa et al. (2020) também usaram dados do CHIRPS e do GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*) em comparação aos observados em superfície, em uma sub-bacia no nordeste do estado do Pará. Foram considerados os dados de superfície de três pluviômetros que compõem a base de dados da ANA/Hidroweb dentro do recorte da sub-bacia, com uma grade de 546 pontos do CHIRPS e, no GPCC, uma grade de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$, totalizando 12 pontos. Os resultados foram gerados a partir de métricas estatísticas que verificaram o desempenho por meio do coeficiente de Pearson (r), BIAS, RMSE e índice de Willmott (d). A comparação mostrou boa correlação ($r = 0,99$) e concordância ($d = 0,98$), e ambos apresentaram valores de superestimação; porém, dentre os dois, o CHIRPS se destacou em termos de sazonalidade, sendo o melhor para os períodos menos chuvosos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) está localizado entre as coordenadas geográficas 44°34'–44°42' W e 22°16'–22°28' S, na porção montanhosa e escarpada entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (Figura 5). O PNI se destaca por sua importância biogeográfica, resguardando patrimônio biótico e geomorfológico únicos, entre outros aspectos, por sua geologia e pelas grandes elevações do Planalto do Itatiaia, onde se situa o Pico das Agulhas Negras, com 2.787 m de altitude (SANTOS, 2000).

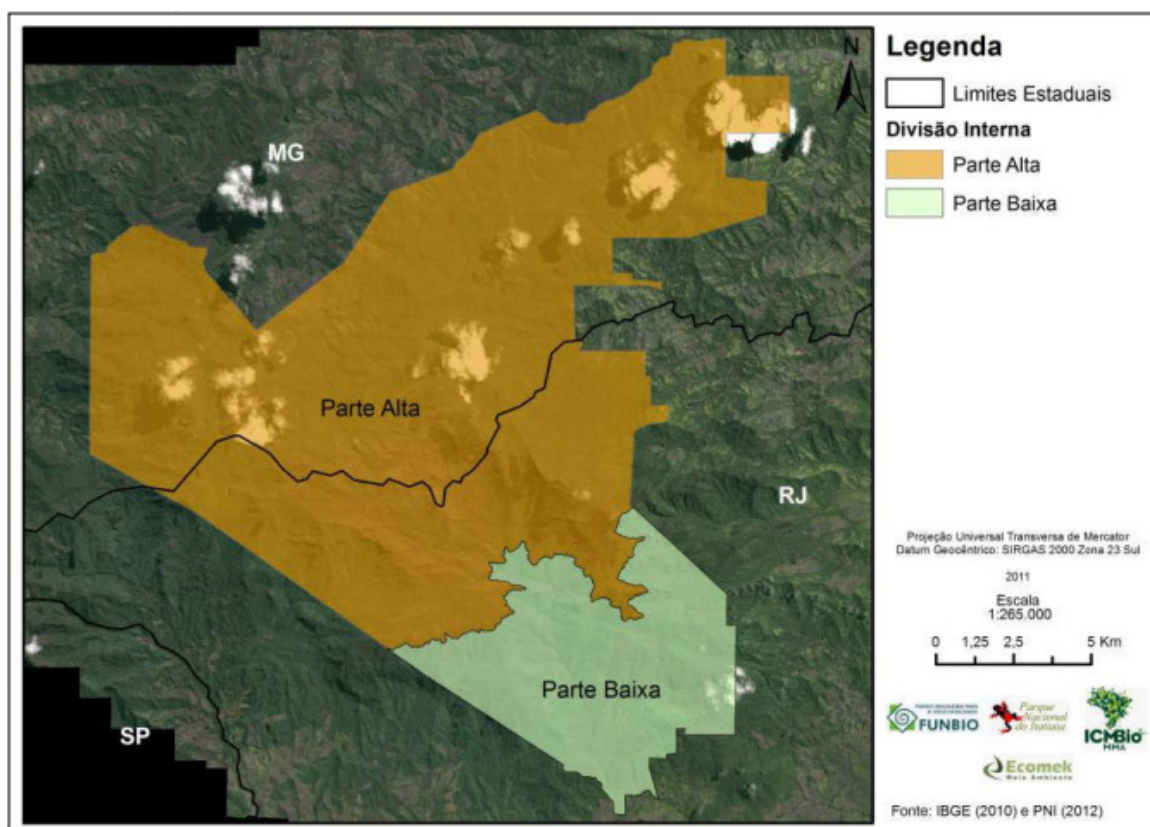


Figura 5. Localização e limites do PNI. Fonte: Barreto et al (2014).

Esta Unidade de Conservação de Proteção Integral foi criada a partir do Decreto nº 1.713, em 1937, e atualmente possui cerca de 30.000 hectares, conforme estabelecido pelo Decreto nº 87.586, de 1982. Na iniciativa de planejamento do parque e para facilitar as atividades, o PNI foi dividido em três setores: Parte Alta, Parte Baixa e Visconde de Mauá (MEDEIROS, 2019).

3.2 Vegetação e Clima

A Unidade de Conservação PNI está completamente inserida no domínio morfoclimático dos Mares de Morros e no Bioma Mata Atlântica (IBGE, 2012). No PNI, são observadas algumas subdivisões de feições da Floresta Atlântica. Conforme Medeiros (2019), na Parte Baixa, onde ocorre este estudo, e entre 600 m e 2.000 m de elevação, ocorrem estágios de sucessão de Floresta Ombrófila Densa Montana inicial (FEI), média (FEM) e avançada (FEA). Abaixo dessas altitudes são classificados os estágios Submontano (correspondente de 100 m a 600 m) e, acima delas, é classificado o estágio Altomontano (correspondente a altitudes

superiores a 2.000 m) (IBGE, 2013). Além dessas feições, Delgado et al. (2018), por intermédio de imagens IKONOS de alta resolução, elencam outras quatro classes de fisionomia da paisagem, principalmente vinculadas ao uso e ocupação do solo nos limites do PNI. São elas: a) afloramentos rochosos; b) agricultura; c) área urbana; e d) campos de altitude (Figura 6).

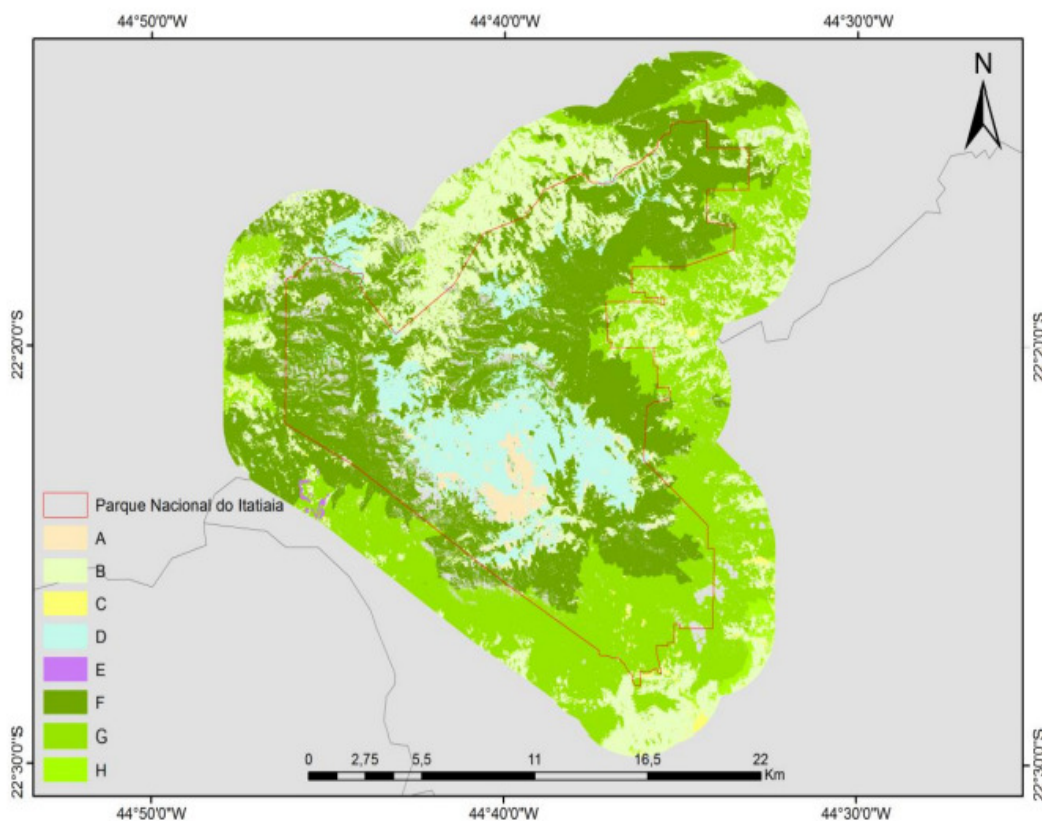


Figura 6. Uso e Ocupação do solo do PNI. Uso e ocupação do solo (A) Afloramento Rochoso, (B) Agricultura, (C) Área urbana, (D) Campos de altitude, (E) Áreas de plantação (F) Floresta Ombrófila Densa AltoMontana, (G) Floresta Ombrófila Densa Montana e (H) Floresta Ombrófila Densa SubMontana. Fonte: Delgado et al (2018).

Conforme Tito (2019) e Vasconcelos (2011), nas áreas do PNI compostas por afloramentos rochosos observa-se pouca ou nenhuma vegetação. Os campos de altitude, acima das cotas de 1.500 m, são compostos majoritariamente por vegetação rasteira herbácea e arbustiva, comum a toda a parte elevada das serras e maciços da região onde se encontra o PNI. Nas áreas destinadas à agropecuária, no entorno do PNI, são encontradas pastagens e lavouras diversas, com forte interferência antrópica sobre os solos. Dentro da Unidade de Conservação, os sítios urbanos pertencem principalmente às construções presentes na zona de amortecimento do PNI. Quanto aos domínios climáticos no Planalto do Itatiaia e nos limites do PNI, a classificação de Köppen aponta cinco tipos, descritos como: úmido tropical com verão quente e inverno seco (Cwa); úmido tropical com inverno seco e verão temperado (Cwb); úmido tropical sem estação seca, com verão quente (Cfa); úmido tropical com inverno seco e verão curto e fresco (Cwc); e úmido tropical sem estação seca, com verão temperado (Cfb) (ALVARES et al., 2013; TITO et al., 2020) (Figura 7).

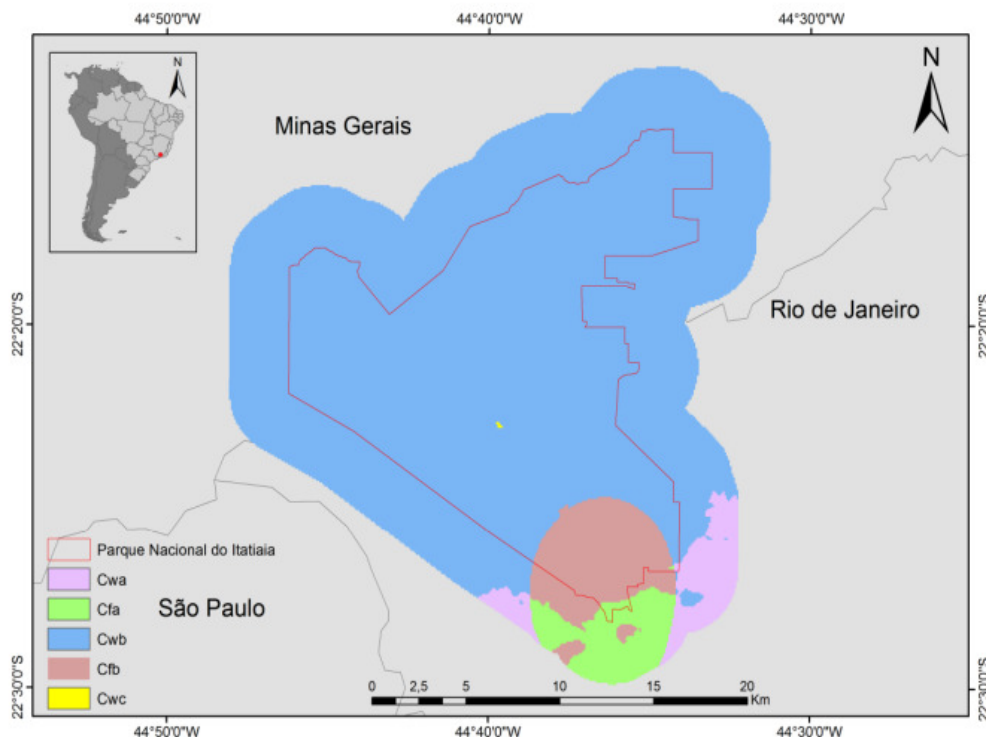


Figura 7. Domínios climáticos do PNI. Fonte: Andrade (2021).

O PNI apresenta uma diversidade de domínios climáticos devido à elevação do planalto, que influencia na temperatura, direção do vento, intensidade de precipitação e outros fatores climáticos que agem também sob a influência da orografia (Barreto et al, 2013).

3.2.1 Caracterização das chuvas no Parque Nacional do Itatiaia

As médias de precipitação pluviométrica anuais no município de Itatiaia registram valores elevados, sendo que, na série histórica analisada, entre os anos de 1957 e 2003, as médias chegaram a aproximadamente 1.500 mm. Quando separadas pela sazonalidade, os meses de verão registraram a maior concentração de chuvas (45%), seguidos pela primavera, outono e inverno. Destaca-se que três níveis de intensidade de chuvas foram registrados para essa área (fracas, moderadas e fortes), sendo as chuvas do tipo forte as menos evidentes dentro do conjunto registrado pela estação meteorológica consultada. O padrão de chuvas é associado ao relevo, com predomínio de declives acentuados, acompanhado de altas taxas de evapotranspiração e sistemas de frentes de chuva atuantes na região (COSTA et al., 2012). É possível também caracterizar dois períodos sazonais para as montanhas que compõem o PNI: um seco, de abril a setembro, com as menores médias de precipitação, e outro chuvoso, de outubro a março, com os maiores volumes de chuva, correspondendo à dinâmica que ocorre na Região Sudeste (OLIVEIRA et al., 2007).

No PNI, associado ao relevo, as chuvas podem apresentar volumes acumulados que variam de 1.250 a 2.250 mm, no caso das médias mínimas registradas. Porém, esse valor pode apresentar também máximas de 1.500 a 2.500 mm em alguns pontos (BARRETO et al., 2013). As massas de ar de maior influência nas áreas de Itatiaia são a Tropical Atlântica (MTa) e a Polar Atlântica (MPa), normalmente acompanhadas dos sistemas frontais, linhas de instabilidade e da Zona de Convergência do Atlântico Sul, criando uma dinâmica pluviométrica que pode chegar a 3.000 mm (OLIVEIRA, 2016). A região do PNI apresenta uma característica importante em relação às chuvas: os grandes volumes de precipitação são bem distribuídos e, ao longo de 30 anos de observação, de 1970 até 2000, foi caracterizado que a parte alta do

planalto é a que concentrou os maiores volumes médios de precipitação, enquanto a área mais ao sul da parte baixa registrou as menores médias (FICK & HIJMANS, 2017) (Figura 8).

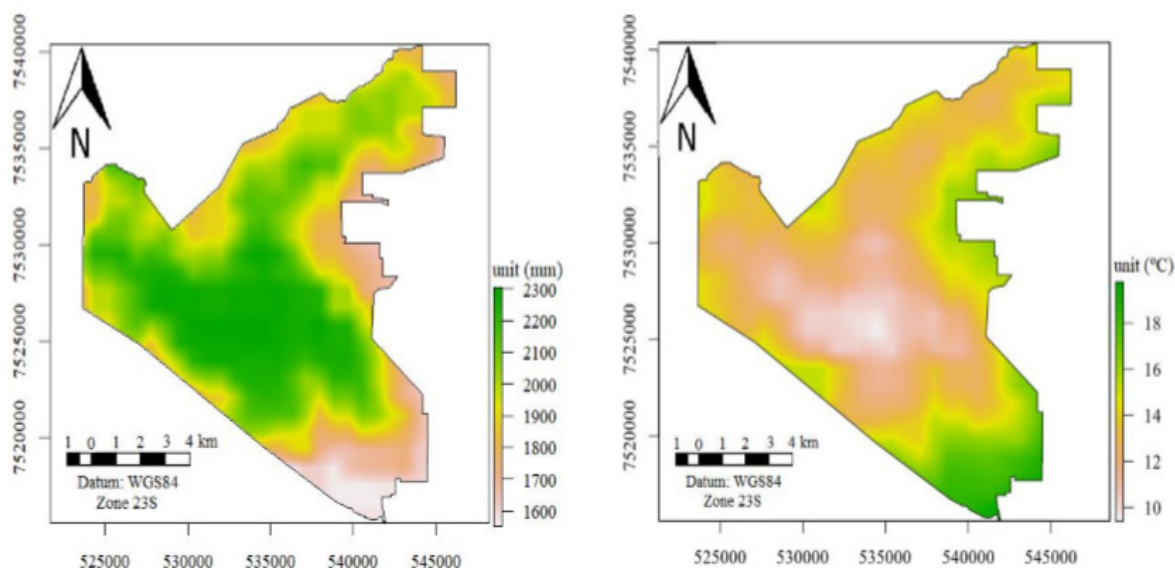


Figura 8. Mapa de precipitação e temperatura para o PNI no período de 30 anos adaptado de Fick e Hijmans (2017). Fonte: Costa (2019).

Nesse sentido, a dinâmica hidrológica nas partes alta e baixa do PNI é distinta. Boa parte das áreas em que se concentram as chuvas é formada por afloramentos rochosos, entremeados pela vegetação de campos de altitude ou por áreas descobertas, ou seja, apresentam altos graus de inclinação, solos rasos e vegetação rasteira. Além do grande volume de precipitação, cujas maiores médias estão registradas na parte alta do parque e na porção central do planalto, e as menores, na porção baixa (FICK & HIJMANS, 2017), o clima é diferenciado por outros fatores. A temperatura média anual é de aproximadamente 11,5 °C, mas, no inverno, a média se aproxima de 8,4 °C, sendo observadas também temperaturas abaixo de zero na parte alta do PNI (BARRETO et al., 2013). Quanto à evapotranspiração, as maiores taxas médias foram observadas no PNI em áreas de Floresta Ombrófila Densa Submontana (parte baixa) e as menores nas áreas mais elevadas do planalto, associadas à vegetação de campos de altitude e às elevadas altitudes (TITO, 2019). Quando interpolados os dados de precipitação e altitude, segundo Oliveira et al. (2018), os ventos úmidos do Oceano Atlântico, que sopram em direção ao PNI, fazem com que, nas maiores cotas altimétricas, ocorram os maiores volumes de precipitação e, consequentemente, os menores na parte baixa do PNI, em um gradiente decrescente de variação das chuvas.

3.3 Solos, Geomorfologia e Geologia

A respeito das classes de solo, Barreto et al. (2013) correlacionam os relevos forte ondulados e montanhosos no PNI com a predominância de solos rasos, sendo que, na parte baixa do parque, solos com maiores profundidades ocorrem em áreas de deposição de colúvios (SANTOS, 2000). O mapa de levantamento de solos, com as classes identificadas no Plano de Manejo do PNI, apresenta unidades de mapeamento em associação, ou seja, com menor grau de detalhamento e apenas quatro classes de solos (BARRETO et al., 2013; AXIMOFF et al., 2014). São elas: Cambissolos, Argissolos e Neossolos Regolíticos, que ocorrem nas vertentes mais declivosas, desenvolvidos a partir das rochas aflorantes, e Latossolos, que aparecem, em

sua maioria, na parte baixa do PNI, originados de colúvios que passaram por maior intensidade de intemperismo e pedogênese (BARRETO et al., 2013; AXIMOFF et al., 2014).

Conforme Soares et al. (2016), na parte alta do PNI, somados ao relevo escarpado e montanhoso, modelado pelo clima e pela vegetação, têm-se condições que favorecem a formação de solos com grandes acúmulos de matéria orgânica, tais como os Organossolos, que, por sua vez, apresentam alta capacidade de armazenamento de água. Na parte do PNI localizada no estado de Minas Gerais também foram encontradas as classes Organossolo Háptico Hêmico típico, dentre os perfis descritos por Rodrigues (2011), além de Cambissolo Húmico Distrófico típico, Cambissolo Húmico Distrófico latossólico e Neossolo Litólico Húmico típico.

Os solos da parte baixa do PNI possuem maior interferência antrópica, por estarem mais próximos da Zona de Amortecimento do PNI, além das questões de uso e cobertura da terra que envolvem o uso com pastagens em terras dentro ou próximas à Unidade de Conservação (COSTA, 2019). Apesar do maior grau de antropização, devido ao acesso às terras na parte baixa do parque, os solos da parte alta do PNI possuem maior vulnerabilidade natural. Segundo Costa (2019), predominam nessa parte do parque solos rasos e com altos teores de matéria orgânica nos horizontes superficiais, das classes Neossolos Litólicos e Organossolos, associados a pontos da paisagem com afloramentos rochosos, maiores declives, maior elevação e alta precipitação e, apesar de funcionarem como excelentes armazenadores de carbono e água, são extremamente frágeis.

Quanto à geomorfologia e à geologia, predominam formações escarpadas e elevações montanhosas, e o embasamento cristalino é caracterizado pelas serras da Mantiqueira e do Mar, que fornecem substrato para as bacias sedimentares do vale do rio Paraíba do Sul (BARRETO et al., 2013). As elevações do maciço variam de 390 m a 2.791,6 m de altitude, com encostas que apresentam declividades entre 10° e mais de 45°.

Segundo Santos (2000), o PNI se divide em quatro unidades geomorfológicas: Escarpas Rochosas, Montanhas, Corpos de Tálus e Planícies Fluviais Restritivas (Figura 9). Dentre as unidades geomorfológicas, destacam-se as planícies fluviais dos rios Campo Belo, Preto e Aiuruoca, com declividade de 2%, que funcionam como áreas de deposição e terraços com períodos de inundação. Próximo das planícies podem ser observados os depósitos de tálus, com geoformas de rampa nos sopés e fundos dos vales do PNI, com declividades entre 10% e 15% (SANTOS, 2000).

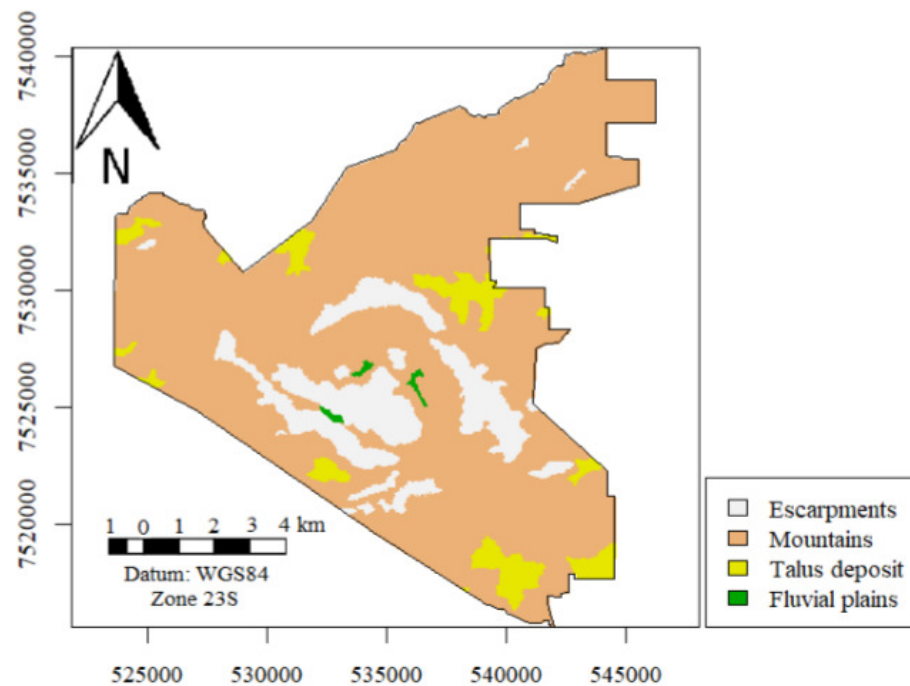


Figura 9. Unidades geomorfológicas do PNI, adaptado de Santos (2000). Fonte: Costa (2019).

Na litologia, os granitos homogêneos aparecem em grande quantidade (CAMINHOS GEOLÓGICOS, 2013; BARRETO et al., 2013). Conforme Santos (2000) os tipos de rochas distribuídos no maciço do Itaiaia são as brechas magmáticas, gnaisses homogêneos, granito alcalino, sienito nefelino, quartzo sienitos, sedimentos aluviais e colúviais (Figura 10).

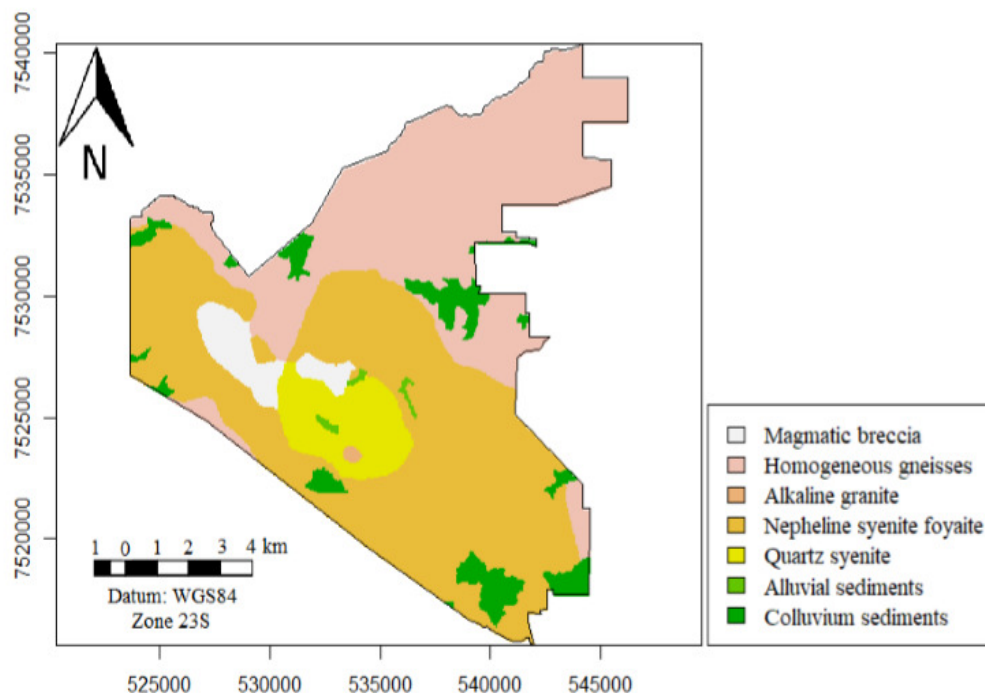


Figura 10. Mapa de geologia do PNI, adaptado de Santos (2000). Fonte: Costa (2019).

As escarpas rochosas estão em altitudes de 2200 m a 2700 m, ocorrendo mais na porção central do PNI, formadas por afloramentos rochosos com declives em torno de 50 %. Nesta área

a paisagem apresenta formas de alteração descontínuas, ácidas, areno-siltosas e/argilo-siltosas com características químicas associadas à rocha nefelina-sienítica, e apresentam solos rasos (Marques Neto, 2016). Por fim, os domínios montanhosos, que são de maior expressão no PNI, com altitudes que variam de 900 a 2300 e declividade acima de 45%, são os locais de maior expressão dos processos de erosão e movimentos de massa (SANTOS, 2000).

3.4 Estação Meteorológica Profissional Wireless – ITWH1080

O uso de estações meteorológicas de baixo custo ou profissional é muito importante nos estudos que visam captar dados atmosféricos, sendo normalmente armazenados em “data logger” que funciona como servidor de memória para os dados coletados (INMET, 2015). Ainda segundo o INMET, existem algumas categorias e tipos de estações que podem ser normalmente sinóticas, climatológicas ou meteorológicas. Conforme Braga et al. (2011), as categorias de estações estão majoritariamente entre manuais e automáticas, sendo na primeira exigida atuação direta do profissional e na segunda uma gama de softwares possibilitam o armazenamento e a transmissão de dados automaticamente da estação.

Dado a complexidade dos terrenos, acessibilidade às estações e recursos disponíveis, uma estação meteorológica semiautomática ou automática é a mais recomendada nos estudos de tempo atmosférico e prevenções aos riscos, visto que muitas delas têm como produtos dados de precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar e outras variáveis atmosféricas que podem auxiliar os pesquisadores, órgãos públicos ou privados que visam compreender a dinâmica atmosférica (BRAGA, 2011). As estações automáticas se destacam não somente na forma de obtenção dos dados, mas na velocidade, confiabilidade, precisão dos dados e possibilidade de envio por diferentes tipos de dispositivos e redes de comunicações.

Com isso, o uso da Estação Meteorológica Profissional Wireless ITWH1080 nessa pesquisa soma-se aos outros trabalhos no tema de estudos climatológicos em Unidades de Conservação. Este instrumento de medição está alocado na torre micro meteorológico (Torre de Fluxo) que está localizada na “Parte Baixa” do Parque Nacional do Itatiaia (ANDRADE et al., 2021). A ITWH1080 foi adquirida em 2021, através de recursos da FAPERJ, instalada em abril e iniciou a coleta de dados em maio de 2021 (DELGADO, 2021).

A Torre de Fluxo instalada desde 2015 iniciando o funcionamento em 2017 possui cerca de 30 m de altura estando inserida numa área predominantemente de Floresta Ombrófila Montana Densa, sob as coordenadas geográficas 22° 27' 10.83" S e 44° 36' 28.51" W (Figura 11). Além da ITWH1080 a Torre de Fluxo também possui acoplada cerca de 6 sensores usados em outras pesquisas em andamento no PNI (ANDRADE et al., 2021). A infraestrutura física (torre e sensores) foi adquirida a partir de recursos do projeto de título - Áreas de Referência para Pesquisas Ambientais em Bioma de Floresta Atlântica no Parque Nacional de Itatiaia, financiado pela FAPERJ para docentes da UFRRJ, através de edital do Projeto PENSA Rio (34/2014).

A ITWH1080 foi montada na base da Torre de Fluxo a 2 metros de altura do chão, acompanhada também de sensor de temperatura e umidade relativa do ar. A estação é mantida por energia solar e possui monitor LCD Touch Screen, que permite a visualização dos dados (Figura 12).

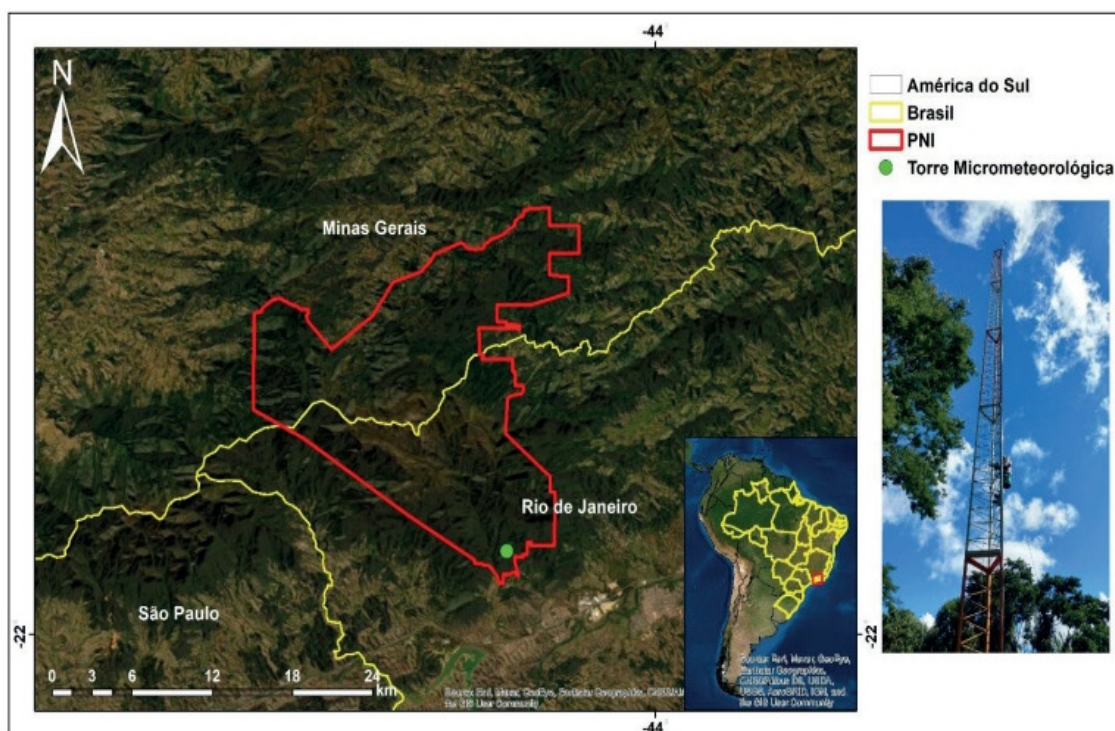


Figura 11. Localização da área de estudo e da Torre de Fluxo no PNI. Fonte: TITO (2021).

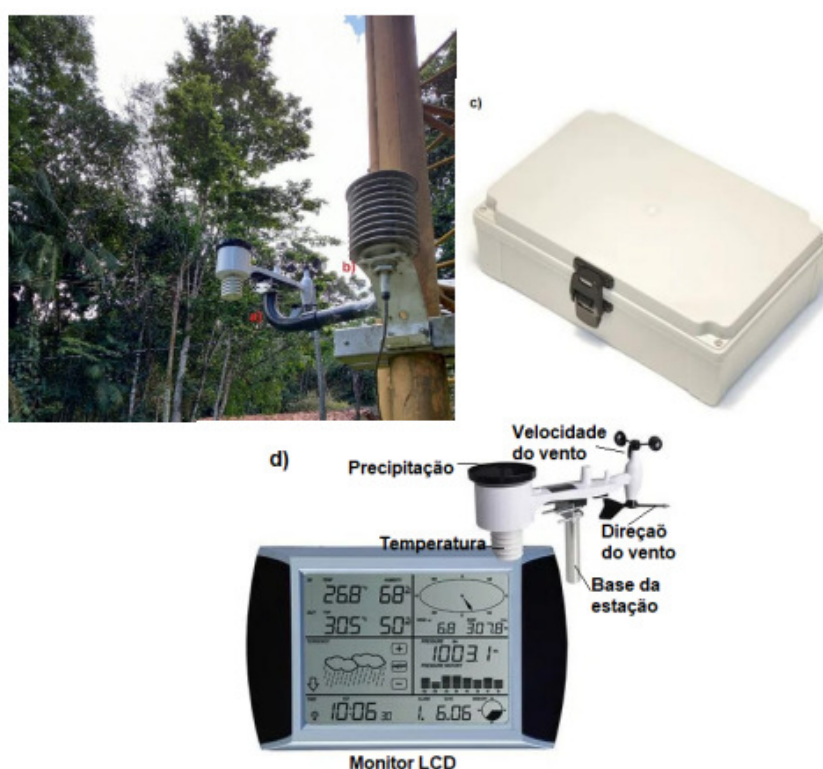


Figura 12. Estrutura da estação meteorológica mostrando a sua base (a), sensor de temperatura e umidade relativa do ar na mesma altura da estação a 2 m (b), caixa que serve de abrigo ao Monitor LCD (c) e a estação completa mostrando todos os sensores e o monitor (d). Fonte: Delgado (2021).

Segundo a INSTRUTEMP (2021) dentre os dados gerados pela ITWH1080 temos a velocidade do vento, direção, precipitação, temperatura, umidade, pressão barométrica, ponto de orvalho e sensação térmica. A estação é completada por software livre denominado *Easy Weather 9.3* que processa as informações sobre os elementos meteorológicos, além de adquirir os dados em intervalo de tempo programado e fornecer escala horária e diária, com capacidade de armazenamento limitada a 4.080 medições (SYSTEMS, 2023).

3.5 Geoprocessamento

Os procedimentos metodológicos desse trabalho foram divididos em 4 etapas que consistiram em: 1) Levantamento Bibliográfico; 2) Construção do Banco de Dados adquiridos por meio do CHIRPS e da Estação ITWH1080; 3) Processamento, Validação e Métricas Estatísticas; e 4) Correlação dos dados de precipitação. A Figura 13, apresenta fluxograma dos procedimentos metodológicos.

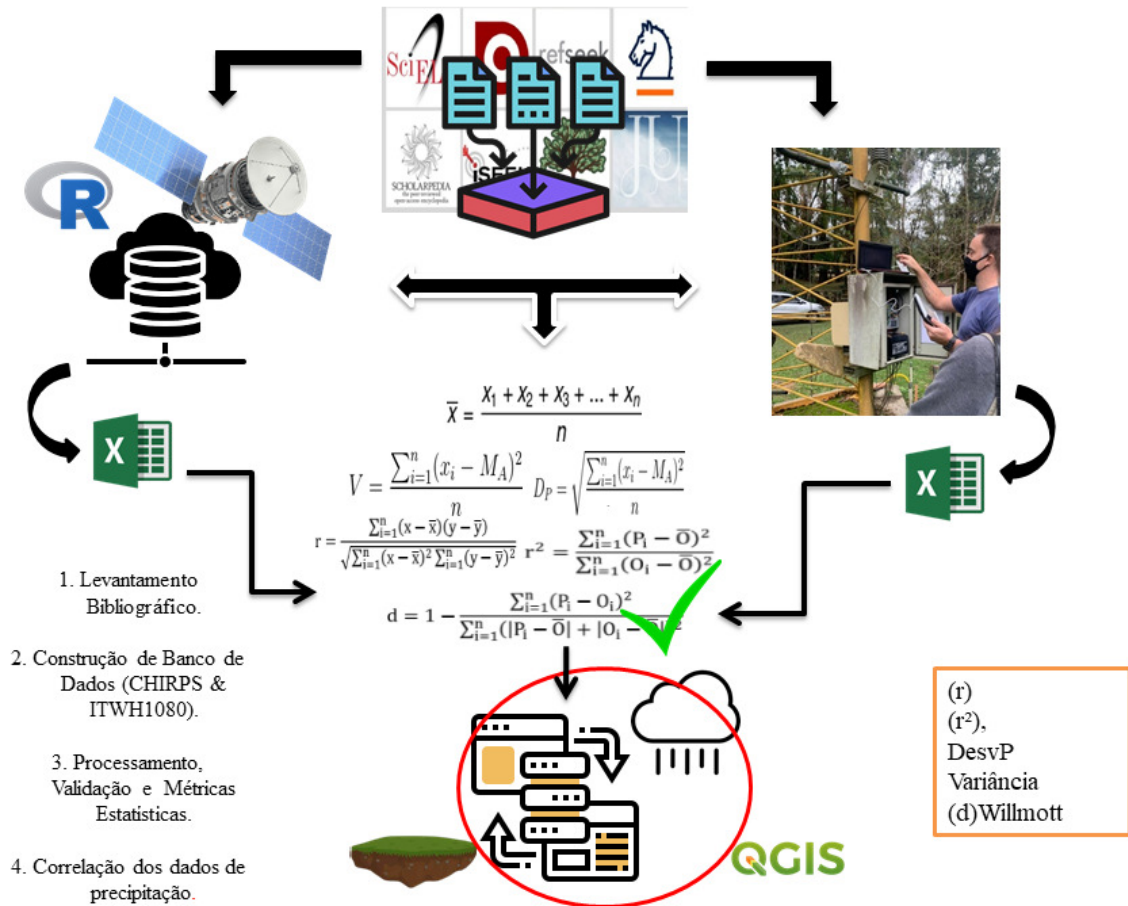


Figura 13. Etapas metodológicas do processamento de dados. Elaborado pelo autor (2023).

3.5.1 Obtenção de dados de precipitação CHIRPS e ITWH1080

O banco de dados foi construído com as precipitações estimadas do CHIRPS, com os dados de chuva em escalas anuais, de 2001 até 2021, com resolução de 5 km (FUNK et al., 2015). Os dados foram adquiridos a partir de coordenadas geográficas da área que corresponde ao raio de influência de um km² da Torre de Fluxo, onde está acoplada a estação meteorológica ITWH1080 usada para validar os dados de precipitação observados na parte baixa do PNI. Os dados do CHIRPS foram adquiridos por intermédio de Scripts rodados no software RStudio

(RStudio Team, 2015) a partir da biblioteca *install.packages* (“*chirps*”) e do servidor *server=“ClimateSERV*. Os dados eram diários e completavam uma série anual conforme o conjunto organizado em uma biblioteca tabelada no Excel (2020).

O conjunto de dados de precipitação estimada foi obtido através de coletas *in situ* na estação meteorológica ITWH1080 fixada na Torre de Fluxo. Os dados foram coletados para compor uma série contada a partir do dia 10/05/2021 e encerrados em 10/05/2022, completando uma série anual de precipitação para a área correspondente. O início da observação de dados na estação dentro do PNI coincidiu com a data inicial da contagem. A partir disso, foram realizadas coletas dos dados nas seguintes datas: 10/06/2021; 02/09/2021; 09/10/2021; 04/02/2022; 23/04/2022. e 20/05/2022. As coletas consistem de dados de precipitação horários e diários, além de outros dados secundários como velocidade do vento, direção do vento, temperatura do ponto de orvalho, entre outras variáveis climáticas. A cada nova coleta os dados eram armazenados em tabela criada no Excel (2020) para compor o conjunto de dados.

3.5.2 Processamento, validação e calibração

O processamento consistiu na padronização dos dados de chuva criando categorias de análise para aplicação das métricas estatísticas, sendo: a) bibliotecas de dados mensais de precipitação CHIRPS (estimados) e da estação ITWH1080 (observados); b) precipitações nas estações secas e chuvosas no Sudeste (2021-2022) de ambas; e c) série anual entre os dados de precipitação CHIRPS e ITWH1080 (2021-2022) para as validações métricas.

Para efeito de validação entre os dados da estação meteorológica ITWH1080 e os dados do CHIRPS, foram aplicadas métricas estatísticas para observar possível correlação e comportamentos dos dados dentro de cada ensaio proposto. As análises consistiam de observação dos valores máximos ($X_{\max}$) e mínimos ($X_{\min}$) dos dois conjuntos de dados. Foram analisadas as médias ($\bar{X}$), representadas pela Equação 1, e as medianas (M_e), para ambos os conjuntos.

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

Foi utilizado também o Desvio Padrão (DP) representado pela Equação 2 e a Variância (V) representada pela Equação 3.

$$D_P = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_A)^2}{n}} \quad (2)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_A)^2}{n} \quad (3)$$

Foi calculado o coeficiente de determinação (r^2), para avaliar alguma associação entre os dois conjuntos de dados, representado pela Equação 4.

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

Para avaliar o desempenho do CHIRPS em comparação ao ITWH1080 foi utilizado o Índice de Correlação Pearson (r) conforme a Equação 5.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

Para melhor classificação dos valores encontrados no coeficiente de correlação, foram utilizados os critérios definidos por COHEN (1988) (Figura 14).

Índice de correlação (r)	Classificação
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

Figura 14. Classificação dos valores do coeficiente de correlação Pearson (r) por Cohen (1988).
Fonte: Andrade (2019).

Por fim, foi utilizado o Índice de Concordância Willmott (d) para quantificar a dispersão dos dados em relação ao método considerado padrão, segundo a Equação 6.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (6)$$

Todas as métricas estatísticas tiveram como principal objetivo mostrar o comportamento dos fenômenos, possíveis correlações e disparidades entre as precipitações estimadas do CHIRPS e observadas da ITWH1080.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Correlação dos Índices por Métricas Estatísticas de Amplitude e Tendência

O conjunto dos dados da série anual estimada proveniente do CHIRPS e os observados da estação meteorológica ITWH1080 foram submetidos aos testes estatísticos de amplitude, para observação dos valores Máximos e Mínimos diários de precipitação do CHIRPS e da ITWH1080 (Tabela 1). Para tal não foram considerados os valores que correspondem a 0 (sem precipitação), de forma a obter uma melhor análise do conjunto de dados.

Tabela 1. Máximos e mínimos de valores diários de precipitação, no período de 10/05/2021 a 10/05/2022, na parte baixa do PNI.

Dados observados/estimados	Máximo diário (mm)	Mínimo diário (mm)
ITWH1080	201,0	0,30
CHIRPS	72,21	0,61

Observa-se que os valores de precipitação máxima diários estimados pelo CHIRPS são menores do que os obtidos pela ITWH1080 para a área correspondente a localização da estação, revelando subestimação dos dados em até 35% do observado. Diversos fatores podem estar associados a essa diferença de precipitação diária extrema, segundo Palharini (2021) o CHIRPS em regiões tropicais sul americanas e no Brasil tende a subestimar os valores de precipitação máximos, sendo as características específicas de cada região decisivas na amplitude, além da influência do relevo e coberturas que são pertinentes nas respostas dos sensores ao estimar as precipitações. Para os valores mínimos diários houve uma inversão, embora os dados estimados do CHIRPS estão próximos aos observados da ITWH1080, o que mostra boa correlação com os dados do CHIRPS para os dias que registraram a mínima precipitação na área de estudo.

Para as estatísticas básicas de tendência, foram conferidas as médias e medianas dos valores diários dos dados estimados e observados para se observar a proximidade dos valores e tendências centrais dos conjuntos. Os valores diários mostram média e mediana das precipitações não muito discrepantes entre os dados estimados do CHIRPS e os observados na ITWH1080 (Tabela 2).

Tabela 2. Médias e medianas de valores diários de precipitação, no período de 10/05/2021 a 10/05/2022, na parte baixa do PNI.

Dados observados/estimados	Máximo diário (mm)	Mínimo diário (mm)
ITWH1080	6,29	14,54
CHIRPS	4,99	19,03

Dentro da escala anual dos conjuntos dos dados de precipitação os valores diários médios estão aproximados, porém seguindo a tendência encontrada por Santos et al. (2022) o CHIRPS tende a subestimar os valores médios diários e consequentemente os anuais, e no caso de regiões com elevadas altitudes os efeitos orográficos são determinantes. Por sua vez, a estação in situ apresenta valores diários um pouco maiores que o CHIRPS, levando em consideração a precisão das observações locais, com a vantagem de se obter dados contínuos e instantâneos (WMO, 2018). Para a mediana, não há variação expressiva entre os conjuntos dos dados, embora o valor pelo CHIRPS esteja ligeiramente maior. Ambas, média e mediana dos valores diários (Tabela 2), acompanham as variações de valores de máximo e mínimo estimados (Tabela 1).

Quanto ao total de chuva acumulada pelo CHIRPS e a ITWH1080 no período anual de 10/05/21 até 10/05/22 (Figura 15), os dados do primeiro estão subestimados. O CHIRPS trouxe um acumulado de 1826 mm, enquanto os dados registrados na ITWH1080, na parte baixa do PNI, mostram 2312 mm de chuva. Essa subestimação sistemática foi também observada por Shrestha et al. (2017), que concluiu que os dados obtidos com o CHIRPS, em sua maioria, apresentam valores acumulados menores que os de estações superficiais.

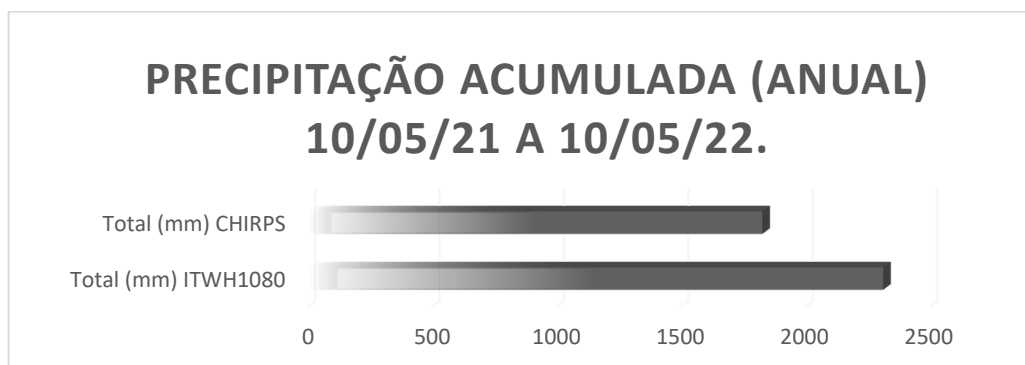


Figura 15. Precipitação em escala anual acumulada obtida pelo CHIRPS e ITWH1080, no período de 10/05/2021 a 10/05/2022, para a parte baixa do PNI.

Outra condição que explica a subestimação do CHIRPS em relação aos dados observados in situ (Figura 15) é o menor valor estimado nos meses chuvosos que irá implicar em variação proporcional no total acumulado (COSTA BARBOSA et al., 2020). Com isso, pode-se afirmar que o CHIRPS possui como característica, que varia de acordo com as condições atmosféricas, altitude e complexidade do relevo, a tendência de subestimar os valores de precipitação (SANTOS et al., 2022).

Quanto ao desvio padrão e a variância, foi observada a dispersão dos valores diários dentro das séries anuais em relação à média e a variação entre os dados diários estimados e os observados, sendo os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Desvio padrão e variância dos dados diários de precipitação obtidos pelo CHIRPS e ITWH1080, no período de 10/05/2021 a 10/05/2022, para a parte baixa do PNI.

Dados observados/estimados	Desvio padrão	Variância
ITWH1080	16,24	262,92
CHIRPS	12,37	152,69

Os dados da ITWH1080 apresentam conjuntos de precipitações diárias observadas mais distribuídos em torno da média, ou seja, possuem maior variação que os valores estimados pelo CHIRPS, que por sua vez possui conjunto de dados de precipitação mais homogêneo em relação à média. Ressalta-se que o conjunto de dados estimados pelo CHIRPS apresentam menor desvio padrão principalmente pelo menor volume acumulado em relação ao ITWH1080 e por aproximar (igualar em alguns casos) bastante os valores de precipitações diárias em algumas datas, diminuindo inclusive a variância do conjunto. Contudo, dada a observação dos dados dentro da faixa do desvio padrão, pode-se afirmar que há correspondência entre as duas fontes, seguindo a tendência da média.

A variância observada serviu para analisar o quanto os valores diários de precipitação se afastam da média para os conjuntos, e no caso os valores de precipitação registrados in situ pela ITWH1080 mostram maior variância. A menor variância dos dados obtidos pelo CHIRPS é resultante também do efeito dos dados com unidades repetidas no conjunto estimado

(Apêndice A), mas ainda se observa variabilidade das estimativas para a área da Torre de Fluxo, o que indica boa percepção do satélite em registrar diferentes chuvas, em diferentes condições sobre a parte baixa do PNI. Para as análises do comportamento dos dados em diferentes períodos do ano, foram avaliadas as precipitações mensais estimadas pelo CHIRPS e as observadas pela ITWH1080, nos períodos sazonais definidos como seco e chuvoso na região Sudeste, conforme Alves et al. (2002) e Paiva (1997), nos anos de 2021 e 2022 (Figuras 16 e 17).

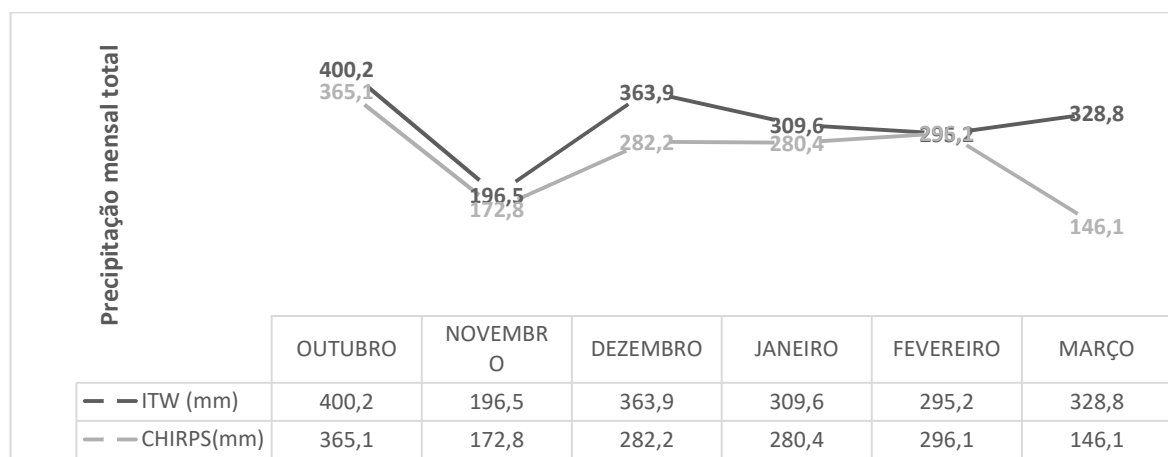


Figura 16. Precipitação mensal acumulada no período sazonal da estação chuvosa, de outubro de 2021 a março de 2022, correspondente a área da Torre de Fluxo, na parte baixa do PNI.

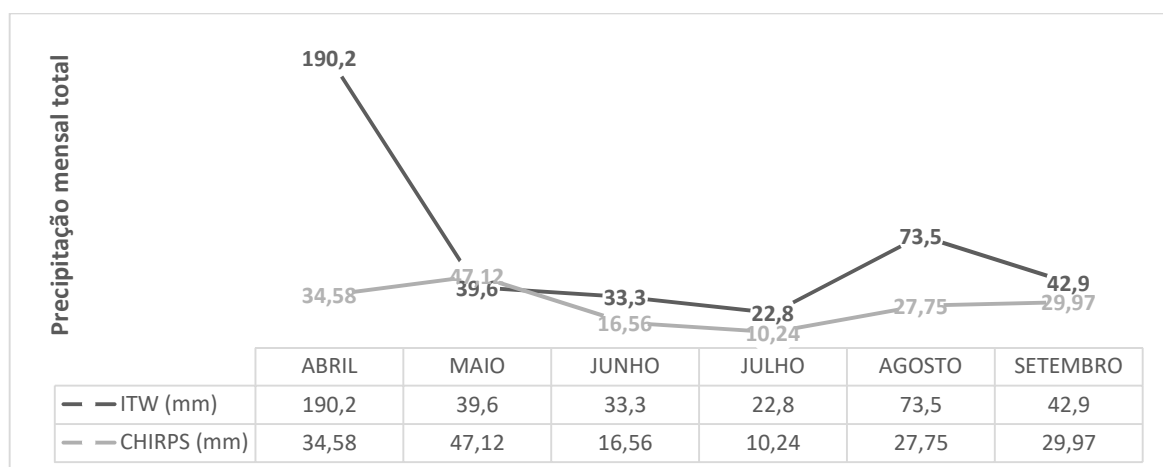


Figura 17. Precipitação mensal acumulada no período sazonal da estação seca, de abril a setembro de 2022, correspondente a área da Torre de Fluxo, na parte baixa do PNI.

Na região sudeste as chuvas são mais volumosas e concentradas entre os meses de outubro a março (ALVES et al., 2002). Ressalta-se que tanto o CHIRPS e a ITWH representaram de forma satisfatória esses períodos de sazonalidade da região sudeste, também para a parte baixa do PNI. Os conjuntos do período chuvoso (Figura 16) denotam alta pluviosidade observada na ITWH, que variou de 196 mm a 400 mm, e a estimada pelo CHIRPS de 365 mm a 146 mm. Quando comparadas as duas medidas de precipitação, se observa a mesma tendência em quase todos os meses do período chuvoso, destacando-se o mês de fevereiro com os valores mais próximos. A comparação entre as precipitações do período chuvoso do CHIRPS e ITWH1080 não indica grandes disparidades, sendo o mês de março

aquele em que há maior subestimação dos valores pelo CHIRPS. Os valores próximos indicam boa resposta do CHIRPS em estimar a precipitação no período chuvoso para a região do estudo.

A título de comparação, na região norte do Brasil o CHIRPS mostra tendência de superestimar os valores de chuva no período chuvoso, sendo melhor associado nas estações mais secas (Silva et al, 2020). O trabalho de Costa et al. (2019) mostra similaridade de dados entre o CHIRPS e estações de superfície, com coeficiente de determinação de 95,4% para o território brasileiro e de cerca de 99% para a região sudeste. Esse resultado está condizente com as métricas utilizadas neste estudo, separando o conjunto de dados por períodos.

Os meses no período seco possuem similaridade de valores de precipitação em geral, sendo estes relativamente baixos, representando bem este conjunto de dados. A exceção do observado em abril de 2022, em que os dados registrados pela estação meteorológica são cerca de 6 vezes maiores que os dados estimados pelo CHIRPS. Os meses do período seco têm dados estimados pelo CHIRPS, em sua maioria, pouco menores que os observado in situ, mas ainda é possível afirmar sobre um comportamento bom para as medidas de precipitação pelo sensor. Esse resultado segue a tendência apontada por Silva et al. (2020) onde os dados do CHIRPS mostram ótima associação com os das estações de superfície, quando avaliados entre períodos mais secos e chuvosos. Fatores físicos da área de estudo influenciam na subestimação ou superestimação de resultados observados em estudos sazonais (PAREDES-TREJO, 2017).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi aplicado para mostrar a associação linear entre a série anual de valores de precipitação estimados pelo CHIRPS e registrados na ITWH10180 na parte baixa do PNI, com valores de até 400 mm. O valor do índice de correlação de Pearson (r) foi de 0,90; que, segundo Cohen (1988), indica correlação muito alta entre os conjuntos, ou seja, boa associação entre as matrizes. O r^2 apresentou valor igual a 0,82. Já quanto ao índice (d) Willmott o valor de $d=0,90$ denota boa concordância entre os dados estimados e observados (Figura 18).

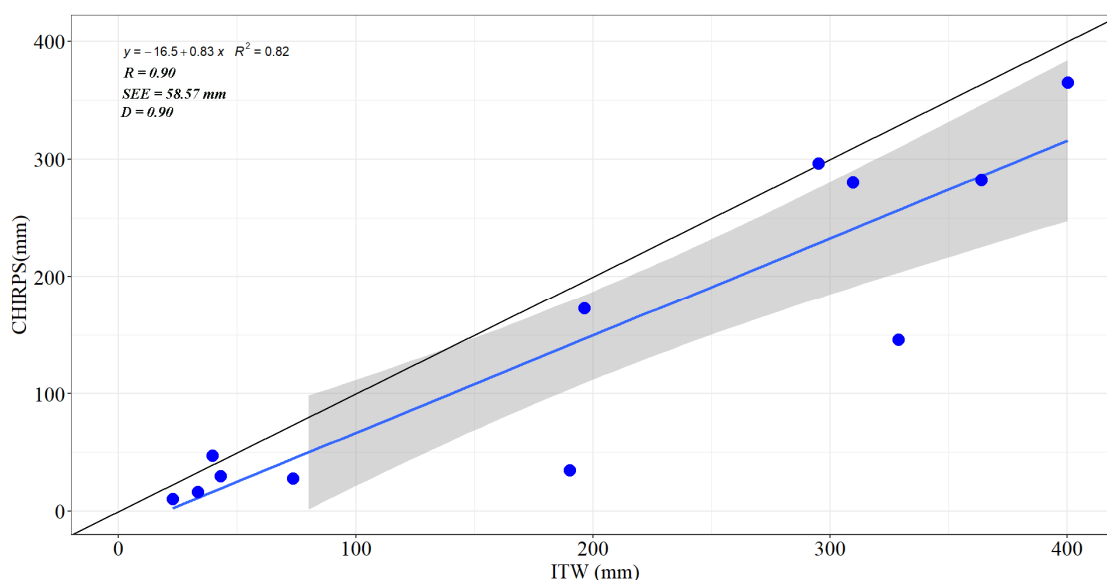


Figura 18. Gráfico de correlação de Pearson (r) para os dados de precipitação obtidos pelo CHIRPS e ITWH10180, para a parte baixa do PNI.

Quando comparadas às Figuras 16 e 17, correspondentes as precipitações nos períodos chuvoso e seco, respectivamente, existem disparidades entre os conjuntos de dados, mas há uma considerável correlação entre os padrões observados em ambos os períodos. A série histórica de 20 anos com valores de precipitação estimados pelo CHIRPS (Figura 19) corresponde aos valores comumente registrados por outros trabalhos. Como exemplo os dados de Oliveira et al.

(2007), que apontam as maiores médias de precipitação nos meses de outubro a março e as menores nos meses de abril a setembro.

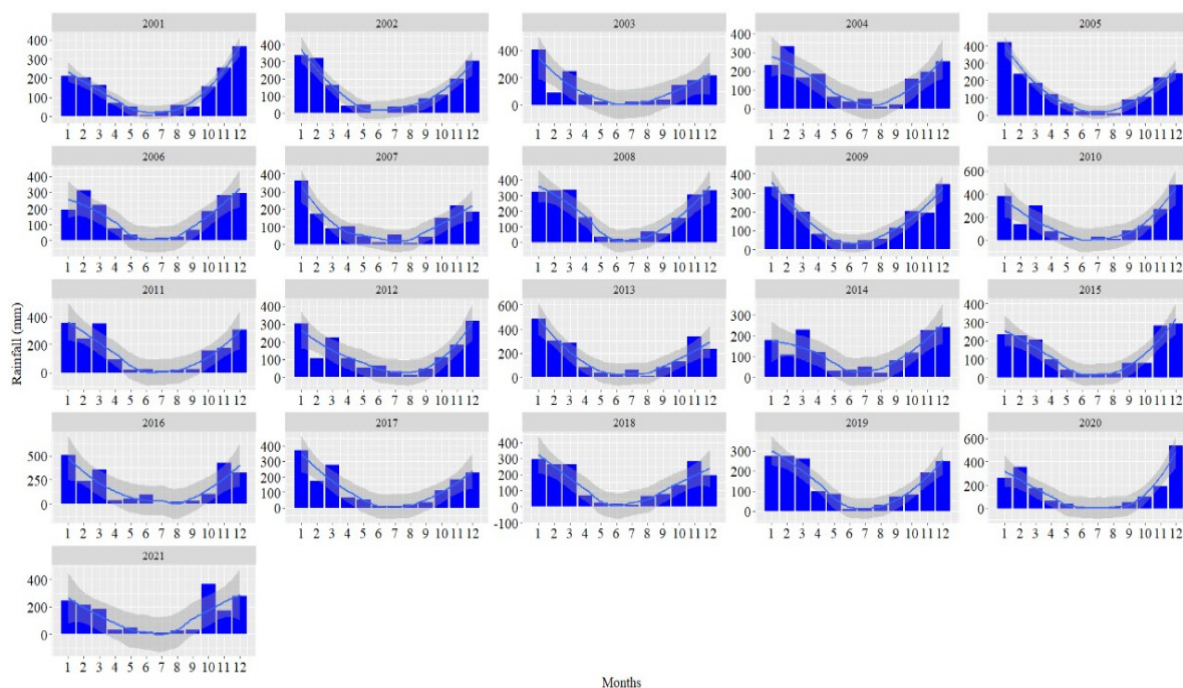


Figura 19. Média das chuvas estimadas pelo CHIRPS, em série histórica de 20 anos na área do PNI (2001-2021). Fonte: Autor (2022).

Os episódios de subestimação e superestimação do CHIRPS são também apontados na literatura, variando de acordo com o período do ano e a escala de análise, bem como de região para região; sendo mais variáveis em terrenos acidentados, onde os sistemas atmosféricos atuam de forma marcante, como ocorre no Parque Nacional do Itatiaia.

Portanto, é possível afirmar que o uso do sensor CHIRPS se apresenta como boa alternativa para estimar dados de precipitação na região do estudo, em especial na ausência de fontes de dados *in situ*. Ainda, a estação ITWH1080 se mostrou muito importante para a validação de dados estimados de chuva, reforçando a relevância desses estudos, com a implantação de infraestruturas de pesquisa como estas, em unidades de conservação representativas do bioma Floresta Atlântica e do ambiente de Mar de Morros, como o Parque Nacional de Itatiaia.

4.2 Comparação e Validação dos Dados do CHIRPS e da Estação Meteorológica

Os resultados das médias diárias de precipitação avaliado pelo modelo de erro diário, nas estações seca e chuvosa dos dados estimados pelo CHIRPS e registrados pela ITWH, é apresentado nas figuras 20 e 21. Na maior parte do modelo as duas matrizes se aproximam, com valores iguais a zero para os dias em que não houve quantificação de chuvas pelo CHIRPS e pela ITWH. Apesar dos baixos valores de chuvas diárias na estação seca, como esperado, percebem-se anomalias (*outlier*) de valores de chuvas além da média (Figura 20, modelo A). Para os meses da estação chuvosa, o comportamento do bloxplot (Figura 21, modelo B) apresenta bom ajuste das matrizes de dados de precipitação, com algumas anomalias que representam chuvas diárias com valores que fogem da média.

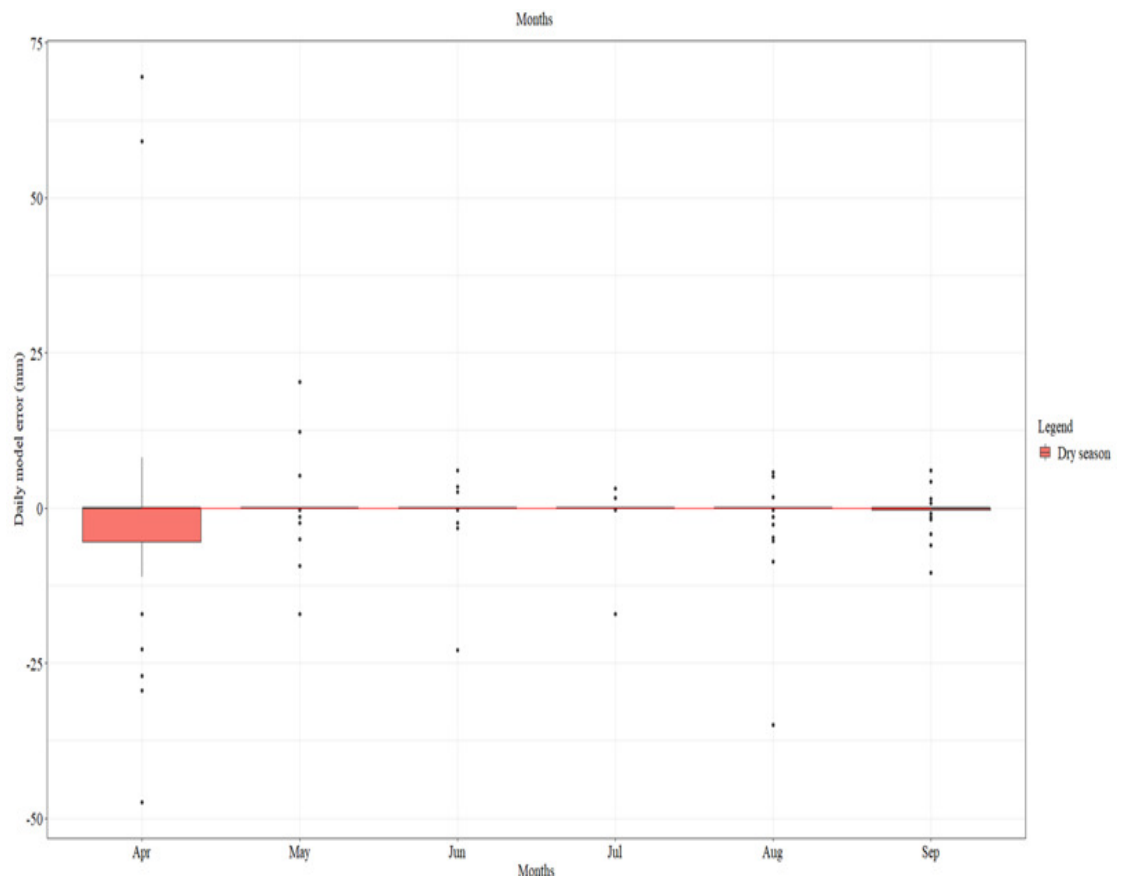


Figura 20. Bloxplot (A) do erro médio diário de valores de precipitação para a estação seca no PNI.

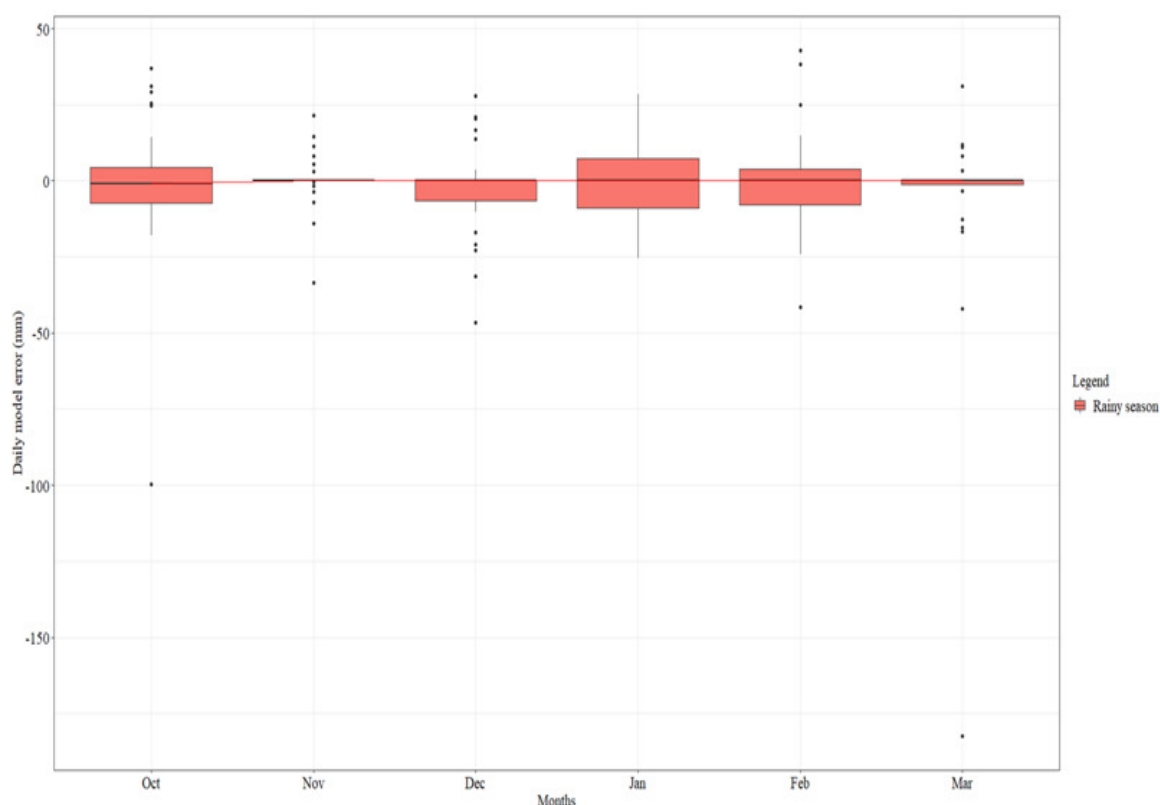


Figura 21. Bloxplot (B) do erro médio diário de valores de precipitação para a estação chuvosa no PNI.

A distribuição dos valores diários das precipitações pluviométricas, nas estações secas e chuvosas e para a parte baixa do PNI, pode ser também observado na representação em forma de *heatmap*, com faixas (listras) de intensidade representando em cores (milímetros) os valores máximos e mínimos estimados pelo CHIRPS e registrados in situ pela estação ITWH1080 na parte baixa do PNI.

Os dados ilustrados no *heatmap* estimados pelo CHIRPS, no ano de 2021 (Figura 22) mostram maior intensidade na estação chuvosa, com picos de até 50 mm ao longo do período, com chuvas bem distribuídas e com alta frequência. Na estação seca, o *heatmap* mostra a menor precipitação, com sequências de valores diários que indicam ausência de chuva (igual a zero) intercalados com dias de baixas precipitações (de até 40 mm).

No ano de 2022, o *heatmap* com os dados estimados pelo CHIRPS (Figuras 22 e 23) mostra na estação chuvosa sucessões de dias chuvosos com valores próximos uns dos outros, em que se percebe que os dias menos chuvosos são mais concentrados e são interrompidos por chuvas com até 60 mm. No período seco, as precipitações são quase nulas, embora algumas chuvas fortes se destaquem apresentando quase que isoladamente valores maiores que 50 mm.

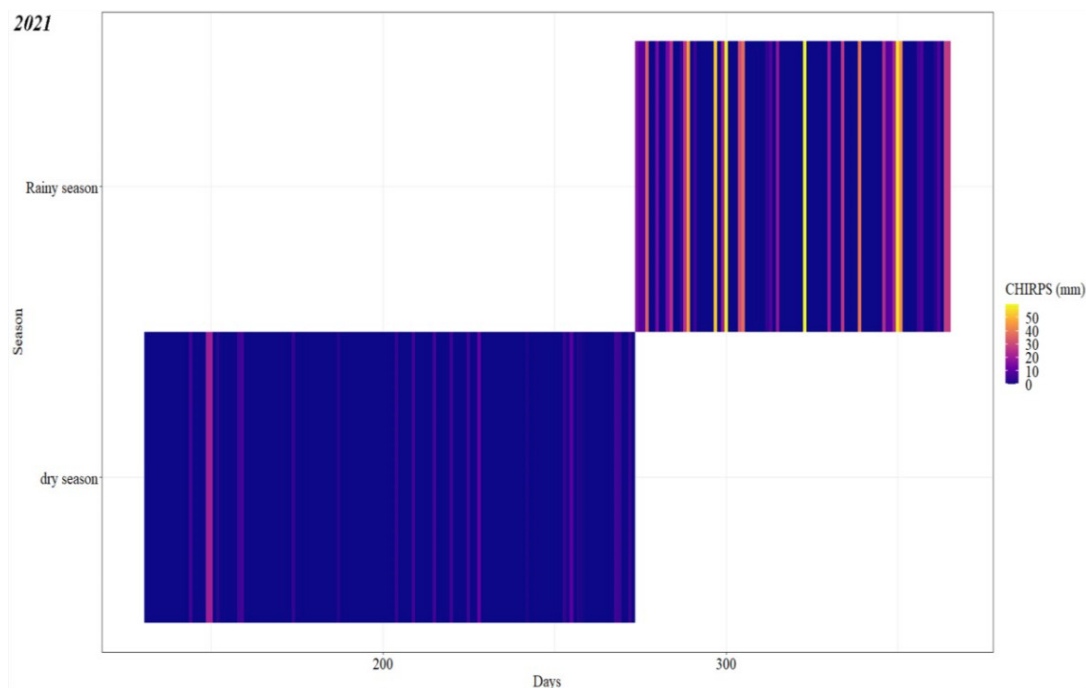


Figura 22. Representação na forma de *heatmap* das chuvas no ano de 2021, nas estações seca e chuvosa, estimadas pelo CHIRPS para a área do PNI.

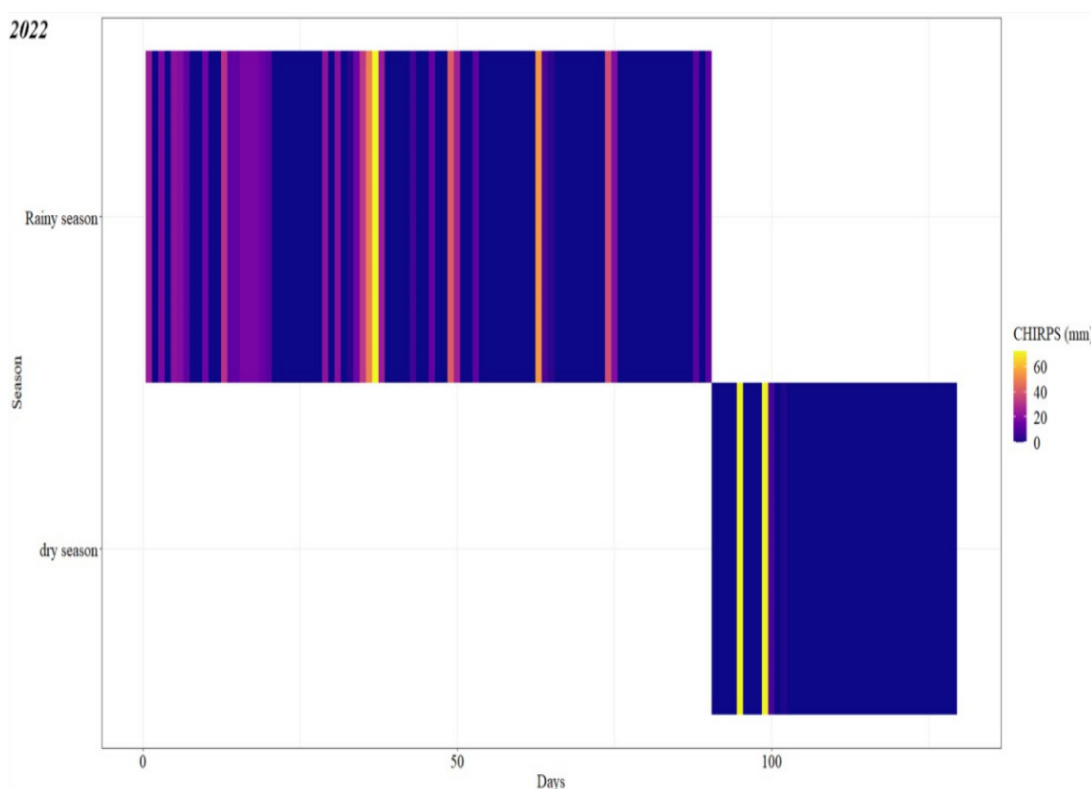


Figura 23. Representação na forma de *heatmap* das chuvas no ano de 2022, nas estações seca e chuvosa, estimadas pelo CHIRPS para a área do PNI.

A distribuição das chuvas registradas pela estação ITWH1080, na parte baixa do PNI, na estação chuvosa em 2021, se assemelha ao estimado pelo sensor CHIRPS, com boa distribuição das chuvas ao longo do período e, em geral, chuvas diárias com valores de 25 a 50 mm (Figura 24); a exceção de poucas intensidades de precipitação com valores em torno de 125

mm, que não foram estimados pelo CHIRPS. A estação seca, em 2021, também se assemelha com a distribuição observada no *heatmap* para o CHIRPS, indicando boa correlação entre os dados nesse período com poucas chuvas e episódios espaçados de precipitação, com valores médios de 25 mm. Porém, apesar da boa correlação a ITWH registrou precipitação em dias que o CHIRPS não estimou, levando a mudança sutil entre os dois *heatmaps* (Figuras 22 e 24).

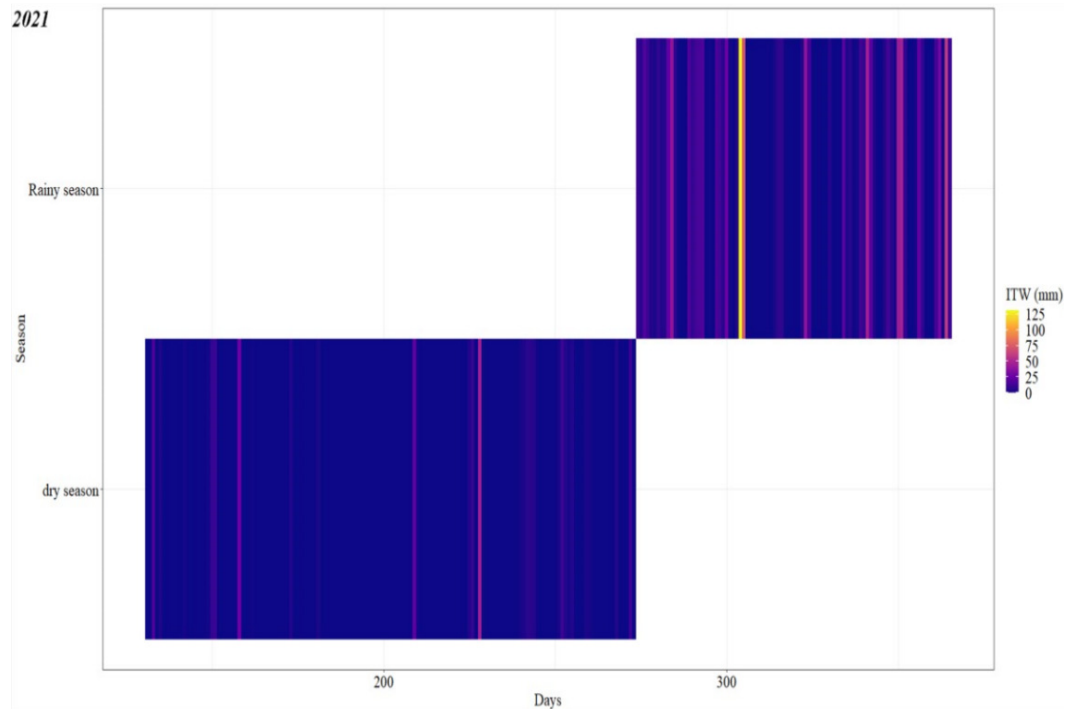


Figura 24. Representação na forma de *heatmap* das chuvas no ano de 2021, nas estações seca e chuvosa, registrada na ITWH1080 para a área do PNI.

Em 2022, os gráficos de *heatmap* mostram resultados para a precipitação pluviométrica registrada pela ITWH1080, no período chuvoso, similar ao do ano anterior, exceto que as chuvas têm médias maiores e o pico máximo de precipitação ocorreu em 200 mm (Figura 25), o que não foi identificado na estimativa pelo CHIRPS (Figura 23). O padrão de distribuição de chuvas na estação chuvosa apresenta boa correspondência com o observado para as chuvas estimadas pelo CHIRPS. Na estação seca são registrados períodos de chuvas espaçadas, mas as médias são mais altas do que as do ano anterior.

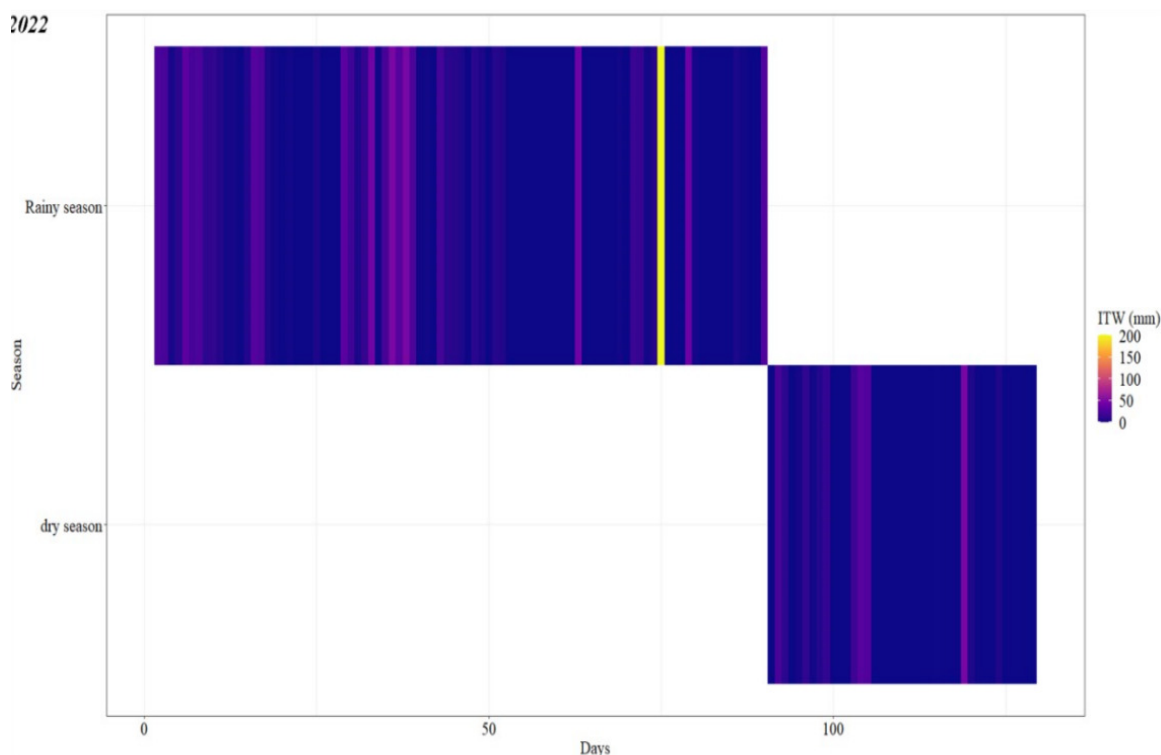


Figura 25. Representação na forma de *heatmap* das chuvas no ano de 2022, nas estações seca e chuvosa, registrada na ITWH1080 para a área do PNI.

Embora tenham sido comparados dados estimados pelo sensor CHIRPS e registrados pela ITWH1080 apenas de 2021 e 2022, nas estações chuvosa e seca, é possível inferir que a utilização de informações de precipitação pluviométrica a partir de sensores remotos, para a parte baixa do PNI e seu entorno, é uma alternativa diante da carência de informações sobre a intensidade e frequência das chuvas. Esses dados são importantes para avaliar o potencial natural de erosão das chuvas sobre os solos e também prevenir consequências negativas de eventos climáticos extremos.

5. CONCLUSÕES

O uso dos dados de precipitação do CHIRPS se mostrou uma alternativa para as medições e análises do comportamento das chuvas na parte baixa do Parque Nacional do Itatiaia. Como evidência, a observação empírica das linhas dos gráficos de chuvas nos períodos secos e chuvosos, notando-se que o CHIRPS apresenta a tendência de subestimar ou superestimar os dados quando agrupados desta forma. Assim, apesar do total de precipitação pluviométrica da ITWH1080 ser maior, as métricas estatísticas mostraram bons valores de correlação.

Conclui-se que os períodos de sazonalidade secas e chuvosas dentro da série anual foram onde os conjuntos mostraram melhor correlação, o que corrobora a principal função do CHIRPS, que é averiguar os períodos de estiagem e os de alta pluviosidade. É neste conjunto em que os dados observados da ITWH quando correlacionados tornam o CHIRPS uma importante ferramenta para os estudos de precipitação no contexto de unidades de conservação em regiões montanhosas. O CHIRPS foi capaz de responder bem aos índices de precipitação pluviométrica, com algumas disparidades que são explicáveis no ambiente em estudo, com presença de cobertura florestal, em especial na parte baixa do PNI, forte e recorrente presença de nuvens e a complexidade do terreno.

Ressalta-se que o CHIRPS é amplamente utilizado no Brasil e no mundo, porém, a sua validação em uma Unidade de Conservação (UC), importante no cenário nacional e no Bioma Floresta Atlântica como o PNI, é um estudo original. Assim, muitos trabalhos futuros podem ser desenvolvidos neste viés para áreas do PNI e outras UCs em ambiente similar, tendo a precipitação estimada como fonte para estudos ambientais e sobre resiliência ou degradação dos solos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil apresenta carência de dados de precipitação pluviométrica armazenados ao longo de muitos anos, fator limitante a medição para caracterização espaço-temporal das chuvas nas diversas regiões do país (TRINDADE et al., 2016). Com isso, os dados atmosféricos estimados por satélites e sensores se apresentam como alternativas para compor os modelos.

A partir dos resultados da validação dos dados CHIRPS para a Parte Baixa do PNI, o conjunto de precipitação pluviométrica de 10 anos pode ser usado como referencial para análises que correlacionem o comportamento das chuvas e os atributos dos solos quanto ao grau de suscetibilidade a erosão em áreas montanhosas.

As séries de precipitação pluviométrica validadas neste estudo podem vir a serem usadas em próximas pesquisas para compor variáveis da Equação Universal de Perdas de Solos, como o fator R. Conforme Wischmeier & Smith (1958) os valores de chuva podem ser usados para se avaliar os fatores que causam a erosão hídrica em determinados tipos de solos, e a perda de solos poderia ser quantificada pela Equação Universal de perdas de Solo (USLE) que tem a chuva (R) como fator de erosividade dentro da equação.

Algumas classes de solos são mais vulneráveis a erosão por suas características intrínsecas e associadas à declividade e cobertura vegetal. Os Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos, encontrados em boa parte da região serrana do Estado do Rio de Janeiro e de ocorrência comum no PNI, são potencialmente mais suscetíveis à erosão, ainda mais quando associados a áreas declivosas e com menor cobertura vegetal (OLIVEIRA-FILHO et al., 2014). Nesse sentido, conhecer o comportamento das chuvas e outras variáveis atmosféricas em áreas protegidas podem auxiliar no monitoramento e identificação das suscetibilidades e fragilidades dos ecossistemas e dos solos, principalmente para a gestão das áreas de borda que normalmente estão sob maior pressão antrópica (SANTOS, 2018).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAMAS, A. D.; PARSONS, A. J.; LUK, S. Respostas hidrológicas e sedimentares à chuva simulada em encostas desérticas no sul do Arizona. **Catena**, v. 15, n. 2, p. 103-117, 1988.
- ALLISON, F. E. **Matéria orgânica do solo e seu papel na produção agrícola**. Elsevier, 1973.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L. de; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE, M. D.; DELGADO, R. L. C.; ÁVILA RODRIGUES, R. de; TEODORO, P. E.; SILVA JUNIOR, C. A. da; PEREIRA, M. S. G. Evaluation of the MOD11A2 product for canopy temperature monitoring in the Brazilian Atlantic Forest. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 1, p. 1-20, 2021.
- ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G. How is soil erosion evaluated in the land capability systems used in Brazil? In: GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL EROSION, 19., 2019, Roma. **Proceedings Global Symposium on Soil Erosion**. Roma: FAO, v. 1, p. 334-338, 2019.
- ARAUJO, N. A.; GUETTER, A. K. Validação da chuva estimada por satélite "CMORPH" na modelação hidrológica do Alto Iguaçu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 189-198, 2007.
- ARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, p. 83-96, 2008.
- AXIMOFF, I.; RODRIGUES, R. C. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 83-92, 2011.
- AXIMOFF, I. A.; ALVES, R. G.; RODRIGUES, R. de C. Campos de Altitude do Itatiaia: aspectos ambientais, biológicos e ecológicos. **Boletim de Pesquisas do Parque Nacional do Itatiaia**, Rio de Janeiro, 100 p., 2014.
- BAI, L. Precisão dos produtos de chuva de satélite CHIRPS sobre a China continental. **Sensoriamento Remoto**, v. 10, n. 3, p. 362, 2018.
- BARBOSA, I. C. C.; SILVA, E. R. M. da; SILVA, H. J. F. da; COSTA, L. G. S. de; VITORINO, M. I.; SOUSA, A. M. L. de. Avaliação da precipitação baseada em dados CHIRPS e GPCC com medições de superfície da sub-bacia do Rio Guamá no Nordeste do Pará. **Ciência e Natura**, v. 42, p. 1-28, 2020.
- BARRETO, C. G.; CAMPOS, J. B.; ROBERTO, D. M.; SCHWARZSTEIN, N. T.; ALVES, G. S. G.; COELHO, W. **Plano de Manejo do Parque Nacional do Itatiaia**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 491 p., 2013.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora UFRGS, p. 177-233, 2001.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio

Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 73-84, 2014.

BRAGA, A. S.; BRAGA, S. M.; FERNANDES, C. da V. S. Estações meteorológicas automáticas: relato de uma experiência com sensores independentes em bacia experimental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2011. **Anais...** p. 1-16, 2011.

CAMINHOS GEOLÓGICOS. **Mapa geológico simplificado do Estado do Rio de Janeiro**. Projeto Caminhos Geológicos, 2013.

CARDOSO, R. P.; ANJOS, R. M.; MUNIZ, M. C.; FELIZARDO, J. P.; MARQUES, A. N. Using fingerprint methods to implement effective strategies for management, sustainable use and conservation of the Brazilian Atlantic Forest ecosystems. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL EROSION, 19., 2019, Roma. **Proceedings Global Symposium on Soil Erosion**. Roma: FAO, v. 1, p. 202-206, 2019.

CARVALHO, D. F.; DURIGON, V. F.; ANTUNES, M. A. H.; ALMEIDA, W. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 3, 2014.

CASTELHANO, F. J.; PINHEIRO, G. M.; ROSEGHINI, W. F. F. Correlação entre precipitação estimada por satélite e dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos. **Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 64, p. 179-192, 2017.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.

CORREIA, A.; CASTANHO, A. A.; MARTINS, V.; LONGO, K. Produto de aerossóis. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Orgs.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 2, p. 297-314, 2013.

COSTA, A. O.; SALGADO, C. M.; DIANALI, Y. T. Caracterização da precipitação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul Fluminense (RJ). **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 9, p. 1000-1013, 2012.

COSTA, E. M. **Caracterização de solos e avaliação da vulnerabilidade de ambientes no Parque Nacional de Itatiaia, Brasil**. 2019. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, n. 2, p. 228-243, 2019.

DE PLOEY, J.; POESEN, J. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. In: RICHARDS, K. S.; ARNETT, R. R.; ELLIS, S. (Eds.). **Geomorphology and soils**. p. 99-120, 1985.

DELGADO, R. C.; PEREIRA, M. G.; TEODORO, P. E.; SANTOS, G. L.; CARVALHO, D. C. de; MAGISTRALI, I. C.; VILANOVA, R. S. Sazonalidade da produção primária bruta na Mata Atlântica do Brasil. **Ecologia e Conservação Global**, v. 14, p. 392, 2018.

DINKU, T.; FUNK, C.; PETERSON, P.; MAIDMENT, R.; TADESSE, T.; GADAIN, H.; CECCATO, P. Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates over eastern Africa. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 144, p. 292-318, 2018.

ELWELL, H. A.; STOCKING, M. A. Cobertura vegetal para estimar o risco de erosão do solo na Rodésia. **Geoderma**, v. 15, n. 1, p. 61-70, 1976.

EVANS, R. Water erosion in British farmers' fields - some causes, impacts, predictions. **Progress in Physical Geography**, v. 14, n. 2, p. 199-219, 1990.

FAO. **Proceedings of the Global Symposium on Soil Erosion 2019**. Rome, 2019.

FARIAS, O. G. **Interpoladores híbridos e não híbridos aplicados com dados CHIRPS e de estações pluviométricas na região montanhosa do litoral sul fluminense**. 2019. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

FARMER, E. E. Destacabilidade relativa de partículas do solo por chuva simulada. **Soil Science Society of America Journal**, v. 37, n. 4, p. 629-633, 1973.

FARRES, P. J. The role of time and aggregate size in the crusting process. **Earth Surface Processes**, n. 3, p. 243-254, 1978.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: novas superfícies climáticas de resolução espacial de 1 km para áreas terrestres globais. **Revista Internacional de Climatologia**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017.

FIGUEIREDO, D. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **São Paulo**, 2005.

FINNEY, H. J. Um modelo preditivo para a avaliação do risco de erosão do solo. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 30, p. 245-253, 1984.

FRANCIS, C. Soil erosion and organic matter losses on fallow land: a case study from South-East Spain. In: BOARDMAN, J.; FOSTER, I. D. L.; DEARING, J. A. (Eds.). **Soil erosion on agricultural land**. p. 331-338, 1984.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Manejo do solo: problemas e soluções**. Routledge, 2014.

FUNK, C. P. P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 150066, 2015.

GALDINO, S.; WEILL, M. A. M. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari - MS/MT. In:

SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3., 2010, Cáceres. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 260-269, 2010.

GOMES, J. H. G.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos. Measuring gullies and evaluating soil properties in a mountainous region of Rio de Janeiro State, Brazil. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL EROSION, 19., 2019, Roma. **Proceedings Global Symposium on Soil Erosion**. Roma: FAO, v. 1, p. 48-53, 2019.

GREENLAND, D. L.; RIMMER, D.; PAYNE, D. Determination of the structural stability class of English and Welsh soils using a water coherence test. **Journal of Soil Science**, n. 26, p. 294-303, 1975.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 4, p. 139-152, 2016.

GUO, H.; BAO, A.; LIU, T.; NDAYISABA, F.; HE, D.; KURBAN, A. Meteorological drought analysis in the Lower Mekong Basin using satellite-based long-term CHIRPS product. **Sustainability**, v. 9, n. 6, p. 901, 2017.

HABITOU, N. Dados abertos de precipitação CHIRPS para monitoramento de secas: aplicação à bacia de Tensift, Marrocos. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 14, n. 3, p. 034526, 2020.

HAMBLIN, A. P.; DAVIES, D. B. Influence of organic matter on the physical properties of some East Anglian soils of high silt content. **Journal of Soil Science**, n. 28, p. 11-22, 1977.

HSU, J.; HUANG, W. R.; PY, L.; LI, X. Validation of CHIRPS precipitation estimates over Taiwan at multiple timescales. **Remote Sensing**, v. 13, n. 2, p. 254, 2021.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. Batsford, 312 p., 1961.

IPCC. **Mudanças Climáticas 2022: Mitigação das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho III ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Geodiversidade, geoturismo e geoconservação: conceitos, teorias e métodos. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, p. 151-174, 2016.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R. E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, Nov. p 3 –15, 2002.

KOUTSOYIANNIS, D. Nonstationarity vs scaling in hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 324, p. 239-254, 2006.

KRAMER, L. A.; MEYER, L. D. Pequenas quantidades de cobertura morta reduzem a erosão do solo e a velocidade de escoamento. **Operações da ASAE**, v. 12, n. 5, p. 638-641, 1969.

LATORRE, M. L.; ANDERSON, L. O.; YOSIO, E. S.; OSMAR, A. C. J. Sensor MODIS: características gerais e aplicações. **Espaço e Geografia**, v. 6, n. 1, p. 91-121, 2003.

MACCARINI, T. B.; SILVA, A. da. Uma relação entre o código florestal brasileiro e os desastres naturais. **Revista Ordem Pública**, v. 9, p. 223-233, 2016.

MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, v. 21, p. 5-18, 2009.

MEDEIROS, A. S. **Influência do uso da terra sobre o comportamento da matéria orgânica do solo e o estoque de carbono, Parque Nacional do Itatiaia - RJ**. 2019. 242 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, n. 35, p. 299-319, 1984.

MORGAN, R. P. C. Establishment of plant cover parameters for modeling splash and detachment. In: SWAIFY, S. A.; MOLDENHAUER, W. C.; LO, A. (Eds.). **Soil Erosion and Conservation**. p. 377-383, 1985.

MORGAN, R. P. C. Soil degradation and erosion as a result of agricultural practice. In: RICHARDS, K. S.; ARNETT, R. R.; ELLIS, S. (Eds.). **Geomorphology and soils**. p. 379-395, 1984.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3. ed. Inglaterra: Blackwell Publishing, 304 p., 2005.

NAWAZ, M.; IQBAL, M. F.; MAHMOOD, I. Validation of CHIRPS satellite-based precipitation dataset over Pakistan. **Atmospheric Research**, v. 248, p. 1-20, 2021.

NETO, R. M. Geomorfologia e geossistemas: influências do relevo na definição de unidades de paisagem no Maciço Alcalino do Itatiaia (MG/RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 4, 2016.

NOGUEIRA, S. C.; MOREIRA, M.; VOLPATO, M. L. Evaluating precipitation estimates from Eta, TRMM and CHIRPS data in the South-Southeast region of Minas Gerais State - Brazil. **Remote Sensing**, v. 10, n. 3, p. 313, 2018.

OLIVEIRA, B. R. U.; VILELA, A. L. M.; PINTO, L. A.; OLIVEIRA, M. F. A.; CARRIONE, R. M.; PEREIRA, C. R. Avaliação da precipitação pluviométrica e sua influência no ecossistema da Serra do Mar. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. **Anais...** p. 1-2, 2007.

OLIVEIRA, D. E. **Participação dos sistemas atmosféricos na gênese e ritmo das chuvas na bacia hidrográfica do rio Preto - MG/RJ, anos de 2006, 2007, 2008**. 2016. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

OLIVEIRA, D. E. de; ASSIS, D. C. de; PIMENTEL, F. O.; FERREIRA, C. C. M. Aspectos topoclimáticos da Serra de Itatiaia - um esboço para as vertentes da bacia hidrográfica do rio Preto, MG/RJ. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 235, 2018.

OLIVEIRA, F. P. de; BUARQUE, D. C.; VIERO, A. C.; MERTEN, G. H.; CASSOL, E. A.; MINELLA, J. P. G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 337-346, 2012.

OLIVEIRA FILHO, A. T. Floristic composition and structure of an upper montane cloud forest in the Serra da Mantiqueira Mountain Range of Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 3, p. 456-464, 2014.

PALHARINI, R. S. A.; VILA, D. A.; RODRIGUES, D. T.; PALHARINI, R. C.; MATTOS, E. V.; PEDRA, G. U. Avaliação de estimativas de chuvas extremas baseadas em satélite: análise regional. **Sensoriamento Remoto Aplicado à Sociedade e Ambiente**, 23 p., 2021.

PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V. Validando estimativas de precipitação de satélite baseadas em CHIRPS no Nordeste do Brasil. **Journal of Arid Environments**, v. 139, p. 26-40, 2017.

PELINSON, D.; FAN, F. M.; RUHOFF, A. L.; PAIVA, R. C. D. Análise comparativa da diferença do índice de precipitação padronizado (SPI) utilizando dados de estação pluviométrica e sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 24., 2021, Belo Horizonte. **Anais [recurso eletrônico]**. Porto Alegre: ABRHidro, 2021.

PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; NEGREIROS, A. B.; ZANIN, G. D.; COSTA, J. C.; LIMA, T. E. R.; RUFINO, P. R.; RAMOS, R. C. Análise da variabilidade da precipitação para o estado de Minas Gerais (1981-2017). **Revista Brasileira de Meteorologia**, edição especial, n. 14, p. 213-229, 2018.

POESEN, J. Experimentos de chuva sobre a erodibilidade de sedimentos soltos. **Processos da Superfície da Terra e Formas do Relevo**, v. 6, n. 3-4, p. 285-307, 1981.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; ALMEIDA, L. T.; GENEROSO, T. N.; MONTEIRO, L. I. B. Variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens SENTINEL-2A. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, p. 1884-1893, 2017.

RODRIGUES, K. R. **Geoambientes e solos em ambientes altimontanos nos parques nacionais de Itatiaia e Caparaó - MG**. 2011. 124 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

ROSENDO, D. S.; ROSA, J. R. O uso de sensores de resolução moderada (MODIS) no estudo da vegetação na bacia do rio Araguari - MG. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 33, p. 91-104, 2005.

SANTORO, J. Erosão continental. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (Org.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, cap. 4, p. 53-70, 2009.

SANTOS, B. C. dos; SANCHES, R. G.; MOREIRA, R. M.; BOURSCHEIDT, V.; HENRIQUE, P. Análise espaço-temporal da precipitação na região central do estado de São Paulo utilizando dados CHIRPS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 2582-2600, 2022.

SANTOS, P. T. **Planejamento ambiental de unidades de conservação: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Claro, Goiás**. 2018. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2018.

SANTOS, R. F. Mapeamentos temáticos: vegetação, uso e ocupação da Terra. In: **Caderno FBDS 3: O Parque Nacional do Itatiaia**. Brasília: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), p. 40-49, 2000.

SANTOS JÚNIOR, O.; MALDANER, S.; MIRANDA, P. B.; GOEHRING, R.; FERREIRA, P. A. A. Precipitation estimates analysis: a review. **Ciência e Natura**, n. 40, p. 267-271, 2018.

SHRESTHA, N. K.; QAMER, F. M.; PEDREROS, D.; MURTHY, M. S. R.; WAHID, S. M.; SHRESTHA, M. Avaliando a precisão das estimativas de precipitação por satélite do Climate Hazard Group (CHG) para monitoramento de seca baseado em precipitação na bacia de Koshi, Nepal. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, n. 13, p. 138-151, 2017.

SILVA, E. R. M.; BARBOSA, I. C. C.; SILVA, H. J. F.; COSTA, L. G. S.; ROCHA, E. J. P. Análise do desempenho da estimativa de precipitação do produto CHIRPS para sub-bacia do rio Apeú, Castanhal - PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1094-1105, 2020.

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C. P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014.

SOARES, P. F. C.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; PESSENDA, L. C. R. Histosols in an upper montane environment in the Itatiaia Plateau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

SOBRAL, B. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; TERASSI, P. M. B.; MUNIZ JUNIOR, J. G. R. Variabilidade espaço-temporal e anual da chuva no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 281-308, 2018.

STUCHI, J. F.; ANDRADE, A. G. de; GONZÁLES, D. G. National Plan participatory construction against Soil Erosion in Brazil. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL EROSION, 19., 2019, Roma. **Proceedings Global Symposium on Soil Erosion**. Roma: FAO, p. 513-519, 2019.

SUN, W. Y.; SONG, X. Y.; MU, X. M.; GAO, P.; WANG, F.; ZHAO, G. J. Spatiotemporal vegetation cover variations associated with climate change and ecological restoration in the Loess Plateau. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 210, p. 87-99, 2015.

SYSTEMS, **Tycon Power. Easy Weather.** 2023. Disponível em: <https://easyweather.software.informer.com/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

TACKETT, J. L.; PEARSON, R. W. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 28, n. 5, p. 600-605, 1964.

TERASSI, P. M. D. B.; GALVANI, E. O efeito orográfico da Serra do Mar e o potencial erosivo das chuvas nas bacias hidrográficas do Ribeira e Litorânea - Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 327-345, 2017.

TITO, T. M. **Estimativas de evapotranspiração através de sensoriamento remoto e métodos empíricos para o Estado do Rio de Janeiro e Parque Nacional do Itatiaia.** 2019. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

TITO, T. M.; DELGADO, R. C.; CARVALHO, D. C. de; TEODORO, P. E.; ALMEIDA, C. T. de; SILVA JÚNIOR, C. A. da; SILVA JÚNIOR, L. da. Avaliação de estimativas de evapotranspiração com base em dados de superfície e satélite e sua relação com El Niño-Oscilação Sul no Estado do Rio de Janeiro. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 7, p. 1-15, 2020.

TOMZHINSKI, G. W. **Análise geocológica dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia.** 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S.; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 12, p. 1918-1928, 2016.

UC SANTA BÁRBARA. **CHIRPS:** estimativas de precipitação de pluviômetro e observações de satélite. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>. Acesso em: 5 maio 2022.

VASCONCELOS, M. F. de. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? **Revista Brasileira de Botânica**, v. 34, p. 241-246, 2011.

VERHAEGEN, T. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soils: a study based on rainfall simulations/experiments. **Earth Surface Processes and Landforms**, n. 9, p. 499-507, 1984.

VEYRET, Y. O risco, os riscos. In: VEYRET, Y. **Os Riscos:** o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, cap. 1, p. 19, 2007.

VISCHI FILHO, O. J.; KANNO, O. Y.; PENTEADO, R. B.; ARABORI, R. M.; CALDAS, J. F. B.; QUIESSI, J.; CAMARGO, M. B. Agricultural defense of Sao Paulo: twelve years of soil preservation and rehabilitation at the Rio do Peixe watershed, promoting conservation

agriculture. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL EROSION, 19., 2019, Roma. **Proceedings Global Symposium on Soil Erosion**. Roma: FAO, v. 1, p. 461-467, 2019.

VORONEY, R. P.; VEEN, J. A.; PAUL, E. A. Organic carbon dynamics in grassland soils. II. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. **Canadian Journal of Soil Science**, n. 61, p. 211-224, 1981.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions - American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 33, n. 1, p. 131-137, 1969.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Declaração sobre o estado do clima global em 2017**. 2018. Disponível em: <https://news.un.org/pt/tags/omm?f%5B0%5D=date%3A2018>. Acesso em: 20 fev. 2022.

8. ANEXOS

8.1 SCRIPT para obtenção de dados diários de precipitação do CHIRPS no software R studio ©

```
#####  
  
#https://github.com/ropensci/chirps  
#####  
  
#####INSTALAR BIBLIOTECAS#####  
install.packages("chirps")  
  
library("remotes")  
  
install_github("ropensci/chirps", build_vignettes = TRUE)  
  
library("chirps")  
library(tidyverse)  
library(purrr)  
library(readr)  
library(scales)  
library(hrbrthemes)  
#####  
  
#PASTA ONDE ENCONTRA-SE O SCRIPT E OS DADOS QUE SERÃO SALVOS FUTURAMENTE  
  
setwd ("C:/Users/ /Documents/SCRIPTS CHIRPS")  
  
dates = c("0000-00-00","0000-00-00")
```

```
lonlat = c(-xx.x, -xx.x)
names(lonlat) <- c("lon", "lat")

dat<-get_chirps(object = data.frame(as.list(lonlat)),
  dates = dates,
  server = "ClimateSERV")

#LOCAL PARA SALVAR O ARQUIVO DAT

setwd ("C:/Users/    /Documents/SCRIPTS CHIRPS")

#SALVANDO O ARQUIVO EM .CSV

write.csv(dat, "Precano.csv")
```

Informações em negrito: **setwd** = local onde os arquivos serão salvos, indica-se copiar o endereço da pasta diretamente do caminho do diretório; **dates**= período de tempo inicial e final do conjunto de dados de precipitação; **lonlat**= longitude e latitude do local escolhido para estimar a precipitação, indica-se observar os sinais (+/-) usados para definir os hemisférios; **write**= nome do arquivo que deseja ser salvo.

Tabela 4. Dados primários de precipitação estimada pelo CHIRPS e observadas pela ITWH1080 no período de 10/05/2021 a 10/05/2022.

Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)
10/05/2021	0	0	09/08/2021	0	0	09/11/2021	0	8,0	09/02/2022	0,6	0
11/05/2021	0	0	10/08/2021	0	0	10/11/2021	1,8	0	10/02/2022	0,9	0
12/05/2021	0	0	11/08/2021	0	0	11/11/2021	6,6	18,0	11/02/2022	0	0
13/05/2021	17,1	0	12/08/2021	0	0	12/11/2021	7,2	0	12/02/2022	20,1	6,7
14/05/2021	0	0	13/08/2021	3	4,7	13/11/2021	0,3	0	13/02/2022	8,1	0
15/05/2021	2,4	0	14/08/2021	8,7	0	14/11/2021	0	0	14/02/2022	7,8	0
16/05/2021	0	0	15/08/2021	0	0	15/11/2021	0	0	15/02/2022	4,8	13,2
17/05/2021	0	0	16/08/2021	46,2	11,2	16/11/2021	0	0	16/02/2022	0	0
18/05/2021	0	0	17/08/2021	0,3	0	17/11/2021	0	0	17/02/2022	8,1	0
19/05/2021	0	0	18/08/2021	0	0	18/11/2021	3,6	0	18/02/2022	3,9	42,1
20/05/2021	0	0	19/08/2021	0	0	19/11/2021	38,4	59,9	19/02/2022	0	25,0
21/05/2021	0	0	20/08/2021	0	0	20/11/2021	14,1	0	20/02/2022	7,2	0
22/05/2021	1,5	0	21/08/2021	0	0	21/11/2021	0	0	21/02/2022	5,4	0
23/05/2021	0	0	22/08/2021	0	0	22/11/2021	0	0	22/02/2022	0	12,4
24/05/2021	0	5,2	23/08/2021	0	0	23/11/2021	0	0	23/02/2022	0	0
25/05/2021	0	0	24/08/2021	0	0	24/11/2021	0	0	24/02/2022	0	0
26/05/2021	0	0	25/08/2021	0	0	25/11/2021	0	0	25/02/2022	0	0
27/05/2021	0	0	26/08/2021	0	0	26/11/2021	4,8	19,3	26/02/2022	0	0
28/05/2021	0	0	27/08/2021	0	0	27/11/2021	0	0	27/02/2022	0	0
29/05/2021	0,6	21,0	28/08/2021	1,5	0	28/11/2021	0	0	28/02/2022	0	0

Continua...

Continuação da **Tabela 4.**

Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)
30/05/2021	8,7	21,0	29/08/2021	2,7	0	29/11/2021	0	0	01/03/2022	0	0
31/05/2021	9,3	0	30/08/2021	6,3	1,0	30/11/2021	21,6	27,0	02/03/2022	0	0
01/06/2021	0	2,6	31/08/2021	4,8	0	01/12/2021	2,4	0	03/03/2022	0	0
02/06/2021	0	0	01/09/2021	4,2	0	02/12/2021	5,4	0	04/03/2022	43,8	54,9
03/06/2021	0	0	02/09/2021	0	0	03/12/2021	0	0	05/03/2022	0	8,2
04/06/2021	0	0	03/09/2021	0	0	04/12/2021	1,5	0	06/03/2022	0	3,2
05/06/2021	0	0	04/09/2021	0	0	05/12/2021	12	39,9	07/03/2022	0	0
06/06/2021	0	0	05/09/2021	0	0	06/12/2021	7,5	0	08/03/2022	0	0
07/06/2021	27,3	4,5	06/09/2021	0	0	07/12/2021	46,5	0	09/03/2022	0	0
08/06/2021	0	6,1	07/09/2021	0	0	08/12/2021	21	0	10/03/2022	1,2	0
09/06/2021	0	0	08/09/2021	1,5	0	09/12/2021	2,4	0	11/03/2022	0	0
10/06/2021	0	0	09/09/2021	10,5	0	10/12/2021	0	0	12/03/2022	15,3	0
11/06/2021	0,3	0	10/09/2021	3,9	3,6	11/12/2021	0	0	13/03/2022	12,6	0
12/06/2021	0	0	11/09/2021	1,5	0,6	12/12/2021	3,6	24,4	14/03/2022	1,2	0
13/06/2021	0	0	12/09/2021	3,3	9,3	13/12/2021	12,9	8,2	15/03/2022	6,6	37,6
14/06/2021	0	0	13/09/2021	0	0	14/12/2021	5,4	8,9	16/03/2022	201	18,7
15/06/2021	0	0	14/09/2021	0	1,5	15/12/2021	1,5	21,8	17/03/2022	0	0
16/06/2021	0	0	15/09/2021	0	0,8	16/12/2021	43,5	57,2	18/03/2022	0	0
17/06/2021	0	0	16/09/2021	1,8	0	17/12/2021	47,1	43,7	19/03/2022	0	0
18/06/2021	0	0	17/09/2021	1,5	0	18/12/2021	7,5	0	20/03/2022	42	0
19/06/2021	0	0	18/09/2021	0,3	0	19/12/2021	0	0	21/03/2022	1,2	0
20/06/2021	0	0	19/09/2021	0	0	20/12/2021	0	0	22/03/2022	0	0
21/06/2021	0	0	20/09/2021	0	0	21/12/2021	0,9	0	23/03/2022	0	0

Continua...

Continuação da **Tabela 4.**

Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)
22/06/2021	3,3	0	21/09/2021	0	0	22/12/2021	22,5	5,5	24/03/2022	0	0
23/06/2021	0	3,5	22/09/2021	0	0	23/12/2021	7,8	7,8	25/03/2022	0	0
24/06/2021	0	0	23/09/2021	0	0	24/12/2021	0	0	26/03/2022	0	0
25/06/2021	0	0	24/09/2021	0	0	25/12/2021	0	0	27/03/2022	3,3	0
26/06/2021	0	0	25/09/2021	4,2	5,7	26/12/2021	0	0	28/03/2022	0,6	0
27/06/2021	0	0	26/09/2021	0	4,2	27/12/2021	12,3	2,0	29/03/2022	0	11,8
28/06/2021	0	0	27/09/2021	0	0	28/12/2021	30,9	8,0	30/03/2022	0	0
29/06/2021	0	0	28/09/2021	0	0	29/12/2021	0	0	31/03/2022	28,5	11,8
30/06/2021	2,4	0	29/09/2021	10,2	4,2	30/12/2021	59,1	27,8	01/04/2022	0	0
01/07/2021	0	0	30/09/2021	0	0	31/12/2021	10,2	27,0	02/04/2022	22,8	0
02/07/2021	0	0	01/10/2021	10,8	15,2	01/01/2022	15,9	23,7	03/04/2022	9,6	0
03/07/2021	0	0	02/10/2021	4,5	8,6	02/01/2022	25,5	0	04/04/2022	0	0
04/07/2021	0	0	03/10/2021	18	8,6	03/01/2022	22,8	17,36	05/04/2022	1,8	71,3
05/07/2021	0	0	04/10/2021	10,8	35,4	04/01/2022	2,7	0	06/04/2022	11,1	0
06/07/2021	0	1,7	05/10/2021	3	0	05/01/2022	8,4	20,7	07/04/2022	0,9	0
07/07/2021	0	0	06/10/2021	1,8	0	06/01/2022	33,9	19,1	08/04/2022	5,7	0
08/07/2021	0	0	07/10/2021	7,8	14,2	07/01/2022	21,6	11,9	09/04/2022	12,3	71,4
09/07/2021	0	0	08/10/2021	3,3	0	08/01/2022	24	0	10/04/2022	0	8,1
10/07/2021	0	0	09/10/2021	4,2	0	09/01/2022	9,3	0	11/04/2022	0	0
11/07/2021	0	0	10/10/2021	23,7	14,2	10/01/2022	11,7	15,5	12/04/2022	0	1,7
12/07/2021	0	0	11/10/2021	39,3	25,5	11/01/2022	6,3	0	13/04/2022	17,1	0
13/07/2021	0	0	12/10/2021	6,9	0	12/01/2022	1,2	0	14/04/2022	29,4	0
14/07/2021	0	0	13/10/2021	0,3	0	13/01/2022	2,1	30,6	15/04/2022	27	0

Continua...

Continuação da **Tabela 4.**

Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)	Datas	ITWH (mm)	CHIRPS (mm)
15/07/2021	0	0	14/10/2021	0	4,1	14/01/2022	0	12,8	16/04/2022	0	0
16/07/2021	0	0	15/10/2021	0	25,6	15/01/2022	6	12,8	17/04/2022	0	0
17/07/2021	0	0	16/10/2021	17,4	46,6	16/01/2022	28,8	16,6	18/04/2022	0	0
18/07/2021	0	0	17/10/2021	7,5	0	17/01/2022	25,2	16,6	19/04/2022	0	0
19/07/2021	0	0	18/10/2021	12,3	5,0	18/01/2022	3,6	16,6	20/04/2022	0	0
20/07/2021	0	0	19/10/2021	14,4	0	19/01/2022	1,2	14,2	21/04/2022	0	0
21/07/2021	0	0	20/10/2021	18	0	20/01/2022	0	11,1	22/04/2022	0	0
22/07/2021	0	0	21/10/2021	0	0	21/01/2022	1,2	0	23/04/2022	0	0
23/07/2021	0	3,2	22/10/2021	0,6	0	22/01/2022	0	0	24/04/2022	0	0
24/07/2021	0	0	23/10/2021	0	0	23/01/2022	0	0	25/04/2022	0,3	0
25/07/2021	0	0	24/10/2021	16,2	53,1	24/01/2022	0	0	26/04/2022	0	0
26/07/2021	0	0	25/10/2021	11,4	0	25/01/2022	4,2	0	27/04/2022	0	0
27/07/2021	0	0	26/10/2021	4,8	19,1	26/01/2022	0	0	28/04/2022	0	0
28/07/2021	22,5	5,4	27/10/2021	27,6	58,7	27/01/2022	0	0	29/04/2022	47,4	0
29/07/2021	0,3	0	28/10/2021	0,9	0	28/01/2022	0	0	30/04/2022	4,8	0
30/07/2021	0	0	29/10/2021	0	0	29/01/2022	32,7	21,0	01/05/2022	0,3	0
31/07/2021	0	0	30/10/2021	3,6	0	30/01/2022	18	0	02/05/2022	0	0
01/08/2021	0	0	31/10/2021	131,1	31,3	31/01/2022	3,3	19,6	03/05/2022	0	0
02/08/2021	0	0	01/11/2021	71,1	37,6	01/02/2022	12,9	0	04/05/2022	5,1	0
03/08/2021	0	5,7	02/11/2021	0	0	02/02/2022	44,1	2,6	05/05/2022	0	0
04/08/2021	0	0	03/11/2021	0	0	03/02/2022	0,6	15,5	06/05/2022	0	0
05/08/2021	0	0	04/11/2021	0	0	04/02/2022	21,6	32,4	07/05/2022	0	0
06/08/2021	0	0	05/11/2021	0	0	05/02/2022	47,7	50,1	08/05/2022	0	0
07/08/2021	0	0	06/11/2021	0	0	06/02/2022	29,4	72,2	09/05/2022	0	0
08/08/2021	0	5,1	07/11/2021	0	0	07/02/2022	47,7	24,1	10/05/2022	0	0
			08/11/2021	0	3,1	08/02/2022	24,3	0			