



Serviço Público Federal
Ministério da Educação



Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG

Duani Aparecida Lima Ferbônio Espíndola



**“Análise temporal de precipitação com teste de Mann-Kendall
entre os anos 1981 a 2020 em Corumbá MS”**

Campo Grande, MS.

2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

Duani Aparecida Lima Ferbônio Espíndola

**“Análise temporal de precipitação com teste de Mann-Kendall
entre os anos 1981 a 2020 em Corumbá MS”**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul como requisito a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues

Orientador PGTA- UFMS

Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado

Instituição UFMT

Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais

Instituição UNIC

Campo Grande, MS.

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço este trabalho à minha família, cujo apoio incondicional e fé em meus sonhos foram fundamentais para a realização desta conquista. Sou especialmente grata ao meu marido, Paulo Renato Espindola, que sempre acreditou em mim e me inspirou a seguir em frente na busca pelo conhecimento. À minha querida filha, Maia, que chegou ao mundo durante esta jornada, trazendo luz e motivação para que eu me torne uma pessoa melhor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues, sou profundamente grata pela orientação e pela sabedoria generosamente compartilhadas ao longo deste caminho acadêmico.

Por fim, dedico esta obra a Oxalá, o ser supremo, fonte de sabedoria e luz, que guia os passos daqueles que buscam a verdadeira harmonia. Que a força divina continue a iluminar meus caminhos e a inspirar minha jornada. Êpa babá!

Sumário

1. Introdução	8
2 Objetivo Geral	11
2.1 Objetivos específicos	11
3. Referencial teórico	12
3.1 Corumbá	12
3.2 Precipitação.....	13
3.3 Agência Nacional de Águas (ANA)	15
3.4 Uso de dados de satélites	15
3.5 CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations)	16
3.6 Análise de tendências teste de Mann-Kendall	17
4. Metodologia.....	19
4.1 Área de estudo	19
4.2 Dados Observados	20
4.3 Dados do satélite Chirps	21
5. Resultados e Discussão.....	24
5.1 Análise de dados	24
5.2 Precipitações estimada dado CHIRPS para período de 1981-2020.....	26
5.3 TESTE DE MANN-Kendall aplicado na região de Corumbá.....	29
6. Conclusões.....	35
7. Referências Bibliográficas.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica do município de Corumbá.	20
Figura 2 – Gráfico da precipitação em função dos meses do ano.	24
Figura 3 – Gráfico de correlação $R^2 = 0,82$ dos dados das estações ANA em função dos dados CHIRPS.	25
Figura 4 - Gráfico da série temporal precipitação para o período de1981-2020 Dados Chirps para o município de Corumbá-MS Fonte: Dados da pesquisa.	26
Figura 5. Distribuição espacial da precipitação média mensal para no período1981–2020 dados Chirps. Fonte: Autor (2022)	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações das estações meteorológicas.	21
Tabela 2 - Resultado da Análise de Tendência Mensal 40 anos (1981-2020).	30
Tabela 3 - Condições de "Chuva" e "Seco"(1981-2020).	31
Tabela 4 - Resultado da Análise de Tendência Anual (1981-2020).	31
Tabela 5 - Resultado da Análise de Tendência Mensal 2010-2020.	32
Tabela 6 - Condições de "Chuva" e "Seco" 2010-2020.	33
Tabela 7 - Resultado da Análise de Tendência Anual.	33

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação1- Equação da normal distribuída.	21
Equação 2- Equação da Variância.	22
Equação 3 – equação da distribuição de probabilidade da estatística.	22
Equação4- equação de tendência.	22

RESUMO

Este trabalho investigou a tendência de precipitação na região de Corumbá, MS, usando o teste de Mann-Kendall com dados de satélite CHIRPS entre 1981 e 2020. Corumbá, localizada no Pantanal, é uma região de interesse devido ao seu clima tropical e impactos socioeconômicos associados. A análise revelou que os dados de precipitação do CHIRPS têm boa correlação com os dados de estações meteorológicas locais. A tendência geral observada foi de aumento na precipitação anual ao longo dos anos, com variações significativas entre os anos. A análise mais detalhada de 2010 a 2020 mostrou uma tendência de redução na precipitação durante os meses chuvosos, sendo esta tendência estatisticamente significativa em alguns meses. Estes resultados são importantes para o planejamento de recursos hídricos e adaptação às mudanças climáticas na região.

Palavras-chave: CHIRPS, Dados de satélite, tendência, estações meteorológicas.

ABSTRACT

This study investigated the precipitation trend in the Corumbá region, MS, using the Mann-Kendall test with CHIRPS satellite data between 1981 and 2020. Corumbá, located in the Pantanal, is an area of interest due to its tropical climate and associated socioeconomic impacts. The analysis revealed that CHIRPS precipitation data have a good correlation with local meteorological station data. The overall trend observed was an increase in annual precipitation over the years, with significant variations between years. A more detailed analysis from 2010 to 2020 showed a trend of decreasing precipitation during the rainy months, with this trend being statistically significant in some months. These results are important for water resource planning and climate change adaptation in the region.

Keywords: chirps, satellite data, trend, meteorological stations.

1. Introdução

A precipitação é um dos principais elementos do ciclo hidrológico e desempenha um papel importante no fornecimento de água para os ecossistemas e atividades humanas. A diversidade climática do território brasileiro é muito grande, sendo causada pela geografia, extensão territorial, relevo e massas de ar. O município de Corumbá, situado no Pantanal brasileiro, é uma região de interesse para estudos de precipitação devido às suas características climáticas e impactos socioeconômicos.

Corumbá apresenta um clima tropical com uma estação chuvosa significativa, para a ecologia local e atividades econômicas, como pecuária e turismo. Conforme Oliveira e Marcuzzo (2016), os fenômenos El Niño e La Niña têm uma influência limitada na precipitação do Mato Grosso do Sul, mas quando presentes, El Niño está associado a um aumento nos dias chuvosos, enquanto La Niña está associado a uma redução.

Os dados de precipitação obtidos por satélite e devido à falta de informações das estações pluviométricas, limitando a modelagem e compreensão das características pluviométricas e a variabilidade espaço-temporal da precipitação. O estudo de processos de monitoramento por satélite é de grande importância para aplicações em eventos climáticos, onde o excesso ou a falta de chuva pode ser favorável ou prejudicial ao desenvolvimento da economia. Ajudando a melhorar a gestão da água tanto na indústria, agricultura e na geração de energia, é necessário realizar estudos sobre possíveis alterações nos eventos de precipitações intensos nos períodos secos e chuvosos. O conhecimento da precipitação é importante para questões sociais e climatológicas críticas (Blacutt et al., 2015).

A precipitação desempenha um papel na regulação dos fluxos de energia e matéria em ecossistemas tropicais, como demonstrado por diversos estudos na região sul do Mato Grosso. Rodrigues et al. (2016) exploraram a modelagem da condutância do dossel em um ecossistema de savana tropical, evidenciando variações sazonais significativas. Investigar a variação sazonal no balanço de energia e condutância do dossel, destacando as diferentes respostas ao clima ao longo do ano (Rodrigues et al. 2014). Higa et al. (2022) desenvolveram técnicas baseadas em aprendizado profundo para

o mapeamento de incêndios ativos no Pantanal brasileiro utilizando imagens do CBERS 04A. Incêndios florestais têm um impacto devastador na vegetação e no ciclo hidrológico, alterando os padrões de precipitação e contribuindo para a degradação ambiental.

Os desenvolvimentos de conjuntos de dados globais de precipitação de longo prazo são de importância para estudos climáticos e observações de satélite (Ashouri et al., 2015). A obtenção desses dados pode ser feita através de diversos dispositivos, como estações meteorológicas, sensores, satélites, balões e radares (Coutinho et al., 2018). Observa-se que há uma necessidade de estudos que envolvam novas bases de dados climatológicos espacialmente distribuídos, principalmente em áreas com poucas estações de monitoramento pluviométrico (Marinho & Rivera, 2021).

Produtos como os satélites CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) oferecem um conjunto de dados de precipitação quase global de mais de 30 anos, criado em colaboração com cientistas do USGS (United States Geological Survey) e do EROS (Earth Resources Observation and Science Center). As imagens de satélite fornecidas pelo CHIRPS têm uma resolução de $0,05^\circ$ e são um conjunto de dados completos, confiáveis e atualizados para vários objetivos de alertas precoces, como análise de tendências e monitoramento de secas sazonais ou períodos chuvosos. Esses dados fornecem uma grande distribuição espaço-temporal e são disponíveis para todo o globo (<https://chc.ucsb.edu/data/chirps>).

Conforme Costa et al. (2019), a validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil no período de 1998 a 2010 mostrou resultados confiáveis nas comparações. A utilização desses dados para regiões com baixa densidade de estações pluviométricas, proporcionando uma ferramenta valiosa para o monitoramento climático e a gestão de recursos hídricos.

O estudo das tendências de precipitação pode ser usado para entender as mudanças climáticas locais e suas implicações. Este trabalho utiliza análise estatística, o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), para identificar tendências anuais na precipitação pluvial em Corumbá, Mato Grosso do Sul. Os dados foram obtidos do banco de dados CHIRPS, cobrindo um período de 40 anos, de 1981 a 2020. A análise das tendências pode revelar mudanças significativas nos padrões de

precipitação, que são fundamentais para o planejamento de recursos hídricos, agricultura e mitigação de desastres naturais.

2 Objetivo Geral

Realizar teste de Mann-Kendall para detectar tendencia dos dados de precipitação obtidos do satélite CHIRPS para o município de Corumbá, MS, Brasil.

2.1 Objetivos específicos

- Pré-processamento digital dos dados;
- Validação estatística dos dados do CHIRPS;
- Análise de tendência espaço-temporal em escala anual da precipitação período de 40 anos (1981-2020).
- Análise de tendência espaço-temporal em escala anual da precipitação entre os anos de 2010 à 2020.

3. Referencial teórico

O desenvolvimento de conjuntos de dados globais de precipitação de longo prazo é uma prioridade para estudos climáticos e observações por satélite (ASHOURI et al. 2015). Esses dados podem ser obtidos por meio de várias fontes, incluindo estações meteorológicas, sensores, satélites, balões e radares (COUTINHO et al. 2018). Em regiões com poucas estações pluviométricas, como é o caso de Corumbá, Mato Grosso do Sul, há uma necessidade crescente de estudos que explorem novas bases de dados climatológicos espacialmente distribuídos (MARINHO & RIVERA 2021).

3.1 Corumbá

Corumbá, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, integra a vasta planície inundável do Pantanal. Este bioma é considerado uma Reserva da Biosfera e Patrimônio da Humanidade pela UNESCO devido à sua biodiversidade e importância ecológica (CARDOSO et al., 2011). A economia local é predominantemente impulsionada pela pecuária, especialmente a criação extensiva de bovinos, enquanto a agricultura é menos recomendada devido às enchentes periódicas e solos pouco férteis que caracterizam a região (CSR/IBAMA, 2011).

O clima de Corumbá é típico do Pantanal, com um regime de chuvas tropical que apresenta um total anual de precipitação variando entre 900 e 1400. A estação chuvosa ocorre de outubro a março, concentrando cerca de 80% das chuvas anuais, enquanto a estação seca vai de abril a setembro. A temperatura média anual é de 25,5°C, com variações entre máximas de 32°C e mínimas de 20°C (AYOADE, 2004). As máximas absolutas podem ultrapassar os 40°C, enquanto as mínimas podem cair abaixo de 10°C, ocasionalmente próximas de 0°C (INMET, 2014).

A baixa densidade de estações meteorológicas na região do Pantanal dificulta a coleta de dados climáticos precisos. A estação climatológica principal de Nhumirim, a única completa dentro da planície pantaneira, fornece dados de acordo com as normas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (EMBRAPA, 2008). A escassez de estações

e a falta de pessoal qualificado para realizar observações são desafios constantes (CSR/IBAMA, 2011).

Além disso, a cidade de Corumbá é estrategicamente importante devido à sua localização próxima à fronteira com a Bolívia e às margens do rio Paraguai. Este posicionamento geográfico faz com que Corumbá abranja 60% do Pantanal sul-mato-grossense, sendo um ponto crucial para o transporte e comércio na região (IBGE, 2015). A cidade também desempenha um papel vital na preservação da biodiversidade do Pantanal, abrigando diversas espécies vegetais e animais, e contribuindo para o equilíbrio ecológico da área (CARDOSO et al., 2011).

A exploração da vegetação natural para a expansão das pastagens é uma prática comum, mas que contribui para o desmatamento e a degradação dos ambientes naturais. Estudos têm mostrado que a supressão da vegetação nativa e a substituição por pastagens cultivadas impactam significativamente a qualidade do solo e a variabilidade climática local (CARDOSO et al., 2011). A expansão agrícola é limitada devido às características hidrológicas e edáficas do Pantanal, que influenciam diretamente as práticas de manejo e uso do solo na região (LIMA/COPPE, 2008).

3.2 Precipitação

A precipitação é uma variável climática de extrema relevância, influenciando diretamente a disponibilidade hídrica e o balanço hidrológico, elementos fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico e a gestão dos recursos hídricos. Nos últimos anos, pesquisadores dedicaram-se a investigar as tendências da precipitação, especialmente diante da crescente preocupação com a variabilidade temporal e espacial das chuvas, em parte devido às mudanças climáticas globais (SEVERO et al., 2019).

De acordo com Morais et al. (2024), o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO) desempenha um papel significativo na modulação da precipitação, especialmente no sul do bioma Amazônico, onde variações na temperatura da superfície do mar afetam diretamente a disponibilidade de umidade atmosférica e, conseqüentemente, os padrões de precipitação.

A análise dos dados de precipitações é essencial na produção agrícola, abrangendo desde o planejamento, plantio, dimensionamento de sistemas de irrigação até a colheita. Esse processo resulta em alimento, um dos fatores de sobrevivência da humanidade, além de contribuir para o desenvolvimento econômico e social (RICKLI, CATANEO & VIRGENS FILHO, 2008). O volume das chuvas foi utilizado como um dos critérios para delimitar uma nova região no nordeste do Brasil com um enorme potencial de produção agrícola, o SEALBA (PROCOPIO et al., 2019).

O equipamento meteorológico utilizado para medir a quantidade de chuva que cai da atmosfera durante um determinado período é o pluviômetro (OMM, 2010). Embora possua maior precisão devido à medição direta, no Brasil há uma alta escassez de dados de estações meteorológicas e falta de informações referentes à precipitação (COSTA et al., 2019).

Por ser uma medição pontual, existem várias irregularidades espaciais na representação de dados para grandes áreas, podendo não amostrar a variação de chuvas intensas em determinados locais (SALVIANO, 2020). Isso é especialmente evidente na região nordeste, que possui baixa densidade demográfica e é menos desenvolvida (COSTA et al., 2019). Além disso, os dados podem ser afetados por falhas dos equipamentos. Diante dessa realidade, obter dados pluviométricos por meio de formas indiretas, como o uso de técnicas de sensoriamento remoto, algoritmos interpolados e a utilização de satélites meteorológicos, torna-se uma alternativa para solucionar esse problema pela vantagem de obter dados com grande densidade temporal e espacial (DA SILVA, GERVILLA & VON RANDOW, 2019).

A utilização de pluviômetros artesanais também tem sido destacada como uma metodologia confiável na medição de precipitação, apresentando métodos e aplicações relevantes (DA SILVA, GERVILLA & VON RANDOW, 2019). Além disso, a análise comparativa de dados pluviométricos de satélite e de superfície é essencial para validar as estimativas e garantir a precisão dos dados utilizados em estudos climáticos e agrícolas (RABELO, SILVA SANTOS & SOUSA FILHO, 2022).

Em áreas urbanas, o aumento da precipitação pode representar desafios significativos para a infraestrutura e a gestão dos recursos hídricos. Estudos como o de Joseph et al. (2013) destacam a importância de melhorar a infraestrutura das cidades para lidar com essas mudanças climáticas e reduzir os riscos associados (JOSEPH et al., 2013).

3.3 Agência Nacional de Águas (ANA)

Agência Nacional de Águas (ANA) é responsável pela coordenação e gestão dos recursos hídricos no Brasil, conforme estabelecido pela Lei 9.984/2000. Entre suas atribuições está a supervisão das estações pluviométricas, que monitoram a precipitação de chuvas em diversas regiões do país. A ANA coordena mais de 4900 estações que monitoram variáveis como chuvas, níveis de água e qualidade da água em rios, lagos e reservatórios em todo o país, além de colaborar com estados e setores regulados para ampliar a abrangência e eficiência desse monitoramento. A Resolução nº 104 da ANA define normas técnicas para a operação e manutenção dessas estações, visando garantir a qualidade e confiabilidade dos dados coletados. Essas informações são essenciais para o planejamento hídrico, previsão de eventos climáticos e gestão sustentável dos recursos naturais, apoiando decisões em áreas como agricultura, segurança hídrica e impactos ambientais.

3.4 Uso de dados de satélites

Dados de precipitação estimados por satélite foram avaliados em diversas regiões para verificar sua precisão e aplicabilidade. Baz-Villanueva et al. (2018) realizaram uma avaliação espaço-temporal de estimativas de precipitação por satélite em diferentes regiões da América Latina. Da mesma forma, Bayissa et al. (2017) avaliaram estimativas de precipitação baseadas em satélite para monitorizar a seca meteorológica na bacia superior do Nilo Azul, na Etiópia. Estas avaliações demonstram a importância e a fiabilidade dos dados de satélite na complementação das medições tradicionais.

O uso de satélites é relevante para estimativas de precipitação em locais com dados limitados de estações meteorológicas, conforme demonstrado por Costa et al. (2019). Os dados podem ser validados e utilizados para análises climáticas em diferentes regiões, inclusive no Brasil. Segundo Asuri et al. (2015), os dados de precipitação utilizando múltiplas observações de satélite são cruciais para estudos hidrológicos e climáticos e podem ser analisados detalhadamente em diferentes escalas de tempo.

Brakat et al. (2015) destacaram a importância de comparar diferentes conjuntos de dados de precipitação, como os de modelos climáticos (CFSR, MERRA) e observações de satélite (TRMM3B42), para avaliar a sua fiabilidade numa região específica, como é o caso da Bolívia.

Pinto et al. (2013) estudaram mudanças nos padrões de precipitação em diversas regiões brasileiras nas últimas décadas. Utilizando uma série de dados históricos de precipitação, os autores analisaram tendências temporais e espaciais e identificaram áreas com aumentos ou diminuições significativas nas chuvas.

3.5 CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations)

Satélite Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). Desenvolvido em colaboração com cientistas do USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, o CHIRPS visa fornecer conjuntos de dados completos, confiáveis e atualizados para diversos objetivos de alerta precoce, incluindo a análise de tendências e o monitoramento de secas sazonais.

O CHIRPS (Funk et al., 2015) é um conjunto de dados pluviométricos desenvolvido pelo Climate Hazards Group (CHG), cobrindo uma área que se estende de 50° S a 50° N (e todas as longitudes), com dados disponíveis desde 1981 até os dias atuais. Os produtos CHIRPS são de alta resolução e baseados em médias de precipitação por satélite, além de indicadores fisiográficos comuns em muitas climatologias atuais (altitude, latitude e longitude) e dados observados de estações meteorológicas. Esses produtos possuem uma resolução espacial de 0,05° e estão disponíveis no site do CHG (<https://chc.ucsb.edu/data/chirps>, n.d.). O CHIRPS foi desenvolvido para monitorar a seca agrícola e as mudanças ambientais globais sobre a terra, tendo sua validação demonstrado bom desempenho em regiões como o sul da China e a Etiópia (Funk et al., 2015).

Estudos anteriores destacaram a eficácia e precisão do CHIRPS em diferentes contextos climáticos e geográficos. Por exemplo, Costa et al. (2019) validaram os dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil, confirmando sua confiabilidade ao comparar os dados de satélite com registros de estações meteorológicas locais. Blacutt et al. (2015) compararam várias fontes de dados de precipitação, incluindo o CHIRPS, e verificaram sua robustez em relação a outros conjuntos de dados, como o CFSR e MERRA.

Marinho e Rivera (2021) utilizaram dados do CHIRPS para analisar a precipitação na Bacia do Rio Negro, na Amazônia, demonstrando que as estimativas de precipitação por satélite são valiosas para estudos hidrológicos em regiões remotas. Outro estudo, de Baez-Villanueva et al. (2018), avaliou a precisão temporal e espacial das estimativas de precipitação do CHIRPS em várias regiões da América Latina, concluindo que o CHIRPS é uma ferramenta eficaz para o monitoramento climático.

A importância do CHIRPS é reconhecida na comunidade científica devido à sua capacidade de fornecer dados de alta resolução e longo prazo, essenciais para o monitoramento climático e a gestão de recursos hídricos. A combinação de dados de satélite e observações de estações meteorológicas torna o CHIRPS uma ferramenta valiosa para detectar e analisar padrões de precipitação, identificar tendências e avaliar os impactos das mudanças climáticas.

Estudos como os de Oliveira e Marcuzzo (2016) e Pinto et al. (2013) exploraram as influências de fenômenos climáticos como El Niño e La Niña nas séries de precipitação, utilizando dados do CHIRPS para entender as variações temporais e espaciais na precipitação. Esses insights são cruciais para desenvolver estratégias de adaptação e mitigação frente às mudanças climáticas.

3.6 Análise de tendências teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), é utilizado para identificar tendências significativas em séries temporais de dados climáticos, como precipitação. Este teste não-paramétrico verifica a presença de uma tendência ascendente ou descendente sem assumir uma distribuição específica dos dados, tornando-o

particularmente útil em análises climáticas e hidrológicas. Cabral Júnior e Lucena (2020) aplicaram este teste para analisar tendências em dados de precipitação, confirmando a presença de mudanças significativas em várias regiões brasileiras. A robustez do teste de Mann-Kendall, aliada à alta resolução dos dados do CHIRPS, permite uma análise detalhada e confiável das tendências pluviométricas ao longo do tempo.

No Brasil, o teste de Mann-Kendall tem sido amplamente aplicado para analisar as tendências de precipitação em diferentes regiões. Por exemplo, Curado et al. (2023) utilizaram este teste para investigar o impacto das emissões de queima de biomassa sobre os padrões de precipitação no Pantanal. Os resultados mostraram tendências significativas em períodos específicos do ano, indicando mudanças nos padrões de precipitação devido às atividades antropogênicas.

Almeida et al. (2017) analisaram as tendências de precipitação em estações na Amazônia, enquanto Luiz-Silva et al. (2019) estudaram as alterações nas séries de precipitação e vazão em bacias hidrográficas brasileiras. Esses estudos são cruciais para entender as mudanças no regime pluviométrico e auxiliar na gestão dos recursos hídricos (ALMEIDA et al., 2017; LUIZ-SILVA et al., 2019).

Oliveira et al. (2021) analisa as mudanças nas tendências temporais da evapotranspiração de referência (ET_o) em diferentes usos do solo na parte sul da bacia amazônica brasileira. Para identificar a significância das tendências, foram utilizados a análise de tendência de Mann-Kendall e a análise de regressão linear. Os resultados mostraram que a duração do brilho solar é a variável que mais afeta a ET_o nas diferentes condições estudadas.

A utilização de testes estatísticos, como o Mann-Kendall, permite uma compreensão mais profunda das mudanças climáticas e suas implicações. Eles fornecem dados essenciais para a formulação de políticas de mitigação e adaptação, auxiliando na previsão e preparação para eventos climáticos extremos.

Brunelli et al. (2021) e Palácios et al. (2023) destacam a relevância destes métodos na análise das variabilidades climáticas e suas relações com fatores antropogênicos e naturais. Testes como o Mann-Kendall são fundamentais para identificar mudanças no comportamento das variáveis ao longo do tempo, permitindo uma resposta mais eficaz às mudanças climáticas.

4. Metodologia

4.1 Área de estudo

A região de Corumbá, MS mostrada na figura 1, está situada na região do Pantanal sul-mato-grossense, próxima à fronteira com a Bolívia, à margem do Rio Paraguai. Serve como ponto de parada na ligação ferroviária entre o Brasil e a Bolívia, sendo a última cidade brasileira antes da fronteira seca com a Bolívia. A cidade está localizada a uma latitude de 19°00'33" Sul e a uma longitude de 57°39'12" Oeste (IBGE Cidades) . Corumbá, MS classificada pelo sistema de Köppen como pertencente ao tipo climático Awa, caracterizado como clima tropical de altitude, megatérmico, com inverno seco e chuvas no verão (VIANELLO & ALVES, 1991).

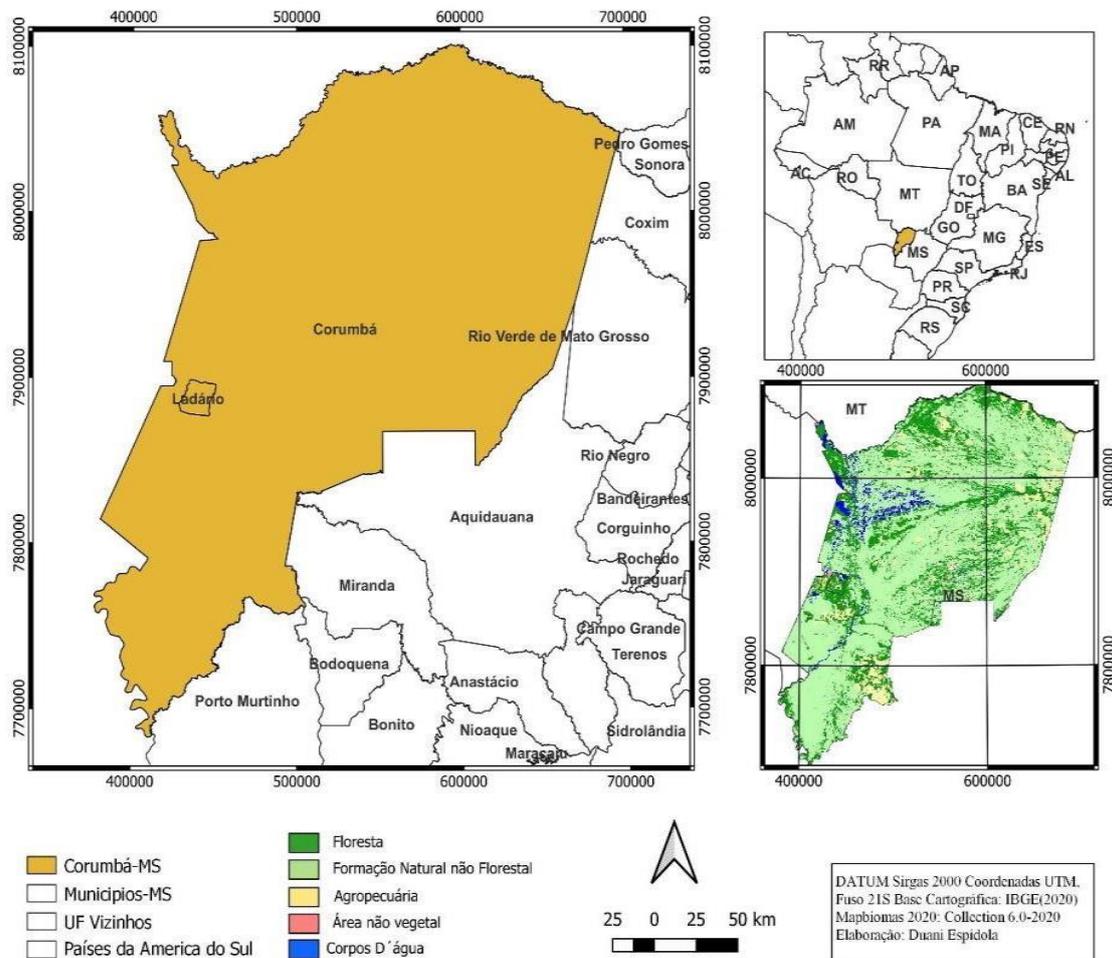


Figura 1 - Localização geográfica do município de Corumbá.

4.2 Dados Observados

Para a validação estatística dos dados do CHIRPS de 40 anos (1981-2020) para o município de Corumbá, foi elaborada uma nova série temporal de 26 anos (1994 - 2020) de dados de precipitação anual foi elaborada através de uma rede de estações pluviométricas. pela ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentação>). Tais dados foram acumulados mensalmente e em seguida anualmente, visando o seu uso na etapa de validação espaço temporal dos dados do CHIRPS. As estações meteorológicas utilizadas neste estudo encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Informações das estações meteorológicas.

CODIGO	LATITUDE	LONGITUDE	NOME
1857003	-183939	-573911	SÃO FRANCISCO
1957003	-192583	-572353	PORTO DA MANGA
1756003	-176233	-56965	PORTO DO ALEGRE
1957005	-193053	-575933	PIRAPUTANGA
1857001	-180403	-574908	AMOLAR
1957004	-199186	-577894	FORTE COIMBRA
1755000	-174917	-552322	SANTO ANTÔNIO DO PARAÍSO
1755003	-172017	-560086	SÃO JERÔNIMO

4.3 Dados do satélite Chirps

Neste estudo, foram utilizados dados CHIRPS de precipitação mensais e anuais para o período entre os anos de 1981 a 2020. No QGIS foi preparado um polígono do município Corumbá, importado para o Google Earth Engine como um recurso, em seguida, para extrair 40 anos de precipitação diária do satélite CHIRPS sobre a captação. Usaremos um modelo do Excel para a apresentação final dos dados.

A análise de tendência foi realizada utilizando o teste não-paramétrico Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), um dos mais utilizados para a detecção de tendências que se repete ou não varia em séries temporais de dados ambientais, considerando-a uma análise não paramétrica. De acordo com (Cabral Júnior & Lucena, 2020) a equação é dada por:

A estatística ‘S’ do teste é dada por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=0}^n \text{sign}(x_i - x_j)$$

Equação1- Equação da normal distribuída.

em que S é o resultado da soma das contagens de $(x_j - x_i)$; x_j é o primeiro valor após x_i , n é o número de dados da série temporal. Para cada par de dados são atribuídos os seguintes valores:

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i - x_j < 0 \\ 0 & \text{if } x_i - x_j = 0 \\ -1 & \text{if } x_i - x_j > 0 \end{cases}$$

Equação 2- Equação da Variância.

A distribuição de probabilidade da estatística S tende à normalidade quando há grandes amostras de observações (n), com média zero e variância dada por:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=0}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18}$$

Equação 3 – equação da distribuição de probabilidade da estatística.

em que n é o número de pontos dos dados, m é o número de grupos empatados (conjunto de dados da amostra com valores idênticos) e t_i indica a quantidade de valores repetidos no i -ésimo grupo.

A estatística do teste de MannKendall é baseada no valor da variável Z, calculado conforme a equação 4:

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{for } S > 0 \\ 0 & \text{for } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{for } S < 0 \end{cases}$$

Equação4- equação de tendência.

A presença de tendência significativa foi avaliada usando-se o valor de Z , (p -valor = 5%), empregada para testar H_0 . Onde, um valor positivo de Z indica um aumento da tendência.

5. Resultados e Discussão

Neste item serão apresentados os resultados da precipitação observada e estimada utilizando o teste de Mann-Kendall, um teste não-paramétrico adequado para detectar tendências monotônicas em séries temporais

5.1 Análise de dados

A análise foi realizada validando-se os dados das estações ANA em comparação com as estimativas do CHIRPS em escalas diária, mensal e anual. Para avaliar a acurácia dos dados de precipitação do CHIRPS, foram utilizados indicadores estatísticos como o coeficiente de determinação (R^2) e o erro quadrático médio (RMSE).

A figura 2 apresenta a série histórica do acumulado de precipitação mensal observada e estimada para as estações da ANA. Nota-se uma boa representação do comportamento das chuvas estimadas pelos dados CHIRPS em comparação com os registros das estações ANA ao longo do período analisado.

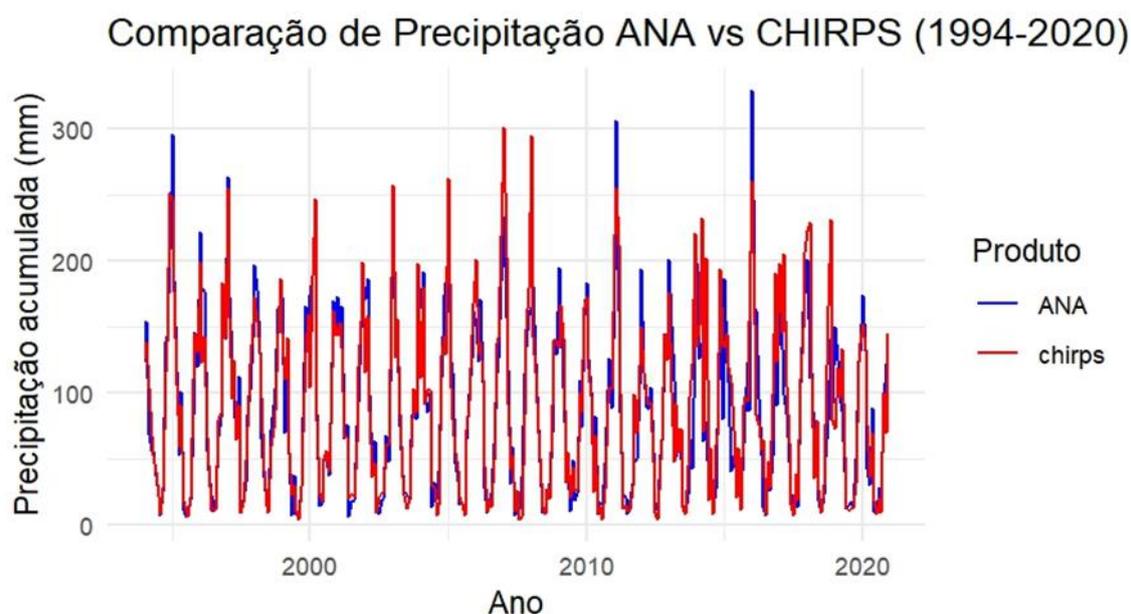


Figura 2 – Gráfico da precipitação em função dos meses do ano.

Os resultados da avaliação são apresentados no gráfico da figura 3, onde o coeficiente de determinação (R^2) anual foi de 0,82, indicando um bom ajuste entre os valores estimados e observados. O RMSE foi de 28,64 mm para a precipitação total, sugerindo que o produto CHIRPS apresenta uma boa capacidade de estimativa da precipitação pluviométrica na região.

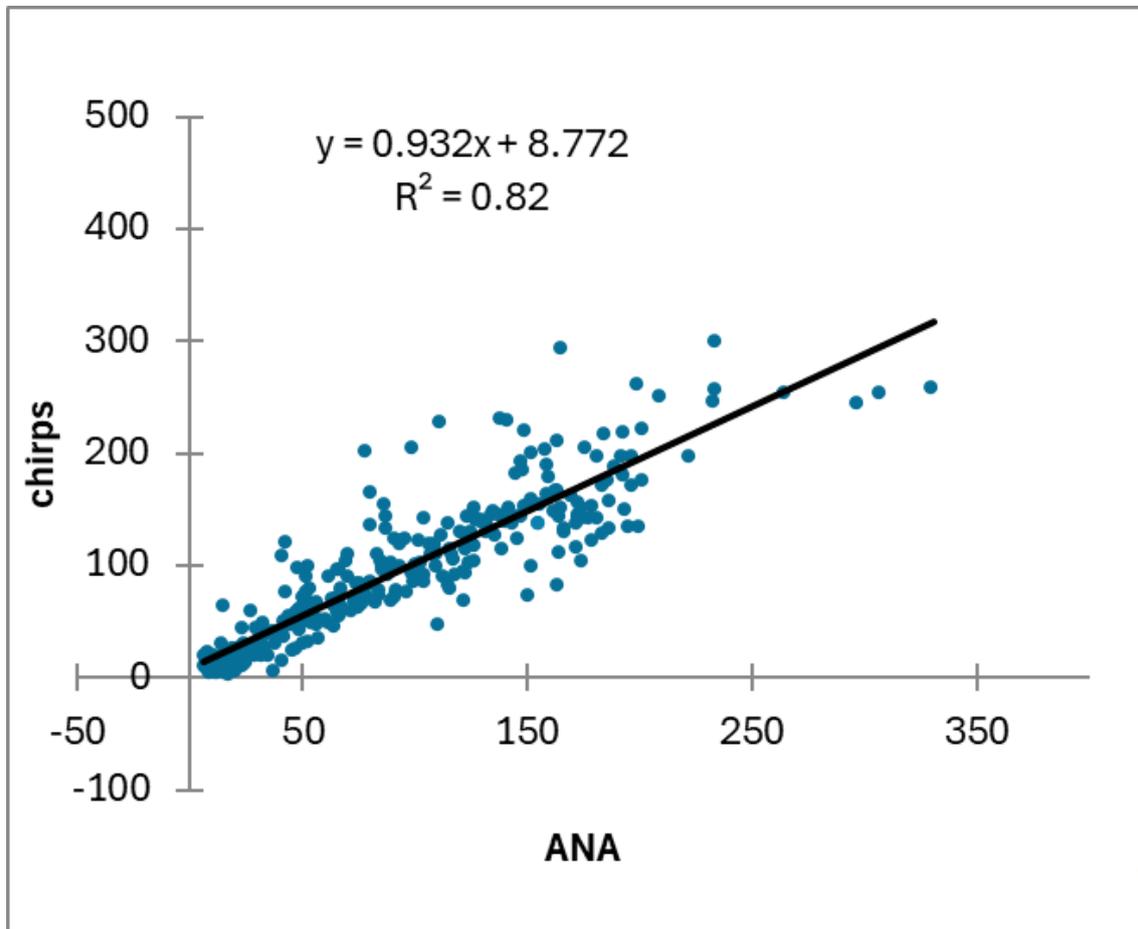


Figura 3 – Gráfico de correlação $R^2 = 0,82$ dos dados das estações ANA em função dos dados CHIRPS.

Avaliações anteriores dos dados CHIRPS indicaram bons resultados. Costa et al. (2019) analisaram a similaridade do conjunto de dados CHIRPS e estações meteorológicas em diferentes regiões brasileiras, obtendo coeficiente de determinação de 93% para o norte do Brasil. Paredes-Trejo et al. (2017) também encontraram boa correlação ao avaliar estimativas do CHIRPS. Os dados CHIRPS superestimaram a precipitação em aproximadamente 5% em relação aos dados observados na região do Centro-Oeste. Essa superestimativa pode ser atribuída aos sistemas meteorológicos que

atuam na região, como circulações atmosféricas tropicais e extratropicais, transporte de umidade e sistemas frontais (Paredes-Trejo et al. 2017).

Assim como nos trabalhos anteriores, os resultados deste estudo indicam que, em Corumbá, os dados de precipitação média mensal do CHIRPS são adequados para análise temporal e espacial da climatologia de chuvas.

5.2 Precipitações estimada dado CHIRPS para período de 1981-2020

A análise das precipitações estimadas com dados CHIRPS para o período de 1981-2020 revela tendências significativas na variação anual e mensal da precipitação no município de Corumbá-MS. A Figura 4 apresenta um gráfico de linha que mostra a precipitação anual total para cada ano, permitindo observar a tendência geral e as variações anuais na precipitação.

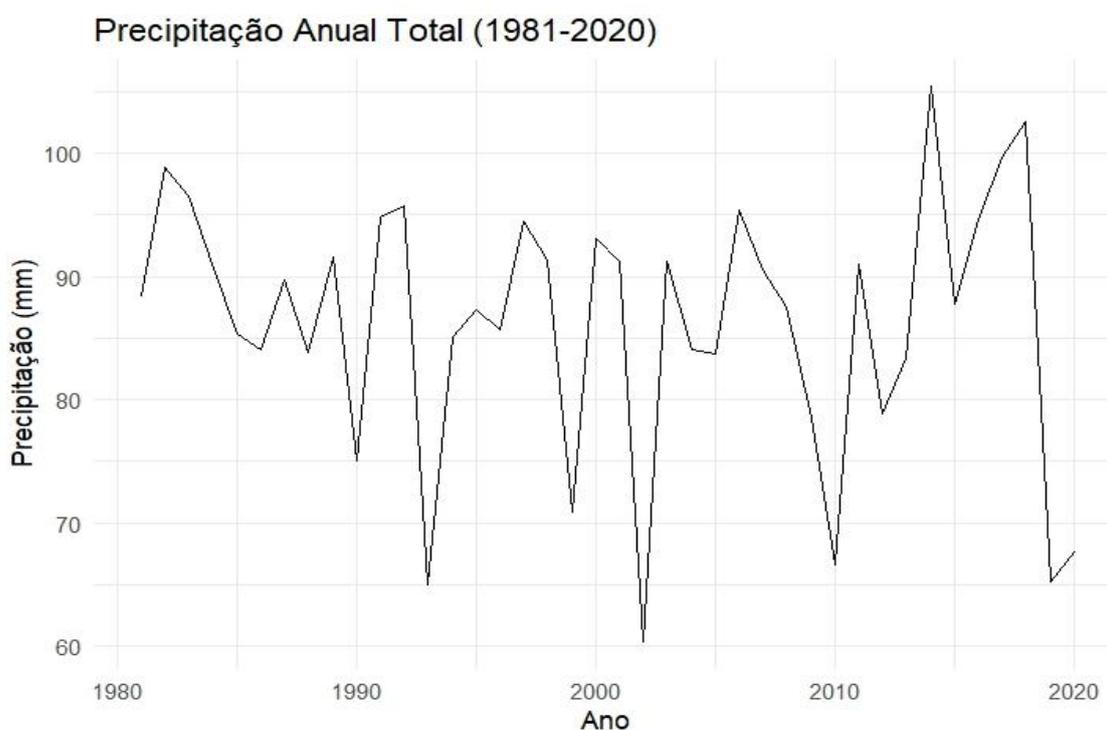


Figura 4 - Gráfico da série temporal precipitação para o período de 1981-2020 Dados Chirps para o município de Corumbá-MS **Fonte:** Dados da pesquisa.

A maior precipitação anual registrada foi em 2014, com 1335,45 mm, enquanto a menor foi em 2002, com 1128,92 mm. Observa-se uma tendência geral de aumento na precipitação anual de 1981 a 2020. A análise das médias mensais de precipitação indica que janeiro é o mês mais chuvoso, com uma média de 192,8 mm, e julho é o mês menos chuvoso, com uma média de 19,3 mm. A precipitação tende a ser maior durante os meses de verão (novembro a março) e menor durante os meses de inverno (maio a agosto).

A variabilidade da precipitação mensal, medida pelo desvio padrão dos valores mensais, mostra que dezembro e fevereiro têm a maior variabilidade, enquanto julho e junho apresentam a menor variabilidade, indicando níveis de precipitação mais consistentes durante esses meses.

Os dados indicam uma variabilidade interanual significativa, com quantidades de precipitação fluando de ano para ano. O padrão sazonal é claro, com maior precipitação nos meses de verão e menor precipitação nos meses de inverno. A análise dos dados de precipitação para esse período mostra uma tendência sazonal clara com maior precipitação no verão e menor no inverno. Há uma leve tendência de aumento na precipitação anual total ao longo do período.

A influência de fenômenos climáticos, como El Niño e La Niña, no número de dias de precipitação em Mato Grosso do Sul também é um fator relevante para a análise climática de Corumbá (Oliveira & Marcuzzo, 2016). Essas variações impactam diretamente o regime pluviométrico da região.

A distribuição Mensal de Precipitação, esta representa na figura 5 onde o mapa de calor ilustra a distribuição da precipitação mensal ao longo dos anos. Cada célula representa a precipitação em milímetros para um determinado mês e ano, com a intensidade da cor indicando a quantidade.

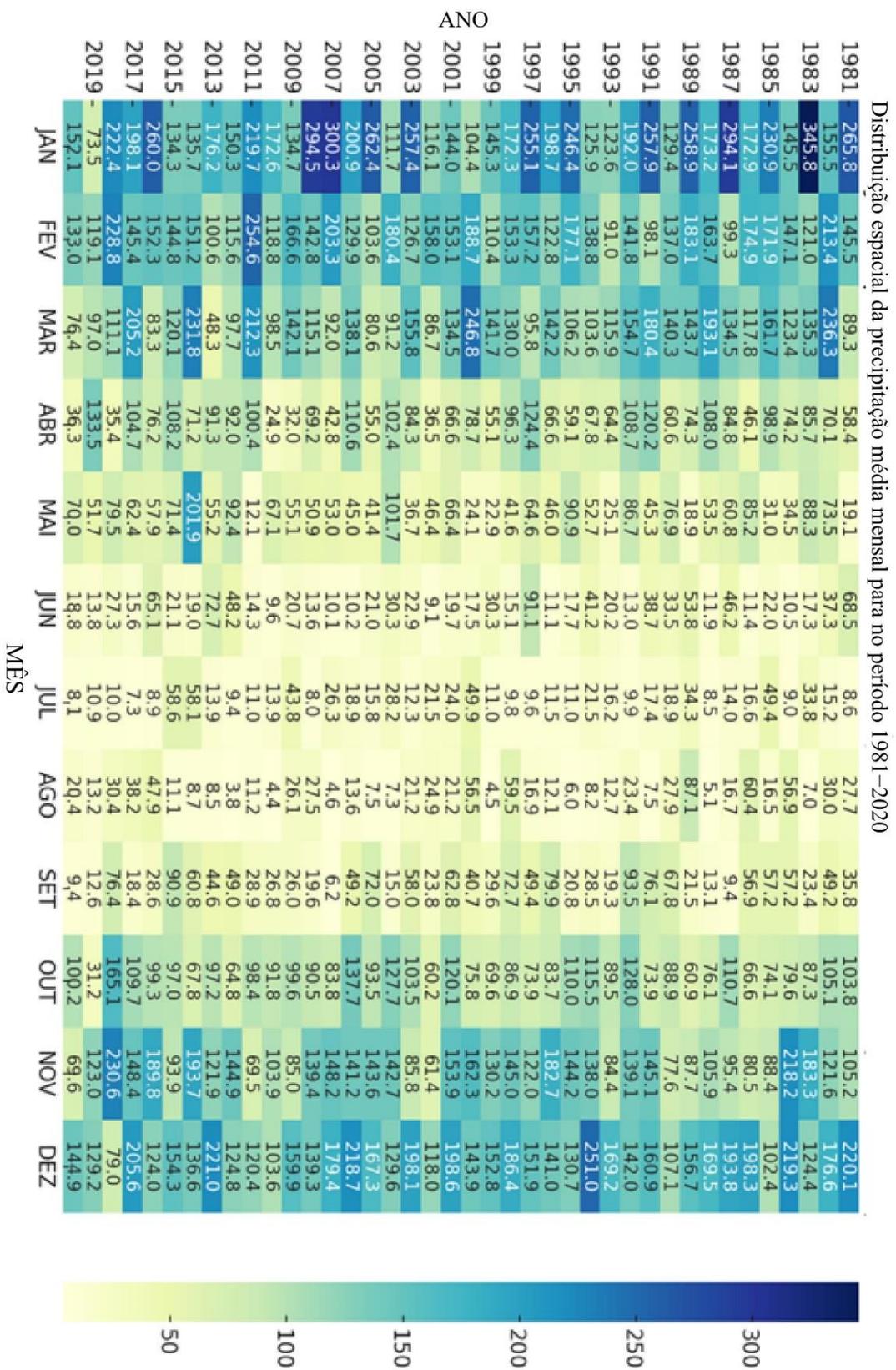


Figura 5. Distribuição espacial da precipitação média mensal para no período 1981–2020 dados Chirps.

Fonte: Autor (2022).

5.3 TESTE DE MANN-Kendall aplicado na região de Corumbá

Para avaliar tendências na precipitação mensal e anual em Corumbá, Mato Grosso do Sul, entre os anos de 1981 e 2020. O teste de Mann-Kendall é amplamente utilizado em estudos de séries temporais devido à sua robustez em detectar tendências monotônicas. Os dados mensais de precipitação foram analisados para identificar tendências ao longo do período estudado. O teste foi aplicado para cada mês e para as condições de "Chuva" e "Seco" no período de 2010 a 2020. A hipótese nula (H_0) do teste afirma que não há tendência na série temporal, enquanto a hipótese alternativa (H_1) sugere a existência de uma tendência significativa (MANN, 1945; KENDALL, 1975).

Resultado da Análise de Tendência Mensal 40 anos (1981-2020) são apresentados na tabela 2.

Janeiro a novembro, a maioria dos meses não apresentaram uma tendência estatisticamente significativa, dado que os p-valores são maiores que 0.05. Embora as estatísticas z variem, a hipótese nula de "não há tendência" não pode ser rejeitada na maioria dos meses.

Março e dezembro, os p-valores para esses meses são menores que 0.05, indicando uma tendência significativa. valores negativos de z indicariam uma tendência decrescente.

Tabela 2 - Resultado da Análise de Tendência Mensal 40 anos (1981-2020).

Mês	Estatística z	P-valor	Tamanho da Amostra	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Tendência
JANEIRO	-1.2001	0.2301	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
FEVEREIRO	-0.24467	0.8067	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
MARÇO	-1.969	0.04895	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
ABRIL	-0.15146	0.8796	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
MAIO	1.4098	0.1586	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Crescente
JUNHO	-0.5709	0.5681	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
JULHO	-0.78062	0.435	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
AGOSTO	-0.85053	0.395	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
SETEMBRO	-0.5476	0.584	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
OUTUBRO	0.78062	0.435	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Crescente
NOVEMBRO	0.78062	0.435	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Crescente
DEZEMBRO	-1.6894	0.00146	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente

Tabela 3 trabalha as Condições de Chuva e período Seco(1981-2020).A condição de "chuva" mostra uma tendência altamente significativa com um p-valor muito menor que 0.05. A estatística z negativa indicaram uma tendência decrescente.

E o período "seco" não apresenta uma tendência significativa, com um p-valor bem acima de 0.05.

Tabela 3 - Condições de "Chuva" e "Seco"(1981-2020).

Condição	Estatística z	P-valor	Tamanho da Amostra	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Tendência
Chuva	-9.0762	< 2.2e16	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
Seco	-0.43109	0.6664	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente

Na tabela 4 é mostrado os resultado da análise de tendência anual (1981-2020). Total anual, com uma estatística z de -1.0602 e um p-valor de 0.289, não há tendência estatisticamente significativa. A hipótese nula de "não há tendência" não pode ser rejeitada. A máxima, a estatística z de -1.8059 e um p-valor de 0.07093 indicam que a tendência não é estatisticamente significativa ao nível de 5%. No entanto, está perto do nível de significância ($p < 0.1$), sugerindo uma possível tendência, mas ainda não suficiente para rejeitar a hipótese nula. A mínima, com uma estatística z de -0.94373 e um p-valor de 0.3453, também não há uma tendência estatisticamente significativa para este parâmetro.

Tabela 4 - Resultado da Análise de Tendência Anual (1981-2020).

Parâmetro	Estatística z	P-valor	Tamanho da Amostra	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Tendência
Total	-1.0602	0.289	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
Máxima	-1.8059	0.07093	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
Mínima	-0.94373	0.3453	7366.67	Não há tendência	Há tendência	Decrescente

Os resultados apresentados indicam que para a maioria dos meses e parâmetros analisados, não há uma tendência estatisticamente significativa de acordo com o teste de Mann-Kendall.

Tendências Mensais 2010-2020 tabela 5, a penas agosto apresenta uma tendência significativa de aumento na precipitação ($P < 0.05$). Todos os outros meses não mostram tendências significativas.

Tabela 5 - Resultado da Análise de Tendência Mensal 2010-2020.

Mês	Estatística z	P-valor	Tamanho da Amostra	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Tendência
JANEIRO	-0.3114	0.7555	165.	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
FEVEREIRO	0.3114	0.7555	165	Não há tendência	Há tendência	crescente
MARÇO	-0.9342	0.3502	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
ABRIL	0.1557	0.8763	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
MAIO	0	1	165	Não há tendência	Há tendência	Crescente
JUNHO	0	1	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
JULHO	-1.0899	0.2758	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
AGOSTO	2.0241	0.04296	165	Não há tendência	Há tendência	crescente
SETEMBRO	-0.7785	0.4363	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
OUTUBRO	1.2456	0.2129	165	Não há tendência	Há tendência	Crescente
NOVEMBRO	0.6228	0.5334	165	Não há tendência	Há tendência	Crescente
DEZEMBRO	0.7785	0.4363	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente

Condições com maior índice de chuva e períodos Seco" 2010-2020 pode ser observado na tabela 6, para a condição "Chuva", há uma tendência significativa de diminuição na precipitação ($P < 0.05$). Para a condição "Seco", não há tendência significativa.

Tabela 6 - Condições de "Chuva" e "Seco" 2010-2020.

Condição	Estatística z	P-valor	Tamanho da Amostra	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Tendência
Chuva	-4.2039	2.624e-05	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
Seco	-0.6228	0.5334	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente

A análise Anual 2010 – 2020 pode ser observada na tabela 7, onde não foram observadas tendências significativas nos parâmetros anuais (total, máxima e mínima).

Tabela 7 - Resultado da Análise de Tendência Anual.

Parâmetro	Estatística z	P-valor	Tamanho da Amostra	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Tendência
Total	-1.0602	0.289	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
Máxima	-0.6228	0.5334	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente
Mínima	0.7785	0.4363	165	Não há tendência	Há tendência	Decrescente

As análises sugerem que, de modo geral, não há tendências significativas na maioria dos meses e parâmetros anuais para a precipitação em Corumbá, exceto para a condição "Chuva" que apresenta uma tendência significativa de diminuição ao longo

do período analisado. Isso indica uma possível redução na precipitação total durante os períodos de chuva, o que pode ser relevante para estudos climáticos e planejamento de recursos hídricos na região.

Os resultados indicam a presença de tendências significativas nos períodos analisados. No período 1981 a 2020, observou-se nos resultados analisados, não há uma tendência estatisticamente significativa de acordo com o teste de mann-kendall, possivelmente associada ao aumento de eventos de enso (el niño southern oscillation) e mudanças no uso da terra. Em um período menor 2010 a 2020, a análise revelou uma tendência de redução na precipitação, correlacionada com o aumento das queimadas e desmatamento. A compreensão das características climáticas e meteorológicas de corumbá é essencial para o desenvolvimento sustentável da região, integrando a conservação ambiental com as atividades econômicas predominantes, como a pecuária e o turismo ecológico. O desafio reside em equilibrar o crescimento econômico com a preservação dos recursos naturais únicos do pantanal.

6. Conclusões

A análise das tendências de precipitação em Corumbá, Mato Grosso do Sul, utilizando o teste de Mann-Kendall revelou percepções importantes sobre o comportamento climático da região. De modo geral, os dados indicam que não há tendências significativas na maioria dos meses e nos parâmetros anuais. No entanto, foi observada uma exceção notável:

Diminuição na Condição de chuva para menor período, a análise das condições indicou uma tendência significativa de diminuição na precipitação total durante os períodos chuvosos. Esta tendência é particularmente relevante para o planejamento de recursos hídricos, uma vez que uma redução na precipitação durante os meses tradicionalmente mais úmidos pode afetar a disponibilidade hídrica e exigir adaptações na gestão dos recursos.

Esses resultados fornecem uma compreensão mais detalhada das mudanças climáticas locais e suas possíveis implicações. A identificação de tendências específicas de aumento ou diminuição da precipitação pode auxiliar na formulação de políticas e estratégias de adaptação, contribuindo para a resiliência climática da região. A continuidade do monitoramento e a utilização de dados de alta resolução, como os fornecidos pelo CHIRPS, são essenciais para melhorar a precisão das previsões e a eficácia das ações de gestão de recursos hídricos.

7. Referências Bibliográficas

Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., Nelson, B. R., & Prat, O. P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1), 69–83. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00068.1>

Blacutt, L. A., Herdies, D. L., de Gonçalves, L. G. G., Vila, D. A., & Andrade, M. (2015). Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42, and Combined Scheme datasets in Bolivia. *Atmospheric Research*, 163, 117–131. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.02.002>

Cabral Júnior, J. B., & Lucena, R. L. (2020). ANALYSIS OF PRECIPITATIONS BY NONPARAMETRIC TESTS OF MANN-KENDALL AND KRUSKAL-WALLIS. *Mercator*, 19(1), 1–14. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001>

Costa, J. C., Pereira, G., Siqueira, M. E., da Silva Cardozo, F., & da Silva, V. V. (2019). VALIDAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS PELO CHIRPS PARA O BRASIL. *Revista Brasileira de Climatologia*, 24. <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>

Coutinho, E. R., da Silva, R. M., Madeira, J. G. F., Coutinho, P. R. de O. dos S., Boloy, R. A. M., & Delgado, A. R. S. (2018). Application of artificial neural networks (ANNs) in the gap filling of meteorological time series. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(2), 317–328. <https://doi.org/10.1590/0102-7786332013>

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

Marinho, R. R., & Rivera, I. A. (2021). The precipitation estimated with satellite in the River Negro Basin, Northwest Amazon (1981-2017). *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, 50, 44–61. <https://doi.org/10.5380/raega.v50i0.67426>

Oliveira, N. D. L., & Marcuzzo, F. F. N. (2016). Influência do el niño e la niña no número de dias de precipitação pluviométrica do estado do Mato Grosso do Sul. *Ateliê Geográfico*, 10(1), 73. <https://doi.org/10.5216/ag.v10i1.30945>

Rodrigues, T. R., Vourlitis, G. L., Lobo, F. A., Santanna, F. B., Arruda, P. H. Z., & Nogueira, J. S. (2016). Modeling canopy conductance under contrasting seasonal conditions for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso, Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 218-219, 218-229.

Rodrigues, T. R., Vourlitis, G. L., Lobo, F. A., de Oliveira, R. G., & Nogueira, J. S. (2014). Seasonal variation in energy balance and canopy conductance for a tropical

savanna ecosystem of south central Mato Grosso, Brazil. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 119, 1-13.

Higa, L., Marcato, J. Jr., Rodrigues, T., Zamboni, P., Silva, R., Almeida, L., Liesenberg, V., Roque, F., Libonati, R., Gonçalves, W. N., & Silva, J. (2022). Active Fire Mapping on Brazilian Pantanal Based on Deep Learning and CBERS 04A Imagery. *Remote Sensing*, 14, 688.

BAEZ-VILLANUEVA, O. M. et al. Avaliação temporal e espacial das estimativas de precipitação por satélite ao longo de diferentes regiões da América Latina. *Atmospheric Research*, v. 213, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.011>. Acesso em: 4 mai. 2022.

OLIVEIRA, N. D. L.; MARCUZZO, F. F. N. Influência do el niño e la niña no número de dias de precipitação pluviométrica do estado do Mato Grosso do Sul. *Ateliê Geográfico*, v. 10, n. 1, p. 73, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/ag.v10i1.30945>.

CURADO, L. F. A. et al. Effect of biomass burning emission on carbon assimilation over Brazilian Pantanal. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 2023, p. 1, 2023.

COSTA, M. H. et al. The CHIRPS dataset for Brazil: Improved daily precipitation estimations in the tropics. *Journal of Hydrometeorology*, v. 20, n. 9, p. 1913-1926, 2019.

ALMEIDA, L. A. et al. Análise das tendências de precipitação em estações na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 123-135, 2017.

LUIZ-SILVA, W. et al. Alterações nas séries de precipitação e vazão em bacias hidrográficas brasileiras. *Hydrological Sciences Journal*, v. 64, n. 4, p. 451-465, 2019.

Oliveira, R. G., Valle Júnior, L. C. G., Silva, J. B., Espíndola, D. A. L. F., Lopes, R. D., Nogueira, J. S., Curado, L. F. A., & Rodrigues, T. R. (2021). Temporal trend changes in reference evapotranspiration contrasting different land uses in southern Amazon basin. *Agricultural Water Management*, 250, 106815. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106815>

ZHANG, X. et al. Variabilidade climática e hidrológica no Brasil: Uma análise utilizando testes de Mann-Kendall. *Hydrological Processes*, v. 23, n. 7, p. 955-968, 2009.

JOSEPH, G. et al. Improving urban infrastructure to manage precipitation changes: A case study from Brazil. *Urban Climate*, v. 6, n. 3, p. 53-67, 2013.

PALÁCIOS, R. et al. Evolução temporal no déficit de pressão de vapor em ecossistemas brasileiros. *Environmental Research Letters*, v. 18, n. 1, p. 011001, 2023.

PINTO, E. M. et al. Mudanças nos padrões de precipitação no Brasil ao longo das últimas décadas. *Climate Research*, v. 57, n. 1, p. 45-58, 2013.

PAREDES-TREJO, F. J. et al. Spatio-temporal validation of CHIRPS rainfall estimates over Colombia. Atmospheric Research, v. 213, p. 168-180, 2017.

SEVERO, D. L. et al. Tendências da precipitação no Brasil e suas implicações. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 2, p. 456-468, 2019.

SALVIANO, M. F. et al. Análise de tendências sazonais da precipitação e vazão no Brasil. Journal of Hydrology, v. 540, p. 276-290, 2016.

OMM. Utilização do pluviômetro para medição de chuvas. 2010.

RICKLI, L. I.; CATANEO, A.; VIRGENS FILHO, J. S. Comparação de três métodos para estimativa dos parâmetros da distribuição gama em dados diários de precipitação pluviométrica. Energia na Agricultura, v. 23, p. 53-61, 2008.

PROCOPIO, S. de O. et al. Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019.

CARDOSO, E. L. et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. R. Bras. Ci. Solo, v. 35, p. 613-622, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n2/v35n2a30.pdf>.

CSR/IBAMA. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA monitoramento do bioma pantanal. Brasília, 2011. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/arquivos/relatorio_pantanal_2008_p_mdbbs_72.pdf.

EMBRAPA. Desmatamento na Planície Pantaneira em Corumbá – MS. Corumbá, 2008. Disponível em: www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/FOL123.pdf.

IBGE. Mato Grosso do Sul > Corumbá > Histórico. IBGE, 2015. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=500320&search=mato-grosso-do-sul|corumba|infograficos:-informacoes-completas>.

LIMA, Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente; COPPE, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pesquisa e Pós-graduação de Engenharia. Avaliação Ambiental estratégica do programa de desenvolvimento do setor produtivo de Corumbá/Ladário e influências sobre a região pantaneira (PPE9134). UFRJ, 2008. Disponível em: www.lima.coppe.ufrj.br.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática. INMET, 2014. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia Básica e Aplicações. Freitas Bastos, 1991.

MARIA, B.; SORIANO, A. Caracterização Climática de Corumbá-MS. EMBRAPA, 1997. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37445/1/BP11.pdf>.

MARINHO, R. R.; RIVERA, I. A. Estudos climatológicos em Corumbá-MS utilizando bases de dados espacialmente distribuídas. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 3, p. 234-245, 2021.

ALMEIDA, L. A. et al. Análise das tendências de precipitação em estações na Amazônia. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 2, p. 123-135, 2017.