



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Tendências e padrões de variação em séries temporais de temperatura do ar e precipitação na microrregião de Frutal – MG^{1*}

Daniela Fernanda da Silva Fuzzo¹, Fabrício Júnior Martins Assunção², Bruno Enrique Fuzzo³, João Alberto Fischer Filho⁴

¹Profa. Dra. Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas – Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG/Frutal – MG, Av. Escócia, 1001 - Cidade das Águas, Frutal - MG, 38202-436, E-mail: daniela.fuzzo@uemg.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0442-5578>;

²Graduando Curso de Engenharia Agrônoma – Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG/Frutal – MG, Av. Escócia, 1001 - Cidade das Águas, Frutal - MG, 38202-436, Bolsista PAPq- UEMG, E-mail: fabricao.1093914@discente.uemg.br, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4057-8319>;

³Mestrando Curso de Ciências Ambientais Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG/Frutal, Prof. Rede básica do Estado de São Paulo, Av. Escócia, 1001 - Cidade das Águas, Frutal - MG, 38202-436, Email: bruno.1098329@discente.uemg.br, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3286-2679>;

⁴Prof. Dr. Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas – Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG/Frutal – MG, Av. Escócia, 1001 - Cidade das Águas, Frutal - MG, 38202-436, Email: joao.fischer@uemg.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8787-1631>.

Artigo recebido em 04/08/2023 e aceito em 27/03/2024

RESUMO

Variabilidades climáticas podem causar impactos em diversos segmentos socioeconômicos, visto a sua importância, vários estudos tem ganhado destaque associado a ciência de dados, na tomada de decisão. O objeto foi analisar os padrões das séries temporais de precipitação e temperatura do ar, para a microrregião de Frutal – MG, os dados foram obtidos do ECMWF – ERA5-Interim, para o período de 1990 à 2019. Foram determinadas as estatísticas nas escalas mensais e anuais, aplicaram-se os testes paramétricos e não paramétricos, com auxílio da plataforma Google Earth Engine. A precipitação média para todo período foi de 1374 mm, com concentração em dezembro, janeiro e fevereiro. Os valores de temperatura média, máxima e mínima apresentaram dados com baixa dispersão e pouca variabilidade ($CV \leq 5\%$), a temperatura média do ar em torno de 24,75°C, sendo o mês junho o mais frio com média de 22,10°C e novembro o mais quente 25,79°C. O teste de Mann-Kendall apontou tendência significativa decrescente para precipitação em 1990-2019, os meses que apresentaram tendência significativa decrescente, foram janeiro, fevereiro, março, maio, agosto, setembro e outubro. As análises mensais da temperatura máxima e média, apresentaram tendência significativa crescente para fevereiro e setembro, sendo que os demais apresentaram tendência não significativa crescente. Para os dados de temperatura mínima houve tendência significativa decrescente para maio, junho e julho, os demais meses foram registrados com tendência não significativa crescente. Os testes se mostraram eficientes para estudos sobre a evolução dos dados do modelo Era5-Interim, sendo essenciais para a compreensão da distribuição temporal.

Palavras – chaves: Mann-Kendall, Machine Learning, Climatologia

Rends and patterns of variation in time series of air temperature and precipitation in the microrregion of Frutal – MG

ABSTRACT

Climate variability can impact several socioeconomic segments, given its importance, several studies have gained prominence associated with data science, in decision making. The object was to analyze the patterns of the time series of precipitation and air temperature, for the micro-region of Frutal - MG, the data were obtained from the ECMWF - ERA5-Interim, for the period from 1990 to 2019. The statistics were determined on the monthly scales and annual tests, parametric and non-parametric tests were applied, with the aid of the Google Earth Engine platform. The average precipitation for the whole period was 1374 mm, with concentration in December, January and February. The average, maximum and minimum temperature values presented data with low dispersion and little variability ($CV \leq 5\%$), the average air temperature around 24.75°C, with June being the coldest month with an average of 22.10° C and November the hottest 25.79°C. The Mann-Kendall test showed a significant downward trend for precipitation in 1990-2019, the months that showed a significant downward trend were January, February, March, May, August, September and October.

^{1*} Projeto Financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG

The monthly analyzes of the maximum and average temperature showed a significant upward trend for February and September, while the others showed a non-significant upward trend. For the minimum temperature data, there was a significant downward trend for May, June and July, the other months were recorded with a trend that does not mean an increase. The tests proved to be efficient for studies on the evolution of data from the Era5-Interim model, being essential for understanding the temporal distribution.

Keywords: Mann-Kendall, Machine Learning, Climatology

Introdução

Os estudos do comportamento da atmosfera têm emergido como uma área de pesquisa extremamente relevante nos últimos anos, principalmente devido às alterações nas características naturais resultantes do desenvolvimento insustentável. As atividades humanas têm impactado diretamente o clima global, gerando variações que, por menores que sejam, acarretam consequências significativas tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade (Rosa et al., 2023). Essas flutuações climáticas, mesmo que sutis, podem provocar desastres naturais, alterações nos padrões de precipitação e temperaturas extremas, o que por sua vez afeta a biodiversidade, os recursos hídricos e a agricultura. Por isso, a capacidade de identificar padrões ou tendências climáticas tornou-se uma questão de relevante importância para a ciência climática contemporânea.

Observar essas modificações não apenas no ambiente natural, mas também nos contextos sociais, é crucial para entender como as mudanças climáticas afetam diferentes aspectos da vida humana e como podem ser mitigadas.

As novas tecnologias têm desempenhado um papel fundamental nesse processo, servindo como ferramentas hábeis para a difusão e a análise de dados climáticos. Essas tecnologias possibilitam uma observação mais detalhada e em tempo real das alterações atmosféricas, permitindo uma resposta mais rápida a eventuais catástrofes naturais e facilitando a formulação de estratégias de adaptação e mitigação mais eficazes.

Um dos grandes desafios enfrentados pelos cientistas climáticos é a obtenção de dados meteorológicos em regiões extensas que não possuem cobertura adequada de estações meteorológicas. Muitas áreas, especialmente em países em desenvolvimento, carecem de infraestrutura para monitoramento climático, o que dificulta a coleta de dados precisos e, consequentemente, a análise das tendências climáticas nesses locais. Neste contexto, as novas tecnologias oferecem uma alternativa viável e poderosa para suprir essa lacuna.

A utilização de satélites, por exemplo, tem revolucionado a maneira como os dados

meteorológicos são coletados. Esses dispositivos orbitais fornecem uma vasta quantidade de informações sobre diversas variáveis climáticas, como temperatura, pressão atmosférica, umidade e precipitação, cobrindo grandes áreas que seriam de outra forma inacessíveis. Além disso, a tecnologia de detecção remota via satélite permite uma observação contínua e de longo prazo, facilitando a identificação de padrões e tendências climáticas ao longo de décadas.

Além dos satélites, outras ferramentas tecnológicas, como modelos computacionais avançados e plataformas de análise de dados, como o Google Earth Engine, também contribuem significativamente para o estudo do clima. Esses modelos permitem simulações e projeções climáticas que ajudam os cientistas a prever cenários futuros baseados em diferentes padrões de emissão de gases de efeito estufa e outras variáveis ambientais. Essas projeções são fundamentais para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de gestão ambiental, assim como para a conscientização da população sobre os impactos das mudanças climáticas.

As análises das variáveis climáticas quando obtidas e aferidas corretamente, se tornam excelentes ferramentas estratégicas (Niu et al., 2008; Rahimi et al., 2013). No entanto, as falhas nas séries de dados obtidos por estações de superfície e a falta dessas acabam muitas vezes limitando diversas pesquisas de monitoramento e previsões. Segundo Moraes et al. (2012), o monitoramento das condições climáticas é afetado por diversos problemas como, por exemplo, a perda de calibração dos sensores, a baixa densidade de estações, as falhas de medidas e a falta de continuidade da série histórica, além do fechamento de estações.

Com todos os diversos avanços científicos e computacionais das últimas décadas é possível se ter um melhor entendimento da dinâmica do sistema climático do nosso planeta e da sua contribuição para as análises das possíveis causas das mudanças climáticas, assim como, as incertezas nas projeções climáticas baseadas nos modelos numéricos, principalmente na escala regional (Natividade et al., 2017). Uma alternativa tem sido o uso de satélites pois proporcionam as análises de séries históricas e das condições do

tempo. A obtenção dos dados meteorológicos e criação de banco de dados, auxilia no melhor entendimento dos sistemas classificatórios e de tendências do clima (Novais, 2021).

O modelo global European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) – Era5-Interim, fornece facilmente os dados para download pelo banco meteorológico do JRC (Joint Research Centre), um centro de pesquisas da Comissão Europeia (Moraes et al., 2014). É um sistema de assimilação de dados de coleta de informações de diversas fontes meteorológicas do mundo, como por exemplo, os radares e satélites meteorológicos (Couto et al., 2015).

Alguns trabalhos verificaram a acurácia dos produtos de reanálise do Era-4 e Era5 – Interim, como Fu e Betts (2008); Hersbach e Dee (2016), Hennermann e Berrisford (2019) e Hoffmann et al. (2019). Sapucci (2014) analisou a umidade no território brasileiro com dados do ERA-4, e observou que os valores da reanálise do ECMWF apresentaram uma maior dispersão dos dados.

O ERA5 é a reanálise atmosférica de quinta geração do modelo global ECMWF, uma alternativa para suprir a carência de dados meteorológicos é o uso do modelo atmosférico global ECMWF, o sistema de coleta das informações meteorológicas se dá a partir de estações espalhadas por todo mundo, radares meteorológicos, satélites, entre outras fontes. Tais informações são coletadas a cada 6 horas sinóticas (00, 06, 12, 18 UTC), com resolução espacial de 0,25°.

Contribuindo com a afirmativa de que a utilização de informações meteorológicas provenientes de produtos de reanálise do ECMWF é uma alternativa viável aos dados meteorológicos de superfície, incluído informações de chuva (mm), temperaturas do ar (oC), radiação solar (MJ m⁻²) e evapotranspiração (mm) por Penman-Monteith-FAO, Aparecido et al. (2019).

O principal fator dessas diferentes aplicações de inovação refere-se à automação das tarefas, isso proporciona maior rapidez e precisão, além de oferecer maior qualidade à própria base de dados, já que o sistema efetua automaticamente testes nas variáveis coletadas (Alencar et al., 2016). Além disso, a análise de tendências climáticas por meio dessas tecnologias avançadas oferece insights importantes para a formulação de políticas públicas de sustentabilidade e mudanças climáticas. Com dados mais precisos e análises mais profundas, é

possível desenvolver políticas que não só abordem os sintomas das mudanças climáticas, mas também suas causas fundamentais, como as emissões de gases de efeito estufa e a degradação ambiental.

Com a disponibilidade dos Sistemas de Informações Geográficas e dos satélites há a possibilidade de processar, analisar e adquirir os dados confiáveis (GOMES et al., 2022). O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma em nuvem que foi desenvolvida para processar e armazenar grandes coleções de dados. Os arquivos de dados presentes na plataforma incluem dados que se baseiam nos Sistemas de Informação Geográficas (Mutanga e Kumar, 2019) e entre eles os dados meteorológicos e climáticos.

As plataformas em nuvem, como o GEE, visam combater o problema enfrentado na área de detecção remota, referente à capacidade computacional necessária para lidar com processamento de imagens, incluindo o armazenamento local necessário em disco, com a oferta da capacidade computacional, por um vasto catálogo de dados inclusive de coleções de imagens de satélite e várias funções para análise, observação e visualização desses dados (Hao et al., 2019).

Esta ferramenta é, por si, um dos principais focos deste trabalho, pela diferença que traz, em particular no âmbito da detecção remota, relativamente a outros softwares de SIG. O Google Earth Engine é uma plataforma online e tecnológica desenvolvida para análise de dados em escala planetária, disponibiliza imagens globais de satélites produzidas nas últimas décadas, atualizadas diariamente, e fornece as ferramentas computacionais necessárias para cientistas e outros interessados detectarem mudanças e tendências na superfície terrestre, nos oceanos e na atmosfera (Gorelick et al., 2017). O GEE pode ser classificado como um modelo PaaS (Platform as a Service), esse modelo se propõe a criar uma plataforma para o desenvolvimento de aplicações já voltadas para a computação em nuvem para análise para ciências de dados em grande escala.

Estudos climatológicos em escalas regionais, para detecção das possíveis mudanças climáticas tem utilizado os dados orbitais e de superfície na aplicação de análise de tendências nas séries históricas das variáveis meteorológicas, como para a temperatura e a precipitação, para tanto corroboram os trabalhos de Ferreira et al. (2017), Cabral-Junior e Lucena (2020) e Silva Junior et al. (2020). A análise espacial de tendências permite observar as mudanças no

comportamento e determinar em quais regiões uma determinada variável vem sofrendo mudanças significativas ao longo do tempo (Salviano et al., 2016). Essa abordagem multidimensional permite uma análise mais robusta e abrangente das tendências nas séries históricas de dados climáticos, crucial para entender como o clima de determinadas regiões está evoluindo ao longo do tempo.

Costa e Queiroz (2021), avaliaram a evolução da precipitação por meio da aplicação de testes de tendência para uma série de 45 anos, no município de Campina Verde (MG) os dados obtiveram resultados satisfatórios observando tendências não significativas para precipitação totais. Fernandes et al. (2022), analisaram tendências para detectar sazonalidade e utilizaram o teste de sazonalidade de Mann-Kendall e obtiveram valores constantes para todo período.

Ferreira et al. (2017), observaram tendência decrescente da precipitação para o estado de Pernambuco, assim como, Santos e Manzi (2011) obtiveram tendências significativas no estado do Ceará, para os testes da precipitação com aumento significativo nos períodos de seca e diminuição dos eventos com maiores volumes precipitados entre os anos de 1971 a 2016.

Desta forma, identificar padrões ou tendências de mudanças climáticas é de relevante importância, já que impactam os recursos hídricos, agricultura e outras áreas (Alves et al., 2015). Uma das grandes limitações que cientificamente são necessárias aplicações de técnicas estatísticas com dados a longo prazo (Kiem e Austin, 2013).

Nota-se que, estudos desta natureza contribuem para uma reflexão a respeito dos impactos ambientais em diversos setores da sociedade, pois as mudanças climáticas globais e seus efeitos na distribuição dos ecossistemas, implicam em profundas alterações na atual composição da biodiversidade (Ferreira et al., 2015) assinalam que, em um futuro próximo, é esperado um cenário de clima mais extremo com ocorrências mais frequentes de secas, inundações, tempestades tropicais e ondas de calor. A observação das mudanças climáticas e a análise de suas tendências por meio de tecnologias avançadas são essenciais não apenas para a ciência, mas também para a sociedade como um todo. À medida que enfrentamos desafios climáticos crescentes, a capacidade de compreender e prever essas mudanças é crucial para mitigar seus efeitos adversos.

A hipótese central deste trabalho é que por meio da utilização de tecnologias avançadas, como satélites e plataformas de análise de dados em

nuvem, melhora significativamente a precisão e a abrangência na detecção de padrões climáticos e tendências meteorológicas em regiões de grande escala que carecem de redes de estações meteorológicas tradicionais. Esta melhoria na coleta e análise de dados contribui para uma resposta mais efetiva e informada aos desafios socioambientais causados pelas mudanças climáticas decorrentes do desenvolvimento insustentável. A utilização de novas tecnologias permite uma coleta de dados mais abrangente e contínua, essencial para a análise precisa de tendências que, por sua vez, é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

Neste contexto, o objetivo principal foi analisar as inovações tecnológicas e os padrões das séries temporais de dados climatológicos de precipitação e temperatura média, máxima e mínima do ar, identificando se estas variáveis apresentaram alguma tendência significativa ao longo dos anos de 1990 à 2019.

Material e métodos

Área de estudo

O universo de análise engloba a microrregião do município de Frutal (Figura 1) e está localizada no estado de Minas Gerais, especificamente na região oeste da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Triângulo Sul), entre as coordenadas de aproximadamente de Latitude 20° 1' 11" Sul, Longitude: 48° 55' 10" Oeste, distribuídas em doze cidades (Limeira do Oeste, União de Minas, Campina Verde, Carneirinho, Iturama, São Francisco de Sales, Itapagipe, Comendador Gomes, Frutal, Fronteira, Pirajuba e Planura).

A região está localizada no bioma Cerrado, embora grande parte desta área já foi substituída pela agricultura e pecuária, restando apenas algumas áreas de preservação permanente e reserva legal. Segundo Costa e Queiroz (2021), é comum nessa região encontrar veredas nas áreas mais baixas, que são caracterizadas por solos mal drenados e acúmulo de águas, formado as nascentes das áreas de Cerrado. Nas partes mais altas, em solos mais desenvolvidos, encontra-se o Cerradão que devido ao avanço agropecuário foi quase todo desmatado.

O relevo em geral, plano ou suavemente ondulado, assentado sobre a Bacia Sedimentar do Paraná (Bacaro, 1991), o solo da região é predominantemente Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, apresenta relevo residual de

chapadões e morros testemunhos da Formação Marília e Formação Adamantina, que resistiram à dissecação (Caetano et al., 2020; Pinheiro et al., 2020). As altitudes variam entre aproximadamente 400 e 750 m (Figura 1), o clima regional preponderante é do tipo Aw, segundo a

classificação internacional de Köppen (Oliveira et al., 2012), ou seja, possui o inverno seco e o verão chuvoso com predominância dos sistemas intertropicais e polares.

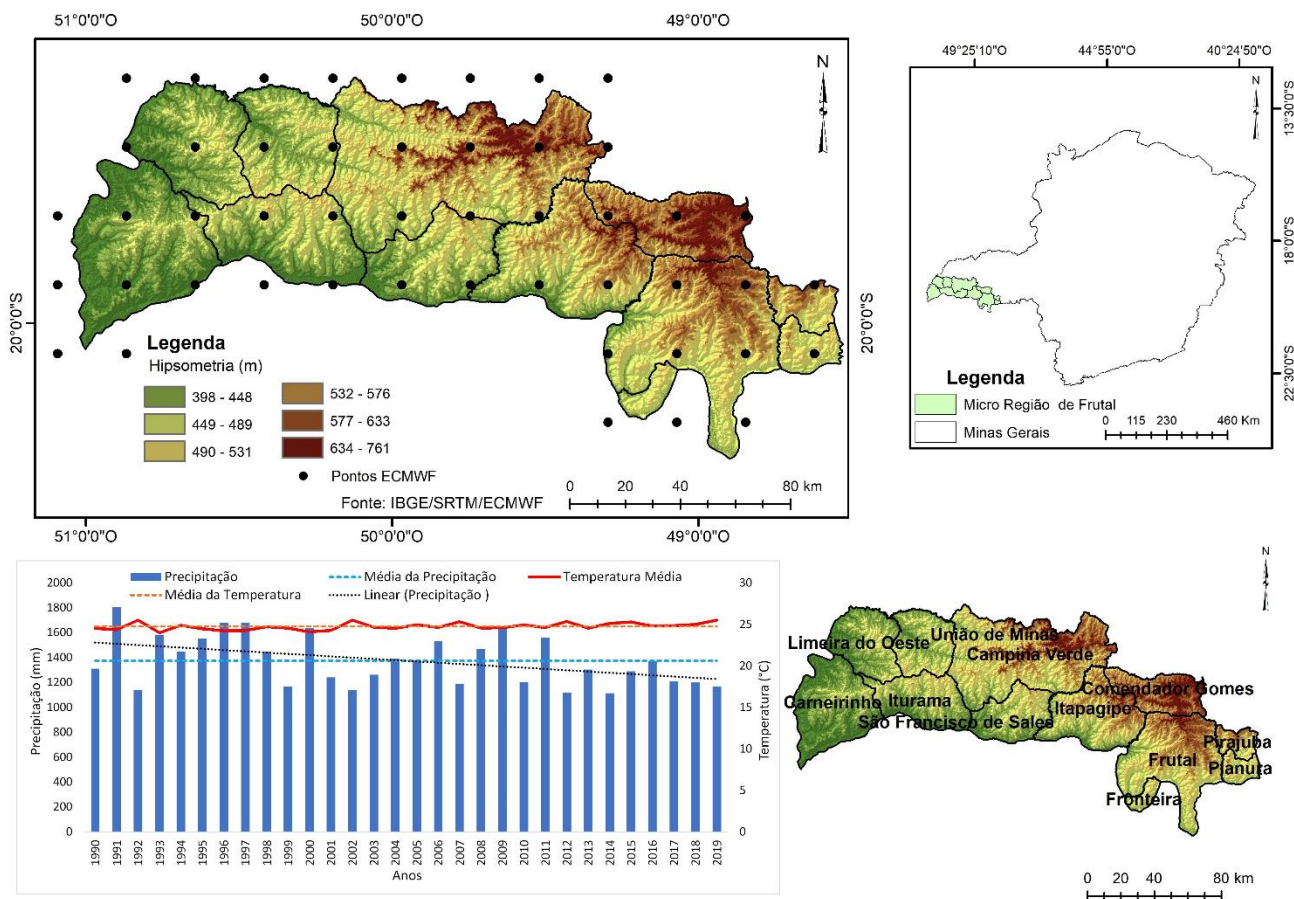


Figura 1. Localização da área de estudo, com respectivo climograma e hipsometria.

Coleta e processamento dos dados

Foram obtidos e analisados o banco de dados do modelo global Era5-Interim, referente aos dados de precipitação pluvial (PP) e temperatura média (Tar_med), mínima (Tar_min) e máxima do ar (Tar_max), processados recorrendo ao uso da biblioteca na plataforma em nuvem do Google Earth Engine, para o período de 1990 a 2019, para toda região de análise. Os dados providenciados do ERA-Interim apresentam resolução espacial de 0,25 graus ($\pm 25 \times 25$ km) mensalmente. O acervo inteiro está disponível em <<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/>>.

Os dados foram interpolados em ambiente SIG-QGIS 3.16. pelo modelo Inverso da Distância do Quadrados (IDW), que baseia-se na dependência espacial, dessa forma atribui maior

peso para os indivíduos mais próximos do que para os mais distantes do ponto à ser interpolado. O IDW, é um modelo determinístico, por sua vez estima medidas desconhecidas por meio de médias ponderadas das medidas conhecidas de pontos próximos, dando maior peso aos pontos próximos, se baseando matematicamente na Equação 1 a seguir:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad (1)$$

Em que, z = valores estimados; n = número de amostras; z_i = valores conhecidos; d_i = distâncias entre os valores conhecidos e estimados

(z_i e z). O modelo de interpolação IDW é um método exato que pode ser adequado para uma visualização ou interpretação preliminar da interpolação de uma superfície. Entretanto, não é realizada uma avaliação da predição de erros, que pode produzir um efeito “bulls eyes” ao redor da localização do dado, pequenas áreas que se diferenciam da suavização geral da variável.

Com o intuito de avaliar preliminarmente o comportamento da série temporal associada a um determinado parâmetro climático, foi realizado o cálculo das médias e de acordo com os resultados alcançados foram aplicados os testes paramétricos e não paramétricos. Na análise exploratória dos dados, foram obtidos os coeficientes de variação (CV) com o intuito de avaliar a variabilidade das séries na escala de tempo definida: $CV \leq 5\%$ baixa dispersão, $5\% < CV < 30\%$ moderada dispersão e $CV \geq 30\%$ alta dispersão. Aplicou-se o método de regressão linear utilizando a equação da reta da tendência ($Y = a(x) + b$), onde a é o coeficiente angular da reta e, no caso, $x = t$.

Assim, se $a > 0$ significa que a tendência é crescente e, se caso $a < 0$ indica uma tendência decrescente. No tocante à análise da regressão, os dados de temperatura e precipitação foram distribuídos graficamente e ajustados ao modelo linear do tipo $y = a(x) + b$, onde: “ x ” é a variável tempo; “ y ” é a precipitação ou temperatura; “ b ” é o valor da reta ajustada para o tempo $t = 0$; e “ a ” é o coeficiente angular, obtida pelo comportamento da reta, onde: $a > 0$ significa tendência positiva e $a < 0$ indica tendência negativa. Ao realizar esse procedimento, o valor estatístico do R^2 (coeficiente de determinação) reflete a qualidade do ajuste efetuado ($R^2 > 0,60 \rightarrow$ Forte; $0,30 \leq R^2 \leq 0,60 \rightarrow$ Moderado; $R^2 < 0,30 \rightarrow$ Fraco; e $R^2 = 0 \rightarrow$ Nulo), segundo (Silva Júnior et al., 2020).

Para a verificação da Normalidade foi realizado o teste de Shapiro-Wilk (1965), por meio do software BioStat, o parâmetro fornece valor de prova (valor-p, p-value ou significância), que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 correspondente à distribuição Normal. Quanto menor for o valor-p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula, por meio da Equação 2:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y(i))^2}{(\sum_{i=1}^n y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

Onde as constantes $a_1, a_2, \dots, a_n$ são calculadas como a solução de (Equação 3)

$$(a_1, a_2, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}} \quad (3)$$

Sendo $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)^T$ o vetor dos valores esperados das estatísticas de ordem da amostra e V a matriz de covariâncias dessas estatísticas. O p-valor deste teste é calculado exatamente para $n = 3$, em outras situações utilizam-se aproximações diferentes para $4 \leq n \leq 11$ e para $n \geq 12$, (Shapiro e Francia, 1972).

O teste de Mann- Kendall é um teste não paramétrico de análises de tendências e foi utilizado para determinar se o declive da linha de regressão é significativo (Mann, 1945; Kendall, 1975), o teste baseia-se na comparação de cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial é contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que os valor analisado. A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, como mostra a Equação 4:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (4)$$

Em que o $\text{sign}(x_i - x_j)$ é obtido da seguinte forma: -1, para $x_i - x_j < 0$, para $x_i - x_j = 0$ (3) 1, para $x_i - x_j > 0$. A estatística S tende à normalidade para n grande, com média e variância: $E[S] = 0$, Equação 5:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_{p-1})(2t_p+5) \right] \quad (5)$$

Em que: n é o tamanho da série temporal; t_p é o número de passos até o valor; p e q são os números de valores iguais. O teste estatístico Z é dado na Equação 6:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad \text{se } S < 0$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa na série temporal foi avaliada usando-se o valor da estatística Z, para testar a hipótese nula de que nenhuma tendência existe. O Z é o parâmetro de saída da estatística M-K. Valores positivos de Z indicam tendências

crecentes, enquanto negativos indicam tendências decrescentes. Para testar qualquer tendência, crescente ou decrescente, para um nível significativo α , rejeita-se a hipótese nula se o valor absoluto de Z for maior que $Z_{1-\alpha/2}$, obtido na tabela da distribuição normal. Utilizou-se o nível de significância $\alpha = 0,05$, como exemplifica a Tabela 1.

Tabela 1. Significância do Teste Mann-Kendall (Fonte: Adaptado de Alves et al., 2015)

Significância	Simbologia	Z
Sem Tendência	ST	0
Tendência significativa crescente	TSC	$>+1.96$
Tendência significativa decrescente	TSD	<-1.96
Tendência não significativa crescente	TNSC	$<+1.96$
Tendência não significativa decrescente	TNSD	>-1.96

Assim, se o valor absoluto de Z for maior que 1,96, rejeita-se a hipótese nula ao nível de 5% e as médias são estatisticamente diferentes. Os testes não-paramétricos e sequenciais de Mann-Kendall se apresentam como métodos apropriados para a análise de tendências e/ou mudanças em

séries temporais de dados (Pinheiro et al., 2013; Santos e Nishiyama, 2016).

A inclusão do fluxograma geral (Figura 2) abaixo, pode contribuir significativamente para a clareza e compreensão do conteúdo.

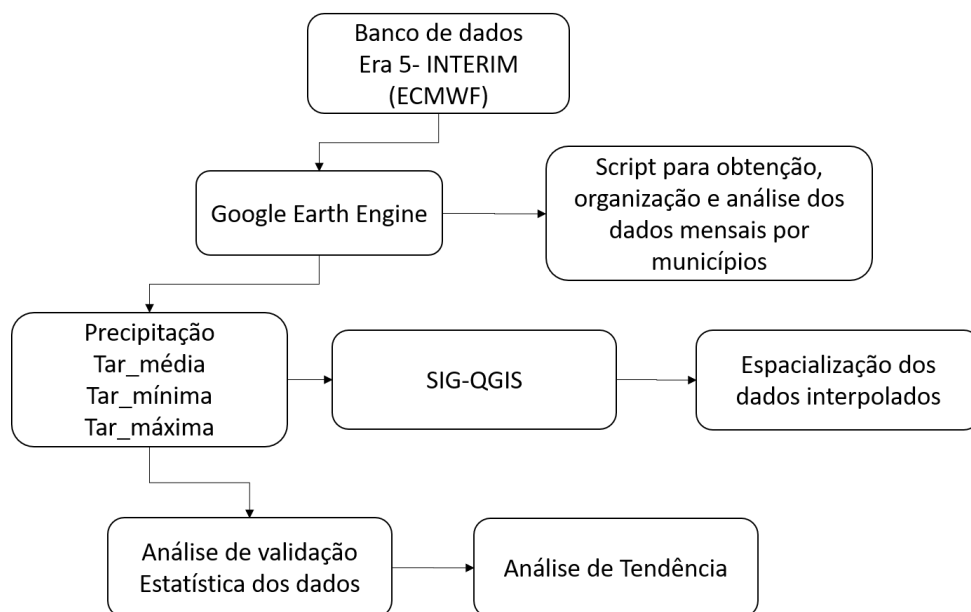


Figura 2. Fluxograma geral

Resultados e discussão

Quando realizamos estudos climatológicos se faz necessário incluir na análise a abordagem dos seus elementos formadores, como por exemplo, a temperatura e a precipitação pluvial,

esses elementos podem sofrer alterações de acordo com sua localização, considerando a latitude, a altitude de um ponto e/ou a cobertura e ocupação do uso da terra no local. Segundo Ayoade (1996), o clima sobre determinada região seria, a síntese de todos os elementos climáticos em uma combinação

de certa forma singular, determinada pela interação dos controles e dos processos climáticos. Numa escala local ou regional, as mudanças climáticas são detectadas por meio de análise de tendências nas séries históricas das variáveis meteorológicas, como temperatura e precipitação (Silva Junior et al., 2020). Para isso, são necessários registros climáticos de qualidade e a longo prazo (Moreira et al., 2021).

Para essa análise primeiramente foi construído o Climograma (Figura 1), indicando os valores médios de temperatura do ar (Tar_med) e da precipitação acumulada (PP_acum) anual, nos permitindo aferir a variabilidade do clima na região com valor médio da precipitação para o período de 1990-2019 de 1374mm, com a maior concentração das chuvas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e os menores julho e agosto (Tabela 2). Os anos que apresentaram maiores valores de PP_acum acima da média do período, foram: 1991, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 00, 06, 08, 09, e 2001 – com destaque para os anos de 1991 com 1805mm, 1996 com 1679mm, o ano de 2000 com 1635mm e 2009 com 1632mm, para a Tar_med os valores foram de 24,75°C, sendo junho o mês mais frio com a média da temperatura em 22,10°C e o mais quente novembro com 25,79°C.

Costa e Queiroz (2021) analisaram dados de precipitação e teste de tendência para o município de Campina Verde – MG, com dados obtidos pela ANA (Agência Nacional de Águas) e obtiveram valores médios da precipitação de 1374mm para o período de 1976 à 2020, comprovando a veracidade dos dados obtidos nesse trabalho por meio do ERA5-Interim. Corroboram trabalho de Oliveira et al. (2012) que realizaram a análise da precipitação pluvial para o período de 1980 à 2011, na região do Triângulo Mineiro Sul, em municípios que contavam com estação de superfície do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e o resultado foi de 1418mm de

precipitação média e a temperatura média de 23,76°C.

Foram especializadas as variáveis PP_acum, Tar_med, Tar_min e Tar_max, para todo o período, porém, afim de exemplificar foram selecionados os anos de 1990, 2000, 2010 e 2019, apresentadas na Figura 2. Com os mapas interpolados verificamos como os elementos se distribuem, tornando-a mais precisa e permitindo uma diminuição na escala de classificação. Nestes foram considerados 48 pontos de estações meteorológicas virtuais, obtidos no ERA5-Interim (Figura 1), que contemplam toda a área analisada.

Pode-se observar (Figura 3) que para PP_acum a distribuição não segue um padrão de localização, registrando apenas a diminuição dos valores máximo registrados. Para os dados de Tar_med com exceção do ano de 1990, os demais mostraram que os municípios localizados a oeste como: Limeira do Oeste, Carneirinho, Iturama e União de Minas apresentaram maiores valores, em comparação as outras áreas, o mesmo ocorreu para Tar_min e Tar_max, decorrente da forte influência da continentalidade, além da microrregião de Frutal não apresentar uma variação de altitude acentuada (Figura 1), o que pode justificar a pouca variação nos dados de temperatura do ar. A distribuição espacial da precipitação pluvial evidencia uma grande variação entre o mínimo e o máximo anual, entre os municípios da região.

Segundo Aparecido et al. (2019), a utilização de muitas estações meteorológicas virtuais, como os dados de reanálise ERA5-Interim, possibilita um mapeamento espacial acurado para todo o Estado do Paraná. Da mesma forma, Siefert et al. (2021), em uma análise comparativa temporal de velocidade dos ventos no Brasil, indicaram que os dados do ERA5 apresentaram uma maior acurácia para as zonas climáticas do país em termos de tendências médias e sazonalidades.

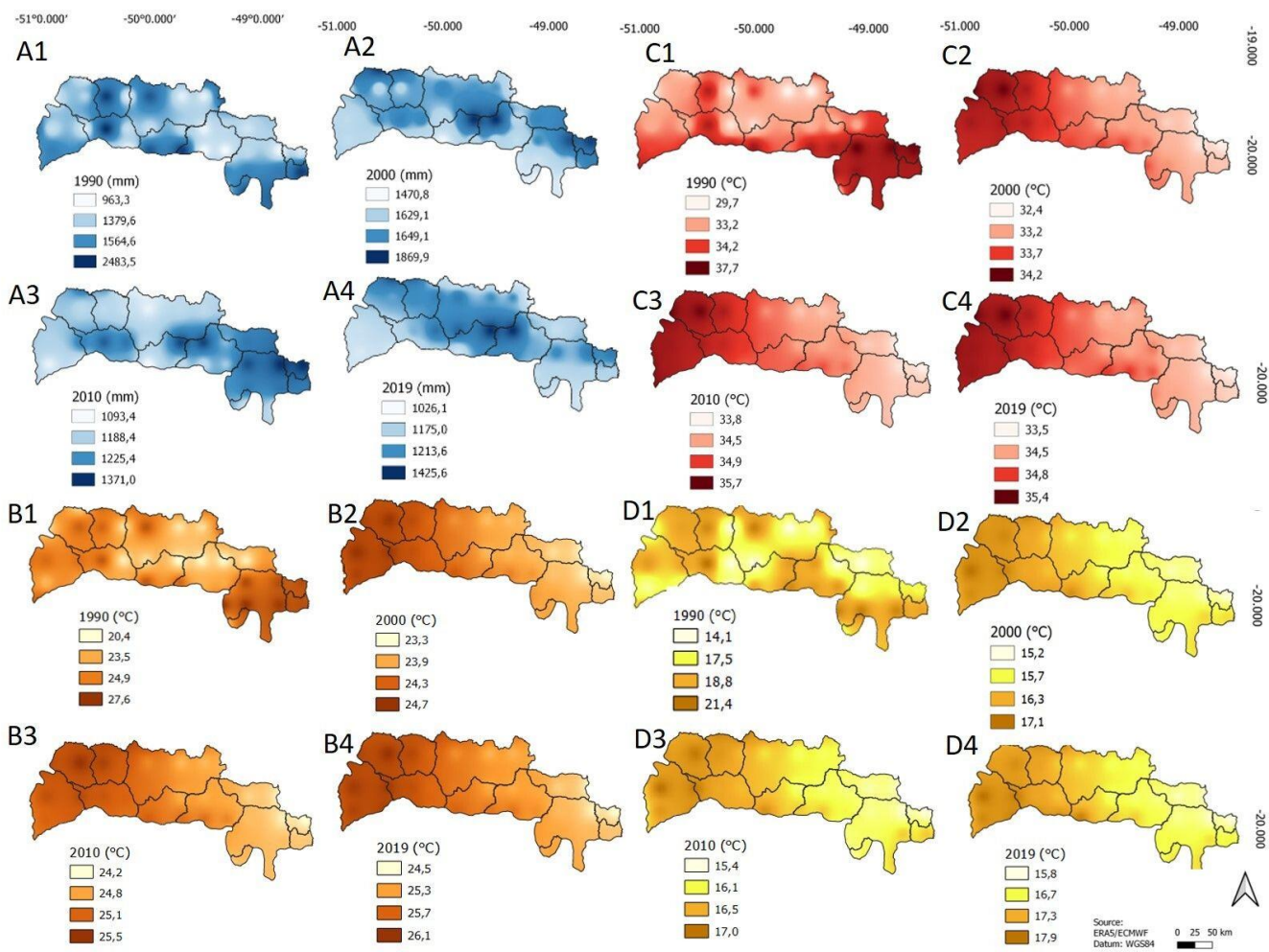


Figura 3. Espacialização dos dados de Precipitação Pluvial (mm) -A1, A2, A3 e A4; Temperatura média do ar (°C) -B1, B2, B3 e B4; Temperatura máxima do ar (°C) -C1, C2, C3 e C4 e temperatura mínima do ar(°C) -D1, D2, D3 e D4 para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2019.

As séries temporais mensais das temperaturas média, máxima e mínima apresentaram dados com baixa dispersão e pouca variabilidade ($CV \leq 5\%$), outro indicativo é apresentado nos valores médios de que novembro, dezembro, janeiro e fevereiro apresentaram os maiores valores para Tar_med e o mês de outubro com a maior valor de Tar_max (37,18°C) e julho

com o menor valor de Tar_min (11,62), Tabela 2. Já as séries temporais de precipitação apresentaram alta dispersão e grande variabilidade ($CV \geq 30\%$) a moderada para os meses de novembro a dezembro, considerando a média para os meses mais chuvosos dezembro e janeiro e menos chuvoso julho (16,08 mm).

Tabela 2. Análise estatística das séries temporais de temperaturas média, máxima e mínima mensais para os anos de 1990-2019.

Análise Exploratória dos dados de Temperatura Média (mensal 1990-2020)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	25.56	25.68	25.49	25.03	22.75	22.10	22.36	24.23	25.81	26.54	25.79	25.68
CV	2.97%	2.81%	2.61%	3.59%	4.30%	5.48%	4.78%	3.41%	4.98%	5.06%	2.51%	2.83%
Diferença	-2.9	-1.4	-0.8	-0.9	0.5	1.6	2.3	0.0	-3.9	-3.4	-1.7	-1.2
Testes Paramétricos e Não Paramétricos												
Shapiro-Wilk	0.035	0.243	0.476	0.012	0.217	0.441	0.809	0.352	0.414	0.072	0.791	0.827
a (coef angular)	0.034	0.040	0.024	0.011	0.003	0.012	0.006	-0.007	0.068	0.044	0.004	0.026
R ²	0.158	0.233	0.101	0.012	0.001	0.007	0.003	0.005	0.214	0.082	0.003	0.103
Mann-Kendall	1.588	2.516	1.838	1.731	1.445	1.891	1.570	0.161	2.587	1.873	0.375	1.766
Tendência	TNSC	TSC	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC	TSC	TNSC	TNSC	TNSC
Análise Exploratória dos dados de Temperatura Máxima (mensal 1990-2020)												
Média	33.90	33.68	33.37	33.04	32.21	31.70	32.68	35.19	36.86	37.18	34.93	34.27
CV	3.79%	3.86%	2.55%	3.34%	3.15%	4.02%	3.27%	3.15%	4.11%	4.88%	2.84%	3.24%
Diferença	-2.0	-1.0	1.8	1.5	1.3	1.4	1.9	-2.3	-5.2	-3.4	-0.9	0.3
Testes Paramétricos e Não Paramétricos												
Shapiro-Wilk	0.753	0.961	0.010	0.023	0.484	0.316	0.682	0.426	0.219	0.304	0.123	0.623
a (coef angular)	0.042	0.049	0.003	-0.010	-0.013	-0.006	-0.012	0.025	0.085	0.074	0.000	0.002
R ²	0.081	0.109	0.001	0.007	0.013	0.002	0.009	0.039	0.245	0.128	0.000	0.000
Mann-Kendall	1.838	2.194	1.053	0.517	0.731	0.963	0.785	1.374	2.516	1.588	0.589	0.482
Tendência	TNSC	TSC	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC	TSC	TNSC	TNSC	TNSC
Análise Exploratória dos dados de Temperatura Mínima (mensal 1990-2020)												
Média	20.05	20.33	19.73	16.53	13.04	12.00	11.62	13.44	14.94	17.89	18.77	19.59
CV	7.54%	6.49%	6.59%	12.68%	15.42%	24.89%	24.76%	20.15%	19.11%	10.62%	9.04%	8.41%
Diferença	-5.4	-4.9	-4.1	-2.7	2.3	2.3	8.4	1.7	-2.4	-4.4	-4.7	-4.8
Testes Paramétricos e Não Paramétricos												
Shapiro-Wilk	0.009	0.008	0.009	0.449	0.605	0.661	0.319	0.033	0.010	0.573	0.020	0.010
a (coef angular)	0.055	0.050	0.054	0.010	-0.078	0.057	-0.043	-0.095	0.027	0.018	0.029	0.055
R ²	0.101	0.112	0.136	0.002	0.117	0.028	0.017	0.096	0.007	0.007	0.023	0.087
Mann-Kendall	1.302	1.124	1.445	0.553	-1.017	1.713	-0.036	-0.981	0.910	0.839	0.660	1.195
Tendência	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC	TSD	TNSC	TSD	TSD	TNSC	TNSC	TNSC	TNSC

Nota: * Shapiro-Wilk ($\alpha = 5\%$); Mann-Kendall (± 1.96)

A regressão linear não apontou tendência estatisticamente significativa nos dados históricos, diante dos baixos coeficientes de determinação ($R^2 < 0,30$) e dos altos coeficientes de variação. Isto significa que quando o valor é maior, indica o grau de aproximação do modelo as médias, já quando o valor é menor indica o grau de distanciamento do modelo às médias. Corroboram trabalhos de Montanher e Minake (2020) e Silva Junior et al. (2020).

Para os dados de temperatura média do ar, houve tendência significativa crescente para os meses de fevereiro e setembro, sendo que os demais apresentaram tendência não significativa crescente. Os dados de temperatura máxima seguiu o mesmo padrão. Para os dados de Temperatura mínima houve tendência significativa decrescente para os meses de maio, junho e julho, os demais meses foram registrados com TNSC. Foram realizados os testes de Shapiro-WillK, para avaliar

normalidade nos dados e foram realizados com grau de confiança de 95% (nível de significância $\alpha = 5\%$). Öztuna et al. (2006) e Andrade et al. (2021) consideraram que o teste de Shapiro-Wilk é aparentemente, o melhor teste de aderência à normalidade, mostrando que esse teste é eficiente para diferentes distribuições e tamanhos de amostras quando comparado aos resultados de outros testes.

De forma geral, os dados apresentaram dificuldades em identificar a normalidade dos dados devido a presença de outliers, a maior concentração de meses que rejeitaram a hipótese nula (H_0), foram encontrados nos dados de precipitação e temperatura mínima.

Segundo Crispim et al. (2019), para confirmar a existência ou não de tendência na série de precipitação total anual foram aplicados dois testes não paramétricos, Mann-Kendall com intenção de verificar a significância da tendência discreta para o município de Brasileia – Acre, no período de (1981-2013).

Almeida et al (2020) e Cabral Junior e Lucena (2020), destacaram eficácia na aplicação de tendência em série histórica, para a variáveis meteorológicas em 27 estações no estado de Minas Gerais. Costa e Queiroz (2021), analisaram tendências relacionadas a precipitação e destacam ainda a redução da precipitação ao longo da série histórica para o município de Ituiutaba -MG, nos anos de 1988 a 2019.

A partir do teste de Mann-Kendall aplicado a todo período analisado, foi detectado um valor de $Z = -1,57$ para precipitação (Tabela 3), quer dizer que apresenta tendência significativa decrescente. Quando analisados valores mensalmente os meses de janeiro, fevereiro, março, maio, agosto, setembro e outubro apresentam tendência significativa decrescente (TSD), com exceção aos meses de abril, junho e julho que apresentaram tendência não significativa crescente (TNSC), em contrapartida o mês de novembro apresentou tendência crescente nos valores de precipitação (TSC).

No entanto essa variabilidade da precipitação, é uma característica inerente a condições diversas como: localização geográfica, influência oceânica e condições atmosféricas, típicas da região e não, necessariamente a mudança do comportamento da chuva, havendo anos mais chuvosos e outros menos, com grande variabilidade temporal mensal e anual. Dentre as principais justificativas para tal variação das tendências, destacam-se as influências oceânicas por meio das teleconexões, em que as chuvas se mostraram com grande variabilidade interanual, que coincide com fases positivas e negativas (aquecimento e resfriamento, respectivamente) nos oceanos, especialmente, o Pacífico pela Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e a Oscilação Sudeste do Pacífico (ENSO) –El Niño e La Niña, respectivamente (Vásquez et al., 2018).

Tabela 3. Análise estatística das séries temporais de precipitação mensal dos anos de 1990-2019.

Análise Exploratória dos dados de Precipitação (mensal 1990-2020)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	241.95	200.85	188.93	74.78	38.59	21.69	16.08	19.28	53.74	107.34	177.12	233.49
CV	41%	41%	46%	50%	72%	135%	170%	140%	83%	38%	29%	27%
Diferença	31.5	-217.7	-47.0	17.9	91.7	105.2	99.2	93.9	89.4	61.7	-97.6	-86.7
Testes Paramétricos e Não Paramétricos												
Shapiro-Wilk	0.174	0.183	0.009	0.487	0.010	0.008	0.007	0.008	0.011	0.126	0.233	0.830
a (coef												
angular)	-0.690	-1.652	0.671	-0.429	-1.153	-1.059	-0.563	-1.149	-2.266	-1.405	2.119	-1.203
R ²	0.004	0.031	0.005	0.010	0.135	0.101	0.033	0.140	0.201	0.092	0.133	0.029
Mann-												
Kendall	-0.018	-0.553	-0.375	0.553	-1.160	0.143	0.071	-0.214	-1.160	-1.017	2.266	-0.767
Tendência	TSD	TSD	TSD	TNSD	TSD	TNSD	TNSD	TSD	TSD	TSD	TSC	TSD

Nota: * Shapiro-Wilk ($\alpha = 5\%$); Mann-Kendall (± 1.96)

Nota-se que 50% desses anos mais secos encontram-se em períodos de fenômeno El Niño

(1998-1999, 2002-2003, 2007 e 2010) isso demonstra que nem todo ano de seca é influenciado

pelo referido fenômeno, concordando com resultados encontrados por Kane (1997) e Marengo et al. (2013). Destaca-se, por exemplo, que em 2012 ocorreu La Niña e mesmo assim registrou-se considerando ano seco, com seus valores bem abaixo da média, que também foi evidenciado por (RodrigueS; Mcphaden (2014) e Cabral Junior e LUCENA (2020). Da mesma forma para La nina, como destaque os anos de 1995-96, 2008 e 2011.

Estudos realizados com tendências em séries temporais de precipitação, para o norte do estado do Rio Grande do Sul, utilizando testes estatísticos não paramétricos Mann-Kendall e Spearman's rho identificaram alteração na tendência de 50% dos dados analisados em estações meteorológicas de superfície, os resultaram se mostraram semelhantes para os dois testes, os autores consideraram satisfatórios os resultados aplicados (Guedes et al., 2018). Pinheiro e Vide (2018), aplicaram o teste de tendência de Mann-Kendall em séries temporais de 30 anos de precipitação para o município de Irati – PR, os resultados não apresentaram tendências para o período analisado.

Muitos trabalhos demonstraram pelos modelos e análises de tendências, a variabilidade climática em escalas mais finas, como a anual (Chaves e Cavalcanti, (2001); Natividade et al., 2017). Segundo Back (2001), a dificuldade em estabelecer a existência de tendência devido à grande variabilidade natural dos dados meteorológicos. O autor utilizou análise estatística para identificar tendências anuais de temperatura e de precipitação para o estado de Santa Catarina. Natividade et al. (2017) concluíram que tanto para os índices de temperatura quanto para os índices de precipitação aplicados para Minas Gerais, a variabilidade interanual não teve uma simulação adequada pela média dos modelos

Conclusão

Podemos concluir que as oscilações de precipitação e na temperatura média, max e mínima em diferentes escalas de tempo (mensal, anual), podem estar muito mais associadas a uma variabilidade climática, tomando-se por base uma região do Triângulo Mineiro em constante transformação do uso e ocupação da terra.

O teste Mann-Kendall quando analisado para todo período (1990-2019) mostraram tendência significativa decrescente de precipitação. Destacando os meses de janeiro, fevereiro, março, maio, agosto, setembro e outubro que apresentaram tendência significativa decrescente (TSD). Em

relação às médias mensais de precipitação: observou-se o padrão já conhecido para a área de estudo, de chuvas mais volumosas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e menores nos meses de julho e agosto. Apesar desse padrão apresentado pelas médias, a variância em todos os meses é alta, o que mostra a grande variabilidade interanual da precipitação.

A temperatura máxima e média, houve tendência significativa crescente para os meses de fevereiro e setembro, sendo que os demais apresentaram tendência não significativa crescente. Os valores de temperatura média, máxima e mínima apresentaram dados com baixa dispersão e pouca variabilidade, a temperatura média do ar da região em torno de 24,75°C, sendo o mês junho o mais frio com 22.10°C e novembro o mais quente 25.79°C. Os testes se mostraram eficiente para estudos sobre a evolução dos dados meteorológicos, para a microrregião de Frutal-MG, mesmo mostrando que apesar de mostrar a tendência negativa para algumas séries, não foram significativas ao longo do período.

Os testes se mostraram eficientes para estudos sobre a evolução dos dados do modelo Era5-Interim, sendo essenciais para a compreensão da distribuição temporal e quando associados a ferramentas de plataformas online como GEE, possibilitam análise em grandes áreas e em tempo hábil, colaborando com a obtenção de resultados mais completos, por obter informações precisas e detalhadas sobre o espaço geográfico e uma condição necessária para atividades de planejamento e tomada de decisão.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais); ao Programa PQ-UEMG (Programa de Bolsa de Produtividade em Pesquisa) e ao PAPq/UEMG (Programa Institucional de Apoio à Pesquisa da UEMG), pelo suporte financeiro e institucional que tornaram este estudo possível.

Referências

- Alencar, J.R., Romani, L.A.S., Merlo, T.P., Evangelista, S.R.M., Otavian, A.F., 2016. Avaliação dos impactos do uso do sistema de monitoramento Agrometeorológico (Agritempo). Revista Política Agrícola 25, 5-19.
- Aparecido, L.E.O., Rolim, G.S., Moraes, J.R.S., Torsoni, G.B., Meneses, K.C., Costa, C.T.S., 2019. Acurácia da Reanálises Era - Interim do

- ECMWF e sua Aplicação na Estimativa da Deficiência Hídrica no Estado do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 34, 515-528. <https://doi.org/10.1590/0102-7786344066>
- Almeida, L.R., Rosse, V.P., Viola, M.R., Vieira-Filho, M., 2020. Tendências meteorológicas e anomalias de evapotranspiração de referências no período de 2011-2017 para o estado do Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia* 26, 595-613. <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.66174>
- Alves, B.C.A., Souza Filho, F.A.S., Silveira, C.S., 2013. Análise de Tendências e Padrões de Variação das Séries Históricas de Vazões do Operador Nacional do Sistema (ONS). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 18, 19-34.
- Alves, T.L.B., Azevedo, P.V., Farias, A.A., 2015. Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1601-1614. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150090>
- Andrade, A.R.S., et al., 2021. Modelo estatístico de distribuição do volume de água aplicado por emissores na avaliação do desempenho do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do maracujá. *Research, Society and Development* 10, e32610716566-e32610716566, <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16566>.
- Ayoade, J.O. Introdução a Climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: Coordenação editorial de Antônio Christofolletti. 4ª Edição, 1996. 332p.
- Baccaro, C.A.D., 1991. Unidades geomorfológicas do triângulo mineiro: estudo preliminar. *Revista Sociedade & Natureza* 3, 12-20. <https://doi.org/10.14393/SN-v3-1991-60687>
- Back, A. J., 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36, 717-726.
- Cabral Junior, J.B., Lucena, R.L., 2020. Análises das precipitações pelos testes não paramétricos de Mann- Kendall e Kruskal-Wallis. *Mercator* 19, 1-14. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001>
- Caetano, J.S., Pinheiro, L.S., Silva, A.R.P., 2020. Erosão Urbana: A problemática das crateras asfálticas. *Revista Geográfica Acadêmica* 14, 27-39.
- Costa, R.A., Queiroz, A.T., 2021. Avaliação da tendência da precipitação no município de Campina Verde (MG) no período de 1976 a 2020. *Revista Entrelugar* 13, 192-208. <https://doi.org/10.30612/rel.v12i24.15138>
- Couto, F.T., Salgado, R., Costa, M.J., Prior, V., 2015. Precipitation in the Madeira Island over a 10-year period and the meridional water vapour transport during the winter seasons. *International Journal of Climatology* 35, 3748-3759. <https://doi.org/10.1002/joc.4243>
- Crispim, D.A., Silveria, R.N.P.O., Pessoa, F.C.L., 2019. Análise estatística da precipitação do município de Brasília -Acre, Brasil. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental* 8, 104-122. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e22019104-122>
- Chaves, R.R., Cavalcanti, I.F.A., 2001. Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over Southern Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 29, 2614-2626. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<2614:ACFAWR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<2614:ACFAWR>2.0.CO;2)
- ECMWF. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Disponível em: <http://www.ecmwf.int/>. Acessado em setembro de 2021.
- Fernandes, A.C.G., et al., 2011. O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana. *Research, Society and Development* 11, e546111133925-e546111133925. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33925>
- Ferreira, P.S., Gomes, V.P., Galvêncio, J.D., Santos, A.M., Souza, W.M., 2017. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia* 21, 113-134. <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.45895>
- Ferreira, D.H.L., Penereiro, J.C., Fontolan, M.R., 2015. Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do rio Tietê. *Holos* 2, 50-68. <https://doi.org/10.15628/holos.2015.1455>
- Fu, R., Betts, A.K., 2008. How well does the ERA40 surface water budget compare to observations in the Amazon River basin. *Journal of Geophysical Research* 13. <https://doi.org/10.1029/2007JD009220>
- Gomes, D.J.C., Silva, L.P., Pires, E.A., Oliveira, M.R.S., Ferreira, N.S., Lima, I.C.P., Dias, G.F.M., 2022. Variabilidade hidroclimática e

- alterações do uso e cobertura da terra, Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 50-67.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment* 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guedes, H.A.S., Pride, P.S., Manke, E.B., 2028. Tendências em séries temporais de precipitação no norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 34, 283-291. <https://doi.org/10.1590/0102-77863340238>
- Hao, P., Tang, H., Chen, Z., Yu, L., Wu, M., 2019. High resolution crop intensity mapping using harmonized Landsat-8 and Sentinel-2 data. *Journal of Integrative Agriculture* 18, 2883-2897. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62599-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62599-2)
- . ERA5 reanalysis is in production, ECMWF Newsletter [online] 147. Disponível: <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production/>. Acessado: 08 out. 2021.
- Hennermann, K., Berrisford, P., 2019. What are the changes from ERA-Interim to ERA5. Available [online] 159. Disponível: <https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=74764925/>. Acessado: 01 out. 2021.
- Hoffmann, L., Gunther, G., Li, D., Stein, O., Wu, X., Griessbach, S., Heng, Y., Konopka P., Muller, R., Vogel, B., Wright, J.S., 2019. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 3097-3124. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019>
- Kane, R.P., 1997. Prediction of droughts in North-east Brazil: Role of ENSO and use of Periodicities. *International Journal of Climatology* 17, 655-665. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199705\)17:6<655::AID-JOC144>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199705)17:6<655::AID-JOC144>3.0.CO;2-1)
- Kendall, M.G. Rank Correlation Measures. London: Ed. Charles Griffin, 1975. 83p.
- Kiem, A.S., Austin, E.K., 2013. Drought and the future of rural communities: Opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria, Australia. *Global Environmental Change* 23, 1307-1316. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.06.003>
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259.
- Marcuzzo, F.F.N., Cardoso, M.R.D., Faria, T.G., 2012. Chuvas no Cerrado da região centro-oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura. *Ateliê Geográfico* 6, 112-130.
- Marengo, J.A., Alves, L.M., Soares, W.R., Rodriguez, D.A., Camargo, H., Riveros, M.P., Pablo, A.D., 2013. Two contrasting seasonal extremes in tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil. *Journal of Climate* 26, 9137-9154. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00642.1>
- Montanher, O.C., Minake, C., 2020. Precipitação em Maringá- PR: estatísticas descritivas, tendência de longo prazo e probabilidade de eventos extremos diários. *Revista do Departamento de Geografia* 39, 138-153. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.164209>
- Moraes, R.A., Rocha, J.V., Rolim, G., Lamparelli, R.A.C., Martins, M., 2012. Evaluation of 10-day period precipitation, maximum and minimum air temperature data from the ECMWF model in São Paulo state. *Irriga* 17, 397-407.
- Moreira, P.H.O., Cunha, A.C., Costa, A.C.L., 2021. Índice de tendências climáticas de longo prazo em área urbana na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 3378-3393. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3372-3387>
- Mutanga, O., Kumar, L., 2019. Google earth engine applications. *Remote Sensing* 11, 591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- Natividade, U.A., Garcia, S. R., Torres, R.R., 2017. Tendência dos índices de extremos climáticos observados e projetados no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia* 32, 600-614. <https://doi.org/10.1590/0102-7786324008>
- Niu, X., Easterling, W., Hays, C.J., Jacobs, A., Mearns, L., 2008. Reliability and input-data induced uncertainty of the EPIC model to estimate climate change impact on sorghum yields in the U.S. Great Plains. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129, 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.09.012>
- Novais, G.T., 2021. Mesoclimas do Município de Prata (MG). *Revista Brasileira de Climatologia* 28, 8-27. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.73300>

- Oliveira, L.C., Faleiros, F.E., Santos, L.A.S., 2012. Análise do condicionamento da altitude nas variáveis climáticas de temperatura e precipitação na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paraíba. *Revista Geonorte* 3, 325-335
- Öztuna, D., Elhan, A. H., Tüccar, E., 2006. Investigation of Four Different Normality Tests in Terms of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions. *Turkish Journal of Medicine Sciences* 36, 171-176.
- Pinheiro, A., Graciano, R. L. G., Severo, D. L., 2013. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 281-290. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000300005>
- Pinheiro, G.M., Vide, J.M., 2018. Tendências pluviométricas no município de Irati, PR. *Revista Brasileira de Climatologia* 23, 60-71. <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.50867>
- Pinheiro, L.S., Silva, C.C., Caetano, J.S., Fernandes, M.S., 2020. Monitoramento de erosão laminar em cultura canavieira em Frutal (MG). *Revista GeoUECE* 9, 73-85.
- Rahimi, J.; Ebrahimpour, M.; Khalili, A., 2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theor Appl Climatol* 112, 409-418. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0741-8>
- Rodrigues, R.R., Mcphaden, M.J., 2014. Why did the 2011-2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast, *Geophysical Research Letters* 41, 1012-1018. <https://doi.org/10.1002/2013GL058703>
- Rosa, G.B., Silva Fuzzo, D.F., Fischer Filho, J. A., 2023. Modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região sul do Triângulo Mineiro, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia* 33, 81-97. <https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.16965>
- Shapiro, S.S., Francia, R.S., 1972. An Approximate Analysis of Variance Test for Normality. *Journal of the American Statistical Association* 67, 215-216.
- Shapiro, S.S., Wilk, M., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52, 591-611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Salviano, M. F., Groppo, J. D., Pellegrino, G.Q., 2016. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 31, 64-73. <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>
- Sapucci, L.F., 2014. Evaluation of Modeling Water-Vapor-Weighted Mean Tropospheric Temperature for GNSS-Integrated Water Vapor Estimates in Brazil. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 53, 715-730. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-048.1>
- Santos, C.A.C., Manzi, A.O., 2011. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 157-165. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000100014>
- Santos, V.O., Nishiyama, L., 2016. Tendências hidrológicas no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba, em Minas Gerais. *Caminhos de Geografia* 17, 196-212.
- Siefert, C.A.C., Netto, N.D., Marangon, F.H.S., Schultz, G.B., Silva, L.M.R., Fontenelle, T.H., Santos, I., 2021. Avaliação de séries de velocidade do vento de produtos de reanálises climáticas para o Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 36, 689-701. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360026>
- Silva Júnior, M.A.B., Neto, G.C.F., Cabral, J.J.S.P., 2020. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. *Revista de Geografia* 37.
- Vásquez, I.L.P., Araujo, L.M.N., Molion, L.C.B., Abdala, M.A., Moreira, D.M., Barbosa, H.A., Rotunno Filho, O.C., 2018. Historical analysis of interannual rainfall variability and trends in southeastern Brazil based on observational and remotely sensed data. *Climate Dynamics* 50, 801-824. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3642-9>