



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE CHUVA ENTRE 1949 E 2019
EM GOIÂNIA, GO

Ayramanna Carlos Souza da Silva

Orientador:

Prof. Dr. Rafael Battisti

Fevereiro – 2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Ayramanna Carlos Souza da Silva

3. Título do trabalho

Análise da tendência de chuva entre 1949 e 2019 em Goiânia, GO

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Battisti, Professor do Magistério Superior**, em 24/02/2021, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **AYRAMANNA CARLOS SOUZA DA SILVA, Discente**, em 24/02/2021, às 14:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1850310** e o código CRC **A0496EFD**.

Referência: Processo nº 23070.006240/2021-22

SEI nº 1850310

AYRAMANNA CARLOS SOUZA DA SILVA

**ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE CHUVA ENTRE 1949 E 2019
EM GOIÂNIA, GO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solo e Água

Orientador:

Prof. Dr. Rafael Battisti

Goiânia, GO – Brasil

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Silva, Ayramanna Carlos Souza
ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE CHUVA ENTRE 1949 E 2019 EM
GOIÂNIA, GO [manuscrito] / Ayramanna Carlos Souza Silva. - 2021.
LXX, 70 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Battisti.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia,
2021.

Bibliografia.

Inclui siglas, mapas, abreviaturas, gráfico, tabelas.

1. Precipitação pluvial. 2. Variabilidade climática. 3. Teste de Mann
Kendall. 4. Fenômenos ENOS. 5. Tendência climática. I. Battisti,
Rafael , orient. II. Título.

CDU 66.0



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata Nº 18/2021 da sessão de Defesa de Dissertação de **Ayramanna Carlos Souza da Silva** que confere o título de Mestre em Agronomia, na área de concentração em Solo e Água.

Aos 24/02/2021, vinte e quatro dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um, a partir das 9:00, nove horas, por videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “Análise da tendência de chuva entre 1949 e 2019 em Goiânia, GO”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador e Presidente da Banca Examinadora, **Prof. Rafael Battisti (EA/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Prof. Derblai Casaroli (EA/UFG)**, membro titular interno; **Prof. Felipe Gustavo Pilau (ESALQ/USP)**, membro titular externo. Durante a arguição, os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação tendo sido a candidata **APROVADA** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Presidente da Banca Examinadora, Prof. Rafael Battisti, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos 24/02/2021, vinte e quatro dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Battisti, Professor do Magistério Superior**, em 24/02/2021, às 11:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Derblai Casaroli, Professor do Magistério Superior**, em 24/02/2021, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Gustavo Pilau, Usuário Externo**, em 24/02/2021, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1850270** e o código CRC **35C4FC78**.

Referência: Processo nº 23070.006240/2021-22

SEI nº 1850270

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Goiás e à Escola de Agronomia, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de pesquisa.

Ao NUCLIRH, pelo acolhimento e compartilhamento de experiências.

Ao Prof. Dr. Rafael Battisti pela orientação, incentivo, amizade e contribuição com meu desenvolvimento acadêmico.

À Coordenação de Pós-Graduação em Agronomia, pelo suporte fornecido ao longo do curso.

À minha família: minha mãe Anna Maria por todo amor e carinho; meu irmão Alexandre por toda paciência e meus avós Terezinha (in memoriam) e Joaquim pelo enorme amor. Amo vocês!

Aos meus amigos; os amigos da vida Tailliny, Marcello e João Paulo por compartilharmos anos de amizade e conquistas juntos; aos amigos que participaram da minha graduação Joyce, Gabriel, Gessika, Ramon, Diogo e Lucas, vocês foram minha força nos anos de graduação e fazem parte de todas as conquistas desde então; aos amigos que o programa de mestrado me presenteou, Fabio e Thaynara, foi muito bom partilhar da companhia e apoio de vocês; e, a todos os amigos que fazem parte da minha vida.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E MASSAS DE AR ATUANTES	16
2.2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
2.3. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	19
2.3.1. Variabilidade climática, tendência climática e eventos extremos	21
2.3.2. Mudanças Climáticas Globais	25
2.3.3. Séries temporais de precipitação pluviométrica	27
2.3.4. Testes de tendência	29
2.3.5. Impactos de eventos extremos de chuvas no meio urbano e rural	30
2.4. EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E CLIMA	32
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1. ÁREA DE ESTUDO	35
3.2. DADOS PLUVIOMÉTRICOS	36
3.3. ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	36
3.3.1 Organização da escala de estudo	36
3.3.2 Análise de tendência, médias e testes estatísticos	37
3.4. RELAÇÃO DO FENÔMENO ENOS COM A CHUVA	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1. ANÁLISE DESCRITIVA E DE TENDÊNCIA.....	41

4.2. OCORRÊNCIA DE DIAS SECOS E CHUVOSOS	48
4.3. ANÁLISE DO VOLUME DIÁRIO DE CHUVA.....	50
4.4. PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E FENÔMENOS ENOS	53
5. CONCLUSÕES.....	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

RESUMO

Análise da tendência de chuva entre 1949 e 2019 em Goiânia, GO

A variabilidade climática influencia o comportamento da população e os mais variados setores da economia. As ações antrópicas afetam diretamente no aquecimento global e, por sua vez, intensificam o ciclo hidrológico desencadeando uma sequência de efeitos adversos, como, por exemplo, aumento da temperatura do ar e alteração da precipitação em diferentes regiões. A análise da tendência de séries históricas de precipitação permite determinar a ocorrência de mudanças climáticas, possibilitando a avaliação de suas consequências sobre as bacias hidrográficas, e consequentemente, sobre a sociedade, sendo ferramenta para solucionar problemas de interesse da engenharia, como controle do escoamento superficial e drenagem urbana, além de problemas agrícolas, como manejo de cultivares e mitigação de sistemas. A variabilidade climática também pode ser causada por fenômenos de macroescala, como os fenômenos ENOS. Desta forma, este trabalho teve como objetivo realizar a análise quantitativa e a tendência da série histórica de chuva de 1949 a 2019 do município de Goiânia, GO, em escala anual, mensal e trimestral, por meio de estatísticas descritivas e do teste estatístico de Mann-Kendall, contabilizando a ocorrência de dias secos, chuvosos e volumes precipitados, observando a ocorrência, intensidade e suas relações com o fenômeno ENOS. Os dados pluviométricos foram obtidos no banco de dados Hidroweb, em que foi realizado uma análise preliminar, preenchendo os dados faltantes. A série foi organizada nas escalas de estudo e consistência, em que foram analisadas as tendências, médias e testes estatísticos. Foram obtidos os Índices Oceânico Niño (ION) do intervalo e os anos foram classificados conforme a ocorrência, intensidade, duração dos fenômenos ENOS e determinado a relação de atraso de resposta do ION no volume da chuva. Houve grande variação anual da distribuição das chuvas na região, destacando-se a ocorrência de precipitação máxima de 2.049 mm (1982) e mínima de 1.037 mm (1949), com normal climatológica de 1.558 mm. O teste de Mann-Kendall indicou tendência de aumento das chuvas na escala de 2,31 mm ano⁻¹. Na análise mensal, os meses de março e abril apresentaram tendência de aumento das chuvas na escala de 2,48 e 1,87 mm ano⁻¹, respectivamente, entre 1949 e 2019. Na análise trimestral, os trimestres de janeiro-fevereiro-março (JFM) e abril-maio-junho (AMJ) apresentaram tendência de aumento das chuvas na escala de 1,93 e 1,87 mm ano⁻¹, respectivamente. O município de Goiânia (GO), apresentou uma média de 228 dias sem a ocorrência de chuvas por ano, o que correspondeu a 62% do total anual. Quanto ao volume diário de chuva, ocorreram 200 ocasiões de precipitação acima de 60 mm dia⁻¹. Ao comparar o volume de chuva com o ION das estações do ano de um mesmo período e de períodos retroativos, observou-se uma correlação fraca. Dessa forma, existe tendência de aumento das chuvas no acumulado anual, contudo, não foi constatada correlação entre o volume de chuva e a ocorrência de fenômenos ENOS.

Palavras-chave: Precipitação pluvial, variabilidade climática, Teste de Mann-Kendall, fenômenos ENOS, tendência climática.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Battisti, EA/UFG.

ABSTRACT

Analysis of the rain trend between 1949 and 2019 in Goiânia, GO

Weather variability influences the behavior of the population and many sectors of the economy. Anthropogenic actions directly affect global warming and, consequently, intensify the hydrological cycle, triggering a sequence of adverse effects such as increasing air temperature and changing precipitation in different regions. The analysis of the trend of historical precipitation allows determining the occurrence of local climate changes, enabling the evaluation of their consequences on hydrographic basins and, consequently, on society being a tool to solve problems of interest to engineering, such as surface runoff control and urban drainage, in addition to agricultural problems, such as crop management and mitigation systems. Climatic variability can also be caused by macroscale phenomena, such as ENSO. So, the objective of this work was to carry out the quantitative analysis and the trend of the historical series of rain from 1949 to 2019 in Goiânia, GO, on an annual, monthly and quarterly scale, through descriptive statistics and the Mann-Kendall test counting the occurrence of dry, rainy days and precipitated volumes and observing the occurrence, intensity and its relationship with ENSO. The pluviometric data were obtained on the Hidroweb database and a preliminary analysis was performed, filling in the missing data. The series was organized on the study and consistency scales, in which trends, averages and statistical tests were analyzed. The Oceanic Niño Index (ONI) of the period was obtained and the years were classified according to the occurrence, intensity and duration of the ENSO and the ONI response delay ratio in the rain intensity was determined. There was a large annual variation in the distribution of rainfall in the region, with a maximum of 2,049 mm (1982) and a minimum of 1,037 mm (1949), with a climatological average of 1,558 mm. Mann-Kendall indicated a tendency of increased rainfall of 2.31 mm year⁻¹. In the monthly analysis, March and April showed a tendency of increasing rainfall of 2.48 and 1.87 mm month⁻¹, respectively, from 1949 to 2019. In the quarterly analysis, the January-February-March (JFM) and April-May-June (AMJ) quarters showed a trend of increasing rainfall of 1.93 and 1.87 mm month⁻¹, respectively. The city of Goiânia (GO) presented an average of 228 days without the occurrence of rains per year, which corresponded to 62% of the year, as for the daily volume of rain there were 200 occasions of precipitation above 60 mm day⁻¹. When comparing the volume of rain with the ONI of the seasons of the same period and previous periods, a weak correlation was observed. Thus, there is a tendency of increasing rainfall in the annual accumulated. However, no correlation was found between the volume of rain and the occurrence of ENSO phenomena.

Keywords: Rainfall, weather variability, Mann-Kendall test, ENSO, climatic trend.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Battisti, EA/UFG.

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade climática influencia o comportamento da população e os mais variados setores da economia, tais como as atividades agropecuárias, consumo e geração de energia, entre outros (Siciliano et al., 2018). Dentre as variáveis climáticas, a precipitação pluviométrica destaca-se por possuir alta variabilidade temporal e espacial (Almeida et al., 2014). Nesse contexto, a análise da tendência de séries históricas de precipitação permite determinar a ocorrência de mudanças climáticas locais, possibilitando a avaliação de suas consequências sobre as bacias hidrográficas, e conseqüentemente, sobre a sociedade (Tammets & Jaagus, 2012). As ações antrópicas influenciam diretamente no aquecimento global e, por sua vez, intensificam o ciclo hidrológico desencadeando uma sequência de efeitos adversos, como, por exemplo, aumento da temperatura do ar e alteração da precipitação em diferentes regiões (IPCC, 2018). Assim, a utilização de uma série de dados viabiliza a análise do comportamento temporal da chuva, permitindo estabelecer tendências futuras e destacando possíveis mudanças climáticas ao longo do tempo (Filho et al., 2008).

As mudanças climáticas alteram a frequência de ocorrência dos eventos extremos de precipitação pluvial, acarretando em inundações, secas, tempestades tropicais e ondas de calor (IPCC, 2014). Conhecer as alterações climáticas de caráter local ou global funciona como ferramenta para solucionar problemas de interesse da engenharia, como controle do escoamento superficial e drenagem urbana, além de problemas agrícolas, como manejo de cultivares e mitigação de sistemas (Santos, 2014; Bender, 2017). Nesse caso, os eventos extremos de precipitação se alteraram ao longo dos tempos, no nível global, houve um aumento de intensidade e/ou frequência, ocorrendo maiores concentrações de chuvas em intervalos de menor tempo. Westra et al. (2013) estudaram as tendências em séries de precipitações diárias máximas anuais (Pd_{ma}) para 8.326 estações pluviométricas espalhadas pelo mundo, com séries históricas com mais de 30 anos (1900 a 2009). Estes autores obtiveram resultados de tendência estatística crescente em nível global para a intensidade de chuva, em que aproximadamente dois terços das estações mostraram aumentos significativos da precipitação, a qual foi correlacionada com a elevação da temperatura global média.

Em uma análise local, no nordeste brasileiro, avaliando 56 estações, os dados de séries temporais diárias de temperatura e precipitação com mais de 40 anos (1950 a 2010), indicaram tendências de aumento da temperatura máxima do ar associada a redução da pluviosidade média anual (Lacerda, 2015). Já no estado de Goiás, Alves (2016) verificou que a tendência nas séries temporais de precipitação, observada em 67 postos pluviométricos, não indicaram alterações significativas na estação chuvosa (Outubro-Março), entretanto, ao observar a estação seca (Abril-Setembro), houve tendência significativa de redução da precipitação em 30% das estações analisadas.

A variabilidade climática também pode ser causada por fenômenos de macroescala. Um exemplo é o El Niño Oscilação Sul (ENOS), o qual decorre das variações de fluxos de calor e vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera, em que anomalias positivas caracterizam o El Niño e negativas La Niña (Collins et al., 2010). Nur'utami & Hidayat (2016) afirmam que essas oscilações interferem diretamente na Célula de Walker, célula de circulação atmosférica Leste-Oeste ao longo do cinturão equatorial, respondendo as diferenças da temperatura oceânica. Ainda de acordo com os autores, as oscilações da circulação nas células podem resultar em condições climáticas extremas em diferentes localidades.

Neste contexto, o estudo da tendência temporal da precipitação e a sua relação com fenômenos de macroescala e mudança climática apresenta-se como uma importante ferramenta para planejamento e tomada de decisões, auxiliando na gestão dos recursos hídricos. Assim, a hipótese desse trabalho é que as mudanças climáticas já observadas a nível global intensificaram a ocorrência de eventos extremos de chuva em locais específicos, alterando o regime pluviométrico ao longo dos anos, elevando a ocorrência de eventos extremos e, conseqüentemente, riscos associado a população e produção agrícola.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi analisar a tendência temporal das séries históricas de precipitação pluvial diária, mensais e anual do município de Goiânia, para o intervalo entre 1949 e 2019.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a tendência de alteração da chuva durante o intervalo de 1949 e 2019, através do teste de Mann-Kendall, em escala anual, mensal e trimestral (estações do ano);
- Quantificar a ocorrência de dias secos e chuvosos durante a série de dados, avaliando as tendências de alteração;
- Avaliar a relação entre o volume de chuvas e o Índice Oceânico Niño (ION) –ENOS de forma quantitativa ao longo da série histórica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E MASSAS DE AR ATUANTES

O território do estado de Goiás possui temperatura média anual de 22 °C, com variação entre 24 °C e 18 °C, já a precipitação anual média varia entre 1.500 e 1.750 mm (Nimer, 1979). As Normais Climatológicas de 1961 a 1990 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mostram que, no estado de Goiás, predomina média de precipitação anual variando entre 1.450 e 1.850 mm. Já, as Normais Climatológicas de 1981 a 2010 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mostram que, predomina média de precipitação anual variando entre 1.450 e 1.650 mm (Figura 1).

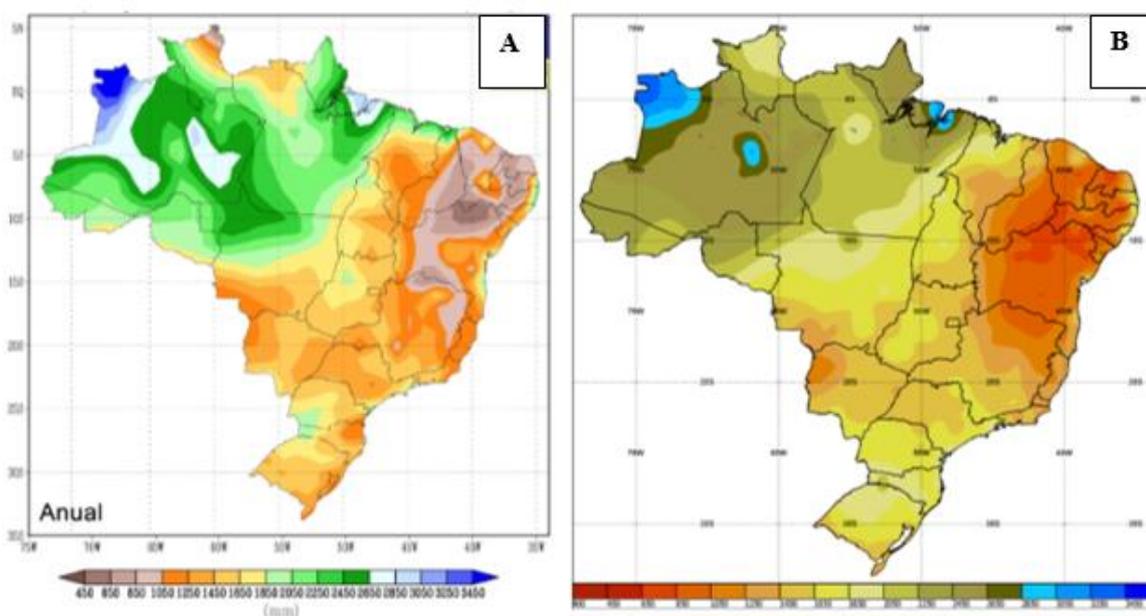


Figura 1. Mapa de Normais Climatológicas de 1961 a 1990 (A). Mapas de Normais Climatológicas de 1981 a 2010 (B). (INMET, 2021).

Campos et al. (2002) destacam que, devido à diversidade do relevo, da hidrografia, da vegetação, da latitude, da continentalidade e da dinâmica das massas de ar (os fatores climáticos), o estado de Goiás apresenta uma variabilidade climática complexa,

principalmente de temperatura e precipitação pluviométrica. Os fatores relevo e latitude exemplificam a diversidade térmica da região, já a dinâmica das massas de ar ilustra a variabilidade pluviométrica, existindo uma sazonalidade de atuação de massas de ar que repercute nos períodos de seca e chuvas no estado (Nimer, 1979). A diversidade térmica no estado de Goiás foi justificada pela variação da latitude que reflete nas maiores temperaturas ao norte (24 °C) e menores ao sul (22 °C), enquanto o relevo apresenta locais com menores altitudes com média entre 22 °C, reduzindo para 20 °C em áreas elevadas (Nimer, 1979).

O estado de Goiás, tem a atuação de centros de baixa pressão de origem continental, individualizados como massas de ar Equatorial continental e Tropical continental, e centros de alta pressão que se individualizam sob a forma de massas de ar de origem marítima, representadas pelas massas de ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica. Essas massas se deslocam sazonalmente para o continente, considerando o caminho preferencial e os bloqueios de relevo que, de acordo com o aquecimento desigual entre as estações do ano, avançam e recuam sobre o estado (Serra & Ratisbonna, 1942; Monteiro, 1973; Nimer, 1979; Campos et al., 2002).

A massa equatorial continental (mEc) origina-se na região de doldrum (calmaria) e é constituída pelo centro de baixa pressão localizado na Floresta Amazônica. Formada em uma zona de baixa pressão, essa massa de ar configura-se como um sistema atmosférico ciclônico com movimento ascendente e convergente, concentrando e transmitindo para as camadas superiores da atmosfera a umidade gerada pela evapotranspiração da vegetação e dos corpos hídricos da Floresta Amazônica e a originada pela evaporação do Oceano Atlântico, que é transportada pelos ventos alísios. Por conta dos ventos contra-alísios nas camadas superiores da atmosfera e pela expansão da depressão térmica localizada nessa região durante a primavera e verão, essa massa de ar se desloca para o restante do país, perfazendo uma trajetória NO-SE, chegando até o litoral do sul do Brasil (Serra & Ratisbonna, 1942). A mEc adentra o estado de Goiás pela Depressão do Rio Araguaia, na região noroeste do estado, deslocando-se sobre o restante da área pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas. Os Planaltos (do Rio Verde e Central Goiano) e os Chapadões (de Goiás e Distrito Federal) funcionam como uma barreira orográfica para essa massa de ar, em sentido sudoeste/leste.

A massa tropical continental (mTc) origina-se na depressão do Chaco, uma zona baixa, quente e árida a leste dos Andes, e é oriunda da frontólise da Frente Polar Pacífica após transpor a Cordilheira. Serra & Ratisbonna (1942) ressaltam que, essa massa se

individualiza no inverno, atuando, no verão. Devido a sua formação em uma zona de baixa pressão, a mTc possui circulação ciclônica na superfície, com forte convergência. A baixa umidade da zona de origem impede a formação de nuvens de convecção, resultando em um tempo estável, quente e seco. A entrada da mTc no estado de Goiás se dá pelo sudoeste goiano. O Planalto do Rio Verde condiciona a introdução dessa massa por dois caminhos preferenciais: pela Depressão do Rio Araguaia ou pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas.

A massa tropical atlântica (mTa), também denominada de massa tropical marítima (mTm), origina-se no Anticiclone do Atlântico Sul, recebendo, de forma homogênea, muito calor e umidade da superfície oceânica. Contudo, por se formar em uma zona de alta pressão, configura-se, como um anticiclone com movimento de subsidência, a umidade fornecida pela superfície oceânica não se estende para as camadas superiores, limitando-se às camadas inferiores dessa massa. Ao atravessar a barreira topográfica condicionada pela Serra do Mar, da Mantiqueira, do Espinhaço e pela Chapada Diamantina antes de adentrar o país, toda a umidade dessa massa é precipitada na região litorânea brasileira. Desse modo, a mTa apresenta característica de uma massa “continentalizada”, com pouca ou nenhuma umidade e condicionando tempo estável, quente e seco. Essa massa apresenta deslocamento no estado de Goiás por um eixo que atravessa o oeste baiano pela Serra do Espinhaço e Chapada Diamantina e chega ao nordeste goiano pelo Vão do Paranã e ainda, por outro eixo que transpõe a Serra do Mar e chega ao sul de Goiás pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas (Borsato & Mendonça, 2013).

A massa polar (mP) é originada na zona subantártica oceânica, uma zona de alta pressão em que migram anticiclones que, ocasionalmente, atingem o continente sul-americano por trajetórias condicionadas pela orografia da cordilheira dos Andes, uma a oeste e outra a leste. A trajetória a leste dos Andes, ramifica-se, um dos ramos percorre a depressão topográfica do Chaco, que se estende pelo estado do Mato Grosso ao Amazonas, e o outro ramo pelo oceano Atlântico. Essa massa de ar adentra o estado de Goiás pela sua trajetória condicionada pela depressão do Chaco, alcançando, a região sul e sudoeste do estado, quando fortalecida, avançando pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas (Nascimento, 2016).

2.2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi o município de Goiânia, que se localiza na Região Centro-Oeste do Brasil, no Planalto Central, sendo a capital do Estado de Goiás. Inicialmente projetada para 50 mil habitantes, apresentou um crescimento acelerado na década de 1960, devido a uma sequência de fatores, como a estrada de ferro, a política de interiorização, e a construção de Brasília, registrando nesse período uma população de cerca de 150 mil habitantes (Prefeitura de Goiânia, 2018). Atualmente, a população estimada é de 1.516.113 habitantes, com uma área territorial de 728,841 Km² (IBGE, 2020).

A região de Goiânia é caracterizada em quatro compartimentos geomorfológicos, denominados: Planalto Central Goiano, Planalto Rebaixado de Goiânia, Depressões e Morrarias do Rio dos Bois e Planícies Aluviais. A tipologia dos solos divide-se em latossolos vermelhos de textura argilosa, latossolos vermelho-amarelados, litossolos claro, entre outros. Segundo Köppen, o estado de Goiás possui clima tropical do tipo Aw (Alvares et al., 2013), apresentando duas estações bem definidas, uma chuvosa (Out - Mar) e outra seca (Abr - Set), com variação da precipitação pluviométrica anual entre 1500 e 1800 mm e temperatura média anual entre 20 °C (sul) e 23 °C (norte) (IMB, 2018). A cidade possui 85 cursos d'água, sendo 4 ribeirões (Anicuns, João Leite, Capivara e Dourados), 1 rio (Meia Ponte) e 80 córregos. Dentre os principais problemas dos mananciais, destacam-se a ausência de mata ciliar, o lançamento clandestino de esgotos e entulhos, além dos focos de erosão, assoreamento e ocupações irregulares (AMMA, 2020).

2.3. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

A precipitação pluvial pode ser entendida como o processo em que o vapor de água presente na atmosfera condensa-se formando nuvens, as gotículas permanecem em suspensão até a formação de gotas maiores por coalescência das pequenas gotas, resultado de diferenças de temperatura, tamanho, cargas elétricas e movimentos turbulentos dentro da nuvem que podem precipitar quando atingido o limite da tensão superficial (Pereira et al., 2007). Esse fenômeno, considerado aleatório no tempo e no espaço, provém das intervenções de fatores climáticos, característicos das regiões (Salton et al., 2016).

O regime hidrológico de uma região é determinado pelas suas características físicas, geológicas, topográficas e climatológicas. A precipitação pluviométrica é uma

variável determinante do clima local, das suas alterações e mudanças a longo prazo (Santos et al., 2009; Silva et al., 2017). Dessa maneira, a avaliação, modelagem e previsão de processos hidrológicos utiliza dados relacionados a frequência, distribuição espacial, intensidade e duração da precipitação (Dingman, 2002).

As chuvas frontais ou ciclônicas resultam do contato entre massas de ar quente e frias. Esse padrão de precipitação apresenta baixa intensidade e elevada duração, atinge áreas extensas, e, por isso, ocasiona inundações em grandes bacias hidrográficas (Tucci, 1995). As chuvas orográficas ocorrem por meio do deslocamento dos ventos úmidos influenciados por barreiras do relevo. São chuvas muito frequentes e com intensidade variável. As chuvas convectivas ou de verão resultam da convecção das massas de ar úmido, formada em uma região restrita, por meio de um gradiente de temperatura vertical, em geral, possuem alta intensidade, curta duração podendo causar inundações em pequenas bacias urbanas (Tucci, 1995).

O Centro-Oeste brasileiro corresponde a uma área de confluência dos principais sistemas atmosféricos da América do Sul, possuindo mais de um tipo de regime pluviométrico. A região é dominada pelos sistemas de baixa pressão (mEc, mTc) e possui baixa participação dos Sistemas Frontais, ou seja, encontra-se na zona climática dominada pelas massas de ar equatoriais e tropicais (Zavatini, 2009). O estudo do período de 1980 a 2003, para o município de Goiânia, GO indicou que 88% dos episódios pluviométricos foram de chuvas convectivas (Borsato & Filho, 2010). Quanto as chuvas frontais, os autores não observaram tendência de aumento ou redução, destacando que apenas no mês de julho esse tipo de precipitação foi predominante na região.

Alguns instrumentos são utilizados para mensurar a chuva; são eles, os pluviômetros, pluviógrafos, radares e sensoriamento remoto (Figura 2). O pluviômetro é caracterizado por captar e armazenar a quantidade de chuva precipitada em um ponto da superfície terrestre. Podem ser convencionais ou automáticos, sendo diferenciados pela maneira como a coleta de dados é efetuada (Galvani et al., 2017). Os pluviógrafos são dispositivos automatizados que registram a intensidade da chuva, gerando um gráfico chamado de pluviograma (Araújo, 2017). Os radares meteorológicos e o sensoriamento remoto, disponibilizam em tempo real e em série histórica a distribuição da precipitação na superfície terrestre, mensurada por sensores de micro-ondas embarcados em múltiplos satélites que orbitam a Terra, como por exemplo, o TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) (Lucas et al., 2015).

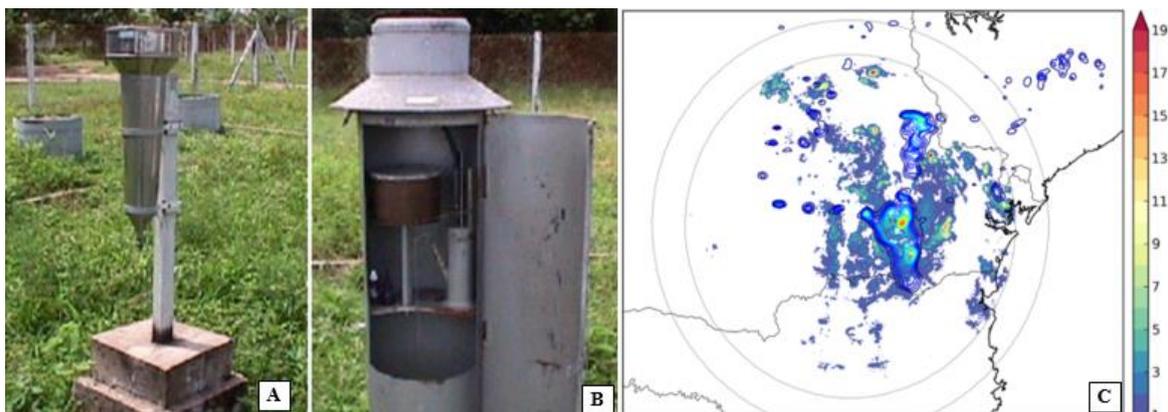


Figura 2. Pluviômetro Ville de Paris (A), pluviógrafo (B) e estimativa de precipitação pluviométrica por radares meteorológicos (C). Fonte: Paz (2004); Inouye (2014).

O ciclo hidrológico é afetado diretamente pelas tendências de aumento ou redução da precipitação pluvial, desse modo, interferindo em toda sociedade (Silva et al., 2012). A elevada variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no país, por vezes resulta em eventos extremos de secas ou enchentes, que trazem consequências socioeconômicas importantes para vários setores da sociedade (agricultura, transportes, recursos hídricos, saúde, habitação) (Santos et al., 2012).

Estudos no estado de Goiás verificaram que para o período de 30 anos de dados pluviométricos, houve uma tendência de redução de 6,10 % nos dias de chuva (Romero et al., 2014). Ao analisar especificamente o município de Goiânia, GO entre 1979 e 2015, houve uma tendência de redução das chuvas na ordem de 3,7 mm ano⁻¹ e ainda, há uma tendência de redução do número de dias chuvosos e aumento do número de dias secos (Casaroli et al., 2018).

2.3.1. Variabilidade climática, tendência climática e eventos extremos

O conceito de variabilidade climática corresponde as oscilações das condições climáticas em torno da média climatológica. Tucci (2002), define que a variabilidade climática corresponde as variações que o clima sofre em função das condições naturais e suas interações no planeta. As causas da variabilidade são atribuídas a três grupos: terrestre, astronômico e extraterrestre. O terrestre corresponde a modificação da composição atmosférica, por GEE, causas naturais ou antropogênicas, modificação do tipo de nuvens formadas com o aquecimento, sendo nuvens mais espessas, originárias do aquecimento, com

efeito de absorção e reflexão de ondas curtas, ou ainda, alterações da distribuição de continentes e oceanos. O astronômico atua na escala de décadas de milhares de anos, indica o valor da inclinação ($23^{\circ}27'$) e da posição da Terra em relação ao plano da eclíptica, em que o nível de incidência solar e a distribuição das estações ao longo do ano são alterados. E, o extraterrestre possui causas relacionadas a variação da atividade solar (Pereira et al., 2007).

O conceito de tendência retrata a movimentação suave dos dados, em longo prazo, podendo ser crescente (tendência positiva), decrescente (tendência negativa) ou estável. As tendências são muito oscilantes de uma região para outra, ocorrem em períodos curtos (em torno de cinco anos) e não podem ser confundidas com mudanças climáticas (Angelocci & Sentelhas, 2010). As tendências podem ser indicadas por testes estatísticos, como médias móveis, empregadas para analisar dados de valor médio em um intervalo de tempo ou período (Morettin & Toloi, 2004).

O dinamismo atmosférico é composto por eventos usuais e eventos extremos ou excepcionais. Os eventos usuais são registrados próximos a média, ocorrem com maior frequência e são mais suscetíveis a adaptação pela sociedade (Barbosa, 2007). Os eventos extremos apresentam desvios superiores ou inferiores a tendência usual (IPCC, 2014). Os eventos climáticos extremos são uma das principais manifestações de mudanças climáticas em diversas regiões do mundo, são geralmente definidos por valores atipicamente elevados ou baixos considerando um intervalo de observações (IPCC, 2013a). Anomalias são de ocorrência natural de um determinado clima, mas, com a intensificação das mudanças climáticas pode se observar um aumento na frequência de ocorrência.

Por exemplo, pode ser verificada a variabilidade anual, a tendência e as anomalias de precipitação pluvial para a série histórica de 1978-2019 da estação meteorológica da Escola de Agronomia da UFG, em que a média pluviométrica foi de $1.459 \text{ mm ano}^{-1}$ e o valor máximo e mínimo registrados foram de 2.067 e $1.040 \text{ mm ano}^{-1}$, respectivamente (Figura 3).

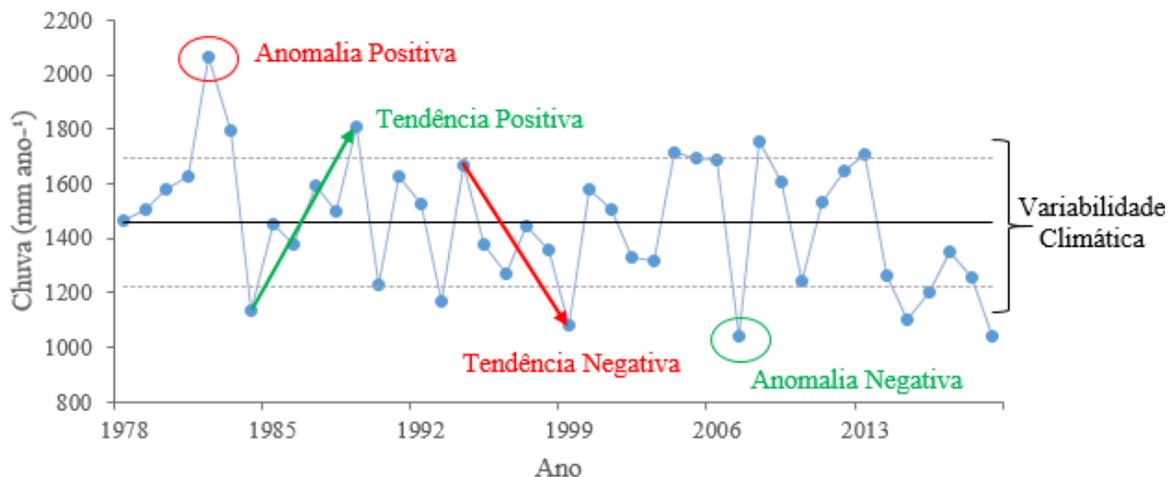


Figura 3. Variabilidade climática anual, tendência climática e eventos extremos de precipitação pluvial na série histórica de 1978-2019 para a estação meteorológica da Escola de Agronomia, UFG, localizada ao norte de Goiânia, GO.

Grande parte dos pesquisadores demonstraram que nas últimas décadas houve uma variabilidade climática com tendência ao aquecimento (Alley et al., 2007; Almeida et al., 2010). O Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas do IPCC, atribuiu esse aquecimento às atividades humanas (IPCC, 2007). Dessa maneira, o ciclo hidrológico é intensificado, afetando o regime de precipitações pluviométricas, elevando-as ou reduzindo-as (Ramos, 2010).

Ao analisar especificamente o bioma do Cerrado, foi constatado uma diminuição de aproximadamente 70 mm na precipitação anual da região, com uma tendência de redução significativa da precipitação no início e fim da estação chuvosa, indicando um prolongamento da estação seca no bioma (Lee et al., 2011; Debortoli et al., 2017; Penereiro et al., 2018). A precipitação total anual do Cerrado reduziu 125 mm entre os anos de 1977 e 2010, dessa maneira, é provável que o período de estiagem na região seja intensificado, sugerindo uma tendência geral de redução da precipitação no bioma (Campos & Chaves, 2020). Em contrapartida, no sul do estado do Mato Grosso, área também englobada pelo Cerrado, houve uma elevação significativa das chuvas em alguns meses da estação seca (junho, julho e agosto) e chuvosa (janeiro, fevereiro e março) para o intervalo de 1961-2011 (Salviano et al., 2016).

A análise de séries temporais na região sul do Brasil apresentou tendência a elevação da precipitação total anual, podendo ser relacionada a ocorrência dos fenômenos ENOS (Guedes et al., 2019). Na estação da primavera, foi perceptível a diferença entre os eventos ENOS, sendo que nos eventos de La Niña a ocorrência de precipitação foi em torno

de 40% inferior aos eventos de El Niño. Nesta região, houve tendência climática de aumento da precipitação anual de 6,3 mm por ano, para o intervalo entre 1956 e 2015 (Junges et al., 2019). No estado do Paraná, a análise do comportamento climático sazonal e anual da chuva e veranicos identificou aumento na quantidade de chuvas, principalmente durante a primavera (Minuzzi & Caramori, 2011).

Por meio da análise de Mann-Kendall foi possível estabelecer a tendência do regime pluvial da região nordeste do Brasil. Houve tendência de redução no número de dias com precipitação, na faixa litorânea, assim como houve redução na precipitação total e no número de dias com chuva na região do Sertão, destacando que a continentalidade não possui efeito significativo (Carvalho et al., 2020). Costa & Blanco (2018) estudaram os efeitos da variabilidade climática sobre o potencial erosivo das chuvas no município de Belém, PA, e concluíram que a oscilação do potencial erosivo tem relação com os fenômenos ENOS, em que foram observados menores erosividades em anos de El Niño intenso e maiores erosividades em eventos de La Niña intensos com Dipolo Negativo.

A elevação da temperatura média do planeta, resulta em aumento na taxa de evaporação e transporte de grandes quantidades de vapor de água para a atmosfera (Trenberth et al., 2007). Uma das consequências desse efeito é o aumento na magnitude e frequência de eventos extremos de precipitação, devido ao aumento do índice de umidade atmosférico. Por isso, pesquisadores dedicam-se ao desenvolvimento de estudos e técnicas que evidenciem esses eventos, como a ocorrência de chuvas intensas em regiões de latitudes médias, o aumento da precipitação em escala global e a elevação exponencial da frequência e intensidade de desastres causados por eventos extremos, tais como secas, enchentes, tempestades, ondas de calor e frio (Groisman et al., 2005; Alexander et al., 2006).

O aumento da temperatura média da superfície global ocasiona mudanças nos padrões de precipitação global (Miyan, 2015). No caso dos eventos extremos de precipitação, estudos apontam que a quantidade total de aquecimento é o fator dominante para a ocorrência. Em contrapartida, os cenários de emissões de GEE somados a consequente elevação da temperatura proporcionam tendências positivas ou negativas de precipitação em diferentes localidades (Pendergrass et al., 2015).

Em escala internacional, as análises de tendências de eventos extremos indicaram aumento na frequência de dias com precipitação acima de 50,8 milímetros, além da maior ocorrência de precipitação diária nos Estados Unidos da América (Karl & Knight, 1998; Easterling et al., 2000; Groisman et al., 2012). Na Europa, essas alterações resultaram

em ondas de calor, chuvas torrenciais e tempestades de vento, como a “Tempestade de vento do século”, ocorrida em 1999 (Goyette et al., 2003), ou a “Onda de calor Lúcifer em 2012”, considerada a pior onda de calor desde 2003 e novamente superada em 2017. Nessas condições, as temperaturas máximas locais ultrapassaram os 40 °C, que adicionados a baixa precipitação, desencadearam seca severa em muitas áreas do continente (Kew et al., 2018). Na Ásia, estudos da série histórica de 1986-2015, apontaram para mudanças climáticas em relação a incidência de chuvas extremas de monções, em que a probabilidade de ocorrência dobrou, e, por exemplo, em Bangladesh, a precipitação média anual foi superior a 4.300 milímetros (Rimi et al., 2018).

No Brasil, no que se refere a precipitações intensas, o município do Rio de Janeiro destaca-se com 33% do total pluviométrico anual médio (1.192 mm) ocorrendo em episódios de eventos de chuvas intensas, a análise entre os anos de 1997 e 2016 indicou que 393 mm de chuva ocorreram em episódios de anomalias pluviométricas (Pristo et al., 2018). Ainda nesse sentido, na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011, nos estados do Sul do Brasil ao final de 2008, e nos estados do Nordeste do Brasil em 2009, os eventos de cheia causaram inúmeras vítimas, prejuízos econômicos e materiais, além da maior proliferação de doenças (Lima, 2011). Assim, eventos como deslizamentos de terra, inundações e vendavais podem ser mais frequentes e intensos no Sul e Sudeste brasileiro, enquanto a desertificação pode agravar-se no Nordeste. Dessa maneira, a adaptação e consequente minimização dos impactos de eventos extremos sobre a sociedade passam primariamente pelo estudo e conhecimento científico da frequência e magnitude de ocorrência desses eventos ao longo do tempo, em particular visando a modelagem da ocorrência dos mesmos.

2.3.2. Mudanças Climáticas Globais

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima (CQNUMC, 2007) conceitua as mudanças climáticas como o somatório da ação humana, que direta ou indiretamente, promova ações que alterem a composição da atmosfera mundial e a variabilidade climática natural observada em longo período de tempo. Já, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), define como uma significativa variação estatística nas condições médias do clima, persistente por um período, podendo ser oriundo de processos naturais externos ou mudanças antropogênicas contínuas na atmosfera ou no uso do solo.

A Terra apresenta ciclos naturais de aquecimento e resfriamento ao longo da sua história, entretanto, é constatado que o aquecimento observado desde o século 20 é influenciado pela ação humana. O aumento de temperatura altera os sistemas humanos e naturais, intensificando secas, inundações e outros tipos de condições meteorológicas (IPCC, 2013b). O crescimento econômico global, o aumento da população mundial, mudanças no uso dos solos e a propagação do consumo de combustíveis fósseis são os principais contribuintes para a elevação da emissão de gases do efeito estufa (GEE) (Fleurbaey et al., 2014; IPCC, 2013b).

As mudanças climáticas globais estão associadas principalmente à emissão de gases de efeito estufa (GEE), em sua maioria o CO₂. No período inicial da revolução industrial (1760-1960) os níveis de concentração de CO₂ atmosférico aumentaram de 277 para 317 partes por milhão (ppm), o que corresponde a um acréscimo de 40 ppm. Já nas décadas entre 1960 e 2001, o acréscimo foi de 54 ppm, alterando de 317 para 371 ppm (Marengo, 2009). E, dados mais recentes do observatório de Mauna Loa no Havai apresentam valores para a concentração acima de 410 ppm (Figura 4) (NOAA, 2020b).

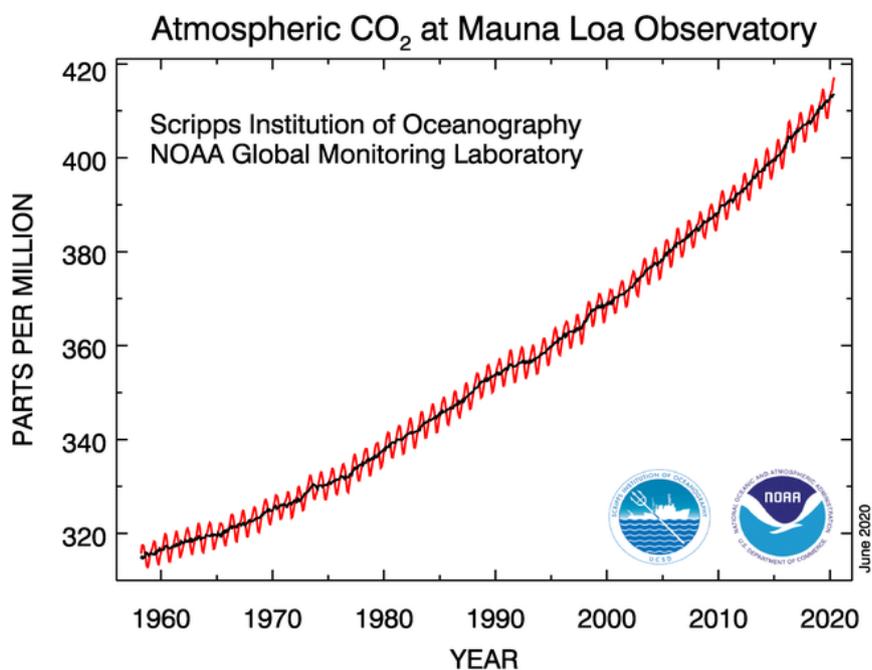


Figura 4. Evolução na concentração de CO₂ atmosférico no observatório de Mauna Loa. Fonte: NOAA (2020b).

O aquecimento global causado por emissões antrópicas ao longo dos anos persistirá por séculos, provocando mudanças a longo prazo no sistema climático. Estima-se

um aquecimento global em torno de 1,5 °C entre 2030 e 2051, destacando riscos para os sistemas naturais e humanos. No cenário atual com o aquecimento entre 1,5 °C e 2,0 °C, se tem evidências da ocorrência de extremos de calor, a maior probabilidade de seca e déficits de chuvas em algumas regiões e a ocorrência de chuvas intensas em diversas regiões, intensificando problemas de drenagem urbana, entre outras questões de âmbito social, ambiental e econômico (IPCC, 2018).

Os riscos provenientes das alterações climáticas variam ao longo do tempo, conforme as regiões geográficas e populações. O Grupo II do Quarto relatório do IPCC (2014), específico para América do Sul e América Central, identifica os principais riscos, problemas e perspectivas de adaptação e os fatores de clima condicionantes (Tabela 1). Por exemplo, a precipitação extrema em determinadas localidades do continente pode ocasionar inundações e deslizamentos de terras em áreas urbanas e rurais, desse modo, a gestão de inundações, os sistemas de alerta, melhores previsões meteorológicas e de escoamento são medidas básicas de adaptabilidade para a situação de risco.

2.3.3. Séries temporais de precipitação pluviométrica

Os postos pluviométricos objetivam a formação de uma série ininterrupta de dados ao longo dos anos. As séries podem apresentar erros de leitura, transcrição (digitação), defasagem ou ausência de informações, tornando sua utilização imediata imprópria. Assim, a qualidade dos dados contempla o controle da consistência espacial e temporal dos valores diários das chuvas, além de submetê-los a técnicas de depuração e preenchimento de falhas, para sua homogeneização (Sanches et al., 2012).

A análise preliminar de uma amostra de dados hidrológicos é formada por um conjunto de métodos e técnicas que buscam obter as características empíricas essenciais da distribuição de uma variável hidrológica. Fundamenta-se em técnicas quantitativas e gráficas para interpretação de um conjunto de observações de uma variável aleatória, sem a preocupação prévia da formulação de premissas ou modelos matemáticos (Naghetini & Pinto, 2007). Essa análise auxilia na compreensão, interpretação e apresentação dos resultados estatísticos, permitindo identificar os padrões temporais (tendência ou mudança abrupta) e regionais, variação sazonal, problemas nas séries (dados discrepantes e lacunas nos registros) e correlação entre variáveis (Cabral Júnior & Lucena, 2020).

Tabela 1. Cenários ilustrativos do potencial de mitigação e adaptação relacionados às mudanças climáticas.

América Central e do Sul		
Risco Principal	Problemas e perspectivas de adaptação	Impulsionadores climáticos
Disponibilidade da água em regiões semi-áridas e dependentes da fusão dos glaciares e na América Central; inundações e deslizamento de terras em áreas urbanas e rurais devido a precipitação extrema (confiança alta)	* Gestão integrada dos recursos hídricos;	Tendência de aquecimento
	* Gestão de inundações urbanas e rurais (incluindo infraestruturas), sistemas de alerta precoce, melhores previsões meteorológicas e de escoamento e controle de doenças infecciosas;	Tendência de seca Precipitação extrema Cobertura de neve
	* Compensação dos impactos econômicos da alteração da utilização dos solos;	Temperatura extrema
Diminuição da produção e qualidade dos alimentos (confiança média)	* Desenvolvimento de novas variedades de culturas mais adaptadas às alterações climáticas (temperatura e seca);	Precipitação extrema
	* Compensação dos impactos sobre a saúde humana e animal causados pela qualidade reduzida dos alimentos;	Fertilização por dióxido de carbono
	* Reforçar os sistemas e práticas de conhecimento tradicionais indígenas;	Precipitação
Propagação de doenças transmitidas por vetores em altitude e latitude (confiança alta)	* Desenvolvimento de sistemas de alerta precoce para o controle de doenças e mitigação com base em informações relevantes sobre o clima e outras. Muitos fatores aumentam a vulnerabilidade;	Tendência de aquecimento Temperatura extrema Precipitação extrema
	* Estabelecer programas para aumentar os serviços básicos de saúde pública;	Precipitação

Fonte: Adaptado de IPCC (2014).

Séries temporais longas, contínuas e homogêneas são vantajosas por fornecerem estatísticas representativas que caracterizam fenômenos climáticos. A detecção de mudanças climáticas em séries temporais hidrometeorológicas, auxilia no planejamento do uso dos

recursos hídricos e na produção de alimentos. Além disso, os impactos das oscilações climáticas na sociedade associam-se aos eventos extremos (Marengo, 2009).

2.3.4. Testes de tendência

A maioria dos sistemas de recursos hídricos são projetados e operados sob a hipótese de estacionariedade, ou seja, as características essenciais da variabilidade dos processos hidrológicos não mudam com o tempo (Naghetini & Pinto, 2007). Essa suposição pode não ser verificada quando considerado aspectos relacionados a modificação da cobertura vegetal e as variabilidades e/ou mudanças climáticas (Alexandre et al., 2010). A não estacionariedade pode assumir diversas formas; nas tendências, a série de dados altera de forma constante; nas mudanças abruptas, de forma radical, afetando a média, mediana, variância, autocorrelação, ou outros aspectos estatísticos dos dados (Santos, 2006).

Os testes estatísticos fundamentam-se na definição de hipóteses, nula (h_0) e alternativa (h_1). A hipótese nula admite a não existência de tendência em uma série de dados, enquanto para a hipótese alternativa existe tendência crescente ou decrescente. Utiliza-se a estatística de testes para comparar as hipóteses, por meio numérico obtidos de uma série de dados. Desse modo, existem testes estatísticos paramétricos e não paramétricos para analisar tendências e mudanças. Os testes paramétricos são mais poderosos que os não paramétricos, uma vez que exigem amostras com distribuição normal, alguns testes são recomendados para detecção de alterações (Chiew & Siriwardena, 2005) (Tabela 2).

Tabela 2. Testes estatísticos paramétricos e não paramétricos para análise de tendência, mudança abrupta e aleatoriedade em séries temporais de precipitação pluvial.

Tipo de detecção	Testes estatísticos	
Tendência	Mann-Kendall	Não paramétrico
	Spearman-Rho	Não paramétrico
	Regressão linear	Paramétrico
Mudança abrupta	Não paramétrico Cusum	Não paramétrico
	Cumulative Deviation	Paramétrico
	Rank Sum	Não paramétrico
	Student t	Paramétrico
Aleatoriedade	Median Crossing	Não paramétrico
	Turning Points	Não paramétrico
	Rank Difference	Não paramétrico
	Autocorrelation	Paramétrico

Fonte: Adaptado de Chiew & Siriwardena (2005).

Os estudos de tendências em séries temporais permitem a compreensão do impacto do ser humano no meio ambiente. O teste de Mann-Kendall vem sendo utilizado em estudos de tendência climática por ser um método robusto, sequencial e não paramétrico, e por esse motivo não requer, a distribuição normal dos dados (Mann, 1945; Kendall, 1975) (Tabela 2). Este método é pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas, mas exige que os dados sejam independentes e aleatórios (Neeti & Eastman, 2011).

O teste de Mann-Kendall foi empregado em diversas análises no Brasil. Em análise de tendências realizadas em dados de precipitação e temperatura do ar, em que a precipitação pluviométrica não apresentou tendências significativas em mais de 70% do território nacional, enquanto que a temperatura média do ar obteve tendência positiva significativa ao longo de todo ano (Salviano et al., 2016). Em estudos na Amazônia, observou-se tendência de redução pluviométrica nos meses mais chuvosos, enquanto detectou-se elevação da evapotranspiração nos meses mais quentes (Souza et al., 2019).

Já na região Sul do país, aproximadamente 88% das estações pluviométricas não apresentaram tendências significativas de alteração (crescente ou decrescente) para o volume precipitado, contudo, foram detectadas variações sazonais e espaciais, de modo que no verão houve tendências de elevação da precipitação, enquanto no outono a tendência foi de redução (Gonçalves & Back, 2018). Em Minas Gerais, a análise através do teste de Mann-Kendall para a possibilidade de tendência climática trimestral nas séries de precipitação resultou em uma tendência não significativa para o primeiro trimestre, enquanto os outros trimestres apresentaram uma tendência negativa (Rodrigues & Santos, 2007).

A aplicação do teste de Mann-Kendall para o município de Goiânia, GO já foi realizada para alguns parâmetros do clima, tais como temperatura e umidade relativa do ar. Luiz et al. (2012) observaram uma série de 48 anos de dados e estabeleceram tendência positiva para a temperatura do ar, variando entre 0,8 e 2,4 °C (máxima e mínima), já a umidade relativa do ar resultou em uma tendência negativa de aproximadamente 7%.

2.3.5. Impactos de eventos extremos de chuvas no meio urbano e rural

Os eventos extremos positivos e negativos das chuvas resultam em impactos problemáticos para zona rural e urbana. Tais impactos revelam a vulnerabilidade das sociedades frente aos fenômenos climáticos. No meio urbano, os sistemas de drenagem são

projetados buscando o escoamento rápido das águas pluviais, contribuindo com o sistema viário, a segurança da população e prevenindo alagamentos e inundações (Becker, 2006). Esses sistemas podem ser classificados em clássicos e alternativos (Baptista et al., 2011).

Os sistemas clássicos, tem o objetivo de captar as águas pluviais, transportá-las por condutos artificiais que funcionam por gravidade, retirando-as do meio urbano e desaguando em corpos d'água no menor tempo possível. Essa abordagem resulta no deslocamento entre o planejamento das cidades e o desenvolvimento (sustentável) dos sistemas de drenagem, em que o crescimento das cidades ignora os cursos d'água na ocupação do espaço (Tucci et al., 1995).

O desenho atual das cidades, prioriza a canalização dos cursos d'água, esse redesenho da drenagem ocorre por duas razões principais. A primeira deve-se ao aumento permanente das vazões produzidas a montante, em função do aumento da impermeabilização do solo. Já a segunda, em função da degradação da qualidade da água dos rios, gerando uma condição de desconforto. Portanto, a canalização visa resolver problemas pontuais de alagamento e esconder o estado de degradação ambiental (Souza, 2013).

Os sistemas alternativos ou compensatórios ampliam a infiltração e retenção das águas pluviais, reduzindo o volume de cheias (Moura, 2004). Esses sistemas podem ser empregados em diferentes escalas territoriais, de maneira adequada a configuração urbana, isto é, associado a áreas de estacionamento, práticas de lazer e recreação. Alguns dispositivos são: os jardins de chuva ou sistemas de biorretenção; as trincheiras de infiltração, formadas por estruturas longitudinais que facilitam a infiltração das águas pluviais; o pavimento permeável, construído com materiais permeáveis; os poços de infiltração da água, que aumentam a capacidade de infiltração do solo, além de armazenarem água no desnível produzido; e os telhados verdes e reservatórios individuais que agem em menor impacto no controle de enchentes (Baptista et al., 2011).

No meio rural, os parâmetros agrometeorológicos, como temperatura, umidade do solo, radiação solar e pluviosidade influenciam a agricultura. A severidade e frequência de eventos extremos provocam mudanças na produtividade dos cultivares, devido às alterações no número de graus-dia de crescimento, que podem intensificar o aparecimento de pragas e doenças, além do abortamento de frutos (Moraes et al., 2011). Contudo, os eventos extremos de precipitação podem resultar em impactos positivos. O aumento da sanidade em ecossistemas por meio de inundações periódicas, ou a despoluição da atmosfera de um determinado local em virtude de um impacto pluvial, a possibilidade de inserção de

novas áreas com aptidão agrícola para outras culturas, são exemplos desse impacto positivo (Monteiro, 1991). Além dos impactos devido aos excessos das chuvas, grandes são os prejuízos na agricultura, gerados pela escassez hídrica. O Nordeste brasileiro, mais diretamente a região semiárida, enfrenta sucessivos anos de seca. Todavia, a limitação hídrica ocorre anualmente devido ao longo período seco que leva à desperenização dos rios e riachos endógenos. O relevo acidentado e os solos rasos e pedregosos reduzem a capacidade de infiltração da chuva no solo (Silva, 2007).

As precipitações pluviais de maior intensidade e com grande frequência elevam o risco de ocorrência da erosão. Essas características são mais significativas quando associadas às condições de relevo acidentado, características físico-hídricas do solo adversas, e uso e manejo do solo inadequados. No ambiente agrícola, a degradação do solo ocorre pelo arraste de partículas menores, ricas em nutrientes, culminando no decréscimo da fertilidade e, por conseguinte, redução das produções ou crescentes necessidades de reposição de nutrientes. As perdas de solo causadas pela erosão hídrica reduzem a espessura do solo, diminuindo a capacidade de retenção e redistribuição de água no solo, intensificando o escoamento superficial e as taxas de erosão (Santos & Carvalho, 2010).

2.4. EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E CLIMA

O sistema de circulação meteorológica pode ser dividido em três categorias: macroescala, mesoescala e microescala (Ayoade, 1996). A macroescala, relaciona-se aos fenômenos em escala regional ou geográfica, que caracterizam o clima de grandes áreas pelos fatores geográficos (altitude, latitude, etc.). A mesoescala, refere-se aos fenômenos em escala local, em que a topografia, a exposição do local, a configuração e inclinação do terreno, interferem no clima. E, a microescala que condiciona o clima em pequena escala, em que a cobertura do terreno determina o balanço local de energia.

O ciclo El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um termo científico que descreve as oscilações de temperatura entre o oceano e a atmosfera no centro-leste do Pacífico Equatorial. O El Niño e a La Niña são fases opostas do que é conhecido como ciclo El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O El Niño, é reconhecido por temperaturas anormalmente quentes do oceano no Pacífico Equatorial, enquanto, o La Niña é caracterizado por temperaturas anormalmente frias do oceano no Pacífico Equatorial (NOAA, 2020c).

Pesquisadores classificaram a intensidade do El Niño com base nas anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) excedendo um limite pré-determinado em uma região do Pacífico equatorial. Normalmente, a região utilizada é a definida como Niño 3.4 (Figura 5). O El Niño (La Niña) é um fenômeno no Oceano Pacífico equatorial definido por cinco anomalias consecutivas trimestrais na TSM que está acima (abaixo) do limite de $+0,5$ $^{\circ}\text{C}$ ($-0,5$ $^{\circ}\text{C}$). Esse padrão de medida é conhecido como Índice Oceânico Niño (ION) (NOAA, 2020a).

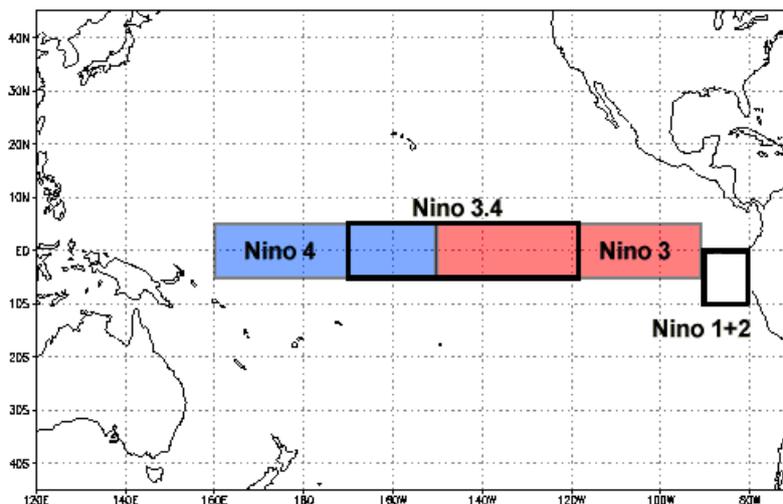


Figura 5. Regiões de avaliação de anomalia de temperatura da superfície do mar para Niño 1, 2, 3 e 4, com destaque para região 3.4 utilizada em estudos de impacto de clima a nível global. Fonte: NOAA (2020a).

A oferta de água em variadas regiões da América do Sul é uma condição limitante para o desenvolvimento socioeconômico, e entender os períodos de estiagem e os eventos de veranicos são essenciais para a agropecuária. Estudos na região Nordeste do Brasil (NEB) e Centro Oeste do Brasil (COB) não resultaram em aumento da ocorrência de veranicos para anos de El Niño ou La Niña (Magalhães et al., 2020). Já na região Sul do Brasil, foram analisados oito postos pluviométricos visando estabelecer a tendência em séries temporais de precipitação e as fases do ENOS. Nesta análise foi observado que a elevação da precipitação total anual nas séries temporais pode estar relacionada com a fase do ENOS (Guedes et al., 2019).

No estado do Mato Grosso, a variação do número de dias de chuva e a intensidade ION foram correlacionadas obtendo um intervalo do ION mensal médio variando entre $-1,1$ $^{\circ}\text{C}$ e $1,3$ $^{\circ}\text{C}$, nesse período, a maior parte das variações de temperatura

das águas do Oceano Pacífico foram positivas, resultando em maior frequência de El Niño. Os autores concluíram que as variações da TSM do oceano Pacífico não causam efeitos significativos ou evidentes no número de dias de chuva para a região (Oliveira et al., 2015). Marcuzzo & Romero (2013), estudaram a correlação entre os ENOS e a precipitação máxima diária mensal e anual para o estado de Goiás, em que a precipitação diária máxima registrada foi de 78 mm em 1980, sob temperatura normal do oceano Pacífico, e em fases moderadas de La Niña, não houve registro de precipitação para os meses de junho, julho e agosto, logo houve influência relativa e sazonal na precipitação pluviométrica máxima diária.

Grimm (2003) estudou a influência do El Niño na circulação das monções de verão, analisando precipitação e temperatura em escala mensal, por meio de uma rede de estações meteorológicas, em que ocorreram mudanças abruptas de anomalias na temporada de monções de verão, sugerindo o predomínio de processos regionais sobre influências remotas durante parte da temporada, as anomalias de circulação sobre o sudeste do Brasil durante a primavera dos anos de El Niño ocorreram principalmente devido as influências remotas do Pacífico Leste Tropical, já nos meses de janeiro prevalecem a influência local (Grimm, 2003). Ainda segundo a autora, as fontes anômalas de calor associadas ao El Niño afetam as circulações de Walker e Hadley na América do Sul e geram ondas de Rossby que produzem efeitos relevantes nos subtropicais e extratropicais (Grimm, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi o município de Goiânia, que se localiza na Região Centro-Oeste do Brasil, no Planalto Central, sendo a capital do Estado de Goiás (Figura 6). Atualmente, a população estimada é de 1.516.113 habitantes, com uma área territorial de 728,841 Km² (IBGE, 2020). O clima no estado de Goiás é caracterizado por Köppen como clima tropical do tipo Aw, em que predominam duas estações bem definidas, uma chuvosa (Out - Mar) e outra seca (Abr - Set), com variação da precipitação pluviométrica anual entre 1500 e 1800 mm (Alvares et al., 2013). A temperatura média anual da região oscila entre 20 °C (sul) e 23 °C (norte) (IMB, 2018).

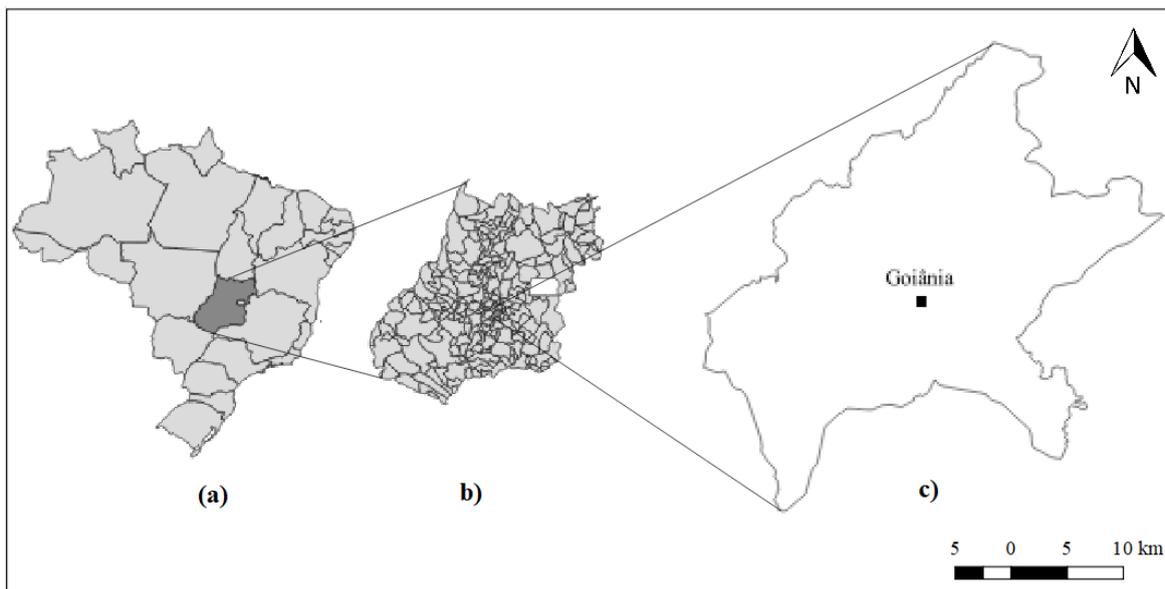


Figura 6. Localização do estado de Goiás no Brasil (a), de Goiânia no estado de Goiás (b) e da estação meteorológica dentro do município de Goiânia (c).

3.2. DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A série de dados da estação meteorológica utilizada, possui dados armazenados desde 1949 a 2019. Os dados do intervalo temporal de 1949 à 1961 foi obtido no banco de dados Hidroweb, administrado pela Agência Nacional de Águas (ANA) da estação de código 01649013 (ANA, 2019). Já o intervalo de dados de 1961 à 2019 foram obtidos no Banco de dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (BDMEP/INMET), da estação de código 83423 (BDMEP, 2019). Mesmo apresentando códigos diferentes, estes dados pertencem a mesma estação meteorológica, localizada na latitude $-16,66^{\circ}$, longitude $-49,25^{\circ}$ e altitude de 741 metros acima do nível do mar.

Após a obtenção dos dados brutos foi realizada uma análise preliminar, em que foram localizados e contabilizados os dias com dados faltantes. Foram encontrados cinco dias sem medições registradas na estação meteorológica principal, representando um percentual de falhas de 0,02%. Para o preenchimento das falhas foram obtidos dados da estação de nome OCTA (Sec. Agric – Emgopa), cujo código operacional é 01649002, administrada pela ANA, operante entre os anos de 1969 à 1998 e localizada na latitude $-16,70^{\circ}$, longitude $-49,09^{\circ}$ e altitude 755 metros acima do nível do mar, e da Estação da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG), localizada na latitude $-16,59^{\circ}$, longitude $-49,28^{\circ}$ e altitude 741 metros acima do nível do mar.

3.3. ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

3.3.1 Organização da escala de estudo

A partir dos dados diários, a série temporal foi organizada em diferentes escalas de estudo. As escalas utilizadas foram as mensais, anuais, trimestrais com base nas estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) e por décadas. Os dados foram analisados conforme a amplitude de variação, observando os extremos dentro de cada escala de estudo. Os dias com precipitação registrada como 0 mm foram considerados como dias secos. Foram contabilizados a quantidade de dias secos, a quantidade de dias consecutivos secos, a quantidade de dias com chuva e a quantidade de dias consecutivos com chuva. Nessa análise, foram contabilizadas as chuvas totais que, posteriormente, foram classificadas por intervalo

de volume precipitado. Dessa maneira, foi contabilizado o número de dias com chuva acima ou igual a 1, 10, 20, 60, 80 e 100 mm dia⁻¹.

3.3.2 Análise de tendência, médias e testes estatísticos

O programa Microsoft Excel foi utilizado nas etapas iniciais de organização dos dados e estatísticas descritivas básicas, com a construção de gráficos para exposição dos resultados. Para cada escala, anteriormente organizada, foram tabulados os valores totais, as médias, medianas, valores máximos, valores mínimos e amplitudes. Esses dados foram exportados para o programa estatístico Minitab 19, em que foram calculados o desvio padrão, coeficiente de variação e aplicado o teste de Mann-Kendall.

Mann (1945) e Kendall (1975) formularam a aplicação do teste de Mann-Kendall por etapas. A primeira etapa para aplicação do teste Mann-Kendall consiste no estabelecimento da hipótese nula (H_0), de que não existe tendência nas séries de dados, adotando-se um nível de significância (α) de 0,05. Assim, a variável estatística S (Equação 1), para uma série de n dados do teste de Mann-Kendall é calculada a partir da somatória dos sinais (sn) (Equação 2) da diferença, par a par, de todos valores da série (x_i) em relação aos valores que a eles são futuros (x_j).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sn (x_j - x_i) \quad (1)$$

$$sn = (x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

Se $n \geq 10$, a variável S tende a normalidade. Logo, sua variância, $Var(S)$, é obtida pela Equação 3.

$$Var (S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (3)$$

em que, t_i representa a quantidade de repetições de uma extensão i .

Para a realização do teste de Mann-Kendall, determina-se o índice Z_{MK} (Equação 4), esse índice, segue uma distribuição normal de média igual a zero, e quando apresenta valores positivos, existe uma tendência crescente, enquanto que, valores negativos identificam tendências decrescentes.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{para } S > 0 \\ 0; \text{para } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Em geral, o alfa adotado é de 0,05 logo, para a rejeição de H_0 e a indicação de tendência, é necessário que o valor absoluto de Z_{MK} seja maior que 1,96.

3.4 RELAÇÃO DO FENÔMENO ENOS COM A CHUVA

Após a preparação da série diária de dados de chuva, obteve-se os valores do índice de anomalia de temperatura da superfície do mar na escala trimestral junto ao site da National Weather Service Climate Prediction Center (NOAA, 2020d), durante o intervalo de 1950 e 2019 (Tabela 3). Os valores correspondem a medida realizada na região Niño 3.4, com a respectiva condição de neutralidade, El Niño ou La Niña.

Tabela 3. Índices Oceânico Niño (ION), e a classificação de anos de ocorrência de El Niño (fonte na cor vermelha), La Niña (fonte na cor azul) e anos neutros (fonte na cor preta), para o período de 1950 a 2019.

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1,5	-1,3	-1,2	-1,2	-1,1	-0,9	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,6	-0,8
1951	-0,8	-0,5	-0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,0	0,8
1952	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0	-0,1	0	0,2	0,1	0	0,1
1953	0,4	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
1954	0,8	0,5	0	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7
1955	-0,7	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-1,1	-1,4	-1,7	-1,5
1956	-1,1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
1957	-0,2	0,1	0,4	0,7	0,9	1,1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7
1958	1,8	1,7	1,3	0,9	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
1959	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	0	0	0
1960	-0,1	-0,1	-0,1	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1
1961	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1962	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4
1963	-0,4	-0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,3
1964	1,1	0,6	0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
1965	-0,6	-0,3	-0,1	0,2	0,5	0,8	1,2	1,5	1,9	2,0	2,0	1,7
1966	1,4	1,2	1,0	0,7	0,4	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3
1967	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	0	0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,4
1968	-0,6	-0,7	-0,6	-0,4	0	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5	0,7	1,0
1969	1,1	1,1	0,9	0,8	0,6	0,4	0,4	0,5	0,8	0,9	0,8	0,6
1970	0,5	0,3	0,3	0,2	0	-0,3	-0,6	-0,8	-0,8	-0,7	-0,9	-1,1
1971	-1,4	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1	-0,9
1972	-0,7	-0,4	0,1	0,4	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,8	2,1	2,1
1973	1,8	1,2	0,5	-0,1	-0,5	-0,9	-1,1	-1,3	-1,5	-1,7	-1,9	-2
1974	-1,8	-1,6	-1,2	-1	-0,9	-0,8	-0,5	-0,4	-0,4	-0,6	-0,8	-0,6
1975	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8	-1	-1,1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,6	-1,7
1976	-1,6	-1,2	-0,7	-0,5	-0,3	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,8
1977	0,7	0,6	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8
1978	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0
1979	0	0,1	0,2	0,3	0,2	0	0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6
1980	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0	-0,1	0	0,1	0
1981	-0,3	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1
1982	0	0,1	0,2	0,5	0,7	0,7	0,8	1,1	1,6	2,0	2,2	2,2
1983	2,2	1,9	1,5	1,3	1,1	0,7	0,3	-0,1	-0,5	-0,8	-1	-0,9
1984	-0,6	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4
1986	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,2	0,4	0,7	0,9	1,1	1,2
1987	1,2	1,2	1,1	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,9	-1,3	-1,3	-1,1	-1,2	-1,5	-1,8	-1,8
1989	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	1,2	1,5
1992	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1
1993	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	1,0	1,1
1995	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1	0	-0,2	-0,5	-0,8	-1	-1	-1
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,3	0,8	1,2	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4
1998	2,2	1,9	1,4	1,0	0,5	-0,1	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6
1999	-1,5	-1,3	-1,1	-1	-1	-1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2002	-0,1	0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,1
2003	0,9	0,6	0,4	0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2006	-0,8	-0,7	-0,5	-0,3	0	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,9
2007	0,7	0,3	0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,8	-1,1	-1,4	-1,5	-1,6
2008	-1,6	-1,4	-1,2	-0,9	-0,8	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,8	-0,7	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,5	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6
2010	1,5	1,3	0,9	0,4	-0,1	-0,6	-1	-1,4	-1,6	-1,7	-1,7	-1,6
2011	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,1	-1
2012	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0	-0,2
2013	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0	0,2	0,4	0,6	0,7
2015	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,5	2,6
2016	2,5	2,2	1,7	1,0	0,5	0	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-1
2018	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,9	0,8
2019	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,1	0,1	0,3	0,5	0,5

Os índices ION também podem classificar as intensidades de ocorrência dos fenômenos ENOS, podendo ser fraca, moderada ou forte (Tabela 4). Para o desenvolvimento desse trabalho inicialmente os valores totais das precipitações mensais, correspondentes ao período histórico analisado (1950-2019), foram separados em anos de El Niño, La Niña e Neutros.

Tabela 4. Classificação da intensidade do evento ENOS a partir do valor do Índice Oceânico Niño.

Evento	Índice Oceânico - ION	Intensidade
El Niño	0,5 a 0,9	Fraco
	1,0 a 1,4	Moderado
	$\geq 1,5$	Forte
La Niña	-0,5 a -0,9	Fraco
	-1,0 a -1,4	Moderado
	$\leq -1,5$	Forte

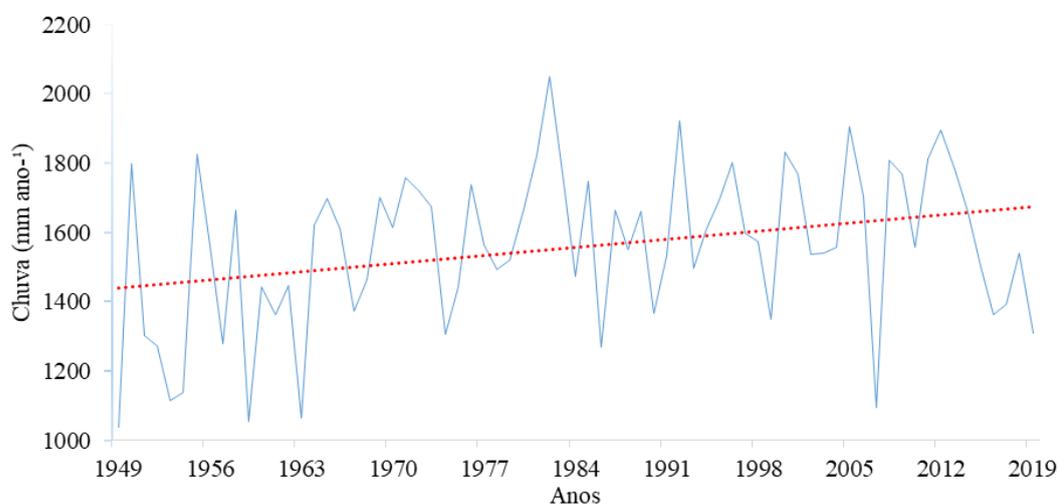
Fonte: Adaptado de Golden Gate Weather Services (2021).

Para o índice de anomalia de temperatura da superfície do mar considerou atraso de resposta a partir do trimestre atual de chuva com até 4 trimestres anteriores do ION. Por exemplo, a chuva do trimestre atual foi correlacionando com o índice de anomalia de temperatura da superfície do mar do mesmo trimestre até o 4º trimestre anterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ANÁLISE DESCRITIVA E DE TENDÊNCIA

O estudo das características climatológicas e do comportamento da variabilidade da chuva de uma localidade permitem a constatação de alterações do regime pluviométrico que podem resultar em tendências de longo prazo. A Figura 7, ilustra o padrão anual pluviométrico da série histórica de 1949 a 2019, em que houve grande variação anual da distribuição das chuvas na região, destacando-se a ocorrência de precipitação máxima de 2.049 mm no ano de 1982 e mínima de 1.037 mm no ano de 1949, com normal climatológica de 1.558 mm ano⁻¹, apresentando desvio padrão de 228 mm. Dos 71 anos analisados, em aproximadamente 52% (37 anos) o acumulado anual de chuva foi acima da média.



Nota: $R^2 = 0,0929$; Média = 1.558; $Z = 2,31$; p-valor = 0,01*.

Figura 7. Volume pluviométrico anual no município de Goiânia, GO, para o período de 1949 a 2019. R^2 , coeficiente de determinação; Z , índice do teste de Mann-Kendall; p-valor, probabilidade de significância do teste de Mann-Kendall; *Tendência significativa.

O teste estatístico de Mann-Kendall para a série anual, resultou em um p-valor de 0,01, indicando uma tendência significativa. Nesse caso, o valor de Z mostrou que existe tendência de aumento da chuva ao longo dos anos na escala de 2,31 mm ano⁻¹. A análise de

regressão, resultou em um coeficiente de determinação (R^2) de 9%, não exibindo um bom ajuste e apontando que a variabilidade dos dados de resposta não é explicada pela média.

As chuvas para o município de Goiânia, GO, foram caracterizadas utilizando uma série de dados com 36 anos, para o intervalo de 1979 à 2015, e obtiveram uma tendência de redução das chuvas na escala de $3,7 \text{ mm ano}^{-1}$ (Casaroli et al., 2018). Esse valor foi contrário ao encontrado no estudo da série de 71 anos, em que foi observada uma tendência significativa de aumento das chuvas na escala de $2,31 \text{ mm ano}^{-1}$. Os valores contraditórios são justificados devido a diferença de tamanho da série de dados, sendo que séries longas possibilitam uma análise geral das alterações, por exemplo, no ano de 1982 houve uma anomalia positiva de chuva que provavelmente afetou a análise da série de 1979 à 2015.

Alvares et al., (2013) e Campos & Chaves (2020), utilizando 2.950 estações meteorológicas com séries temporais acima de 25 anos entre 1950 e 1990, associadas ao uso de sistema de informações geográficas (SIG) encontraram para o estado de Goiás um total anual de chuva variando entre 1.300 e 2.200 mm ano^{-1} . Estes valores corroboram com a normal climatológica de $1.558 \text{ mm ano}^{-1}$ encontrada para o município de Goiânia. Em escala mensal, foi perceptível a distribuição de um ciclo anual bem definido, caracterizado por duas estações, a estação das águas (outubro a março) e da seca (abril a setembro). A Figura 8, apresenta o boxplot com a distribuição mensal e *outliers* dos dados.

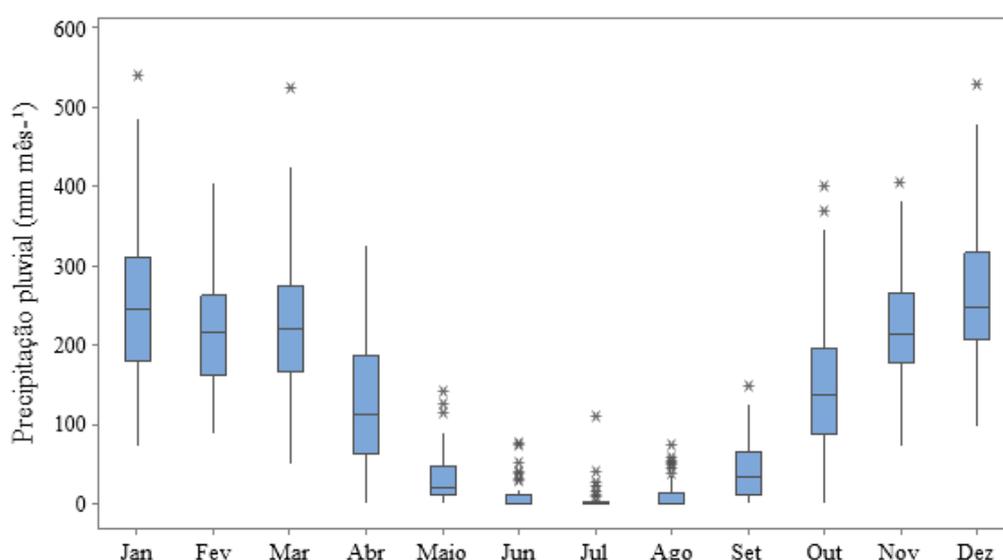


Figura 8. Precipitação mensal para o município de Goiânia, GO, no período de 1949 a 2019, em que no Boxplot a linha central representa a mediana, a parte inferior da caixa representa 25%, a parte superior da caixa representa 75%, e a linha contínua vertical representam os limites superior e inferior e * representa os *outliers*.

Os valores mensais do intervalo interquartil (25% e 75% percentis), confirmam a variabilidade de chuva ao longo do ano. Os meses chuvosos, apresentaram uma dispersão de dados maior, em que a amplitude interquartil média para essa estação foi de 108 mm, sendo a menor amplitude no mês de novembro (87 mm) com mediana de 214 mm e a maior amplitude no mês de janeiro (131 mm) com mediana de 246 mm. Nesse período ocorreram 6 *outliers*, sendo dois em outubro (369 e 402 mm), um em novembro (405 mm), um em dezembro (531 mm), um em janeiro (541 mm) e um em março (526 mm).

Nos meses de seca, houve pouca dispersão de dados e maior ocorrência de *outliers*. A amplitude interquartil média do período seco foi de 41 mm, sendo a menor amplitude no mês de julho (3 mm) com mediana de 0 mm e com o maior número de ocorrências de *outliers* (12 ocorrências) e a maior amplitude no mês de abril (124 mm) com mediana de 113 mm e nenhuma ocorrência de *outliers*, pois é um mês de transição das estações. Quanto as ocorrências de *outliers* durante o período de seca, 88% aconteceram no trimestre de junho, julho e agosto.

Na avaliação da totalidade dos 426 meses do período de seca (abril a setembro) que compõem a série, observou-se que 26% não tiveram chuvas, sendo que o acumulado mensal foi de 0 mm mês⁻¹. Ainda no período seco, a precipitação pluviométrica mensal variou de 5,1 a 123,6 mm mês⁻¹, sendo os meses de junho, julho e agosto os mais críticos, com médias de 8,9, 5,1 e 9,6 mm mês⁻¹, respectivamente. Devido ao baixo índice pluviométrico, esses períodos possuem os menores desvios padrões, variando de 14,90 a 17,0 mm, porém o mesmo período possui o maior coeficiente de variação, no intervalo de 177 a 292%. A justificativa para este alto coeficiente de variação no período relaciona-se a precipitação inexistente em alguns anos.

Os meses com maior incidência de chuva (outubro a março), possuem médias acima de 150 mm mês⁻¹. O mês de dezembro foi o mais chuvoso com precipitação média acumulada de 263 mm mês⁻¹. O mês de janeiro possui a segunda maior média (250 mm mês⁻¹) e o maior desvio padrão da série de dados (95 mm). Quanto a amplitude, o mês de março possui a maior flutuação, com a chuva variando de 56,4 a 526 mm mês⁻¹. A análise mostra que o mês de novembro foi o mais consistente, conforme demonstrado pelo coeficiente de variação, que apresentou valor de 31,6%. Alguns meses apresentaram altos volumes máximos, principalmente janeiro de 1980, o mês mais chuvoso da série temporal, com 541 mm mês⁻¹.

A Tabela 5 apresenta informações sobre os níveis acumulados mensais, confirmando a sazonalidade da chuva para o município. Na análise os meses críticos para o regime hídrico são os pertencentes ao período de seca (abril a setembro). O volume acumulado destes meses foi de 225 mm, com uma média mensal de precipitação de 37,50 mm, o que corresponde a 14% da média total do volume precipitado anual. O teste de Mann-Kendall foi aplicado para o volume de chuva acumulado em cada mês do intervalo de dados entre 1949 e 2019, foi obtido a probabilidade de significância do teste (p-valor), em escala mensal e o índice Z de tendência, em milímetros. Os meses de março e abril resultaram em um p-valor significativo, com uma tendência ascendente de 2,48 e 1,87 mm ano⁻¹, respectivamente.

Tabela 5. Média mensal, mediana, valores máximos e mínimos, desvio padrão, amplitude, coeficiente de variação e teste de Mann-Kendall para a série (1949-2019) do município de Goiânia, GO.

Mês	Média (mm)	Mediana (mm)	Máx. (mm)	Mín. (mm)	DP (mm)	Amp. (mm)	CV (%)	Teste de Mann-Kendall	
								Z (mm)	p-valor
Jan	250,0	245,9	540,8	73,6	95,4	467,2	38,2	-0,08	0,468
Fev	220,1	216,6	403,9	88,0	74,0	315,9	33,6	0,42	0,338
Mar	225,8	221,5	526,0	50,3	93,8	475,7	41,6	2,48	0,006*
Abr	123,6	112,8	325,2	1,3	72,7	323,9	58,8	1,87	0,031*
Mai	34,5	21,5	141,1	0,0	31,5	141,1	91,3	0,25	0,402
Jun	8,9	0,4	76,4	0,0	17,0	76,4	191,5	0,34	0,367
Jul	5,1	0,0	110,4	0,0	14,9	110,4	291,8	0,48	0,316
Ago	9,6	0,2	73,9	0,0	17,0	73,9	177,1	1,51	0,067
Set	43,4	33,0	148,3	0,0	36,4	148,3	83,9	1,24	0,107
Out	153,6	137,2	401,6	0,0	87,9	401,6	57,2	-0,72	0,234
Nov	220,4	214,4	405,0	73,5	69,6	331,5	31,6	0,47	0,32
Dez	263,1	247,0	530,5	96,9	90,0	433,6	34,2	0,98	0,163

*Tendência significativa; Máx. é o valor máximo; Mín. é o valor mínimo; DP é o desvio padrão; Amp. é a amplitude; CV é o coeficiente de variação; Z é o índice do teste de Mann-Kendall; p-valor é a probabilidade estatística do teste de Mann-Kendall.

Na Tabela 6, é possível verificar que 45% do total anual de chuvas concentra-se nos meses de janeiro, fevereiro e março (JFM), representando uma média acumulada de 696 mm no trimestre. Os altos totais pluviométricos para esses meses estão associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e frentes frias oriundas do sul do Brasil, resultando em uma sequência de dias com chuva registrada. Apesar da uniformidade pluviométrica

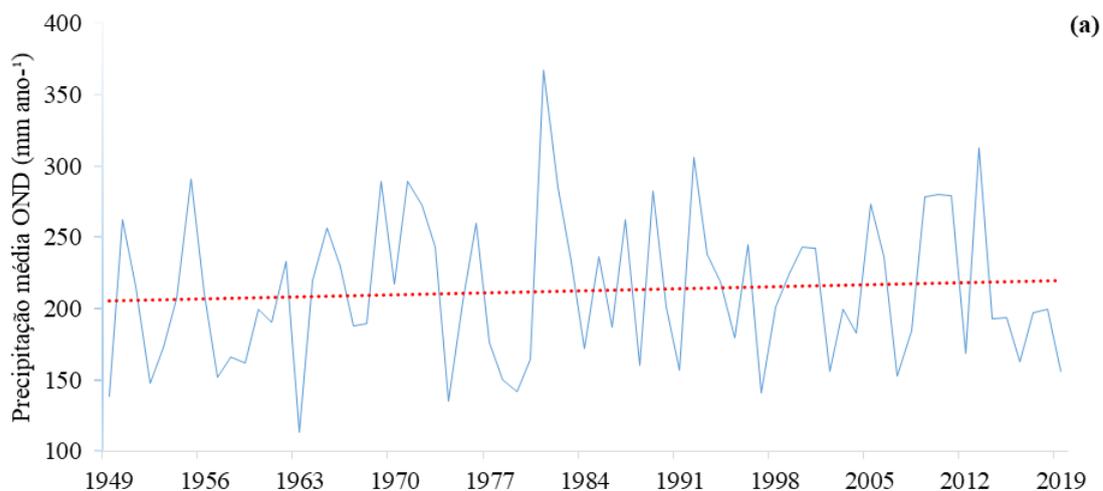
comprovado pelo índice do coeficiente de variação (38,3%), o trimestre JFM, rotineiramente provoca problemas urbanos, como inundações e alagamentos, devido a deficiência do sistema de drenagem urbana. O teste de Mann-Kendall foi aplicado para o volume de chuva acumulado em cada trimestre do intervalo de dados entre 1949 e 2019, nos trimestres de janeiro, fevereiro e março (JFM) e abril, maio e junho (AMJ) foram observados tendência significativa ascendente para o volume de chuva com valores de 1,93 e 1,87 mm ano⁻¹, respectivamente. O período chuvoso contribuiu em média com mais de 85% do volume total de chuva anual.

Tabela 6. Precipitação acumulada, média, mediana, valores máximos e mínimos, desvio padrão, coeficiente de variação trimestral e teste de Mann-Kendall para a série (1949-2019).

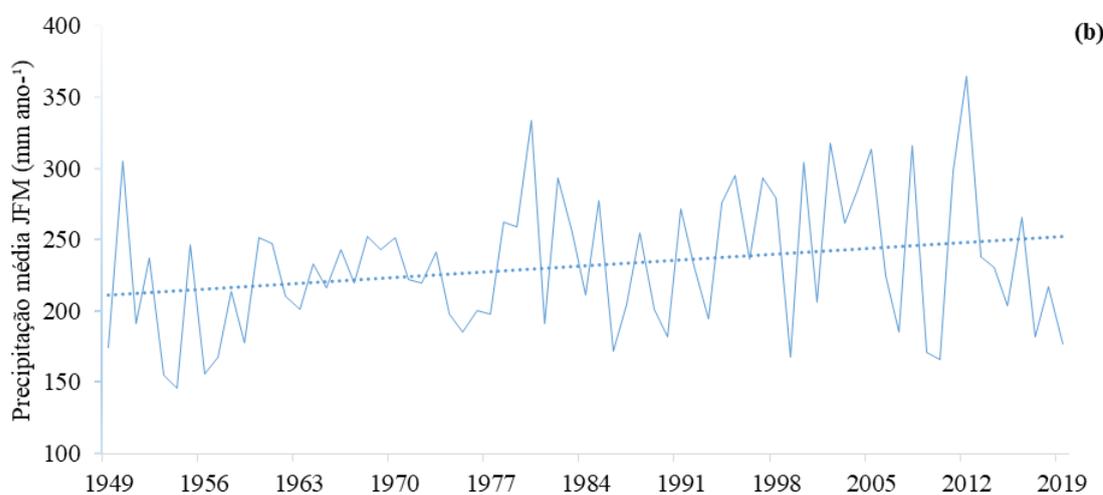
Período	Total (mm)	Média (mm)	Mediana (mm)	Máx. (mm)	Mín. (mm)	DP (mm)	CV (%)	Teste de Mann-Kendall	
								Z (mm)	p-valor
JFM	695,9	232,0	224,0	540,8	50,3	88,8	38,3	1,93	0,026*
AMJ	167,0	55,7	29,0	325,2	0,0	67,8	121,8	1,87	0,031*
JAS	58,1	19,4	3,2	148,3	0,0	30,0	154,9	1,28	0,100
OND	637,1	212,4	207,7	530,5	0,0	94,2	44,3	0,58	0,281

*Tendência significativa; JFM é o trimestre de janeiro, fevereiro e março; AMJ é o trimestre de abril, maio e junho; JAS é o trimestre de julho, agosto e setembro; OND é o trimestre de outubro, novembro e dezembro. Máx. é o valor máximo; Mín é o valor mínimo; DP é o desvio padrão; CV é o coeficiente de variação; Z é o índice do teste de Mann-Kendall; p-valor é a probabilidade estatística do teste de Mann-Kendall.

A análise do período chuvoso foi realizada em escala trimestral (Figura 9a e 9b). No trimestre de outubro, novembro e dezembro (OND), os extremos foram de 113 mm mês⁻¹ no ano de 1963 e de 367 mm mês⁻¹ no ano de 1981. E, em 32 anos o volume precipitado foi acima da média geral de 212 mm, o que correspondeu a 45% dos anos. A análise de regressão indicou um coeficiente de determinação (R²) em 0,62%, não apontando um bom ajuste. O teste de Mann-Kendall não apresentou tendência significativa. No trimestre de janeiro, fevereiro e março (JFM), os extremos foram de 146 mm mês⁻¹ no ano de 1954 e de 364 mm mês⁻¹ no ano de 2012. Em 34 anos o volume precipitado foi acima da média geral de 232 mm o que correspondeu a 48% dos anos. A análise de regressão resultou em um R² de 6,2%, caracterizando uma correlação fraca. O teste de Mann-Kendall apresentou tendência significativa, apontando uma tendência crescente de 1,93 mm ano⁻¹.



Nota: $R^2 = 0,0062$; Média = 212; $Z = 0,58$; p-valor = 0,28.

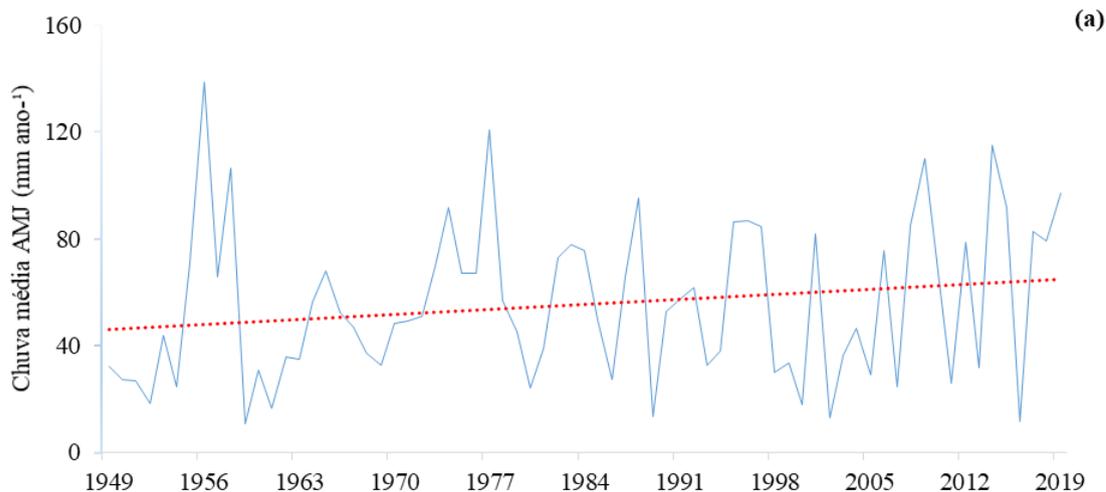


Nota: $R^2 = 0,0621$; Média = 232; $Z = 1,93$; p-valor = 0,026*.

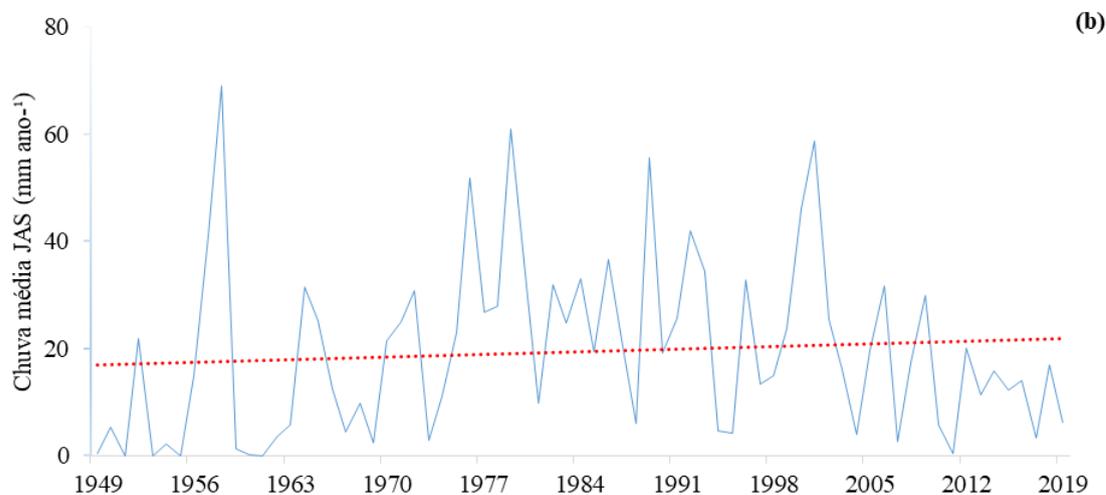
Figura 9. Variabilidade pluviométrica anual no período chuvoso dos anos de 1949 a 2019 para o município de Goiânia, GO, para os trimestres Outubro-Novembro-Dezembro (OND) (a) e Janeiro-Fevereiro-Março (JFM) (b). R^2 , coeficiente de determinação; Z , índice do teste de Mann-Kendall; p-valor, probabilidade de significância do teste de Mann-Kendall; *Tendência significativa.

A análise do período de seca (abril a setembro) foi realizada em escala trimestral (Figura 10a e 10b). No trimestre de abril, maio e junho (AMJ), os extremos foram de 11 mm $mês^{-1}$ em 1959 e de 139 mm $mês^{-1}$ em 1956. Em 33 anos o volume precipitado foi acima da média geral de 56 mm, o que correspondeu a 46% dos anos. A análise de regressão indicou um coeficiente de determinação (R^2) em 3,6%, caracterizando uma correlação fraca. O teste de Mann-Kendall apresentou tendência significativa crescente de 1,87 mm ano^{-1} . No trimestre julho, agosto e setembro (JAS), os extremos foram de 0 mm $mês^{-1}$ nos anos de

1951, 1953, 1955 e 1961 e de 69 mm mês⁻¹ em 1958. Em 33 anos o volume precipitado foi acima da média geral de 19 mm, o que correspondeu a 46% dos anos. O valor acumulado de precipitação do trimestre foi de 58 mm, representando 3,7% do total médio anual (1.558 mm ano⁻¹). A análise de regressão indicou um R² em 0,71%, caracterizando uma correlação fraca. O teste de Mann-Kendall não apresentou tendência significativa.



Nota: R² = 0,0356; Média = 56; Z = 1,87; p-valor = 0,031*.

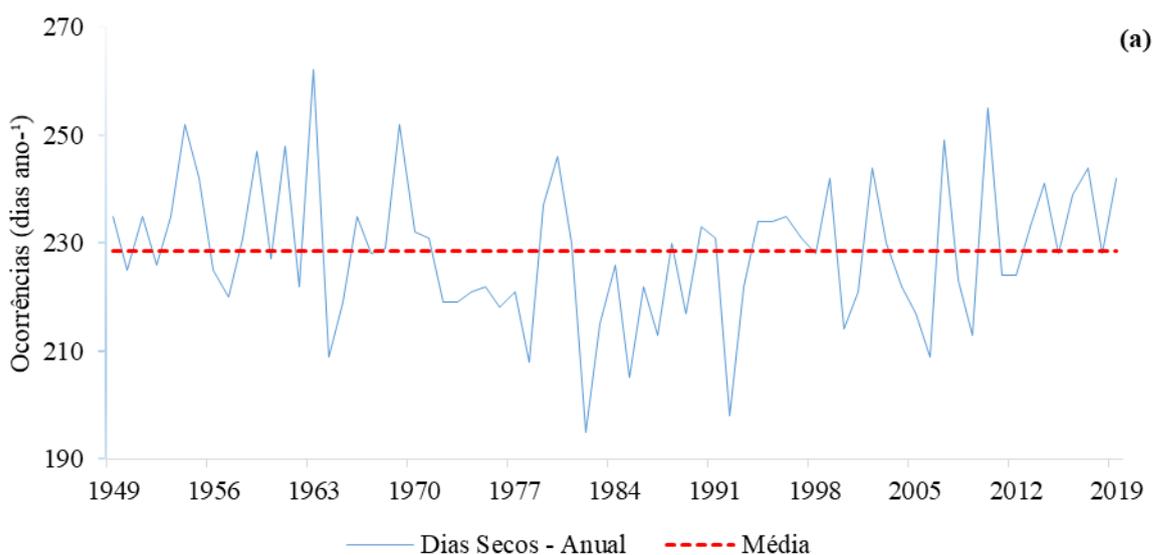


Nota: R² = 0,0071; Média = 19; Z = 1,28; p-valor = 0,10.

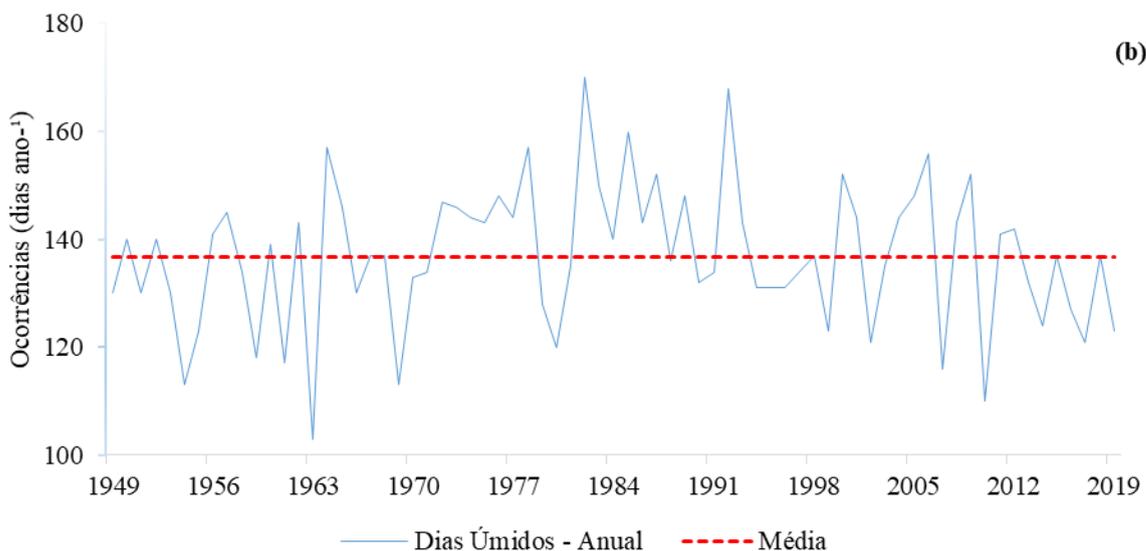
Figura 10. Variabilidade pluviométrica anual no período seco dos anos de 1949 a 2019 para o município de Goiânia, GO para os trimestres Abril-Maio-Junho (AMJ) (a) e Julho-Agosto-Setembro (JAS) (b). R², coeficiente de determinação; Z, índice do teste de Mann-Kendall; p-valor, probabilidade de significância do teste de Mann-Kendall; *Tendência significativa.

4.2. OCORRÊNCIA DE DIAS SECOS E CHUVOSOS

A ocorrência de dias secos e dias chuvosos em escala anual foram apresentadas nas Figuras 11a e 11b, respectivamente, bem como suas médias, linha de tendência e teste de Mann-Kendall. O município de Goiânia (GO), apresentou uma média de 228 dias sem a ocorrência de chuvas por ano, o que correspondeu a 62% do total anual.



Nota: $R^2 = 0,0016$; Média = 228; $Z = -0,16$; p-valor = 0,44.

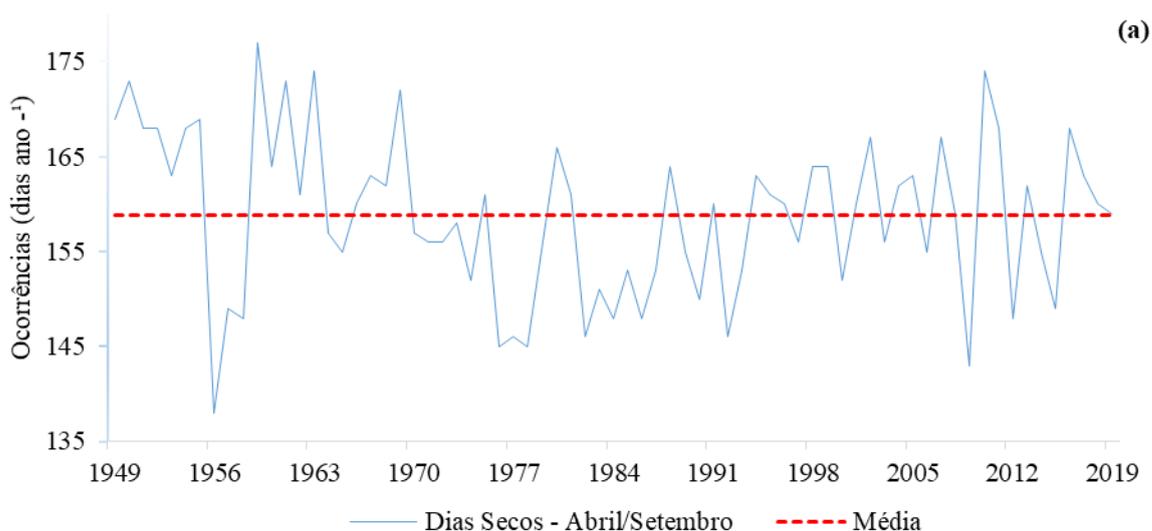


Nota: $R^2 = 0,0016$; Média = 137; $Z = 0,23$; p-valor = 0,41.

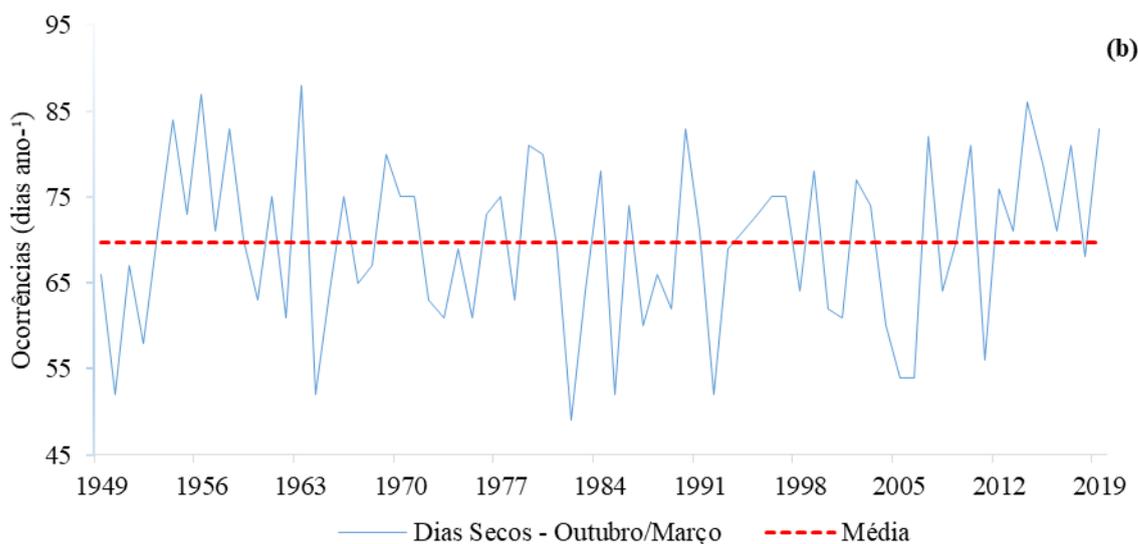
Figura 11. Análise da distribuição pluviométrica diária ao longo dos anos de 1949 a 2019 para o município de Goiânia, GO. Dias secos em escala anual (a). Dias úmidos em escala anual (b).

O maior número de dias secos ocorreu no ano de 1963, sendo 262 ocorrências e o menor número de dias secos foi no ano de 1982, com 195 ocorrências. Em 34 anos, as ocorrências ficaram acima da média, o que equivale a 48% dos anos. A ocorrência de dias úmidos apresentou uma média de 137 dias por ano, em que os extremos foram 103 ocorrências (1963) e 170 ocorrências (1982). Em 33 anos as ocorrências ficaram acima da média o que equivale a 46%. A análise de regressão apresentou correlação fraca e o teste de Mann-Kendall não obteve tendências significativas.

As Figuras 12a e 12b ilustram a ocorrência de dias secos durante o período de estiagem e período chuvoso, a média desses eventos, a equação de regressão, o coeficiente de determinação e o teste de Mann-Kendall para cada situação. A média de dias secos durante o período de estiagem foi de 159 dias, em que os extremos foram de 138 ocorrências em 1956 e 177 ocorrências em 1959. Em 37 anos as ocorrências ficaram acima da média, o que equivale a 52%. A média de dias secos durante o período chuvoso foi de 70 dias, em que os extremos foram de 49 ocorrências em 1982 e 88 ocorrências em 1963. Em 36 anos as ocorrências ficaram acima da média, o que equivale a 51%. A análise de regressão não indicou correlação linear entre a ocorrência de dias secos ao longo dos anos para os períodos analisados e o teste de Mann-Kendall não indicou tendência significativa de alteração ascendente ou descendente na ocorrência de dias secos durante o período de estiagem e durante o período chuvoso.



Nota: $R^2 = 0,0202$; Média = 159; $Z = -1,16$; p-valor = 0,88.



Nota: $R^2 = 0,0052$; Média = 70; $Z = 0,75$; p-valor = 0,22.

Figura 12. Análise da distribuição pluviométrica diária ao longo dos anos de 1949 a 2019 para o município de Goiânia, GO. Dias secos entre abril e setembro (a). Dias secos entre outubro e março (b).

4.3. ANÁLISE DO VOLUME DIÁRIO DE CHUVA

As Figuras 13a e 13b ilustram a distribuição dos volumes precipitados por dia na escala de décadas para os intervalos de 1, 10 e 20 mm e 60, 80 e 100 mm, respectivamente. Esses volumes medem a ocorrência de determinados limiares de chuvas. Na série histórica foram registradas 7.929 ocorrências de chuvas maior ou igual a 1 mm, com a média anual de ocorrências de 112 dias. Para o volume acima de 1 mm por dia, a década de 1979 e 1988

possui a maior média de ocorrência, registrando 118 dias por ano, enquanto, a década de 1959 e 1968 obteve a menor média com 106 ocorrências por ano. O teste de Mann-Kendall foi realizado para analisar a tendência de alteração da ocorrência de dias com chuvas acima de 1 mm ao longo dos anos, mas não houve tendência significativa (p-valor: 0,12).

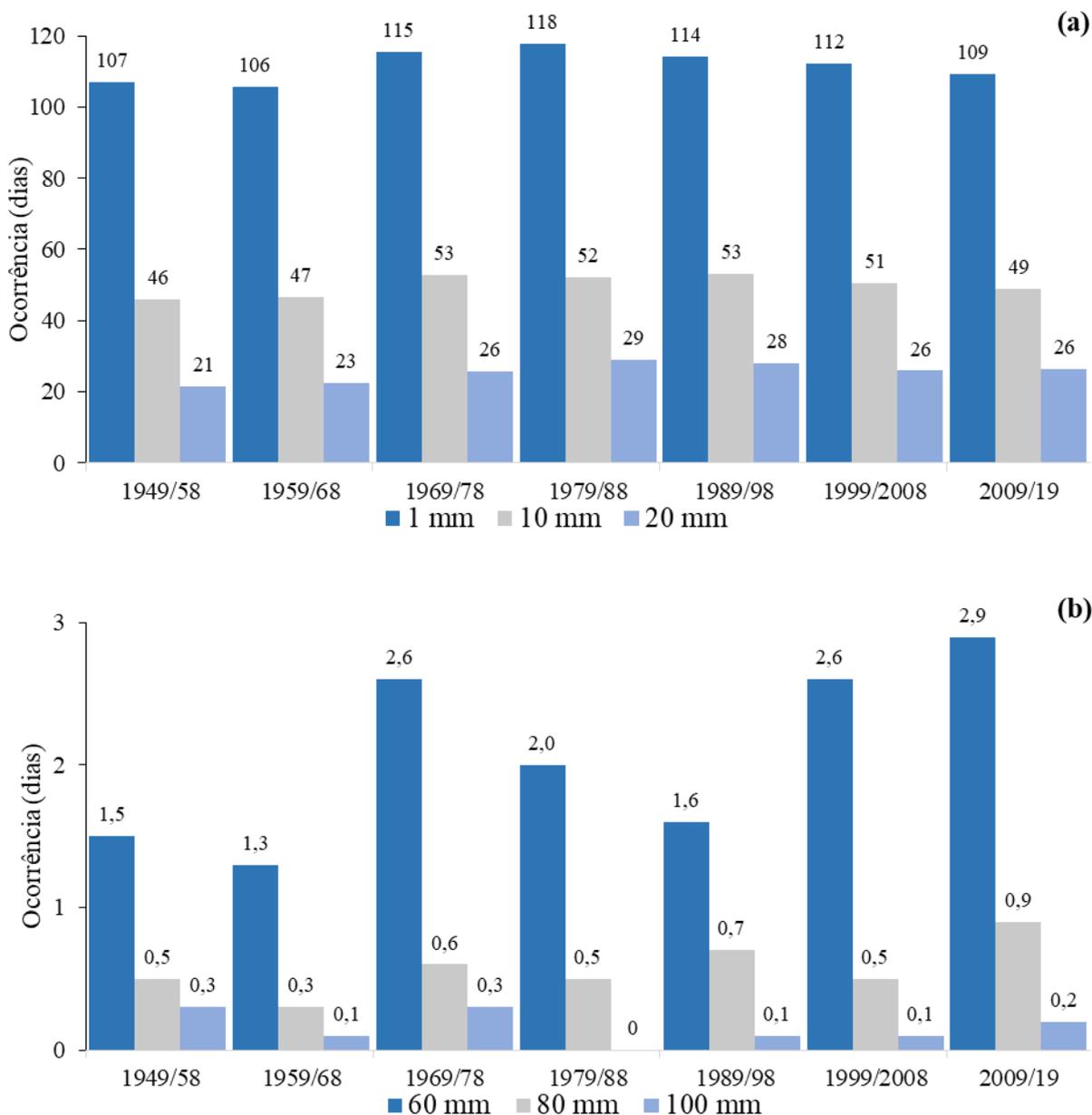


Figura 13. Ocorrência de dias com índice pluviômetro superior a determinado valor por década no município de Goiânia, GO, no intervalo de 1949 a 2019.

Ao analisar as chuvas maiores ou iguais a 10 mm, ocorreram 3.554 dias, indicando uma média de 50 ocorrências por ano. Para o volume acima de 10 mm por dia, a

década de 1969 e 1978 possui a maior média de ocorrência, registrando 53 dias por ano, enquanto, a década de 1949 e 1958 possui a menor média com 46 ocorrências por ano (Figura 13a). Foi realizado o teste de Mann-Kendall para analisar a tendência de alteração da ocorrência de dias com chuvas acima de 10 mm ao longo dos anos, mas não houve tendência significativa (p-valor: 0,09).

As chuvas maiores ou iguais a 20 mm foram registradas em 1.815 dias, indicando uma média de 26 dias por ano, em que a década de 1979 a 1988 possui a maior média com 29 ocorrências por ano e a década de 1949 a 1958 com a menor média, sendo de 21 ocorrências por ano (Figura 13a). Ao realizar o teste de Mann-Kendall houve tendência significativa ascendente (p-valor: 0,02) com um valor calculado Z de 2,16 dias ano⁻¹, evidenciando uma tendência de aumento de ocorrência de chuvas acima de 20 mm ao longo dos anos da série histórica.

As chuvas maiores ou iguais a 60 mm foram registradas em 148 dias, indicando uma média de 2 dias por ano, em que a década de 2009 a 2019 possui a maior média com 2,9 ocorrências por ano e a década de 1959 a 1968 com a menor média, sendo de 1,3 ocorrências por ano (Figura 13b). A partir do teste de Mann-Kendall, verificou-se para a ocorrência de dias com chuvas acima de 60 mm ao longo dos anos uma tendência significativa ascendente (p-valor: 0,004) com um valor calculado Z de 2,68 dias ano⁻¹, evidenciando uma tendência de aumento de ocorrência de chuvas acima de 60 mm ao longo dos anos da série histórica.

Ao analisar as chuvas maiores ou iguais a 80 mm por dia houve o registro de 41 dias, indicando uma média de 0,6 dias por ano, em que a década de 2009 a 2019 possui a maior média com 0,9 ocorrências por ano e a década de 1959 a 1968 com a menor média, sendo de 0,3 ocorrências por ano (Figura 13b). O teste de Mann-Kendall indicou tendência significativa ascendente (p-valor: 0,03) com um valor calculado Z de 1,91 dias ano⁻¹, evidenciando uma tendência de aumento de ocorrência de chuvas acima de 80 mm ao longo dos anos da série histórica.

As chuvas maiores ou iguais a 100 mm foram registradas em 11 ocasiões, com uma média anual de 0,2 dias por ano, em que os extremos máximos foram nas décadas de 1949 a 1958 e 1969 a 1978 com média de 0,3 ocorrências por ano e o extremo mínimo foi na década de 1979 a 1988 com uma média de 0 ocorrências por ano. Foi realizado o teste de Mann-Kendall para analisar a tendência de alteração da ocorrência de dias com chuvas acima de 100 mm ao longo dos anos, mas não houve tendência significativa (p-valor: 0,19).

Desse modo, para o intervalo entre 1949 e 2019 ocorreram 200 ocasiões de precipitação acima de 60 mm dia⁻¹. Eventos de precipitações entre 60 e 100 mm são enquadrados como extremos climáticos, e a depender da estrutura urbana, podem indicar alto potencial de destruição devido aos alagamentos e deslizamentos de terras (Ferreira et al., 2017). Luiz & Romão (2019), estudaram a intensidade diária pluvial relacionada a ocorrência de inundações e alagamentos no município de Goiânia, GO. No estudo, a variação diária de chuva foi de 8 a 99 mm dia⁻¹, em que as elevadas intensidades das chuvas e o perfil do solo com baixa capacidade de infiltração, justificam a ocorrência de pontos de alagamentos e inundações na cidade.

4.4. PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E FENÔMENOS ENOS

Na Tabela 7 está representado as ocorrências de eventos El Niño, La Niña e Neutros, no período entre 1950 e 2019. Nesse período, ocorreram eventos ENOS em 62,9% dos anos, sendo 31,4% de El Niño e também 31,4% de La Niña, totalizando 41 eventos de El Niño e La Niña. Durante este período ocorreram nove eventos (39%) de El Niño de intensidade forte, seis moderados (26%), e oito de intensidade fraca (35%). Para os eventos de La Niña, ocorreram nove eventos de intensidade forte (50%), cinco de intensidade moderados (28%) e quatro eventos fracos (22%). O evento mais longo teve duração de 32 meses, sendo um episódio de La Niña, entre os anos de 1998 e 2001.

Tabela 7. Eventos ENOS, intensidade e duração (meses) durante a série de 1950 a 2019.

Anos	Eventos	Intensidade	Início/Fim	Duração
1950	La Niña	Forte	Jan/jul	7
1951/1952	El Niño	Moderado	Jun/Jan	8
1953/1954	El Niño	Fraco	Fev/Fev	13
1954/1956	La Niña	Forte	Maio/Set	29
1957/1958	El Niño	Forte	Abr/Jul	16
1958/1959	El Niño	Fraco	Nov/Mar	5
1963/1964	El Niño	Moderado	jun/fev	9
1964/1965	La Niña	Fraco	Maio/Jan	9
1965/1966	El Niño	Forte	Maio/Abril	12
1968/1969	El Niño	Moderado	Out/Maio	8
1969/1970	El Niño	Fraco	Ago/Jan	6
1970/1972	La Niña	Moderado	Jul/Jan	19
1972/1973	El Niño	Forte	Maio/Mar	11

Anos	Eventos	Intensidade	Início/Fim	Duração
1973/1974	La Niña	Forte	Maio/jul	15
1974/1976	La Niña	Forte	Out/Abr	19
1976/1977	El Niño	Fraco	Set/Fev	6
1977/1978	El Niño	Fraco	Set/Jan	5
1979/1980	El Niño	Fraco	Out/Fev	5
1982/1983	El Niño	Forte	Abr/Jun	15
1983/1984	La Niña	Moderado	Set/Jan	5
1984/1985	La Niña	Forte	Out/Ago	11
1986/1988	El Niño	Forte	Set/Fev	18
1988/1989	La Niña	Forte	Maio/Maio	13
1991/1992	El Niño	Forte	Maio/Jun	14
1994/1995	El Niño	Moderado	Set/Mar	7
1995/1996	La Niña	Moderado	Ago/Mar	8
1997/1998	El Niño	Forte	Maio/Maio	13
1998/2001	La Niña	Forte	Jul/Fev	32
2002/2003	El Niño	Moderado	Jun/Fev	9
2004/2005	El Niño	Fraco	Jul/Fev	8
2005/2006	La Niña	Fraco	Nov/Mar	5
2006/2007	El Niño	Fraco	Set/Jan	5
2008/2009	La Niña	Fraco	Nov/Mar	5
2009/2010	El Niño	Forte	Jul/Mar	9
2010/2011	La Niña	Forte	Jun/Maio	12
2011/2012	La Niña	Moderado	Jul/Mar	9
2014/2016	El Niño	Forte	Nov/Maio	19
2016	La Niña	Fraco	Ago/Dez	5
2017/2018	La Niña	Moderado	Out/Mar	6
2018/2019	El Niño	Moderado	Out/Jun	9

A Figura 14 representa a dispersão dos dados entre o volume de chuva do verão versus o índice oceânico Niño (ION). A comparação entre o volume de chuva durante o verão com o ION do mesmo período, apresentou uma correlação fraca, em que o R^2 foi de 0,0018. A comparação com as estações anteriores apresentou uma correlação linear bem fraca. Analisando a equação de regressão foi observado que o coeficiente da variável independente aumentou durante as estações de primavera e inverno, sendo de 11,99 e 22,68, respectivamente, indicando uma tendência ascendente fraca, contudo, nas estações do outono e verão anterior esse valor reduziu para o valor de 13,45 e -1,33.

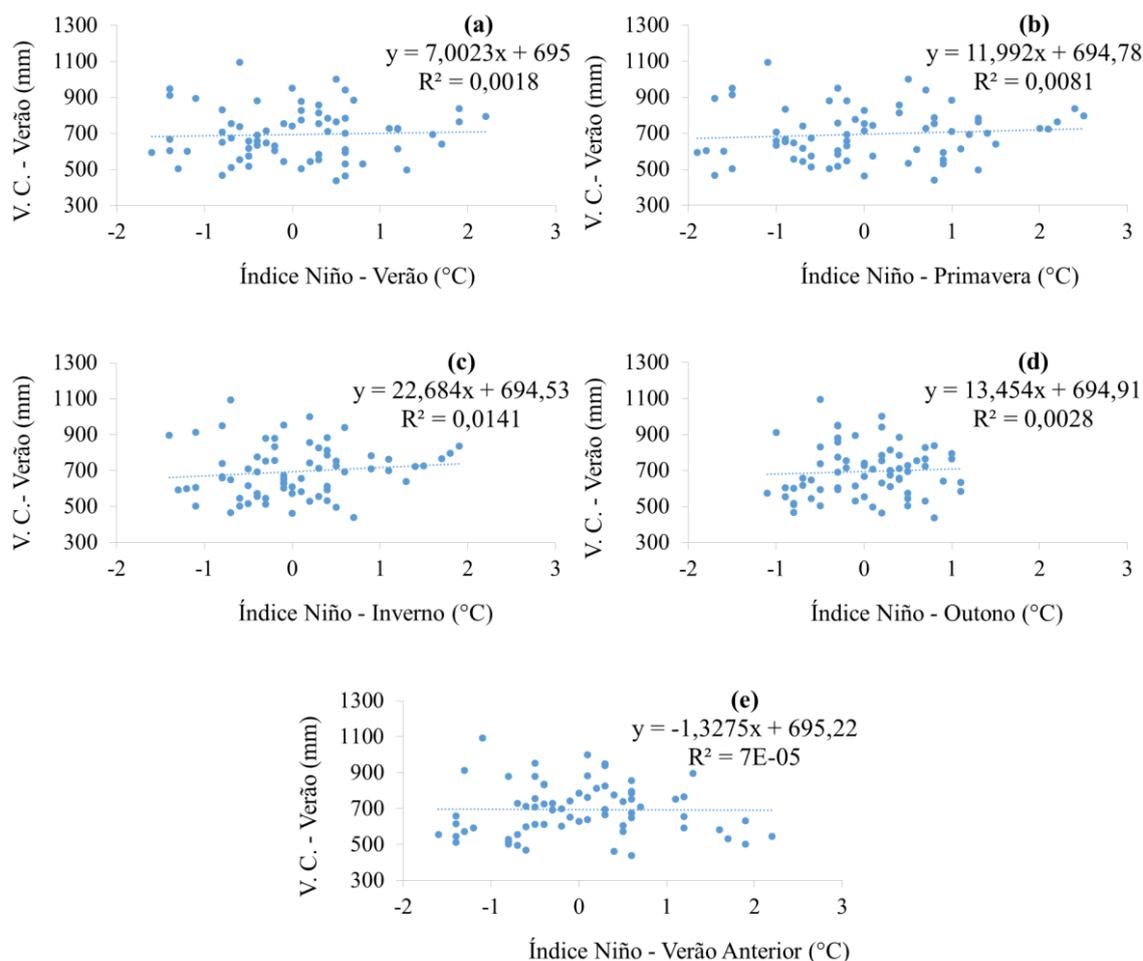


Figura 14. Volume de chuva do verão versus o ION do mesmo período de verão (a), da primavera anterior (b), do inverno anterior (c), do outono anterior (d) e do verão do ano anterior (e). V.C. é volume de chuva.

A Figura 15 representa a dispersão dos dados entre o volume de chuva do outono versus o índice oceânico niño (ION). A comparação entre o volume de chuva durante o outono com o ION do mesmo período, apresentou uma correlação fraca, em que o R^2 foi de 0,0001. A comparação com as estações anteriores apresentou uma correlação linear fraca. Analisando a equação de regressão foi observado que o coeficiente da variável independente diminuiu durante as estações anteriores, sendo que o volume de chuva do outono versus o ION desse mesmo outono foi de 1,86, enquanto, o volume de chuva do outono versus o ION do outono anterior foi de $-17,98$. Interpretando, para um aumento de um grau Celsius no ION do outono atual, a chuva no outono aumenta, em média 1,86 mm. Enquanto, o aumento de um grau Celsius no ION do outono anterior, a chuva reduz, em média, 17,98 mm.

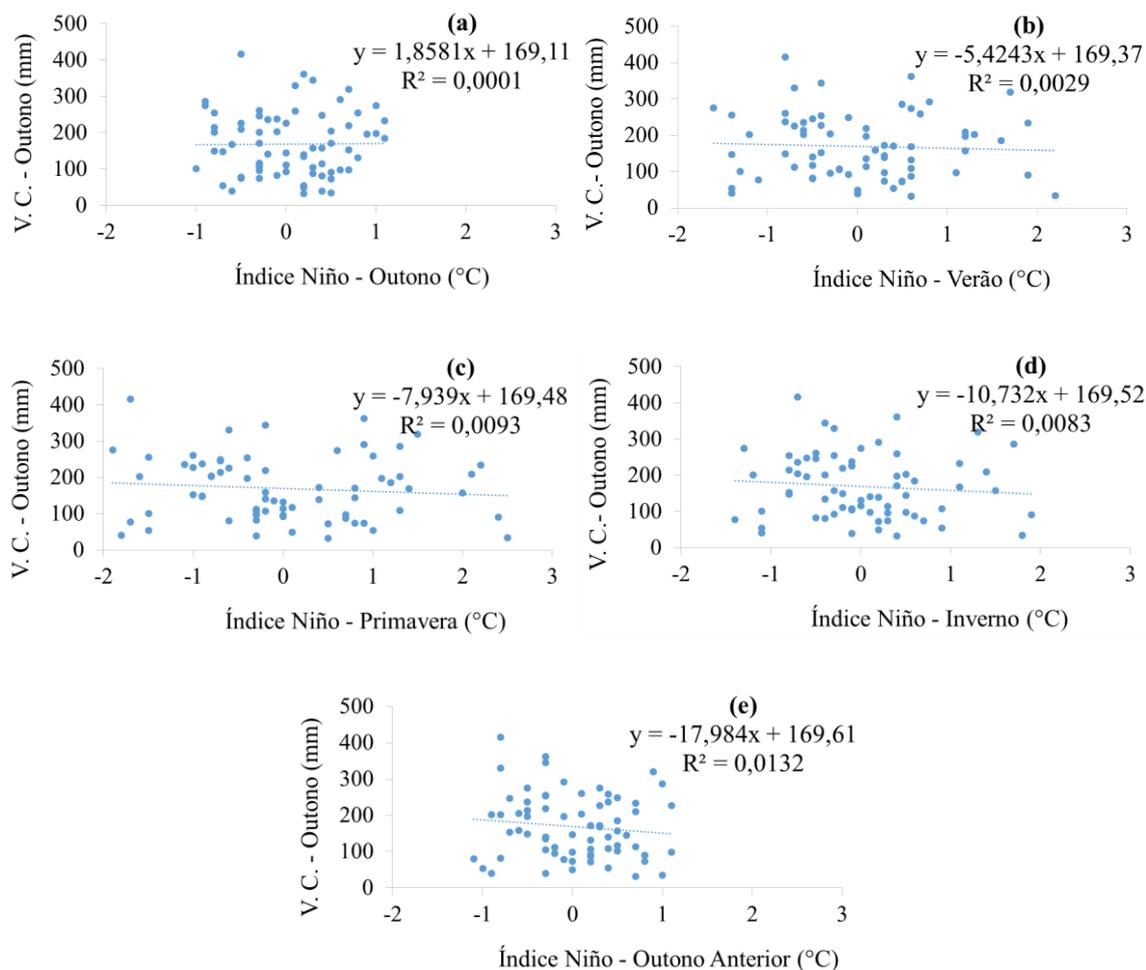


Figura 15. Volume de chuva do outono versus o ION do mesmo período de outono (a), do verão anterior (b), da primavera anterior (c), do inverno anterior (d) e do outono do ano anterior (e). V.C. é volume de chuva.

A Figura 16 representa a dispersão dos dados entre o volume de chuva do inverno versus o índice oceânico Niño (ION). A comparação entre o volume de chuva durante o inverno com o ION do mesmo período, apresentou uma correlação fraca, em que o R^2 foi de 0,023. A comparação com as estações anteriores apresentou uma correlação linear fraca. Analisando a equação de regressão foi observado que o coeficiente da variável independente possui tendência crescente na comparação entre inverno e ION de inverno, em que o aumento de um grau Celsius no ION, corresponde a um aumento na chuva em uma média de 9,99 mm. Esse aumento médio reduziu na estação do outono, mas permaneceu crescente, com valor de 5,74 mm. A partir da estação do verão anterior houve redução nos valores, sendo que para o ION do inverno anterior o coeficiente apresentou o menor valor. Interpretando, para o aumento de um grau Celsius do ION do inverno anterior, o volume de chuva reduz, em média, 11,24 mm.

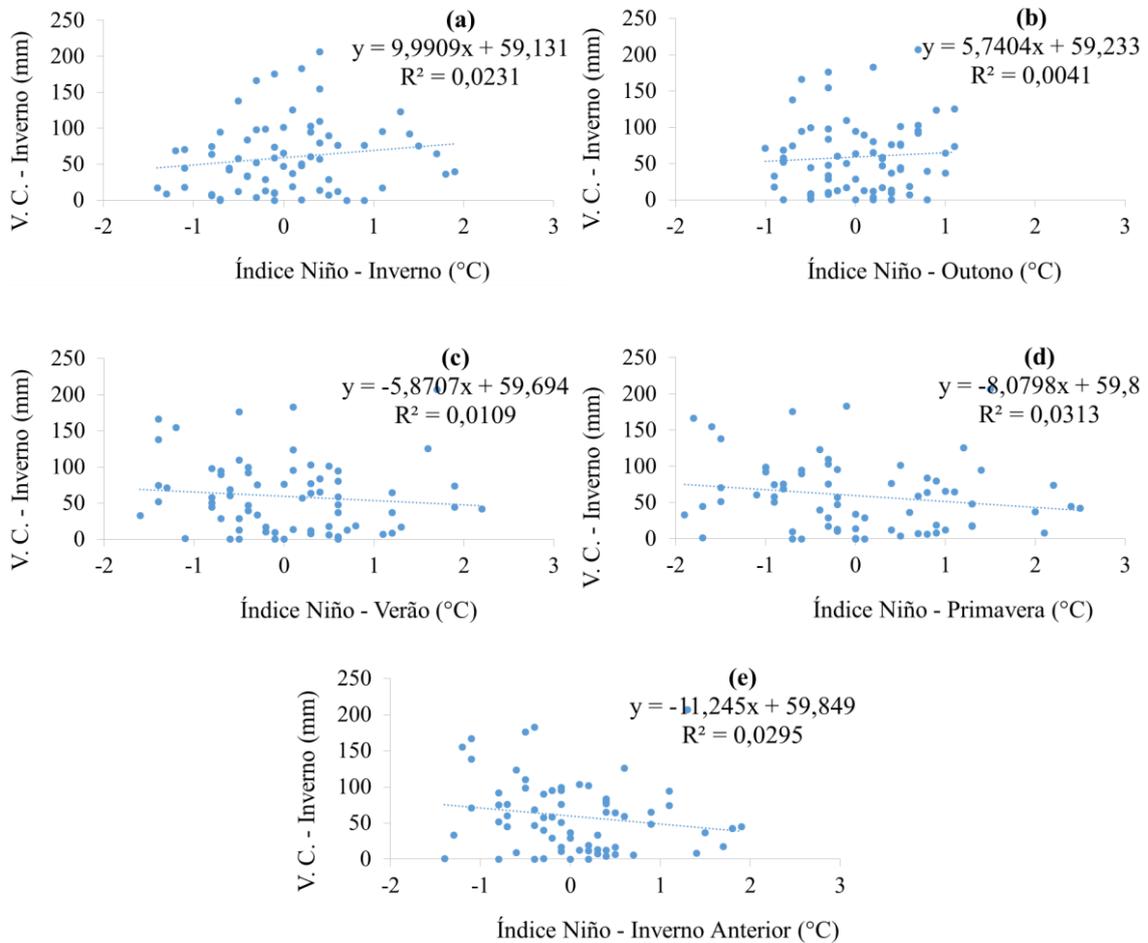


Figura 16. Volume de chuva do inverno versus o ION do mesmo período de inverno (a), do outono anterior (b), do verão anterior (c), da primavera anterior (d) e do inverno do ano anterior (e). V.C. é volume de chuva.

A Figura 17 representa a dispersão dos dados entre o volume de chuva da primavera versus o índice oceânico niño (ION). A comparação entre o volume de chuva durante a primavera com o ION do mesmo período, apresentou uma correlação fraca, em que o R^2 foi de 0,014. A comparação com as estações anteriores apresentou uma correlação linear bem fraca. Analisando a equação de regressão foi observado que o coeficiente da variável independente possuía tendência decrescente na comparação entre a primavera e o ION da primavera, em que o aumento de um grau Celsius no ION, corresponde a uma redução na chuva, em média, de 16,96 mm. Essa redução foi decrescente em todas as estações anteriores, no inverno e outono anterior, a redução foi de 26,67 e 30,05 mm, respectivamente. No ION do verão e primavera anterior a tendência permaneceu decrescente, contudo, com reduções menores, sendo de 22,64 e 18,26 respectivamente.

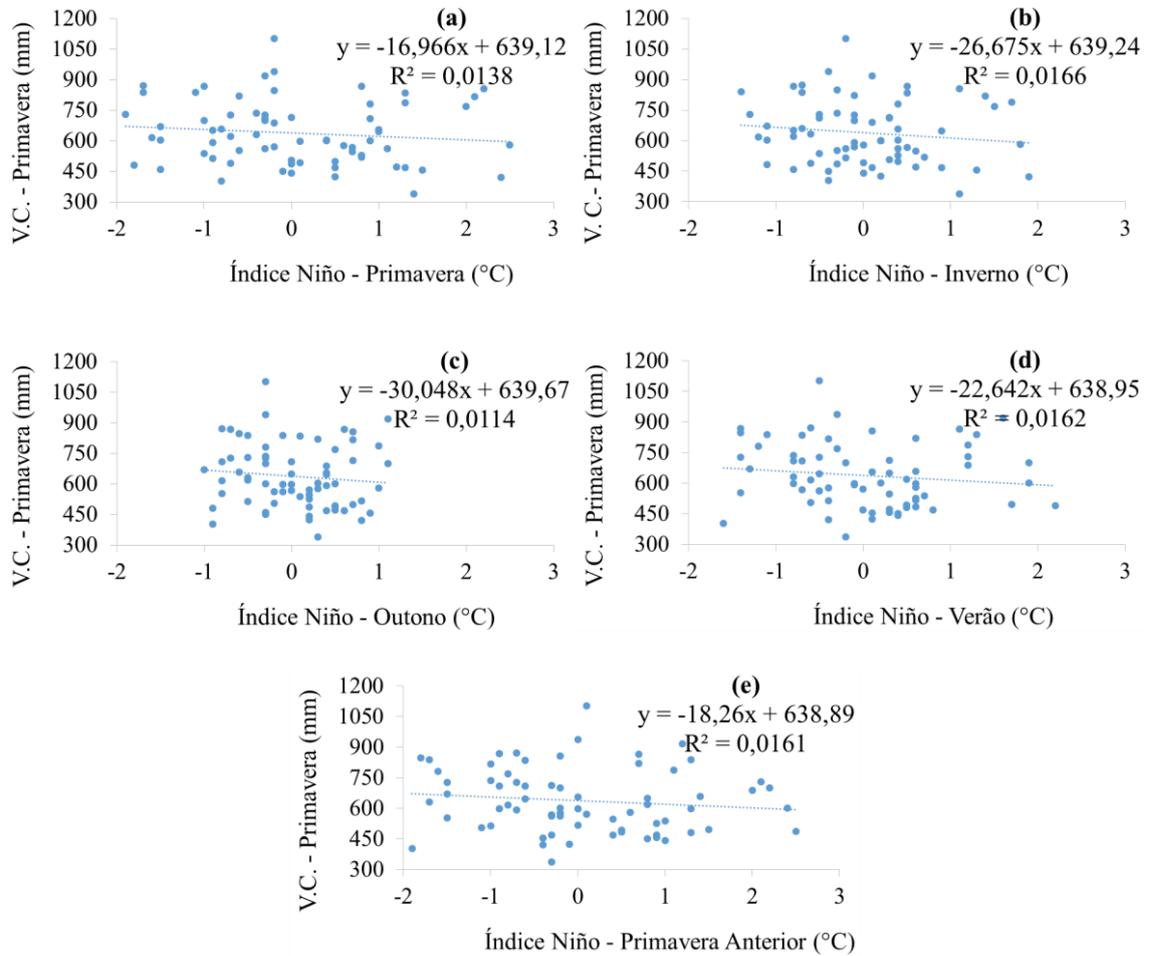


Figura 17. Volume de chuva da primavera versus o ION do mesmo período de primavera (a), do inverno anterior (b), do outono anterior (c), da verão anterior (d) e da primavera do ano anterior (e). V.C. é volume de chuva.

5. CONCLUSÕES

- i. Na escala anual, há tendência significativa de aumento das chuvas;
- ii. Na escala mensal, os meses de março e abril apresentam tendência significativa de aumento das chuvas;
- iii. Na escala trimestral, os trimestres de janeiro-fevereiro-março (JFM) e abril-maio-junho (AMJ) apresentam tendência significativa de aumento das chuvas;
- iv. A ocorrência de dias secos é maior que a de dias chuvosos, mas não há tendência significativa de alteração no número de ocorrências;
- v. A maioria das chuvas ocorrem em um volume inferior a 60 mm dia^{-1} .
- vi. O volume de chuva e o Índice Oceânico Niño (ION) apresenta uma correlação linear fraca para todas as estações do ano.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Resources**, v. 111, 2006.

ALEXANDRE, G.R.; BAPTISTA, M.B.; NAGHETTINI, M.C. Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a Partir de Métodos Estatísticos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n.2, p. 115-126, 2010.

ALLEY, R.; BERNTSEN, T.; BINDOFF, N. L.; CHEN, Z.; CHIDTHAISONG, A.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GREGORY, J.; HEGERL, G.; HEIMANN, M.; HEWITSON, B.; HOSKINS, B.; JOOS, F.; JOUZEL, J.; KATTSOV, V.; LOHMANN, U.; MANNING, M.; MATSUNO, T.; MOLINA, M.; NICHOLLS, N.; OVERPECK, J.; QIN, D.; RAGA, G.; RAMASWAMY, V.; REN, J.; RUSTICUCCI, M.; SOLOMON, S.; SOMERVILLE, R.; STOCKER, T. F.; STOTT, P.; STOUFFER, R. J.; WHETTON, P.; WOOD, R. A.; WRATT, D. 'Resumo para formuladores de políticas', em S Solomon e D Qin e M Manning e M Marquis e KB Averyt e M Tignor e HL Miller e Z Chen (eds.), **Mudanças climáticas 2007: a base das ciências físicas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e NY, EUA, p. 1-18, 2007.

ALMEIDA, B. M. D.; JOSÉ, J. V.; DUARTE, S. N.; FRIZZONE, J. A.; ARRAES, F. D.; PERBONE, A. Análise de tendência temporal da precipitação diária máxima no Estado de São Paulo. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 3, n. 1, p. 1 - 12, 2014.

ALMEIDA, R.; REBELLO, E.; AMBRIZZI, T. Variabilidade de eventos extremos e identificação de tendências climáticas no litoral Norte do Brasil. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, 2010.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, E. D. L. Variabilidade climática no Estado de Goiás, Brasil: o caso da precipitação. **Geografia em Questão**, v. 9, n. 2, p. 26-35, 2016.

AMMA – AGÊNCIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE/ GOIÂNIA. Disponível em:

<https://www.goiania.go.gov.br/html/amma/index.htm>. Acesso em: 20 de Maio de 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas. 2019. Disponível em:
<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 18 de Maio de 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília : ANA, 2021.

ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia de Biossistemas, 2010. 8 f. Apostila.

ARAÚJO, A. R. M. D. **Desenvolvimento e calibração de um pluviógrafo**. 2017. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

ÁVILA, A. et al. Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 11, p. 114029, 1 nov. 2016.

AYOADE, J.O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro, Bertant Brasil, 1996. 332 p.

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos. 2019. Disponível em:
<https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 18 de Maio de 2019.

BARBOSA, J. P. M. Mudanças climáticas e distribuição espacial da precipitação na Serra do Mar – análise a partir de séries históricas de precipitação e sistemas de informação geográfica (SIG). **Caminhos da Geografia, Uberlândia, 2007, v. 8, n. 22, p. 67-81, set. 2007.**

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2ª edição, 318p, 2011.

BECKER, P. Obtenção de Informações para Plano Diretor de Drenagem urbana utilizando o SIG. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. UFCS, 2006.

BENDER, F. D. **Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade da cultura de milho e estratégias de manejo para minimização de perdas em diferentes regiões brasileiras**. 2017. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências). Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superios de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BORSATO, V. D. A.; FILHO, E. E. D. S. A participação dos sistemas atmosféricos atuantes na bacia do Rio Paraná no período 1980 a 2003. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 7, n. 6, p. 83-102, 2010.

BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F. A. **A Participação dos sistemas atmosféricos na estação do Inverno de 2012 no Centro Sul do Brasil.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE 192 GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 15., 2013, Vitória-ES. Anais... Vitória-ES: UFES, 2013. p. 336-344.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L. ANALYSIS OF PRECIPITATIONS BY NON-PARAMETRIC TESTS OF MANN-KENDALL AND KRUSKAL-WALLIS. *Mercator*, v. 19, n. 1, p. 1–14, 15 jan. 2020.

CAMPOS, A. B. de. et al. Análise do comportamento espacial e temporal das temperaturas e pluviosidades no Estado de Goiás. In: ALMEIDA, M. G. de (Org.). *Abordagens geográficas de Goiás: o natural e o social na contemporaneidade.* Goiânia: IESA, 2002. p. 91-118.

CAMPOS, J. D. O.; CHAVES, H. M. L. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 157-169, 2020.

CARVALHO, A. A. D.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; SILVA, H. P. D.; LOPES, I.; MORAIS, J. E. F. D.; SILVA, T. G. F. D. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 15-23, 2020.

CASAROLI, D.; RODRIGUES, T. R.; MARTINS, A. P. B.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Padrões de Chuva e de Evapotranspiração em Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 247-256, 2018.

CHIEW, F.; SIRIWARDENA, L. *Trend User Guide.* Australia: CRC for catchment hydrology. p.29, 2005.

COLLINS, M.; AN, S.-I.; CAI, W.; GANACHAUD, A.; GUILYARDI, E.; JIN, F.-F.; JOCHUM, M.; LENGAINNE, M.; POWER, S.; TIMMERMANN, A.; VECCHI, G.; WITTENBERG, A. The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 6, p. 391-397, 2010.

COSTA, C. E. A. D. S.; BLANCO, C. J. C. Influência da Variabilidade Climática sobre a Erosividade em Belém (PA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 509-520, 2018.

CQNUMC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima.2007. Disponível em: www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra. Acesso em 15 de Maio de 2019.

DEBORTOLI, N. S. et al. Detecting deforestation impacts in Southern Amazonia rainfall using rain gauges. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 6, p. 2889–2900, 2017.

DINGMAN, S. **Physical hydrology.** Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 646 p.

EASTERLING, D. R.; MEEHL, G. A.; PARMESAN, C.; CHANGNON, S. A.; KARL, T.

R.; MEARNS, L. O. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, v.289, p. 2068-2074, 2000.

FERREIRA, P. D. S.; GOMES, V. P.; GALVÍNCIO, J. D.; SANTOS, A. M. D.; SOUZA, W. M. D. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 13, p. 113 -134, 2017.

FILHO, A. C.; MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; FONTANA, D. C. Análise decadal da temperatura do ar no estado Rio Grande do Sul **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 1, p. 258-263, 2008.

FLEURBAEY M.; KARTHA, S.; BOLWIG, S.; CHEE, Y. L.; CHEN, Y.; CORBERA, E.; LECOCQ, F.; LUTZ, W.; MUYLAERT, M. S.; NORGAARD, R. B.; OKEREKE, C.; SAGAR, A.D. 2014: Sustainable Development and Equity. In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [EDENHOFER, O.; PICHES-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; FARAHANI, E.; KADNER, S.; SEYBOTH, K.; ADLER, A.; BAUM, I.; BRUNNER, S.; EICKEMEIER, P.; KRIEMANN, B.; SAVOLAINEN, J.; SCHLÖMER, S.; VON STECHOW, C.; ZWICKEL T.; MINX J.C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

GALVANI, E.; ALVES, R. R.; MILANESI, M. A. Comparativo entre instrumentos pluviométricos experimentais e automáticos. p. 2251-2261, 2017.

Golden Gate Weather Services. El Niño and La Niña Years and Intensities. Disponível em:<https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 5 de janeiro 2021.

GONÇALVES, F. N.; BACK, Á. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 592-602, 2018.

GOYETTE, S.; BRASSEUR, O.; BENISTON, M. Application of a new wind gust parameterization: Multiscale case studies performed with the Canadian regional climate model. *Journal of Geophysical Research*, v. 108, n. D13, 4374, 2003.

GRIMM, A. M. The El Niño Impact on the Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; KARL, T. R. Changes in intense precipitation over the central United States. **Journal of Hydrometeorology**, v.13, p.47-66, 2012.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D.R.; KARL, T. R.; HEGERL, G.C.;RAZUVAEV, V.N. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, v.18, p.1326 -1350, 2005.

GUEDES, H. A. S.; PRIEBE, P. D. S.; MANKE, E. B. Tendências em Séries Temporais de Precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 2, p. 283-291, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=310620>. Acesso em 15 maio 2020.

IMB - INSTITUTO MAURO BORGES de estatísticas e estudos socioeconômicos. Regiões de Planejamento Estado de Goiás 2018. *Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento*, 2018.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 03 de março de 2021.

INOUYE, R. T. **Impacto da assimilação de dados observacionais no prognóstico de tempo com o modelo WRF**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia). Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2013: **Summary for Policymakers**. In: [STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013a.

IPCC, 2013: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G. -K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX V.; MIDGLEY P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. 2013b.

IPCC, 2014: **Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas** [FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T. E.; CHATTERJEE, K. L.; EBI, Y. O.; ESTRADA, R. C.; GENOVA, B. GIRMA, E. S.; KISSEL, A. N.; LEVY, S.; MACCRACKEN, M.; MASTRANDREA P. R.; WHITE L. L. (eds.)]. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra, Suíça, 34 p.

IPCC, 2018: MASSON-DELMOTTE, Valérie; PÖRTNER, Hans-Otto; SKEA, Jim; *et al.* **Sumário para Formuladores de Políticas**. 28 p.

JUNGES, A. H.; BREMM, C.; FONTANA, D. C. Rainfall climatology, variability, and trends in Veranópolis, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 160-166, 2019.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the USA. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 79, p. 231-241, 1998.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4.ed. London: Charles Griffin, p. 196, 1975.

KEW, S. F.; SJOUKJE Y. P.; Oldenborgh, G. J. V.; OTTO, F. E. L.; VAUTARD, R.; SCHRIER, G.V.D. The exceptional summer heat wave in southern europe 2017. **American Meteorological Society**, 2018.

LACERDA, F. F. **Tendências de temperatura e precipitação e cenários de mudanças climáticas de longo prazo no Nordeste do Brasil e em ilhas oceânicas**. 2015. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE.

LEE, J.-E.; LINTNER, B. R.; BOYCE, C. K.; LAWRENCE, P. J. Land use change exacerbates tropical South American drought by sea surface temperature variability. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 19, 2011.

LIMA, C.H.R. Análise estatística da sazonalidade e tendências temporais em eventos de cheia na bacia do Paran . In: **XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2011, Maceió, AL. Anais... Maceió, AL, p. 1-18, 2011.

LUCAS, M.; OLIVEIRA, P. T. S.; MELO, D. C. D.; WENDLAND, E. Evaluation of remotely sensed data for estimating recharge to an outcrop zone of the Guarani Aquifer System (South America). **Hydrogeology Journal**, v. 23, n. 5, p. 961-969, 2015.

LUIZ, G. C.; CARDOSO, H. C.; RIBEIRO, L. L. Aplica o do teste sazonal de Mann Kendall na análise de tendência da temperatura e umidade relativa do ar – Goiânia - GO: série histórica 1961 a 2008. **Revista Geonorte**, v. 1, n. 5, p. 414-427, 2012.

LUIZ, G. C.; ROMÃO, P. D. A. Intera o solo-atmosfera e processos de inunda o e alagamento na cidade de Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 05, p. 1891-1903, 2019.

MAGALHÃES, A. J. D. S.; ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M. D.; NUNES, F. T.; BARBOSA, A. C. B.; SANTOS, A. C. S. D.; SOMBRA, S. S. Veranicos no Brasil: Observa es e Modelagens (CMIP5). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 4, p. 597-626, 2020.

MANN, H.B. Non-parametric test against trend. **Econometrika**, v.13, p.245-259, 1945.

- MARCUZZO, F.F.N.; ROMERO, V. (2013) Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 429-440.
- MARENGO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009.
- MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 593-602, 2011.
- MIYAN, M. A. Droughts in Asian Least Developed Countries: Vulnerability and sustainability. **Weather and Climate Extremes**, v. 7, p. 8-23, 2015.
- MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas**. São Paulo: IGEOG, 1973.
- MONTEIRO, C.A.de F. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 241 p. 1991.
- MORAES, V. B.; JESUS JÚNIOR, W.C; MORAES, W. B.; CECÍLIO, R.A. Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura. **Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas**, v.5, nº2, p. 3-14, 2011.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: E. Blücher, 2004. 535 p.
- MOURA, P. M. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana. Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG, 142p. 2004.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. 1a ed. Belo Horizonte: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007.
- NASCIMENTO, D. T. F. **Chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por satélite e circulação atmosférica [manuscrito]** / Diego Tarley Ferreira NASCIMENTO. - 2016. cc, 200 f.
- NEETI, N; EASTMAN, J.R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, 15(5): 599-611. 2011.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p.
- NOAA – NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures | Teleconnections | National Centers for Environmental Information (NCEI)**. Disponível em:

<<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst/>>. Acesso em: 27 set. 2020. 2020a.

NOAA – NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases**. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>>. Acesso em: 27 set. 2020. 2020b.

NOAA – NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **O que é El Niño? | Página temática do El Niño - um recurso abrangente**. Disponível em: <<https://www.pmel.noaa.gov/el-nino/what-is-el-nino>>. Acesso em: 27 set. 2020. 2020c.

NOAA – NATIONAL OCEAN AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Cold & Warm Episodes by Season**. Disponível em: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Acesso em: 27 out. 2020. 2020d.

NUR'UTAMI, M. N.; HIDAYAT, R. Influences of IOD and ENSO to Indonesian rainfall variability: role of atmosphere-ocean interaction in the Indo-pacific sector. **Procedia Environmental Sciences**, v. 33, p. 196-203, 2016.

OLIVEIRA, N. D. L.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, R. G. Influência do El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica no Estado do Mato Grosso. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 4, p. 284-297, 2015.

PAZ, Adriano Rolim da. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul:2004. 138 p. Disponível em: Acesso em: 01 out. 2020.

PENDERGRASS, A. G.; LEHNER, F.; SANDERSON, B. M.; XU, Y. Does extreme precipitation intensity depend on the emissions scenario? **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 20, p. 8767-8774, 2015.

PENEREIRO, J. C.; BADINGER, A.; MACCHERI, N. A.; MESCHIATTI, M. C. Distribuições de Tendências Sazonais de Temperatura Média e Precipitação nos Biomas Brasileiros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 97-113, 2018.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C., Eds. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba, SP: ESALQ Departamento de Ciências Exatas. 2007.

Prefeitura de Goiânia. 2018. Disponível em: <http://www4.goiania.go.gov.br/portal/>. Acesso em: 18 de Maio de 2019.

Pristo, M.V.J., Dereczynski, C.P., Souza, P.R., Menezes, W.F., 2018. Climatologia de chuvas intensas no Município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 33, 615-630.

RAMOS, A.M. **Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade**. 160p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2010.

RIMI, R. H.; HAUSTEIN, K.; BARBOUR, E. J.; ALLEN, M. R. Risks of pre-monsoon extreme rainfall events of bangladesh: is anthropogenic climate change playing a role?. **American Meteorological Society**, 2018.

RODRIGUES, R. D. Á.; SANTOS, R. S. D. Estudo de tendências climáticas na série temporal de precipitação pluviométrica em Araguari (MG). **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 1, n. 1, 2007.

ROMERO, V.; NORONHA MARCUZZO, F. F.; DIAS CARDOSO, M. R. Tendências de número de dias de chuva do Estado de Goiás e a relação dos seus extremos com o índice oceânico Niño. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, n. 3, p. 567-584, 2014.

SÁ, E. A. S. et al. Trends in daily precipitation in highlands region of Santa Catarina, southern Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 13, n. 1, p. 1, 16 fev. 2018.

SALTON, F. G.; MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; BORROZZINO, E. Climatologia dos Episódios de Precipitação em Três Localidades no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4 suppl 1, p. 626-638, 2016.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Preenchimento de falhas em série de dados pluviométricos de Uruguaiana (RS) e análise de tendência. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012, Gramado-RS. Incertezas e desafios para a sustentabilidade planetária - o papel da ciência meteorológica, 2012.

SANTOS, C. A. C. dos. (2006). **Estimativa e Tendências de Índices de Detecção de Mudanças Climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**, 98 p., Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SANTOS, C. A. C. D.; BRITO, J. I. B. D.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39 - 47, 2009.

SANTOS, R. M. M. e CARVALHO, J. C. Ensaio de Erodibilidade em Voçorocas do Município de Goiânia. **XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, 1998, Brasília, Anais, p. 581-588, Brasília, 2010.

SANTOS, C. A. C. D.; SATYAMURTY, P.; GOMES, O. M.; SILVA, L. E. M. G. D. Variability of extreme climate indices at Rio Claro, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 395-400, 2012.

SANTOS, D. P. D. **Mitigação do impacto das alterações climáticas na drenagem urbana**. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra.

SERRA, A.; RATISBONN, L. **As massas de ar na América do Sul**. Rio de Janeiro: Serviço de Meteorologia, Ministério da Agricultura, 1942.

SICILIANO, W. C.; BASTOS, G. P.; DE OLIVEIRA, I. T.; DA SILVA, G. N.; OBRACZKA, M.; OHNUMA JR, A. A. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no município Do Rio De Janeiro. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 196-208, 2018.

SILVA, R. M. A. Entre o Combate a Seca e a Convivência com o Semiárido: políticas públicas e transição paradigmática. **Revista Econômica do Nordeste**. v.38, n.3, 466-486p. 2007.

SILVA, R. O. B. DA; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. DE. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 579–589, 2017.

SILVA, V. DE P. R. DA; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, p. 163–172, 2012.

SOUZA, V. A. S. DE et al. Dinâmica do desmatamento na Amazônia e seus impactos na hidrologia: bacia do Rio Machadinho - Rondônia / Brasil. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1004–1018, 2019.

SOUZA, D.O., NASCIMENTO, M.G., ALVALÁ, R.C.S. Influência do Crescimento Urbano sobre o Microclima de Manaus e Belém: Um Estudo Observacional. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, 2013.

TAMMETS, T.; JAAGUS, J. Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, n. 3-4, p. 623-639, 2012.

TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; et al. Observations: surface and atmospheric climate change. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; et al. (Eds.). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: **Cambridge University Press**, 2007. p. 235-336.

TUCCI, C.E.M., 1995. **Enchentes urbanas in: Drenagem Urbana**, cap. 1 Editora da Universidade, ABRH.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2002. 150 p. Relatório técnico.

WESTRA, S.; ALEXANDER, L. V.; ZWIERS, F. W. Global increasing trends in annual maximum daily precipitation. **Journal of Climate**, v. 26, n. 11, p. 3904-3918, 2013.

ZANDONADI, L.; Acquaotta F.; Fratianni S.; Zavattini J.A. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, n. 3–4, p. 741–756, 2016.

ZAVATTINI, J. A. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática**. [s.l.] Editora UNESP, 2009.