

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA

Lueni Gonçalves Terra

**TENDÊNCIAS, AGRUPAMENTOS E ÍNDICES
PADRONIZADO E DE ANOMALIA: UMA ANÁLISE DA
PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS
2021

Lueni Gonçalves Terra

**TENDÊNCIAS, AGRUPAMENTOS E ÍNDICES PADRONIZADO E DE ANOMALIA:
UMA ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO RIO GRANDE DO SUL**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia Agroambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Agrícola**

Orientador: Prof. Mirta Teresinha Petry

Santa Maria, RS

2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Terra, Lueni Gonçalves
TENDÊNCIAS, AGRUPAMENTOS E ÍNDICES PADRONIZADO E DE ANOMALIA: UMA ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO RIO GRANDE DO SUL / Lueni Gonçalves Terra.- 2021.
94 f.; 30 cm

Orientador: Mirta Teresinha Petry
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. Precipitação pluvial 2. Rio Grande do Sul 3. Análise estatística 4. Seca 5. Atividades agrícolas I. Petry, Mirta Teresinha II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, LUENI GONÇALVES TERRA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Lueni Gonçalves Terra

TENDÊNCIAS, AGRUPAMENTOS E ÍNDICES PADRONIZADO E DE ANOMALIA: UMA ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO RIO GRANDE DO SUL

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia Agroambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Agrícola**

aprovado em 14 de dezembro de 2021



Mirta Teresinha Petry, Dr^a. (UFSM) - Videoconferência
(Presidenta/Orientadora)



Juliano Dalcin Martins, Dr. (UFSM) - Videoconferência



Bruna Nascimento de Vasconcellos, Dr^a. (IFMT) - Videoconferência



Bruno Campos Mantovanelli, Dr. (UFAC) - Videoconferência



Dolores Wolschick, Dr^a. (IFSC) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

A Deus e às forças supremas, pela vida, por me permitirem chegar e caminhar, por longos anos, na “avenida dos meus sonhos”. Pela iluminação durante toda a trajetória acadêmica, pelas bençãos e oportunidades que me foram concedidas, nesta existência.

Ao povo brasileiro, que pagando seus impostos, possibilitaram mais uma vez, minha titulação em uma instituição pública, gratuita e de qualidade.

À Universidade Federal de Santa Maria, por timbrar em meu diploma, pela quarta vez, seu distinto brasão. Quando eu falava, aos 9 anos, que queria estudar na UFSM, não imagina a dimensão do desejo. Hoje, alcanço nesta instituição, o maior degrau acadêmico. Não haveria melhor lugar para tantos aprendizados, para tanto crescimento pessoal, acima de tudo.

Aos meus pais. A minha mãe Elveni Terra pelo amor, força e amparo. Por nunca largar minha mão. Eu lembro, quando prometi, à beira de um fogo de lareira em uma noite de inverno que eu chegaria aqui. Aqui estou e eu, convictamente afirmo, nada seria sem ti. Ao meu pai Luiz Terra, um homem de coração imenso, pelo amor, pela bondade, torcida de sempre e por me fazer ver o magnífico nas pequenas coisas. Minha gratidão eterna pelo amor que me devotam pelo porto seguro que são, em todos os momentos da minha vida. Amo-os infinitamente.

A minha irmã Larice Gonçalves Terra, por compartilhar do verdadeiro sentimento de irmandade. Por ser meu amparo e minha referência de amor. Por me acalmar no desespero. Tuas palavras e amor me salvam de todas as formas que um ser humano pode ser salvo. Gratidão pela tua existência, gratidão por tanto. Amo-a eternamente. Ao meu cunhado Thaynnã Amaral, um irmão que a vida me deu, pela generosidade em estar conosco, nos apoiando e emanando amor.

Ao meu companheiro Luis Eduardo Curioletti, por compartilhar comigo desta caminhada, pelo amor genuíno e zelo. Por ser meu abrigo, colo, amparo e abraço. Gratidão por me proporcionar o maior e mais verdadeiro amor que se pode ter. Por tudo que faz por nós, pela generosidade e afeto. Eu te amo, infinitamente.

A “nossa estrelinha”, por nos apresentar o amor mais rico e puro. Por nos mostrar sentimentos que nem sabíamos que existiam, por nos tornar tão amáveis e fortes. Grata por ter sido morada de um espírito tão iluminado e amado, capaz de nos proporcionar tanto aprendizado. Sempre te amaremos.

A minha orientadora Mirta Petry, sempre receptiva e amiga. Nada é por acaso e por isso estamos juntas nesta caminhada, desde aquela primeira aula de seminários. Ali eu soube, que meu desejo de ter uma orientação feminina e o teu desejo de orientar um doutoramento iriam se unir. Gratidão pelo amparo e apoio.

Aos colegas de laboratório e amigos da jornada do doutoramento: Bruno Mantovanelli e Max Dantas. Grata pelas conversas e aprendizados. Sem vocês seria bem mais difícil.

A minha amiga, irmã de coração, Bruna Vasconcellos. Pelo amor e cumplicidade da nossa amizade. Pela ajuda, pela torcida e por abrandar os meus momentos mais difíceis. Sou grata por permanecer com a mão estendida para mim, todos os dias.

A qualquer pessoa, que mesmo sem ter o nome citado, compartilhou momentos comigo nesta caminhada. A quem quer que seja, que mesmo não sabendo, mesmo eu não sabendo, perto ou longe, neste mundo ou em outro, torceu por mim e me mandou boas energias.

A vocês, minha gratidão!

“ ...

- *As pessoas têm estrelas diferentes. Para uns, que viajam, as estrelas são guias. Para outros, elas não passam de pequenas luzes. Para outros, os cientistas, são problemas. Para o meu homem de negócios, elas eram ouro. Mas todas as estrelas são silenciosas. Porém, tu terás estrelas como ninguém teve...*

- *Que queres dizer?*

- *Quando olhares o céu, à noite, porque eu habitarei uma delas, porque estarei rindo numa delas, então será para você como se todas as estrelas rissem! E tu terás estrelas que sabem rir!*

...”

*O Pequeno Príncipe
Antoine de Saint-Exupéry*

RESUMO

TENDÊNCIAS, AGRUPAMENTOS E ÍNDICES PADRONIZADO E DE ANOMALIA: UMA ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: Lueni Gonçalves Terra
ORIENTADORA: Mirta Teresinha Petry

Alterações nas variáveis climáticas afetam todas as etapas das atividades agrícolas e destas, o regime pluviométrico é o que exerce maior influência sobre as condições ambientais, e conseqüentemente, causando maior efeito direto na produção das culturas agrícolas. Diante disso, ao longo das últimas décadas, métodos estatísticos foram desenvolvidos, aprimorados e utilizados como ferramentas na compreensão no conhecimento das características e duração de períodos chuvosos e menos chuvosos possibilitando sua compreensão, especialmente em locais onde a economia está direta e/ou indiretamente ligada à agricultura. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade da precipitação pluviométrica no Rio Grande do Sul, através de dados mensais de 23 estações pluviométricas, no período de 1980-2019. Para tanto, foram definidos os objetivos específicos: (a) Quantificar a precipitação pluvial nas diferentes regiões fisiográficas do Rio Grande do sul, verificando sua distribuição sazonal e as tendências apresentadas em séries anuais e sazonais; (b) Determinar grupos de precipitação homogênea para o Rio Grande do Sul, através da análise de componentes principais (PCA) e aplicação do método hierárquico de Ward; e (c) Avaliar os períodos de seca no Rio Grande do Sul e de menores produtividades de soja de sequeiro, utilizando o índice de precipitação padronizado (SPI), índice de anomalia de precipitação (RAI) e índice de anomalia de rendimento. Os resultados obtidos demonstraram a vasta diferença na distribuição espaço-temporal da precipitação e a importância de estudos deste cunho temático como uma ferramenta de auxílio para que atividades agrícolas, como a irrigação e o preparo do solo, possam ser planejadas e realizadas de forma racional, diminuindo os riscos associados.

Palavras-chave: Precipitação pluvial. Rio Grande do Sul. Análise estatística. Seca. Atividades agrícolas.

ABSTRACT

TRENDS, CLUSTERS AND STANDARDIZED AND ANOMALY INDEXES: AN ANALYSIS OF THE RAINFALL IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Lueni Gonçalves Terra

ADVISOR: Mirta Teresinha Petry

Changes in climate variables affect all stages of agricultural activities, and the rainfall regime have the strongest effect on environmental conditions and consequently, causing the greatest direct effect on the crop production. Therefore, over the last decades, statistical methods have been developed, improved and used as tools to understand the characteristics and duration of rainy and drought periods, enabling their understanding especially in places where the economy is directly and/or indirectly linked to agriculture. Therefore, the study aim was to analyze the rainfall exclusion variability in the state of Rio Grande do Sul, through monthly data from 23 weather stations, between 1980 and 2019. The specific objectives were: (a) Quantify rainfall differentiation in different physiographic regions of Rio Grande do Sul, verifying its seasonal distribution and trends in annual and seasonal series; (b) Determine homogeneous protection groups for Rio Grande do Sul, through principal component analysis (PCA) and application of Ward's hierarchical method; and (c) Evaluate the periods of drought and of lower dryland soybean yields in Rio Grande do Sul, using the standardized rate index (SPI), degeneration anomaly index (RAI) and yield anomaly index. The results obtained demonstrate a vast difference in the spatio-temporal distribution of the rainfall and the relevance of these studies as an aid tool to plan agricultural activities such as irrigation and soil preparation to decrease the associated risks.

Keywords: Rainfall. Rio Grande do Sul. Statistical analysis. Drought. Agricultural activities.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| | REFERÊNCIAS | 14 |
| 2 | OBJETIVOS | 20 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL | 20 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 20 |
| 3 | ESTUDO I- QUANTIFICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO SAZONAL E TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NAS REGIÕES FISIAGRÁFICAS DO RIO GRANDE DO SUL- RS | 21 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 22 |
| 3.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 25 |
| 3.2.1 | DETALHAMENTO DOS DADOS E LOCAIS DE ESTUDO | 25 |
| 3.2.2 | METODOLOGIA | 28 |
| 3.2.2.1 | Regressão linear..... | 29 |
| 3.2.2.2 | Teste de Run..... | 29 |
| 3.2.2.3 | Teste de Mann-Kendall | 30 |
| 3.2.2.4 | Teste de curvatura de Sen..... | 30 |
| 3.3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 31 |
| 3.3.1 | ESTATÍSTICA DESCRITIVA | 31 |
| 3.3.2 | REGRESSÃO LINEAR..... | 33 |
| 3.3.3 | ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO, TENDÊNCIA E MAGNITUDE ... | 38 |
| 3.4 | CONCLUSÕES | 44 |
| | REFERÊNCIAS | 45 |
| 4 | ESTUDO II- ANÁLISE MULTIVARIADA DOS ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS NO RIO GRANDE DO SUL ENTRE 1980 E 2019 | 52 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 53 |
| 4.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 55 |
| 4.2.1 | LOCALIZAÇÃO E DETALHAMENTO DOS PONTOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO..... | 55 |
| 4.2.2 | METODOLOGIA..... | 57 |
| 4.2.2.1 | Análise de Componentes Principais (PCA)..... | 57 |
| 4.2.2.2 | Análise de Agrupamento: Método de Ward | 59 |
| 4.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 60 |
| 4.3.1 | ESTATÍSTICA DESCRITIVA | 60 |
| 4.3.2 | ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)..... | 62 |
| 4.3.3 | ANÁLISE DE AGRUPAMENTO: MÉTODO DE WARD | 64 |
| 4.4 | CONCLUSÕES | 69 |
| | REFERÊNCIAS..... | 69 |
| 5 | ESTUDO III- AVALIAÇÃO DE SECA NO RIO GRANDE DO SUL UTILIZADO O ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO E O ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA | 73 |
| 5.1 | INTRODUÇÃO | 74 |
| 5.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 77 |
| 5.2.1 | DETALHAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 77 |
| 5.2.2 | METODOLOGIA..... | 78 |
| 5.2.2.1 | Índice de Precipitação Padronizado (SPI) | 79 |
| 5.2.2.2 | Índice de Anomalia de Precipitação (RAI) | 80 |
| 5.2.2.3 | Índice de Anomalia de Rendimento (YAI)..... | 80 |

| | | |
|---------|---|----|
| 5.2.2.4 | Teste de Dixon | 81 |
| 5.2.2.5 | Correlação de Pearson..... | 81 |
| 5.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 82 |
| 5.3.1 | ESTATÍSTICA DESCRITIVA | 82 |
| 5.3.2 | ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO (SPI)..... | 84 |
| 5.3.3 | ÍNDICE DE ANOMALIA DE RENDIMENTO (YAI)..... | 87 |
| 5.3.4 | SPI E RAI MENSAL E TESTE DE DIXON | 88 |
| 5.3.5 | CORRELAÇÃO DE PEARSON | 90 |
| 5.4 | CONCLUSÕES | 90 |
| | REFERÊNCIAS | 91 |

1 INTRODUÇÃO

As condições climáticas sempre determinaram a distribuição e a organização terrestre de homens, animais e plantas. Apesar dos inúmeros avanços científicos e tecnológicos, o clima e suas variáveis continuam a ser cruciais para a agricultura. Entre os elementos climáticos, o regime pluviométrico é o que exerce maior influência sobre as condições ambientais, e conseqüentemente, possui maior efeito direto na produção das culturas agrícolas (DENG et al., 2017, SLOAT et al., 2018), pois afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para o plantio até o armazenamento dos produtos (JAVED et al., 2021). Logo, chuvas excessivas ou escassas podem acarretar perdas significativas na produtividade final e rentabilidade dos cultivos.

AghaKouchak et al. (2021) ressaltam que a seca é evidenciada como uma catástrofe que impacta a agricultura e causa danos econômicos e sociais, com conseqüências profundas, amplas e duradouras. Como é difícil determinar seu início, evolução e fim, as secas representam uma séria ameaça à produção agrícola, ao crescimento econômico e à estabilidade social, caracterizado como um dos desastres naturais menos compreendidos, devido ao seu ambiente natural e aos fatores complexos envolvidos.

Diante disso, ao longo das últimas décadas, métodos estatísticos foram desenvolvidos, aprimorados e utilizados como ferramentas na compreensão no conhecimento das características e duração de períodos chuvosos e menos chuvosos, possibilitando sua compreensão, permitindo que muitas atividades agrícolas, como a irrigação e o preparo do solo, possam ser planejadas e realizadas de forma racional, diminuindo os riscos associados (DENG et al., 2017; PANDEY E KHARE, 2018). Assim, no mundo todo, estudos têm objetivado quantificar e compreender a variabilidade da precipitação pluviométrica e também sua relação com fenômenos meteorológicos pertencentes às várias escalas temporais e espaciais, que vão desde a escala global (“El Niño e La Niña”) às condições locais (chuvas localizadas) (GEBRE et al., 2013; ANIMASHAUN et al., 2020; BRITTO, BARLETTA E MENDONÇA,

2008; SILVA, 2013; RADIN et al., 2017; SILVA E MANDÚ, 2020; COSTA et al., 2021).

A detecção de tendências e mudanças de séries temporais de chuvas também ganhou popularidade entre os pesquisadores por meio de melhorias e extensões de vários conjuntos de dados e análises mais sofisticadas, possibilitando o rastreamento da extensão e magnitude de mudanças climáticas e sua variabilidade. O teste de Mann-Kendall é um dos melhores métodos estatísticos para essa avaliação e o preferido pela maioria dos pesquisadores (JAIN e KUMAR, 2012), tanto em outros países (PANDA e SAHU, 2019; ANIMASHAUN et al., 2020), como no Brasil (SILVA et al., 2018, GUEDES, PRIEBE e MANKE (2019), SILVA JÚNIOR, NETO e CABRAL (2020).

Além disso, devido a heterogeneidade na variabilidade hidrometeorológica espaço-temporal, também se tornou necessário desenvolver técnicas de redução, classificação e filtragem das informações de precipitações observadas. Nesse sentido, Espinosa, Portela e Rodrigues (2019), salientam que as técnicas de agrupamento, como agrupamento hierárquico e não hierárquico, e a análise de componente principal (PCA) podem ajudar a divulgar regularidades de alto nível que permitem a generalização sobre áreas com base em um parâmetro espacial e temporalmente variável. O método hierárquico caracteriza-se por classificar e agrupar as variáveis conforme a sua similaridade, considerando todas as medidas em cada elemento, enquanto o agrupamento pelo método não-hierárquico é obtido a partir de uma predefinição do número de grupos. Em ambos, a classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento e de um critério matemático de agrupamento (WILKS, 2019).

Estudos recentes, em diversos locais do mundo, avaliando tempo e clima têm sido desenvolvidos a partir da PCA e técnicas de agrupamentos para obtenção de grupos homogêneos de precipitação (ARELLANO-LARA e ESCALANTE-SANDOVAL, 2014; OTHMAN, ASH'AARI e MOHAMAD, 2015; SHIRIN e THOMAS, 2016; PRAENE et al., 2019, ESPINOSA, PORTELA e RODRIGUES, 2019; ELSANABARY, KHAFAGY e ABDELLAH, 2021).

No Brasil, a abordagem dessas técnicas estatísticas em estudos de variáveis climatológicas, ainda é escassa. Guedes et al. (2010) realizaram a

regionalização da precipitação pluviométrica no estado do Piauí utilizando ACP e o agrupamento hierárquico com o método de Ward. Prado et al. (2016) utilizaram ACP para avaliar o comportamento das variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia, no estado de Minas Gerais, no período compreendido entre 2008 e 2012. Gebert, Kist e Virgens Filho (2018) e Santos e Sousa (2018) identificaram os padrões pluviométricos e determinaram regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná e Sergipe, respectivamente, através de ACP, agrupamento e geoestatística.

No Rio Grande do Sul, os estudos nesta linha, ainda são incipientes. Machado et al. (2010) avaliaram o comportamento da precipitação e da temperatura em 13 estações meteorológicas por estações do ano, no Rio Grande do Sul, baseados na análise de agrupamento. Os autores constataram que a proximidade física entre as estações meteorológicas analisados não garante a similaridade climática.

Nessa conjuntura, o desenvolvimento e análise de diferentes índices de seca também se destacam, pois fornecem até certo ponto, uma medida para o grau de seca, estabelecendo uma base importante para a sua identificação e previsão. Até agora, muitos índices de seca foram projetados a partir de diferentes perspectivas, como o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) e o Índice de Anomalia de Precipitação (RAI). Esses índices, especialmente o SPI, têm sido amplamente aplicados no monitoramento da seca agrícola e na gestão dos recursos hídricos. Estudos, no mundo inteiro, utilizaram e utilizam o SPI para diferentes escalas (BELAYNEH et al., 2014, TIRIVAROMBO, OSUPILE E ELIASSON, 2018; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021).

No Rio grande do Sul, Teixeira et al., (2013) realizaram um estudo utilizando o SPI e índice de Percentagem Normal (IPN) para o município de Bagé, para um total de 1164 meses. Quanto aos valores de SPI, 6,8% (79) foram classificados como eventos de seca severa e extrema e coincidiram com os anos de ocorrência do fenômeno "La Niña". Gross e Cassol (2015) analisaram o RAI para o Rio Grande do Sul, para o período de 1983 a 2012. Os resultados mostraram que a frequência de índices de anomalia de chuva negativos, considerando o número de meses de ocorrência foi maior no setor Sudoeste do

Rio Grande do Sul, principalmente nas estações do verão, outono e inverno e na última década do período avaliado.

Embora seja menos utilizado, o RAI é tido como uma alternativa ao SPI, por exigir os mesmos tipos de dados, também considerar probabilidade de precipitação zero, mas ser de mais fácil aplicabilidade. Raziei (2021) fez uma comparação entre o SPI e RAI para o Irã e concluiu que há uma boa associação entre os dois índices, sobretudo, o RAI mostrou na maioria dos pontos, um teste com classificações menores do que o SPI, indicando seu maior desvio da distribuição normal. Dutta et al. (2015) salienta também que a obtenção do Índice de Anomalia de Rendimento (YAI) é uma técnica útil para identificar o desvio da produção de um determinado ano em relação à tendência de longo prazo e destaca-se como uma ferramenta importante nos estudos que avaliam índices de seca.

Diante do exposto, verifica-se a importância de estudos que analisem variáveis climáticas, suas dinâmicas, magnitudes e frequências a fim de compreender seus efeitos diretos e indiretos em safras agrícolas. Somente a partir disso, viabiliza-se um planejamento eficiente através da adoção de estratégias adequadas a cada condição, ambiente e época, minimizando riscos, não apenas relacionados a produtividade, mas também aqueles associados aos sistemas hidrológicos, econômicos, ambientais e sociais.

REFERÊNCIAS

- AGHAKOUCHAK, A., A. MIRCHI, K. MADANI, G. DI BALDASSARRE, A. NAZEMI, A. ALBORZI, H. ANJILELI, M. AZARDERAKHSH, F. CHIANG, E. HASSANZADEH, L.S. HUNING, I. MALLAKPOUR, A. MARTINEZ, O. MAZDIYASNI, H. MOFTAKHARI, H. NOROUZI, M. SADEGH, D. SADEQI, A.F. VAN LOON, AND N. WANDERS. Anthropogenic drought: Definition, challenges, and opportunities. **Reviews of Geophysics**, v. 59, n. 2, 2021. Disponível em: <doi:10.1029/2019RG000683>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- ANIMASHAUN, I.M.; OGUNTUNDE, P.G.; AKINWUMIJU, A.S.; OLUBANJO, O.O. Rainfall Analysis over the Niger Central Hydrological Area, Nigeria: Variability, Trend, and Change point detection. **Scientific African**, v.8, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620301575>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

ARELLANO-LARA, F.; ESCALANTE-SANDOVAL, C. A. Multivariate delineation of rainfall homogeneous regions for estimating quantiles of maximum daily rainfall: a case study of northwestern Mexico. **Atmosfera**, v. 27, n. 1, p. 47-60, 2014. [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71100-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71100-2). Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71100-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71100-2)>. Acesso em: 12 jun. 2021.

BELAYNEH, A.; ADAMOWSKI, J.; KHALIL, B.; OZGA-ZIELINSKI, B. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models, **Journal of Hydrology**, v.508, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169413007968>>. Acesso em: 12 ago. 2021.

BRITTO, P. F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3/4, p. 37- 48, 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25408>>. Acesso em: 06 mar. 2021.

COSTA, S. A. T.; BEZERRA, A. C.; ARAÚJO, A. M. Q.; SILVA, M. F.; ALVES, R. M.; SOUZA, L. S. B. Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.21168/reg.v18e14>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

DENG, S.; LI, M.; SUN, H.; CHEN, Y.; QU, L. ZHANG, X. Exploring temporal and spatial variability of precipitation of Weizhou Island, South China. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 9, p. 183-198, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221451816303330>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

DUTTA, D.; KUNDU, A.; PATEL, N. R.; SAHA, S. K.; SIDDIQUI, A. R. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI), **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, p. 53-63, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982315000095>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

ELSANABARY, M. H.; KHAFAGY, H. E.; ABDELLAH, S. E. Rainfall variation over Sinai Peninsula and its teleconnection to El Niño sea surface temperature, **Journal of Arid Environments**, v.193, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196321001476>>. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104581>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

ESPINOSA, L. A.; PORTELA, M. M.; RODRIGUES, R. Spatio-temporal variability of droughts over past 80 years in Madeira Island. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 25, 2019. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581818303677?via%3Dihub>>. Acesso em: 30 mai. 2021.

GEBERT, D. M. P.; KIST, A.; VIRGENS FILHO, J. S. DAS. Determinação de regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná por meio de técnicas de análise multivariada e geoestatística. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p.374-388, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60406>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

GEBRE, H. Trend and variability of rainfall in Tigray, Northern Ethiopia: Analysis of meteorological data and farmers' perception. **Academia Journal of Agricultural Research**, v. 1, n. 6, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15413/ajar.2013.0117>>. Acesso em: 4 ago. 2021.

GUEDES, H. A. S.; PRIEBE, P. 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, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/84QsHfz7hq39RVpZmdmXsTN/?lang=pt>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

GUEDES, R.V.S.; LIMA, F.J.L.; AMANAJÁS, J.C.; BRAGA, C.C. Análise em componentes principais da precipitação pluvial no estado do Piauí e agrupamento pelo método de Ward. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 218-233, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228794>>. Acesso em: 02 jun. 2021.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Ocorrências de Índices de Anomalia de Chuva negativos no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geográfica Acadêmica**, n. 9, n. 2, 2015. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/index.php/rga/article/view/3012>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

JAIN, S. K.; KUMAR, V. Trend analysis of rainfall and temperature data for India. **Current Science**, v. 102, n. 1, 2012. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/24080385>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

JAVED, T.; ZHANG, T.; BHATTARAI, N.; SHA, Z.; RASHID, S.; YUN, B.; AHMAD, S.; HENCHIRI, M.; KAMRAN, M. Drought characterization across agricultural regions of China using standardized precipitation and vegetation water supply indices. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621020849>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MACHADO, J. P.; BLANK, D. M. P.; ZONTA, J. H.; JUSTINO, F. B. Comportamento da precipitação e da temperatura no Rio Grande do Sul baseado na análise de agrupamento. **Revista Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, p. 49-63, 2010. Disponível em:

<<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546357004>>. Acesso em: 14 ago. 2021.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; SILVA, I. J. L.; SOUZA, E. O.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. V. S.; SHAH, M.; JAMJAREEGULGARN, P. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index, **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 224, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364682621001978>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

OTHMAN, M.; ASH'AARI, Z. H.; MOHAMAD, N. D. Long-term Daily Rainfall Pattern Recognition: Application of Principal Component Analysis, **Procedia Environmental Sciences**, v. 30, p.127-132, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615006167>>. Acesso em: 01 jun. 2021

PANDA, A.; SAHU, N. Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India. **Atmospheric Science Letters**, v. 20, 2019. Disponível em: <<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asl.932>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

PANDEY, B.K; KHARE, D. Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada river basin (India). **Global and Planetary Change**. v.161, p 172-82. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818117303065>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

PRADO, B.Q. M.; FERNANDES, H. R.; ARAÚJO, T. G.; ALVARENGA, L.; BIASE, N. G. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21 n.2, p. 407-413, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/7X3f79MpyfKs5FMv3pWwQbT/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

PRAENE, J. P.; MALET-DAMOUR, B. RADANIELINA, M. H.; LUDOVIC, F. RIVIÈRE, G. GIS-based approach to identify climatic zoning: A hierarchical clustering on principal component analysis, **Building and Environment**, v. 164, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319305402>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

RADIN, B.; SCHONHOFEN, A.; TAZZO, I.F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 19-26, 2017. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26263>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

- RAZIEI, T. Revisiting the Rainfall Anomaly Index to serve as a Simplified Standardized Precipitation Index, **Journal of Hydrology**, v. 602, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421008118>>. Acesso em: 13 set. 2021.
- SANTOS, E. F. N.; SOUSA, I. N. Análise estatística multivariada da precipitação do estado de Sergipe através dos fatores e agrupamentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/58267/36587>>. Acesso em: 17 mai. 2021.
- SHIRIN, A. H. S.; THOMAS, R. Regionalization of rainfall in Kerala State. **Procedia Technology**, n 24, p.15 – 22, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/305109843_Regionalization_of_Rainfall_in_Kerala_State>. Acesso em: 28 mai. 2021.
- SILVA, C. M. S. Ciclo diário e semidiário de precipitação na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/3BKZcpFzVZTdGHcjPNVN3Xw/?lang=pt>>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- SILVA, E. A.; MANDÚ, T. B. Variabilidade da intensidade da precipitação no período chuvoso em recife-pe. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1., 2020 **Anais...** 2020. DVD. ISBN 9786588243190. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/icobicet2020/263893-variabilidade-da-intensidade-da-precipitacao-no-periodo-chuvoso-em-recife-pe/>>. Acesso em: 24 ago. 2021.
- SILVA, E. R. A. C.; GALVINCIO, J. D.; NASCIMENTO, K. R. P.; SANTANA, S. H. C.; SOUZA, W. M.; COSTA, V. S O. Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/53956/34784>>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- SILVA JÚNIOR, M. A.; NETO, G. C.F.; CABRAL, J. J. S. P. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife- PE. **Revista de Geografia**, v. 37, n. 1, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/239373>>. Acesso em: 14 jul. 2021.
- SLOAT, L.L.; GERBER, J.S.; SAMBERG, L.H.; SMITH, W.K. HERRERO, M. FERREIRA, L.G.; GODDE, C.M; WEST, P.C. Increasing importance of precipitation variability on global livestock grazing lands. **Nature Climate Change**, v. 8, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0081-5>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

TEIXEIRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; BACELAR, L. C. S.; SILVA, G. M.; COUTO, R. S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água**, n. 8, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1245>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

TIRIVAROMBO, S.; OSUPILE, D.; ELIASSON, P. Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI), **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 106, p. 1-10, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706517300542>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 4. Ed. Elsevier. 2019. 840 p.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a variabilidade da precipitação pluviométrica no Rio Grande do Sul, através da avaliação de tendências, agrupamentos e índices padronizado e de anomalia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, foram delineados alguns objetivos específicos:

i) Quantificar a precipitação pluvial nas diferentes regiões fisiográficas do Rio Grande do sul, verificando sua distribuição sazonal e as tendências apresentadas em séries anuais e sazonais;

ii) Determinar grupos de precipitação homogênea para o Rio Grande do Sul, através da análise de componentes principais e aplicação do método hierárquico de Ward;

iii) Avaliar os períodos de seca no Rio Grande do Sul e de menores produtividades de soja de sequeiro, utilizando o índice de precipitação padronizado, índice de anomalia de precipitação e índice de anomalia de rendimento.

3 ESTUDO I- QUANTIFICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO SAZONAL E TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NAS REGIÕES FISIAGRÁFICAS DO RIO GRANDE DO SUL- RS

RESUMO

O conhecimento das características e duração de períodos mais ou menos chuvosos possibilita que muitas atividades agrícolas, como a irrigação e o preparo do solo, possam ser planejadas e realizadas de forma mais segura. O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de tendências de mudanças em precipitações pluviais de séries anuais e sazonais, do Rio Grande do Sul. Para isso, foram utilizados dados mensais de 1980 a 2019, de 23 estações meteorológicas, agrupadas conforme a divisão das onze regiões fisiográficas. Obteve-se uma média anual para o Estado de 1732 mm e verificou-se a vasta diferença de distribuição da precipitação entre as regiões fisiográficas, sendo que as maiores médias anuais pluviométricas foram apresentadas pelas regiões Encosta Superior Nordeste, Alto Uruguai, Encosta Inferior Nordeste, Planalto Médio e Missões, apresentando valores acima de 1800 mm, com a maior média em 1927 mm. Com valores decrescentes e entre 1708 mm e 1619 mm, estão a Depressão Central, a região dos Campos de Cima da Serra e a Encosta do Sudeste. Na primavera, na média de acumulados de todas as regiões, é quando ocorre o maior volume de precipitação, equivalente a 28,1% da chuva ocorrida no ano (447 mm do total da média anual), seguida do verão com 25,2%, pelo outono (24,4%) e inverno com 22,3%). Estatisticamente, adotando 5% de nível de significância pelo teste de Mann-Kendall, nenhuma das séries anuais apresentaram tendência de mudança significativa na precipitação pluvial e quinze séries sazonais exibiram tendência significativa, a maioria em primaveras e verões. Essas observações indicam que o comportamento pluviométrico do Rio Grande do Sul apresentou mudanças, sobretudo na primavera e verão.

Palavras-chave: Análise de tendências; Teste de Mann Kendall; Rio Grande do Sul.

ABSTRACT

Knowing the characteristics and duration of more or less rainy periods makes it possible for many agricultural activities, such as irrigation and soil preparation, to be planned and carried out more safely. The objective of this work was to verify the existence of trends in rainfall changes in the annual and seasonal series of Rio Grande do Sul. We used monthly data from 1980 to 2019 from 23 meteorological stations grouped according to the division of the eleven physiographic regions. An annual average of 1732 mm was obtained for the State. It shows the vast difference in the distribution of precipitation between the physiographic regions, with the highest yearly rainfall averages presented by the areas Encosta Superior Nordeste, Alto Uruguai, Encosta Inferior Nordeste, Planalto Medio, and Missões, with values above 1800 mm, with the highest average in 1927 mm. With decreasing values and between 1708 mm and 1619 mm, are the Central Depression, the Campos de Cima da Serra region, and the Encosta do Sudeste. In spring, in the average accumulated in all regions, it is when there is the most significant volume of precipitation, equivalent to 28.1% of the rainfall that occurred in the year (447 mm of the total annual average), followed by summer with 25.2%, by autumn (24.4%) and winter with 22.3%). Statistically, adopting a 5% significance level by the Mann-Kendall test, none of the annual series showed a trend in rainfall changes, and fifteen seasonal series showed a significant trend, primarily in springs and summers. These findings indicate that the rainfall behavior of Rio Grande do Sul showed changes, especially in spring and summer.

Keywords: Trend analysis; Mann Kendall Test; Rio Grande do Sul State.

3.1 INTRODUÇÃO

As condições climáticas afetam diretamente a organização e estruturação terrestre, gerando consequências no abastecimento de água para o consumo humano e dessedentação animal, como também nas atividades produtivas. As chuvas continuam sendo o principal fator na escolha e mudança nos tipos de cultivo, e sua intensidade e frequência têm sido associadas a eventos extremos de seca e inundação (DUHAN E PANDEY, 2013), diretamente relacionados ao desenvolvimento das culturas agrícolas. Sendo assim, a precipitação é um elemento chave na distribuição dos recursos hídricos, com impacto na disponibilidade de água na agricultura, indústria e uso doméstico (DENG et al., 2017).

Estudos de variabilidade espacial e temporal da chuva destacam-se como base científica para o gerenciamento de recursos hídricos e prevenção de desastres climáticos (CALOIERO, 2014; DENG et al., 2017; PANDEY E KHARE, 2018), sobretudo em escalas locais, pois observações em escala global do clima histórico tornam-se inviáveis para o planejamento em escala regional de recursos hídricos ou atividades agrícolas (TAXAK et al., 2014). Flutuações aleatórias no sistema climático podem fazer com que alguns parâmetros de clima, como a precipitação e temperatura, se desviem das médias normais (CAI et al., 2020), resultando em variabilidades sazonais e interanuais difíceis de prever.

O Brasil possui dimensões continentais, o que ocasiona alterações no padrão de intensidade e frequência das precipitações pluviais. Projeções sugerem significativo aumento na frequência e intensidade de secas no norte e nordeste do Brasil, incremento de dias da estação seca nessas regiões (ÁVILA-DIAZ et al., 2020) e variabilidades sazonais e interanuais no volume e distribuição de chuvas no extremo sul (RAO et al., 2015), com fortes tendências da influência cada vez maior do El-Niño nos regimes de chuva no sul do Brasil (HAYLOCK et al., 2006). Para o Rio Grande do Sul, Radin et al (2017) apresentaram um trabalho com a distribuição de chuvas e sua variabilidade em todas as regiões ecoclimáticas e Britto, Barletta e Mendonça (2008) usaram dados de dezoito estações meteorológicas para avaliar a influência do fenômeno

El-Niño Oscilação Sul na variabilidade da precipitação. Alguns autores ainda avaliaram a distribuição de chuvas em diferentes municípios (SILVA et al, 2007; SILVA et al, 2021) e outros têm se dedicado a explorar a variabilidade espacial e temporal das precipitações, em diferentes estados (MORAES et al., 2005; SILVA, 2013; SILVA E MANDÚ, 2020; COSTA et al., 2021)

A detecção de tendências e mudanças de séries temporais de chuvas também ganhou popularidade entre os pesquisadores por meio de melhorias e extensões de vários conjuntos de dados e análises de dados mais sofisticadas em todo o mundo (KUMAR et al., 2010), o que possibilita o rastreamento da extensão e magnitude das mudanças climáticas e sua variabilidade (IPCC, 2007). Dependendo do comprimento e tipos (estação ou grade) dos dados meteorológicos observados disponíveis em diferentes regiões, as tendências de precipitação foram estudadas em diferentes escalas de tempo (mensal, sazonal, anual, decenal ou secular). Os resultados desses estudos mostraram variações na direção (positiva ou negativa) e nas magnitudes da tendência em nível mundial (ASFAW et al., 2018; OGUNRINDE e SHOLA., 2019; PRABHAKAR et al., 2019; ANIMASHAUN et al., 2020).

Vários testes paramétricos e não paramétricos podem ser usados para identificar tendências nas precipitações pluviais a partir de séries históricas de dados. Entre esses, o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK), (MANN, 1945; KENDALL, 1975) destaca-se como um dos melhores e mais populares, sendo preferido por diversos pesquisadores (JAIN e KUMAR, 2012), sobretudo quando os dados não apresentam distribuição normal ou apresentam falhas (DUHAN E PANDEY, 2013). O teste de curvatura de Sen (Sen, 1968) detecta os graus da tendência, sendo capaz de analisar variações abruptas em séries históricas (DENG et al., 2017; GUPTA e JAIN, 2018). (Panda e Sahu (2019) e Mondal, Khared e Kundu (2014) realizaram uma análise de tendências de chuvas sazonais e verificaram o padrão de temperatura em diferentes distritos da Índia através dos testes de e MK e de curvatura de Sen. Rahman e Begum (2013) utilizaram os mesmos testes para avaliar a tendência da precipitação em uma ilha de Bangladeshi. Animashaun et al. (2020) investigaram a variabilidade espaço-temporal da precipitação em trinta e três sub-bacias da Área Hidrológica Central do Níger (NCHA), na Nigéria, ao longo de 105 anos (1911–2015) e

verificaram uma tendência negativa das chuvas na maioria das sub-bacias (trinta e uma), o que indica uma diminuição nas chuvas.

No Brasil, há alguns trabalhos desenvolvidos para diferentes locais (LOPES E SILVA, 2013; SILVA JÚNIOR, NETO E CABRAL, 2020; LIRA et al., 2020). Damé et al. (2013) utilizaram o teste de Mann-Kendall para analisar quatorze estações meteorológicas no sul do estado do Rio Grande do Sul visando identificar tendências nas séries históricas de precipitação total anual na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim. Nesse estudo, os pesquisadores concluíram que houve alterações em um dos postos avaliados e associaram o ocorrido com possíveis alterações de mudanças climáticas na região. Guedes, Priebe e Manke (2019) avaliaram possíveis tendências em séries temporais anuais de oito postos pluviométricos da metade norte do estado do Rio Grande do Sul, onde evidenciaram que há tendência estatisticamente significativa em metade das estações meteorológicas estudadas.

O Rio Grande do Sul possui a economia direta e indiretamente ligada à agropecuária e a variabilidade nos rendimentos das culturas tem sido diretamente influenciada pela variabilidade interanual dos elementos meteorológicos, principalmente pela precipitação pluvial (BERLATO e FONTANA, 1999, SENTELHAS et al., 2015). Entretanto, os trabalhos que analisam a variabilidade da precipitação ainda são incipientes e voltados, na maioria, para localidades, de forma isolada, dificultando a análise entre a variabilidade climática e a produtividade das culturas agrícolas.

O conhecimento de volume, variabilidade e possíveis tendências da precipitação mostra-se cada vez mais importante, devido a sua relação direta com a produção de culturas, e sua possibilidade de criar bases científicas para melhorar o manejo dos recursos hídricos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi quantificar e identificar a distribuição e tendência das precipitações em todas as regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 DETALHAMENTO DOS DADOS E LOCAIS DE ESTUDO

Utilizou-se dados mensais de 23 estações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul, disponíveis no sítio *online* da Agência Nacional de Águas (ANA), do período de janeiro de 1980 até dezembro de 2019. Primeiramente, os dados foram selecionados quanto à completude, presença de erros e consistência e, posteriormente, agrupados conforme a regionalização fisiográfica realizada por Fortes (1959), apresentados na Tabela 1 com localização por coordenada geográfica: latitude (lat) e longitude (long), e Figura 1.

Tabela 1 - Regiões fisiográficas e estações meteorológicas selecionadas.

| REGIÃO FISIAGRÁFICA | MUNICÍPIO | LAT | LONG |
|-------------------------------------|---------------------------|------------|-------------|
| Litoral | Santa Vitória do Palmar | -32,95 | -53,12 |
| | Terra de Areia | -29,59 | -50,03 |
| Depressão Central | Cacequi | -29,88 | -54,83 |
| | Dona Francisca | -29,62 | -53,35 |
| | São Jerônimo | -30,42 | -52,07 |
| Encosta do Sudeste | São Lourenço do Sul | -31,37 | -51,99 |
| Serra do Sudeste | Encruzilhada do Sul | -30,63 | -52,84 |
| | Pinheiro Machado | -31,31 | -53,50 |
| Campanha | Rosário do Sul | -30,25 | -54,92 |
| | Santana do Livramento | -30,70 | -55,84 |
| | Uruguaiana | -29,47 | -56,67 |
| Missões | Guarani das Missões | -28,21 | -54,60 |
| | Itaqui | -29,13 | -56,56 |
| | Santiago | -29,37 | -54,74 |
| | Santo Antônio das Missões | -28,21 | -55,32 |
| Alto Uruguai | Giruá | -28,05 | -54,36 |
| | Sarandi | -27,81 | -53,03 |
| Planalto Médio | Coqueiros do Sul | -28,19 | -52,75 |
| | Ijuí | -28,46 | -53,97 |
| | Quinze de Novembro | -28,73 | -53,19 |
| Encosta Inferior do Nordeste | Candelária | -29,71 | -52,89 |
| Campos de Cima da Serra | Jaquirana | -28,87 | -50,46 |
| Encosta Superior do Nordeste | Casca | -28,62 | -51,87 |

A seleção foi realizada somente em estações meteorológicas com 90% dos dados existentes e o preenchimento de falhas foi realizado pelo método da ponderação regional (TUCCI, 2001). A consistência dos dados, após o preenchimento de falhas, também foi verificada para todos os postos pluviométricos analisados, segundo o método da dupla massa (TUCCI, 2001).

A figura 2 ilustra o resultado obtido após o processo de complementaridade de dados para a estação meteorológica do município de Cacequi, realizado com dados de estações meteorológicas dos municípios de Dona Francisca, Santa Maria e São Jerônimo. O alinhamento dos pontos sugere uma boa consistência do conjunto de dados, descartando a existência de possíveis erros sistemáticos, alteração nas condições de observação e possíveis mudanças nas condições climáticas regionais.

Figura 1- Localização das estações meteorológicas selecionadas em cada região fisiográfica

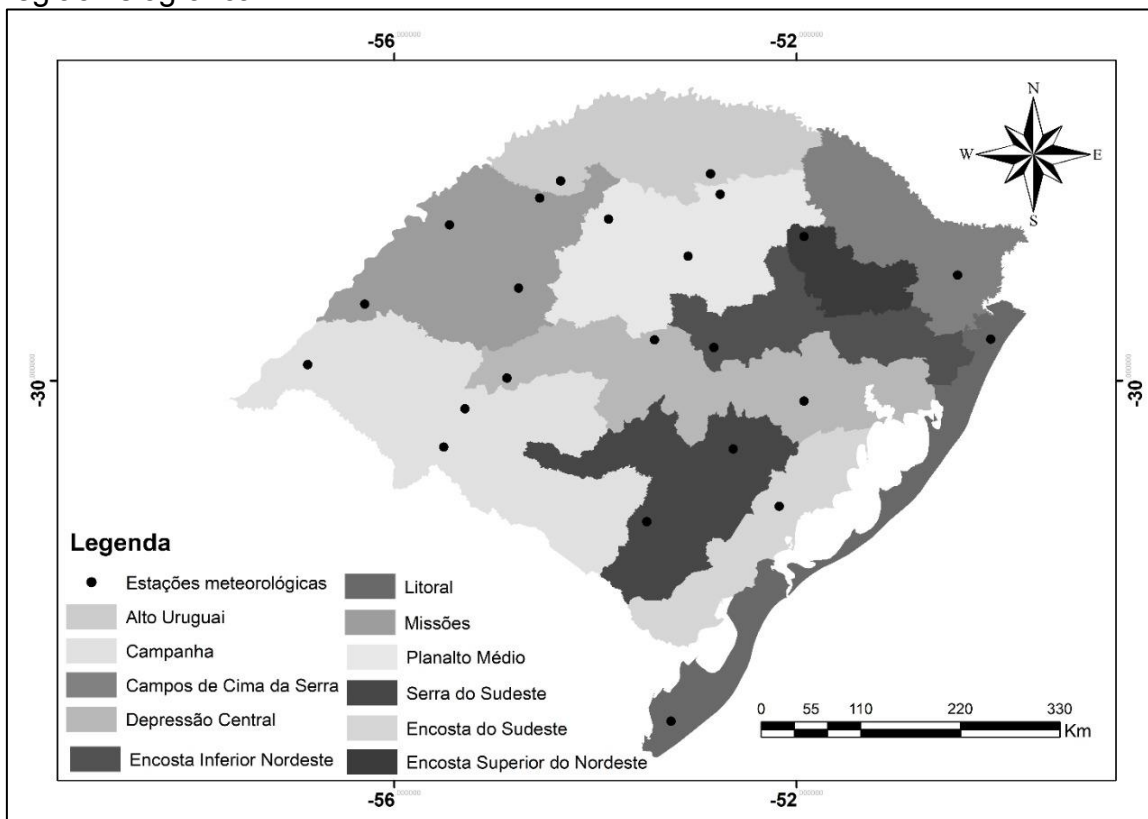
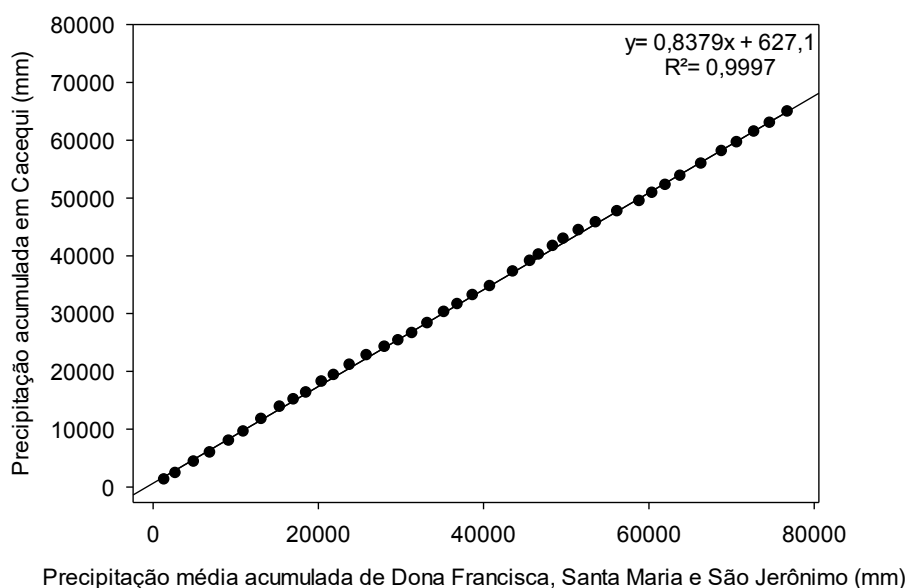


Figura 2 - Curva de Dupla Massa para a análise de consistência entre os dados de Cacequi (RS) e as normais climatológicas de Dona Francisca, Santa Maria e São Jerônimo (RS) entre os anos de 1980 e 2019



Assim, após o processo de preparação dos dados das estações pluviométricas (seleção dos postos pluviométricos, análise de correlação de dados, substituição das falhas e análise de consistência de dados), obteve-se um conjunto de dados completos mensais para todos os pontos analisados. As séries obtidas foram submetidas a quatro testes de normalidade, conforme mostra a tabela 2.

A soma das precipitações pluviais dos meses de dezembro-janeiro-fevereiro (verão), março-abril-maio (outono), junho-julho-agosto (inverno) e setembro-outubro-novembro (primavera) foi utilizada para fazer a análise sazonal de cada uma das estações, durante todo o período avaliado. A partir disso, os dados foram agrupados conforme cada região fisiográfica.

Tabela 2 – Resultados dos testes de normalidade

| POSTO PLUVIOMÉTRICO\TESTE | SHAPIRO- WILK | ANDERSON- DARLING | LILLIEFORS | JARQUE- BERA |
|------------------------------|------------------|----------------------|------------|-----------------|
| Santa Vitória do Palmar | 0,222 | 0,079 | 0,122 | 0,430 |
| Terra de Areia | 0,962 | 0,927 | 0,730 | 0,688 |
| Cacequi | 0,266 | 0,388 | 0,234 | 0,468 |
| Dona Francisca | 0,955 | 0,906 | 0,918 | 0,876 |
| São Jerônimo | 0,634 | 0,781 | 0,846 | 0,592 |
| São Lourenço do Sul | 0,403 | 0,397 | 0,420 | 0,447 |
| Pinheiro Machado | 0,170 | 0,411 | 0,515 | 0,103 |
| Encruzilhada do Sul | 0,220 | 0,221 | 0,443 | 0,595 |
| Rosário do Sul | 0,546 | 0,716 | 0,870 | 0,811 |
| Santana do Livramento | 0,776 | 0,780 | 0,763 | 0,810 |
| Uruguaiana | 0,532 | 0,509 | 0,429 | 0,483 |
| Guarani das Missões | 0,432 | 0,303 | 0,060 | 0,535 |
| Itaqui | 0,022* | 0,145 | 0,428 | 0,011* |
| Santiago | 0,538 | 0,529 | 0,591 | 0,573 |
| Santo Antônio das Missões | 0,265 | 0,358 | 0,400 | 0,590 |
| Giruá | 0,986 | 0,914 | 0,813 | 0,973 |
| Sarandi | 0,420 | 0,606 | 0,812 | 0,484 |
| Coqueiros do Sul | 0,139 | 0,212 | 0,386 | 0,504 |
| Ijuí | 0,824 | 0,951 | 0,925 | 0,796 |
| Quinze de Novembro | 0,773 | 0,591 | 0,415 | 0,821 |
| Candelária | 0,276 | 0,437 | 0,774 | 0,225 |
| Jaquirana | 0,977 | 0,969 | 0,963 | 0,914 |
| Casca | 0,240 | 0,446 | 0,413 | 0,401 |

*amostra apresenta p-valor menor que o nível de significância de 0,05, portanto rejeita-se a hipótese nula H_0 e os dados não seguem uma distribuição normal.

3.2.2 METODOLOGIA

Primeiramente foi feita a análise descritiva estatística preliminar com o objetivo de caracterizar os dados e identificar possíveis discrepâncias. Foram obtidas: médias, medianas, mínimas, máximas, desvios padrões, coeficientes de variações, primeiros e terceiros quartis, das séries de dados de cada estação pluviométrica. A partir disso, seguiu-se a análise de regressão linear, teste de Run, de MK e de curvatura de Sen.

3.2.2.1 Regressão linear

As séries anuais obtidas para cada região foram submetidas a análises de regressão linear. A partir análise de regressão linear é possível verificar tendências ao longo de uma série de dados, considerando:

$$y = ax + b$$

onde: “a” é o coeficiente angular da reta; “x” = t, logo representa a variável temporal.

De acordo com Back (2001), no caso de o teste de significância do coeficiente angular a não incluir o valor zero tem-se que há tendência é significativa, caso contrário não, sendo que um coeficiente angular a maior que zero indica tendência positiva, enquanto que menor que zero, indica tendência negativa. Ao realizar esse procedimento, o valor estatístico do coeficiente de determinação (R^2) reflete a qualidade do ajuste efetuado ($R^2 > 0,60 \rightarrow$ Forte; $0,30 \leq R^2 \leq 0,60 \rightarrow$ Moderado; $R^2 < 0,30 \rightarrow$ Fraco; e $R^2 = 0 \rightarrow$ Nulo) (SILVA JUNIOR et al., 2020).

3.2.2.2 Teste de Run

O teste Run é um teste não paramétrico (THOM,1966), utilizado para avaliar se uma série ocorre aleatoriamente e consiste em realizar a contagem do número de oscilações dos valores acima e abaixo da mediana, numa série de dados naturalmente ordenada. O número de oscilações é chamado “Run”, e deve testar se o valor observado está dentro da faixa de distribuição considerada normal. Um valor alto de Run indica muitas oscilações, e valores baixos indicam um desvio menor em relação à mediana durante as séries de dados avaliadas. Assim, o teste de Run foi aplicado antes dos testes de tendência para verificar se as séries históricas continham autocorrelação.

3.2.2.3 Teste de Mann-Kendall

A tendência de anual e sazonal de cada série foi avaliada através do teste de MK que consiste um teste estatístico não-paramétrico, recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para estudo de tendências climáticas em séries temporais longas (BLAIN, 2010). No entanto, a premissa para a realização desse teste é a de que os dados sejam independentes, pois caso as observações apresentem correlação serial positiva, o teste poderá apresentar uma resposta significativa mesmo sem haver tendência de fato. Caso apresentassem autocorrelação, o teste de MK seguiu com a correção de Yue e Wang (2004), que baseia-se em modificar o algoritmo de cálculo, para considerar a presença de correlação serial (BLAIN, 2014).

O teste de MK modificado indica se a tendência é crescente ($x > 0$) ou decrescente ($x < 0$) (SANCHES, VERDUM e FISCH, 2013). Ao se considerar o nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$), a hipótese H_0 (de que não há tendência nem positiva nem negativa na série) deverá ser rejeitada sempre que o valor de Mann-Kendall encontrado estiver entre $-1,96 < x < +1,96$ (MARENGO e ALVES, 2005).

3.2.2.4 Teste de curvatura de Sen

As séries também foram analisadas segundo o teste de curvatura de Sen (1968). Se uma tendência linear está presente em uma série temporal, então a inclinação verdadeira (variação por unidade de tempo) pode ser estimada utilizando-se o teste não-paramétrico de Sen, que consiste em um método não-paramétrico para se calcular a magnitude das tendências é a curvatura de Sen (SEN, 1968). Para o cálculo de inclinação de Sen, computam-se todas as curvaturas de todos os pares dos valores apresentados em determinada série temporal. É um método insensível a outliers e dados ausentes, sendo mais rigoroso do que a curvatura da regressão linear, provendo uma medida mais real das tendências em séries temporais (SILVA et. al., 2015).

A tabulação e análise estatística dos dados foram realizadas através dos programas Microsoft Excel 2016, Past, XLstat e SigmaPlot 12.5. Os mapas foram confeccionados com o software ArcGis 10.0.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A estatística descritiva das séries temporais mensais por região fisiográfica e do Rio Grande do Sul, no período de 1980 a 2019, é apresentada na tabela 3. Obteve-se uma média anual de 1732 mm para o estado, mas verifica-se também a ampla diferença de distribuição da precipitação entre as regiões fisiográficas, sendo que as maiores médias anuais pluviométricas foram apresentadas pelas regiões Encosta Superior Nordeste, Alto Uruguai, Encosta Inferior Nordeste, Planalto Médio e Missões, apresentando valores acima de 1800 mm, com a maior média em 1927 mm. Com valores decrescentes e entre 1708 mm e 1619 mm, estão a Depressão Central, a região dos Campos de Cima da Serra e a Encosta do Sudeste.

A precipitação média anual mínima para o Rio Grande do Sul foi de 1218 mm, sendo que as menores médias anuais foram encontradas no Litoral, Serra do Sudeste e Campanha, com variação de 836 mm e 989 mm. As maiores mínimas também foram encontradas nas regiões com as maiores médias anuais.

Tabela 3- Estatística descritiva

| REGIÃO FISIAGRÁFICA | Média (mm) | Mín (mm) | Máx (mm) | Q1 (mm) | Md (mm) | Q3 (mm) | CV (mm) | DP (mm) |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Litoral | 1568 | 827 | 2239 | 1420 | 1520 | 1746 | 18 | 285 |
| Depressão Central | 1708 | 1154 | 2433 | 1453 | 1693 | 1876 | 18 | 317 |
| Encosta do Sudeste | 1619 | 949 | 2409 | 1384 | 1569 | 1844 | 22 | 356 |
| Serra do Sudeste | 1563 | 975 | 2690 | 1280 | 1561 | 1789 | 23 | 369 |
| Campanha | 1516 | 989 | 2248 | 1220 | 1562 | 1762 | 21 | 317 |
| Missões | 1823 | 1111 | 2698 | 1602 | 1785 | 2078 | 21 | 379 |
| Alto Uruguai | 1913 | 1208 | 2776 | 1723 | 1868 | 2107 | 21 | 400 |
| Planalto Médio | 1838 | 1148 | 2585 | 1640 | 1787 | 2086 | 19 | 356 |
| Encosta Inferior Nordeste | 1909 | 1069 | 3001 | 1616 | 1847 | 2152 | 21 | 410 |
| Campos de Cima da Serra | 1664 | 1091 | 2256 | 1488 | 1675 | 1818 | 16 | 268 |
| Encosta Superior Nordeste | 1927 | 1356 | 2494 | 1663 | 1923 | 2152 | 17 | 326 |
| Rio Grande do Sul | 1732 | 1218 | 2370 | 1510 | 1758 | 1921 | 16 | 279 |

Média- média; Md- mediana; Mín-valor mínimo; Max- valor máximo; DP- desvio padrão; Q1- primeiro quartil; Q3- terceiro quartil; CV- coeficiente de variação (%)

As cinco regiões com maiores médias anuais também apresentaram 25% das chuvas com valores acima de 2000 mm (Q3) e também as maiores máximas, enquanto que 25 % das médias mais baixas ocorreram no Litoral, na Campanha e na Serra do Sudeste. Corrobora-se, assim, Matzanauer et al (2007) que salientam que, apesar da chuva ser bem distribuída no Rio Grande do Sul ao longo do ano, há uma variabilidade espacial significativa, uma vez que a precipitação anual na metade sul é significativamente inferior à metade norte do Estado.

O coeficiente de variação nas séries anuais manteve-se entre 15,9 % a 23,7 %, interpretados a partir das condições estabelecidas por Gomes (1985), em que coeficientes de variação menores que 10% indicam baixa dispersão entre os dados, logo, uma amostra homogênea, coeficientes de variação entre 10 e 20% indicam média dispersão entre os dados e coeficientes de variação maiores que 20%, dados heterogêneos, ou seja, alta dispersão entre os dados. Os maiores valores de coeficiente de variação (>20%) foram encontrados na Serra do Sudeste, Encosta do Sudeste, Encosta Inferior Nordeste, Campanha, Alto Uruguai e Missões, indicando séries heterogêneas. Todas as demais regiões apresentaram coeficiente de variação com média dispersão, assim como a média de dados obtida para a avaliação geral do Rio Grande do Sul, que apresentou o menor coeficiente de variação (15,9%), indicando a maior homogeneidade entre as séries anuais testadas.

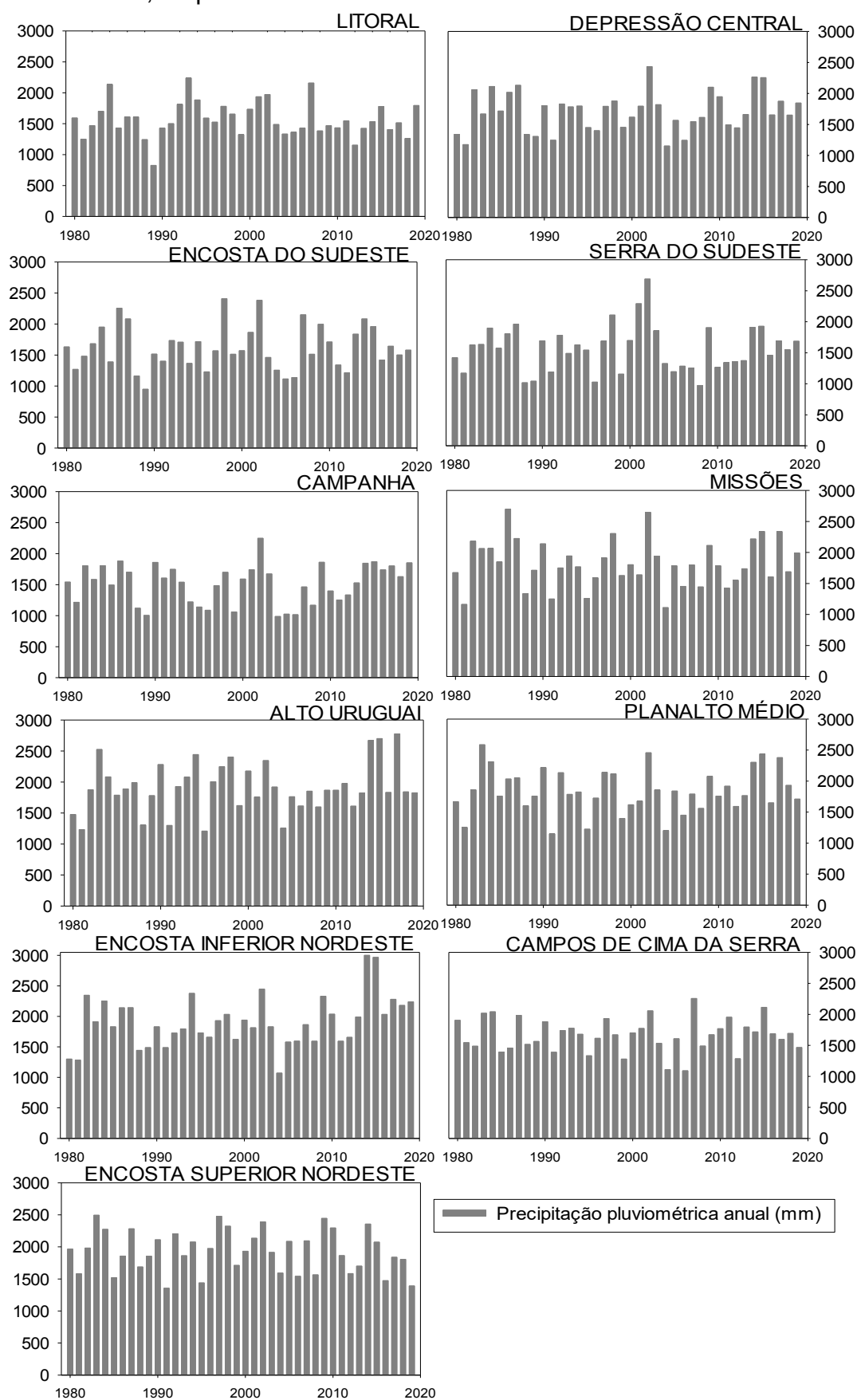
Observa-se, ainda, que as menores médias de mínima (827 mm) e máxima precipitação média (2239 mm) foram obtidas no Litoral, no entanto, menores médias anuais totais foram encontradas na região da Campanha e na Serra do Sudeste, caracterizadas por uma maior irregularidade de chuvas, ao longo do tempo. Os quartis 1 (inferior) das regiões da Campanha e Serra do Sudeste são menores que do Litoral e os quartis 3 (superior) apresentam valores maiores. O que significa dizer que 25% dos dados de precipitação média anual dessas regiões encontram-se abaixo das médias do Litoral, enquanto que 25% das médias estão acima do Litoral.

Os menores desvios-padrões foram encontrados nas regiões Campos de Cima da Serra e Litoral (268 mm e 285 mm, respectivamente), indicando amostras mais homogêneas, com valores condensados mais próximos à média, enquanto os maiores desvios-padrões foram verificados nas regiões da Encosta Inferior Nordeste (410 mm) e Alto Uruguai (400 mm), apontando um padrão menos homogêneo que nas demais regiões. Um desvio padrão de 279,0 mm foi encontrado para o Rio Grande do Sul.

3.3.2 REGRESSÃO LINEAR

O comportamento da precipitação para cada região fisiográfica, para o período de 1980- 2019, é apresentado na figura 3. A tabela 4 mostra a equação de regressão linear e o coeficiente de determinação (R^2) obtidos para as séries anuais de cada uma das regiões fisiográficas.

Figura 3- Padrão das precipitações pluviiais nas regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul, no período de 1980 a 2019.



Os coeficientes angulares positivos das equações das retas que representam a variação de precipitação mostram o aumento da precipitação, enquanto que coeficientes angulares negativos, nas regiões do Litoral, Campos de Cima da Serra e Encosta Superior do Nordeste, apontam uma queda nas precipitações. Analisando o R^2 dos gráficos pode-se concluir que não houve tendência de precipitação em nenhum deles, sendo a região das Missões a que apresentou o menor valor para R^2 , indicando, assim, a menor aderência do modelo linear em comparação aos dados observados, em relação as demais regiões.

Tabela 4- Equações de regressão linear e coeficiente de determinação de cada uma das séries analisadas.

| Região Fisiográfica | Equação de regressão | R^2 |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Litoral | $y = -1,6286x + 4824,3$ | $R^2 = 0,0045$ |
| Depressão Central | $y = 3,9690x - 6228,0$ | $R^2 = 0,0215$ |
| Encosta do SE | $y = 1,6941x - 1768,5$ | $R^2 = 0,0031$ |
| Serra do SE | $y = 1,0964x - 629,05$ | $R^2 = 0,0012$ |
| Campanha | $y = 2,2538x - 2990,5$ | $R^2 = 0,0062$ |
| Missões | $y = 0,2133x + 1396,9$ | $R^2 = 0,00004$ |
| Alto Uruguai | $y = 7,2215x - 12526,0$ | $R^2 = 0,0047$ |
| Planalto Médio | $y = 1,7423x - 1645,3$ | $R^2 = 0,0033$ |
| Encosta Inferior NE | $y = 11,7783x - 21650,0$ | $R^2 = 0,1119$ |
| Campos de Cima da Serra | $y = -0,6035x + 2870,7$ | $R^2 = 0,0007$ |
| Encosta Superior NE | $y = -3,6531x + 2002,3$ | $R^2 = 0,0172$ |

Estações meteorológicas localizadas nas regiões dos Campos de Cima da Serra e Encosta Superior do Nordeste foram testadas por Guedes, Priebe e Manke (2019), de meados da década de 50 até o início dos anos 2000. Os autores encontraram tendência no aumento de precipitação, ao longo dos anos avaliados, por regressão linear.

Na figura 4 observa-se o comportamento da distribuição de precipitações pluviais, para o período analisado, no Rio Grande do Sul, a partir da média dos dados obtidos para as regiões fisiográficas. Verifica-se que os picos de maiores precipitações (acima de 2000 mm) ocorreram nos anos de 2002, 2015, 2014, 1984, 1998 e 1987. À exceção de 1984, todos esses anos tiveram ocorrência de El Niño, de acordo com o Serviço de Administração Oceânica e Atmosférica (NOAA) dos Estados Unidos da América (EUA) (2021). A figura 5 apresenta a

regressão linear dos dados médios anuais do estado, com respectiva equação e o R^2 . O coeficiente angular positivo indica que ocorreu um aumento na quantidade de precipitação média anual, para o período analisado. Apesar desse aumento na quantidade de precipitação, o R^2 indica baixa tendência no período analisado: 0,0116.

Figura 4- Gráfico do comportamento da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul

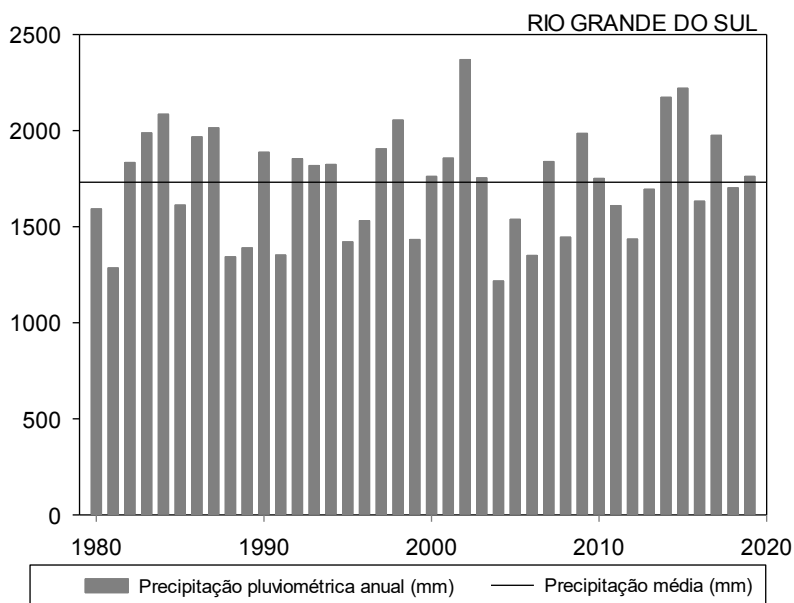
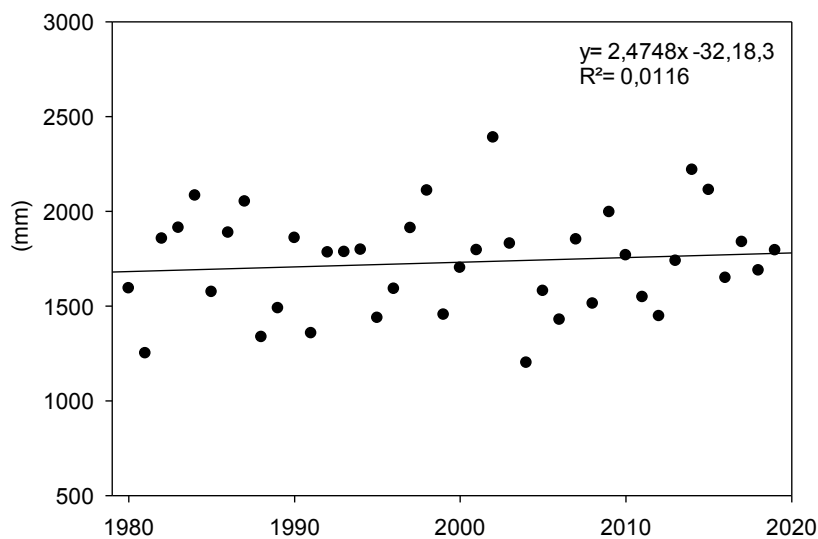


Figura 5- Gráfico de regressão linear da série histórica do Rio Grande do Sul

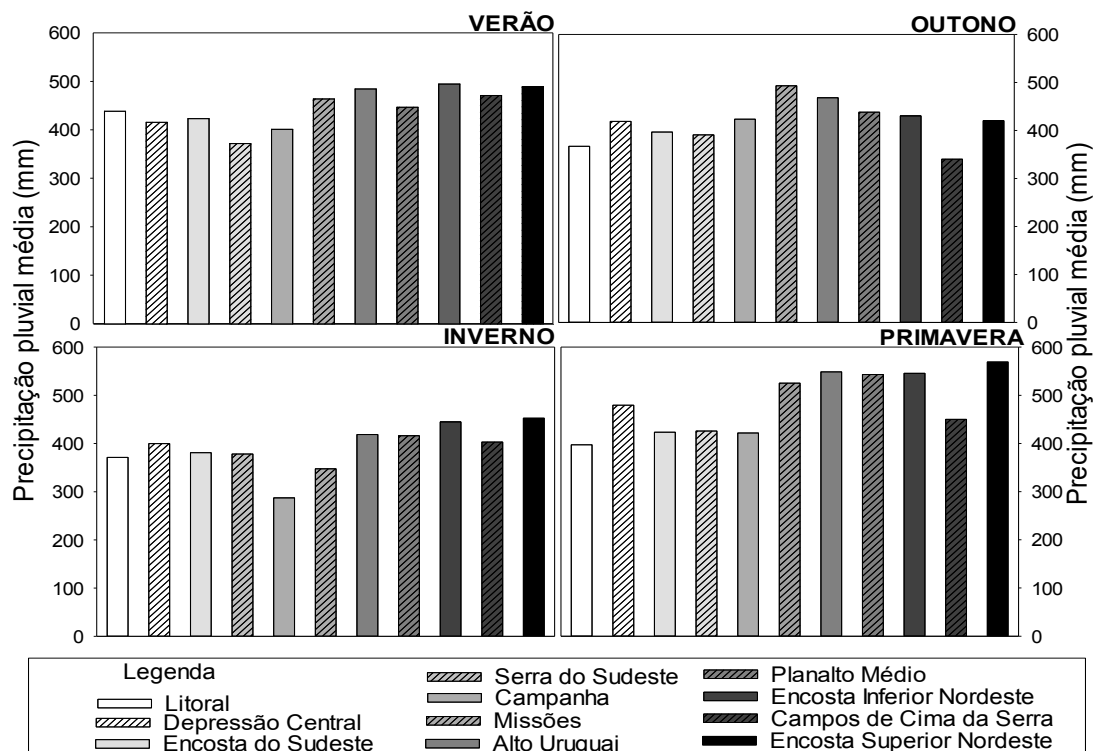


A distribuição da precipitação entre as estações meteorológicas do ano é diferente para cada região fisiográfica, como pode ser observado na figura 6. Na primavera, na média de acumulados de todas as regiões, ocorre o maior volume de precipitação, equivalente a 28,1% da chuva ocorrida no ano (447 mm do total da média anual), seguida do verão com 25,2%, pelo outono (24,4%) e inverno com 22,3%. Radin et al (2017) e Matzanauer, Radin e Maluf (2017), em quantificações semelhantes, apontaram o mesmo padrão para o Rio Grande do Sul. Nesse sentido, Britto et al. (2006) lembram que, durante a primavera, o Rio Grande do Sul é regularmente invadido por ventos de noroeste e sudoeste, ocasionando, formações de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM's), responsáveis pelos maiores valores de precipitação.

Os maiores valores de precipitação médios acumulados por estação foram verificados na região da Encosta Superior Nordeste (569 mm), Alto Uruguai (549 mm), Encosta Inferior Nordeste (546 mm), Planalto Médio 543 mm e Missões (525 mm) durante a primavera. Os menores volumes na primavera foram observados na região do Litoral, com um acumulado de 397 mm, na Campanha (422 mm), Encosta do Sudeste e Serra do Sudeste com acumulados de 423 mm e 425 mm.

Durante a estação do verão, as maiores médias acumuladas ocorreram nas regiões Encosta Inferior Nordeste, Encosta Superior Nordeste e Alto Uruguai, com 496 mm, 491 mm e 487 mm, respectivamente. As menores médias acumuladas são evidenciadas na Serra do Sudeste (373 mm) e Campanha (402 mm). O outono apresentou média sazonal de precipitação de 417 mm, com mínimo de 340 mm e máximo de 493 mm, nos Campos de Cima da Serra e Missões, respectivamente. No inverno, ocorreram as menores médias, com mínima de 287mm na região da Campanha e máxima de 453 mm, na Encosta Superior Nordeste.

Figura 6- Precipitação média sazonal acumulada em cada região fisiográfica.



3.3.3 ANÁLISE DE AUTOCORRELAÇÃO, TENDÊNCIA E MAGNITUDE

Os resultados de análise de correlação (teste de Run) para as escalas anuais são apresentados na Tabela 5, juntamente aos testes de tendência de Mann-Kendall e curvatura de Sen aplicados para cada região fisiográfica do Rio Grande do Sul e na série correspondente ao estado. As séries que apresentaram correlação serial foram testadas com correção da covariância, segundo Yue e Wang (2004). Os resultados indicaram que os índices de precipitação têm diminuído nas regiões Litoral, Missões, Campos de Cima da Serra e Encosta Superior do Nordeste e também para o Rio Grande do Sul. Estatisticamente, nenhuma das séries anuais apresentaram tendência crescente significativa na precipitação pluvial. Guedes, Priebe e Manke (2019) também não encontraram tendência crescente significativa no posto pluviométrico da região dos Campos de Cima da Serra, pelo teste de Mann-Kendall. Entretanto, ao contrário desses resultados, os autores encontraram tendência crescente significativa para uma série de dados da estação meteorológica correspondente a região da Encosta Superior Nordeste. Caballero et al. (2018), em estudo no município de Pelotas

(região Encosta Sudeste), também não encontraram tendência significativa nos dados da série anual para um período semelhante.

Tabela 5- Testes de autocorrelação, tendência e magnitude para as séries temporais anuais

| Variável | Run (p-valor) | MK (tau) | MK (p-valor) | Sen (mm/ano) | MK tendência |
|-------------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Litoral | 0,548 | -0,055 | 0,628 | -2,131 | NS |
| Depressão | 0,073 | 0,078 | 0,507 | 4,727 | NS |
| Encosta SE | 0,254 | 0,036 | 0,753 | 1,857 | NS |
| Serra SE | 0,166 | 0,062 | 0,584 | 3,268 | NS |
| Campanha | 0,073 | 0,051 | 0,650 | 2,046 | NS |
| Missões | 0,013* | -0,005 | 0,921 | -0,239 | NS |
| Alto Uruguai | 0,024* | 0,067 | 0,140 | 4,068 | NS |
| Planalto Médio | 0,031* | 0,031 | 0,509 | 1,412 | NS |
| Encosta Inferior do NE | 0,055 | 0,197 | 0,075 | 10,529 | NS |
| Campos de Cima da Serra | 0,132 | -0,010 | 0,955 | -0,511 | NS |
| Encosta Superior do NE | 0,143 | -0,095 | 0,395 | -4,323 | NS |
| Rio Grande do Sul | 0,040* | -0,064 | 0,162 | 1,402 | NS |

*amostra apresenta p-valor menor que o nível de significância de 0,05; portanto rejeita-se a hipótese nula H_0 e os dados apresentam correlação serial ou tendência significativa nos dados

Ogunrinde e Shola (2019) observaram tendência significativa em dados anuais de quinze das dezoito estações meteorológicas testadas para avaliar a variabilidade de chuvas na Nigéria entre 1981 e 2015. Os pesquisadores concluíram que ocorreu uma maior variabilidade nos meses chuvosos do ano nos primeiros 15 anos do século 21, em comparação com o século 20. Em um estudo em oito regiões homogêneas no estado do Ceará, Hiera, Lima Júnior e Zanella (2019) avaliaram séries temporais anuais e sazonais acumuladas de quadras mais chuvosas. No estudo, o teste de Mann-Kendall apontou maiores significâncias de decréscimo nas precipitações pluviais quando os dados sazonais foram testados, sendo que apenas duas amostras anuais apresentaram mudança significativa nos dados.

Os testes de Run, Mann-Kendall e inclinação de Sen para as séries temporais em escalas sazonais são mostrados na Tabela 6. Entre as séries regionais testadas, vinte e duas apresentaram correlação serial e foram testadas com o teste de Mann-Kendall modificado.

Tabela 6- Resultados para as séries temporais sazonais (estações do ano)

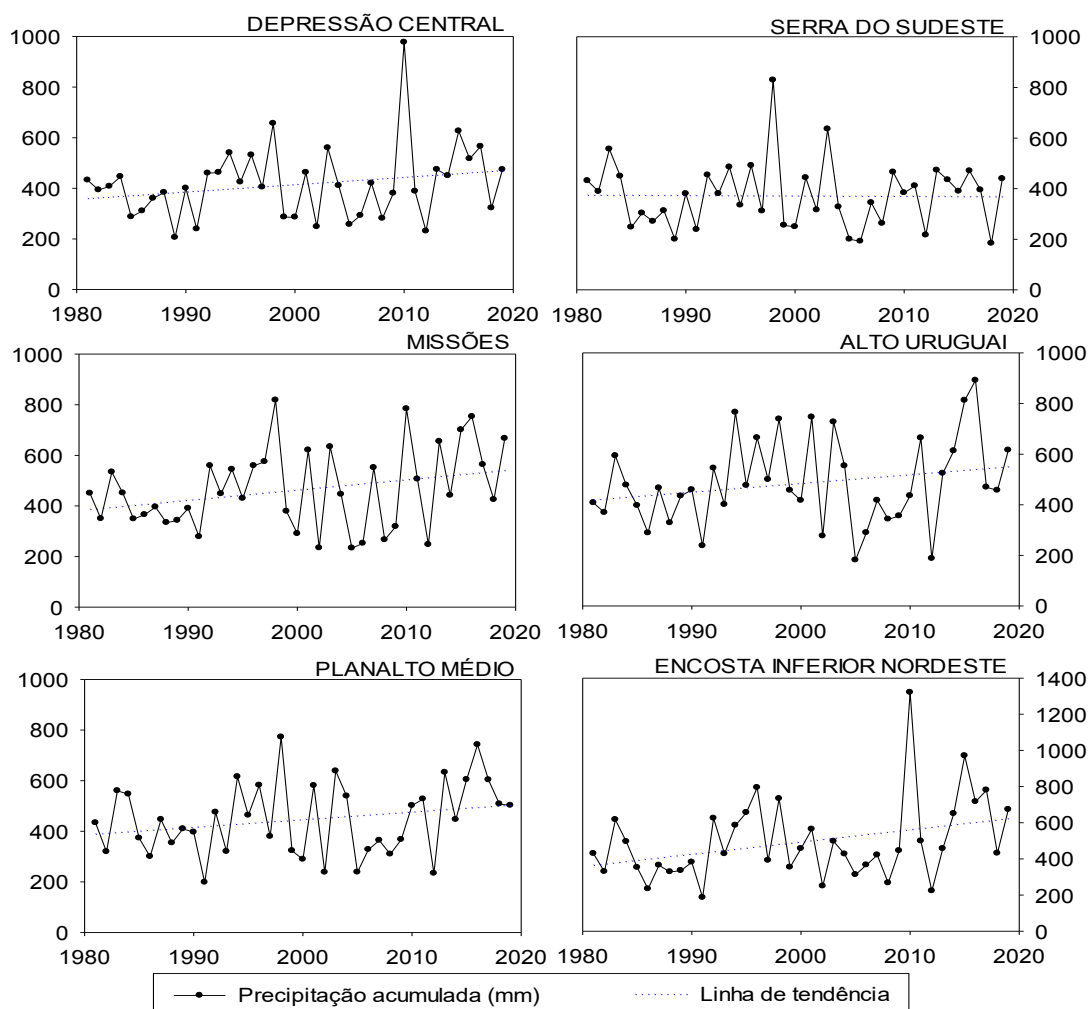
| | Variável | Run (p-valor) | MK (p-valor) | Sen (mm/ano) | MK tendência |
|---------------------------|-----------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Litoral | Verão | 0,0388* | 1,0000 | -2,7040 | NS |
| | Outono | 0,0734 | 0,2390 | 1,1040 | NS |
| | Inverno | 0,1427 | 0,8530 | -1,9510 | NS |
| | Primavera | 0,1428 | 0,2530 | 1,1330 | NS |
| Depressão Central | Verão | 0,0063* | <0,0001 | 2,1980 | S |
| | Outono | 0,0734 | 0,5790 | -0,6000 | NS |
| | Inverno | 0,1430 | 0,6840 | -1,0440 | NS |
| | Primavera | 0,1658 | 0,0140 | 4,7270 | S |
| Encosta do Sudeste | Verão | 0,0459* | 0,7380 | -0,5180 | NS |
| | Outono | 0,0397* | 0,1920 | 0,7500 | NS |
| | Inverno | 0,0344* | 0,9820 | -1,1170 | NS |
| | Primavera | 0,0064* | <0,0001 | 2,2890 | S |
| Serra do Sudeste | Verão | 0,0000* | <0,0001 | 2,2900 | S |
| | Outono | 0,0734 | 0,7760 | -1,7290 | NS |
| | Inverno | 0,3931 | 0,4950 | 0,0770 | NS |
| | Primavera | 0,0147* | <0,0001 | 3,3210 | S |
| Campanha | Verão | 0,1310 | 0,3580 | 1,2800 | NS |
| | Outono | 0,0667 | 0,8980 | -2,7620 | NS |
| | Inverno | 0,0344* | 0,8840 | -0,3470 | NS |
| | Primavera | 0,2937 | 0,0300 | 3,7900 | S |
| Missões | Verão | 0,0459* | 0,0010 | 4,3610 | S |
| | Outono | 0,0147 | 0,7690 | -2,2930 | NS |
| | Inverno | 0,0146 | 0,9540 | -2,3600 | NS |
| | Primavera | 0,0057* | <0,0001 | 3,1410 | S |
| Alto Uruguai | Verão | 0,0459* | 0,0010 | 3,1140 | S |
| | Outono | 0,0020* | 0,2190 | 0,7480 | NS |
| | Inverno | 0,1427 | 0,7960 | -2,3040 | NS |
| | Primavera | 0,0096* | <0,0001 | 4,0810 | S |
| Planalto Médio | Verão | 0,0164* | 0,0010 | 2,5690 | S |
| | Outono | 0,0734 | 0,5140 | -0,0710 | NS |
| | Inverno | 0,0344* | 1,0000 | -2,7060 | NS |
| | Primavera | 0,0036* | 0,0030 | 1,7780 | S |
| Encosta Inferior Nordeste | Verão | 0,0388* | <0,0001 | 5,0290 | S |
| | Outono | 0,2072 | 0,4950 | 0,1390 | NS |
| | Inverno | 0,0547 | 0,7580 | -1,5060 | NS |
| | Primavera | 0,0017* | 0,0030 | 1,7780 | S |
| Campos de Cima da Serra | Verão | 0,1599 | 0,2810 | 0,7860 | NS |
| | Outono | 0,0147* | 0,0300 | 1,1730 | S |
| | Inverno | 0,0036* | 0,7020 | -0,5910 | NS |
| | Primavera | 0,0243* | 0,4270 | 0,0980 | NS |
| Encosta Superior Nordeste | Verão | 0,0830 | 0,6050 | -0,6000 | NS |
| | Outono | 0,0547 | 0,6670 | -1,2110 | NS |
| | Inverno | 0,1115 | 0,9470 | -2,6510 | NS |
| | Primavera | 0,0667 | 0,5790 | -0,5280 | NS |

*amostra apresenta p-valor menor que o nível de significância de 0,05, portanto rejeita-se a hipótese nula H_0 e os dados apresentam correlação serial ou tendência significativa nos dados

Estatisticamente, quinze séries sazonais exibiram tendência significativa, a maioria em primaveras e verões. No outono, apenas a região de Campos de Cima da Serra apresentou tendência e no inverno não houve tendência significativa em nenhuma série.

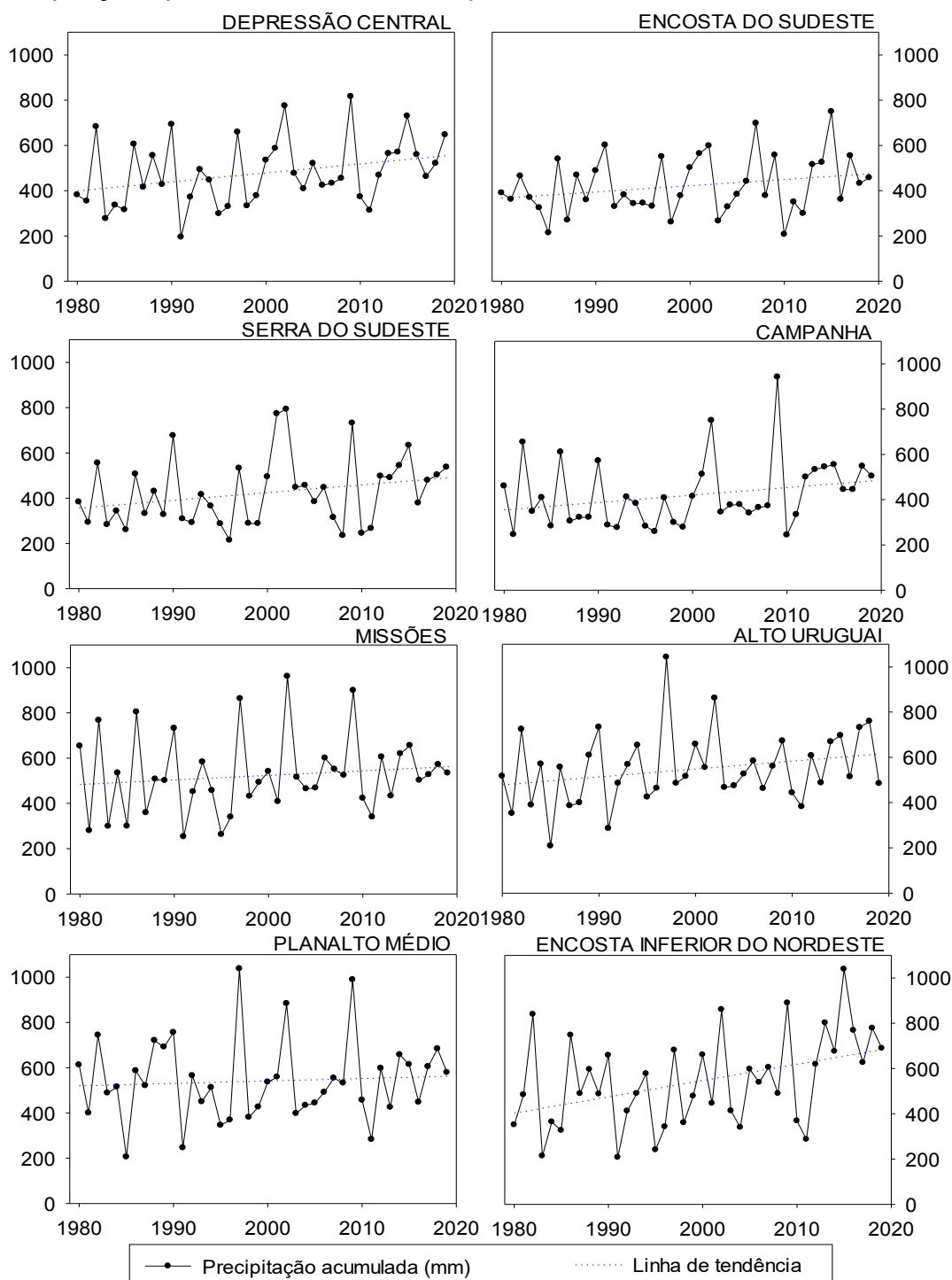
Na figura 7 são apresentadas as seis séries temporais de verão, onde tendências significativas de mudança dos dados foram observados, ao longo do tempo analisado. As linhas de tendências plotadas mostram a inclinação crescente na precipitação pluvial na maioria das regiões, sendo que a única região a apresentar tendência decrescente nas chuvas de verão foi a Serra do Sudeste. Observa-se ainda picos de precipitação acumulada nas regiões da Depressão Central e Encosta Inferior do Nordeste, no ano de 2010.

Figura 7- Regiões fisiográficas com tendência significativa de mudança nos dados acumulados do verão.



As regiões fisiográficas que apresentaram tendência significativa nos dados acumulados, pelo teste de Mann-Kendall, nas estações da primavera e outono são apresentadas nas figuras 8 e 9, respectivamente.

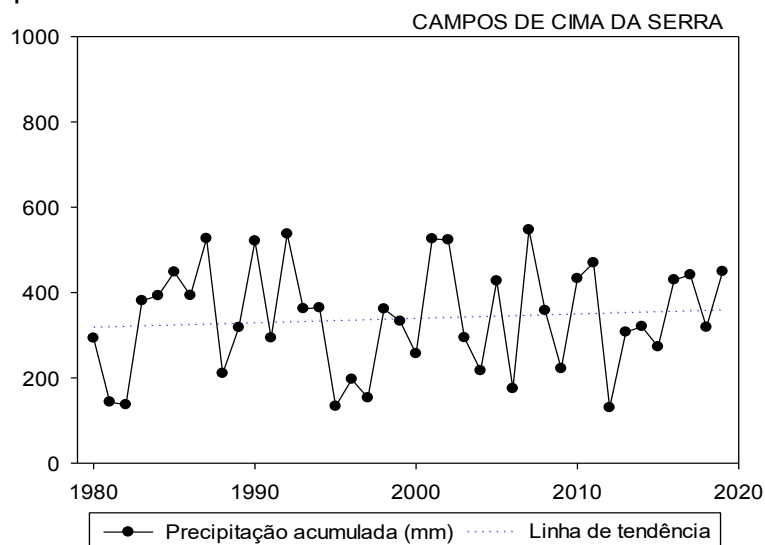
Figura 8- Regiões fisiográficas com tendência significativa de mudança nas precipitações pluviométricas acumuladas de primavera



Todas as séries indicam alterações crescentes nas precipitações pluviiais acumuladas. Evidencia-se precipitações pluviiais acumuladas maiores na primavera do ano de 2015 nas Encostas do Sudeste e Inferior do Nordeste, na Depressão Central em 2010, no ano de 2009 na Campanha, no ano de 2002 na Serra do Sudeste e Missões, em 1997 nas regiões do Alto Uruguai e Planalto Médio.

Na região de Campos de Cima da Serra, única série com tendência significativa nos dados do outono, observa-se uma distribuição um pouco mais homogênea dos totais acumulados. Seis pontos altos de chuvas são identificados, entre 523 mm em 2002 e 547 mm no ano de 2007. Além de seis pontos com baixas precipitações, estando entre 130 mm em 2012 e 175 mm, no ano de 2006.

Figura 9- Região fisiográfica com tendência significativa de mudança nas precipitações pluviiais acumuladas de outono



A Tabela 7 apresenta os resultados dos testes de Run, MK e curvatura de Sen para a série histórica de acumulados das estações do ano, no Rio Grande do Sul. Pode-se observar que as séries de verão e primavera apresentaram tendência significativa de mudança.

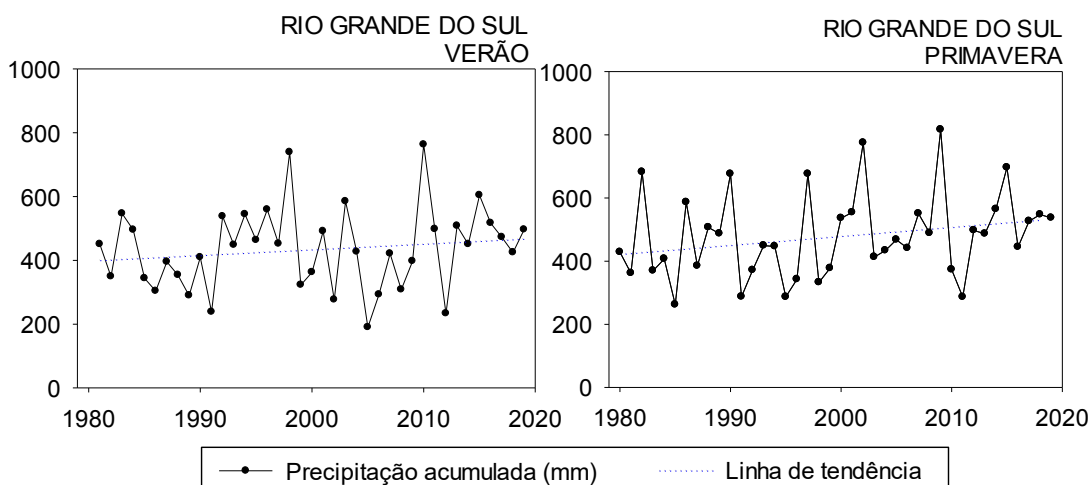
Tabela 7- Resultados dos testes de Run, MK e Sen para as séries temporais sazonais do Rio Grande do Sul

| | Variável | Run (p-valor) | MK (p-valor) | Sen (mm/ano) | MK tendência |
|--------------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| RIO GRANDE DO SUL | Verão | 0,0063* | 0,0020 | -0,6000 | S |
| | Outono | 0,0734 | 0,6501 | -1,2110 | NS |
| | Inverno | 0,0006* | 0,9970 | -2,6510 | NS |
| | Primavera | 0,0243* | <0,0001 | -0,5280 | S |

*amostra apresenta p-valor menor que o nível de significância de 0,05, portanto rejeita-se a hipótese nula H_0 e os dados apresentam correlação serial ou tendência significativa nos dados

A figura 10 apresenta as duas séries plotadas, com a linha de tendência mostrando o incremento positivo das precipitações, ao longo do período avaliado. Os maiores volumes acumulados foram de 763 mm no verão de 2010 e de 816 mm na primavera de 2009.

Figura 10- Séries históricas das precipitações acumuladas de verão e primavera, no Rio Grande do Sul



3.4 CONCLUSÕES

Este estudo quantificou e analisou a tendência em dados de precipitação pluvial de estações meteorológicas localizadas nas onze regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. A partir de dados mensais foram organizadas séries históricas mensais, anuais e sazonais (acumulado nas diferentes estações do ano).

Obteve-se uma média anual para o Estado de 1732 mm e verificou-se a ampla diferença de distribuição da precipitação entre as regiões fisiográficas, sendo que as maiores médias anuais pluviométricas foram apresentadas pelas regiões Encosta Superior Nordeste, Alto Uruguai, Encosta Inferior Nordeste, Planalto Médio e Missões, apresentando valores acima de 1800 mm, com a maior média em 1927 mm. Com valores decrescentes e entre 1708 mm e 1619 mm, estão a Depressão Central, a região dos Campos de Cima da Serra e a Encosta do Sudeste.

A avaliação sazonal, apontou que na primavera, na média de acumulados de todas as regiões, é quando ocorre o maior volume de precipitação, equivalente a 28,1% da chuva ocorrida no ano (447 mm do total da média anual), seguida do verão com 25,2%, pelo outono (24,4%) e inverno com 22,3%.

O teste de MK mostrou que, estatisticamente, nenhuma das séries anuais apresentaram tendência de mudança significativa na precipitação pluvial e quinze séries sazonais (estações do ano) exibiram tendência significativa, a maioria em primaveras e verões. Conclui-se ainda que o comportamento pluviométrico do Rio Grande do Sul apresentou mudanças, sobretudo na primavera e verão.

REFERÊNCIAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. HidroWeb: **sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ANIMASHAUN, I.M.; OGUNTUNDE, P.G.; AKINWUMIJU, A.S.; OLUBANJO, O.O. Rainfall Analysis over the Niger Central Hydrological Area, Nigeria: Variability, Trend, and Change point detection. **Scientific African**, v.8, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620301575>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

ASFAW, A.; SIMANE, B.; HASSEN, A.; BANTIDER, A. Variability and Time Series Trend Analysis of Rainfall and Temperature in Northcentral Ethiopia: A Case Study in Woleka Sub-Basin. **Weather and Climate Extremes**, v. 19, p. 29-41, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094717300932>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

ÁVILA-DIAZ, A.; BENEZOLI, V.; JUSTINO, F.; TORRES, R.; WILSON, A. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. **Climate Dynamics**, v. 55, p. 1403–1426, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05333-z>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n.5, p. 717-726, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pab/a/YsG54Qqxr3msgZPRBD3nLvF/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 27 out. 2020.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, p. 119-125, 1999. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/209.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2021. ISSN 0104-1347. Acesso em: 17 mar. 2021.

BLAIN, G. C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 1027-1033, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/LkKYwjtpnHC3xCpXbcZ5znm/?lang=pt#>>. Acesso em: 12 jan. 2021.

BLAIN, G. C. Removing the influence of the serial correlation on the Mann-Kendall test. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 161-170, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/KK9qRdWGMN3HKjmQhbrWpZr/?lang=en>>. Acesso em: 12 jan. 2021.

BRITTO, P. F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3/4, p. 37- 48, 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25408>>. Acesso em: 06 mar. 2021.

CABALLERO, C.B., OGASSAWARA, J. F., DORNELES, V. R., NUNES, A. B. Precipitação Pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n. 4, p.1429-1441, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234526>>. Acesso em: 12 jan. 2021.

CAI, W.; McPHADEN, M. J.; GRIMM, A. M.; RODRIGUES, R. R.; TASCHETTO, A. S.; GARREAUD, R. D.; DEWITTE, B.; POVEDA, G., HAM, Y., SANTOS, O. A.; NG, B.; ANDERSON, W.; WANG, G.; GENG, T.; JO, H-S.; MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; OSMAN, M.; LI, S.; WU, L.; KARAMPERIDOU, C.; TAKAHASHI, K.; VERA, A.C. Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. **Nature**, v.1, p.216-231, 2020.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>>. Acesso em: 05 nov. 2021.

CALOIERO, T. Analysis of daily rainfall concentration in New Zealand. **Natural Hazards**, v. 72, p.389–404, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-013-1015-1>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

COSTA, S. A. T.; BEZERRA, A. C.; ARAÚJO, A. M. Q.; SILVA, M. F.; ALVES, R. M.; SOUZA, L. S. B. Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.21168/reg.v18e14>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; BACELAR, L.C.S.; WINKLER, A.S.; SANTOS, J.P. Monotonic trend and change points in southern Brazil precipitation. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 2, p.258-268, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/DHmNkNXzQ4gNrqKVVW9k4BZF/?lang=en>>. Acesso em: 13 jan. 2021.

DENG, S.; LI, M.; SUN, H.; CHEN, Y.; QU, L. ZHANG, X. Exploring temporal and spatial variability of precipitation of Weizhou Island, South China. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 9, p. 183-198, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581816303330>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

DUHAN, D.; PANDEY, A. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901–2002 at Madhya Pradesh, India, **Atmospheric Research**, v.122, p. 136-149, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809512003365>>. Acesso em: 27 fev .2021.

FORTES, A. B. **Geografia física do Rio Grande do Sul**. Editora Globo, Porto Alegre, 393p. 1956.

GOMES, P. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1985.

GUEDES, H. A. S.; PRIEBE, P. 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, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/84QsHfz7hq39RVpZmdmXsTN/?lang=pt>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

GUPTA V, JAIN MK. Investigation of multi-model spatiotemporal mesoscale drought projections over India under climate change scenario. **Journal of Hydrology**. 2018:489-509. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216941830773X>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIOA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VICENT, A; Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v.19, p. 1490–1512, 2006. Disponível em: <ibi/6qtX3pFwXQZ3r59YD9/K2rym>. Acesso em: 07 nov. 2021.

HIERA, M. D.; LIMA JÚNIOR, A. F.; ZANELLA, M. E. Tendência da precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/54207/38779>>. Acesso em: 12 jan.2021.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: **Summary for policymakers**. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf>. Acesso em: 12 nov.2021.

JAIN, S. K.; KUMAR, V. Trend analysis of rainfall and temperature data for India. **Current Science**, v. 102, n. 1, 2012. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/24080385>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

KUMAR, V., JAIN, S.K., SINGH, Y. Analysis of long term precipitation trends in India. **Hydrological Sciences Journal**. v. 55, p. 484–496, 2010. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2010.481373>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

LOPES, J. R. F.; SILVA, D. F. Aplicação do teste de mann-kendall para análise de tendência pluviométrica no estado do Ceará. **Revista de Geografia (UFPE)**. Recife, v. 30, n. 3, p. 192-208, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228970/23379>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 215-226, 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281421718_Tendencias_hidrologicas_da_bacia_do_rio_Paraiba_do_Sul>. Acesso em: 12 mar. 2021.

MATZENAUER, R.; RADIN, B. MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p. 331-341, 2017. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/25510>> Acesso em: 13 jan. 2021.

MATZENAUER R.; VIANA D. R.; BUENO A. C.; MALUF J. R. T.; CARPENEDO C. B. Regime anual e estacional de chuvas no Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju-SE, 2007. Anais do..., Aracajú-SE, 2007. Disponível em: <<http://sbagro.org/files/biblioteca/2703.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2021.

MONDAL, A.; KHARED, KUNDU, S. Spatial and temporal analysis of rainfall and temperature trend of India. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 122, n. 1, p. 143-158, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00704-014-1283-z>>. Acesso em: 24 jan. 2021.

MORAES, B.C., COSTA, J.M.N., COSTA, A.C.L., COSTA, M.H. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 35, p. 207-214, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/aa/a/3hcq8XkDqNqvqYFqTxkCXgB/?format=pdf&lang=>>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

OGUNRINDE, T. A.; SHOLA, A. A. Analysis of recent changes in rainfall and drought indices in Nigeria, 1981–2015. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/336022031_Analysis_of_recent_changes_in_rainfall_and_drought_indices_in_Nigeria_1981-2015>. Acesso em: 12 mar. 2021.

PANDEY, B.K; KHARE, D. Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada river basin (India). **Global and Planetary Change**. v.161, p 172-82. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818117303065>>. Acesso em: 13 dez. 2020.

PANDA, A.; SAHU, N. Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India. **Atmospheric Science Letters**, v. 20, 2019. Disponível em: <<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asl.932>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

RADIN, B.; MATZENAUER, R.; MELO, R. W.; WREGE, M. S.; STEINMENTZ, S. Quantificação e distribuição sazonal da precipitação pluvial nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.10, n. 4, p.1161-1169, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168521/1/Silvio-Steinmetz-2017-M.Wrege-RBGF-Quantificacao.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

RAHMAN, M.A., M. BEGUM. Application of nonparametric test for trend detection of rainfall in the largest island of Bangladesh. – **ARPN Journal of Earth Science**, 2, pp. 40–44, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/331222086_Application_of_non_parametric_test_for_trend_detection_of_rainfall_in_the_largest_Island_of_Bangladesh/citations>. Acesso em: 15 abr. 2021.

RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; SANTO, C. M. E.; GAN, M. A. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. **International Journal Climatology**, v. 36, p. 291–302, 2016. Disponível em: < <https://DOI: 10.1002/joc.4345>>. Acesso em: 05 nov. 2021.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, 2013. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/gbC9CdGtsxkxxNbR9HCbjzg/?lang=pt>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, p. 1379– 1389, 1968. Disponível em: < <https://www.jstor.org/stable/2285891>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, p. 1394–1411, 2015. Disponível em: <<http://doi:10.1017/S0021859615000313>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

SILVA, E. R. A. C.; GALVINCIO, J. D.; NASCIMENTO, K. R. P.; SANTANA, S. H. C.; SOUZA, W. M.; COSTA, V. S O. Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. Disponível em: < <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/53956/34784>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

SILVA, E. A.; MANDÚ, T. B. Variabilidade da intensidade da precipitação no período chuvoso em recife-pe. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1., 2020, (campo ausente ou vazio: 'conferencelocation') **Anais... 2020**. DVD. ISBN 9786588243190. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/icobicet2020/263893-variabilidade-da-intensidade-da-precipitacao-no-periodo-chuvoso-em-recife-pe/>>. Acesso em: 24 ago. 2021.

SILVA, J. C. et al. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.67–72, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/JL6H3T6GY3KrCzPTFjYgTqr/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

SILVA, C. M. S. Ciclo diário e semidiário de precipitação na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, 2013. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/3BKZcpFzVZTdGHcjPNVN3Xw/?lang=pt>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

SANTOS, T. V. S.; FREITAS, L. A; GONÇALVES, R. D.; CHANG, H. K.

Teste de Mann-Kendall aplicado à dados hidrológicos – Desempenho dos filtros TFPW e CV2 na análise de tendências. **Ciência e Natura**, v.42, 2020.

Disponível em:

<<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/41928/html>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

TAXAK, A. K.; MURUMKAR, A. R.; ARYA, D.S. Long term spatial and temporal rainfall trends and homogeneity analysis in Wainganga basin, Central India.

Weather and Climate Extremes, v. 4, p. 50-61, 2014. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094714000292>>.

Acesso em: 14 mar. 2021.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Genève : World Meteorological Organization, 1966. 54 p.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência aplicação**. 3 ed. Porto Alegre, RS:

FAURGS - Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 942 p.

PRABHAKAR, A. K. SINGH, K. K., LOHANI, A. K. CHANDNIHA, S. K.

Assessment of regional-level long-term gridded rainfall variability over the

Odisha State of India. **Applied Water Science**, v. 9, p. 1-15, 2019. Disponível

em: <<https://doi.org/10.1007/s13201-019-0975-z>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

TABARI, H.; TALAEI, H. P. Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. **Global and Planetary Change**, v. 79, 2011.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921818111001202>>.

Acesso em: 14 abr. 2020.

YUE S, WANG C. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. **Water Resources**

Management, v. 18, n. 3, p. 201-218, 2004. Disponível em: <

<https://link.springer.com/article/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>>.

Acesso em: 07 abr. 2021.

4 ESTUDO II- ANÁLISE MULTIVARIADA DOS ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS NO RIO GRANDE DO SUL ENTRE 1980 E 2019

RESUMO

A precipitação é uma das principais variáveis meteorológicas que afetam o desenvolvimento das culturas agrícolas, altamente dependente de fatores geográficos e atmosféricos em escalas locais e globais, com alta variabilidade espaço-temporal. A economia do Rio Grande do Sul (RS) está direta ou indiretamente ligada à agricultura, o que torna as chuvas um elemento fundamental. Assim, este trabalho objetivou realizar um delineamento de regiões homogêneas de precipitação com base nos métodos multivariados de análise de componentes principais (ACP) e agrupamento hierárquico ascendente, pelo método de Ward. Utilizou-se um conjunto de dados de 1980 a 2019, de 23 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul. As maiores médias anuais de precipitação pluvial ocorreram na porção norte do RS, sendo as maiores encontradas em outubro, abril, setembro, janeiro e fevereiro, enquanto que as menores médias ocorreram em agosto, dezembro junho e julho. Além disso, duas componentes principais (CPs) conseguiram explicar 70,2% da variabilidade total dos dados e o agrupamento hierárquico de Ward identificou três grupos de precipitação homogênea, com maior similaridade de comportamento dos grupos 1 e 3. Entre os grupos, a maior média pluvial no período analisado, foi a do grupo 2.

Palavras-chave: Pluviometria; Estatística multivariada; Agrupamento hierárquico.

ABSTRACT

Rainfall is one of the main meteorological variables affecting agricultural crop development, highly dependent on geographic and atmospheric factors at local and global scales, with high spatial-temporal variability. The economy in Rio Grande do Sul (RS) is directly or indirectly linked to agriculture, which makes rainfall a fundamental element. Thus, this work aimed to project homogeneous precipitation regions based on multivariate methods of principal component analysis (PCA) and ascending hierarchical clustering, using the Ward method. A data set from 1980 to 2019 from 23 meteorological stations in the Rio Grande do Sul was used. The highest annual rainfall averages occurred in the northern portion of RS, with the highest being found in October, April, September, January, and February, while the lowest averages occurred in August, December, June, and July. In addition, two principal components (CPs) explained 70.2% of the total variability of the data, and Ward's hierarchical clustering identified three groups of homogeneous precipitation, with more significant similarity in behavior of groups 1 and 3. Among the groups, the most significant mean rainfall in the period analyzed was group 2.

Keywords: Pluviometry; Multivariate statistics; Hierarchical grouping.

4.1 INTRODUÇÃO

Estudos avaliando séries de dados de precipitação diários, mensais, anuais e sazonais, através de estatísticas descritivas são frequentes em avaliações de tempo e clima. Sobre isso, Misha e Singh (2010) dizem que são necessárias análises mais complexas para uma compreensão das condições climáticas em escala local devido a heterogeneidade na variabilidade hidrometeorológica. Essas análises são imprescindíveis em locais onde a economia está diretamente relacionada à agricultura, como o Rio Grande do Sul (RS), segundo maior Estado produtor de soja do Brasil (IBGE, 2017), que figura na segunda posição mundial (IBGE, 2017). Além disso, de acordo com Sentelhas et al. (2015) a maior parte da soja produzida no RS é cultivada em regime de sequeiro, com dependência total da precipitação pluvial.

Devido à grande variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviais, muitos pesquisadores sugerem ser conveniente dividir essa contínua espacialidade em áreas homogêneas (ESPINOSA, PORTELA e RODRIGUES 2019), embora isso possa ser difícil quando se usa dados de muitas estações meteorológicas (Preisendorfer e Mobley, 1988), sendo necessário a aplicação de algumas técnicas de redução, classificação e filtragem das informações de precipitações observadas.

Nesse sentido, Espinosa, Portela e Rodrigues (2019), salientam que as análises de componentes principais (PCA) e de agrupamento hierárquico e não hierárquico podem ajudar a divulgar regularidades de alto nível que permitem a generalização sobre áreas com base em um parâmetro espacial e temporalmente variável. Segundo Hu et al. (2020), a PCA consiste em transformar uma amostra original em combinações lineares, a partir da estrutura

de variância e covariância, a fim de reduzir o conjunto de dados, identificando novas variáveis significantes. As componentes principais (CPs) são as novas variáveis não correlacionadas entre si, capazes de reterem o máximo possível de informações e explicarem a maior parte da variabilidade total, sem que as informações relevantes dos dados brutos sejam perdidas.

O método hierárquico caracteriza-se por classificar e agrupar as variáveis conforme a sua similaridade, considerando todas as medidas em cada elemento, enquanto o agrupamento pelo método não-hierárquico é obtido a partir de uma predefinição do número de grupos. Em ambos, a classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento e de um critério matemático de agrupamento (WILKS, 2019).

Estudos recentes têm sido desenvolvidos a partir da PCA e técnicas de agrupamentos em diversos locais do mundo, avaliando tempo e clima. Arellano-Lara e Escalante-Sandoval (2014) realizaram um delineamento de regiões homogêneas de precipitação com base nos métodos multivariados de PCA e agrupamento hierárquico ascendente, no noroeste do México. O método hierárquico de Ward e a PCA foram utilizados por Shirin e Thomas (2016) para a regionalização de zonas homogêneas de precipitação mensal no estado de Kerala, na Índia e por Praene et al. (2019) para propor um zoneamento climático para Madagascar, buscando identificar possíveis padrões de confortos térmicos em casas bioclimáticas. Espinosa, Portela e Rodrigues (2019) e Elsanabary, Khafagy e Abdellah, 2021 (2021) verificaram a variabilidade espaço-temporal das secas na Ilha da Madeira e a variabilidade espacial e temporal da precipitação sazonal na Península do Sinai, no Egito, respectivamente, a partir das mesmas técnicas estatísticas.

Entretanto, a abordagem dessas técnicas estatísticas em estudos de variáveis climatológicas no Brasil ainda é escassa. Usando PCA e o agrupamento hierárquico com o método de Ward, Guedes et al. (2010) realizaram a regionalização da precipitação pluviométrica no estado do Piauí. Prado et al. (2016) utilizaram essa mesma técnica para avaliar o comportamento das variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia, no estado de Minas Gerais, entre 2008 e 2012. Gebert et al. (2018) identificaram os padrões pluviométricos e determinaram regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná utilizando análise de PCA, agrupamento e geoestatística. Machado et al. (2010) avaliaram o comportamento da precipitação e da temperatura em treze estações meteorológicas por estações do ano, no Rio Grande do Sul, baseados na análise de agrupamento.

Diante da necessidade de compreensão do padrão temporal e espacial e a magnitude da precipitação pluviométrica, em nível regional, definiu-se como objetivo deste trabalho a determinação de regiões homogêneas de precipitação pluvial através da utilização de PCA e do método de agrupamento hierárquico de Ward. Para isso, foram obtidos dados mensais de chuvas de vinte e três postos pluviométricos, no período de 1980 e 2019.

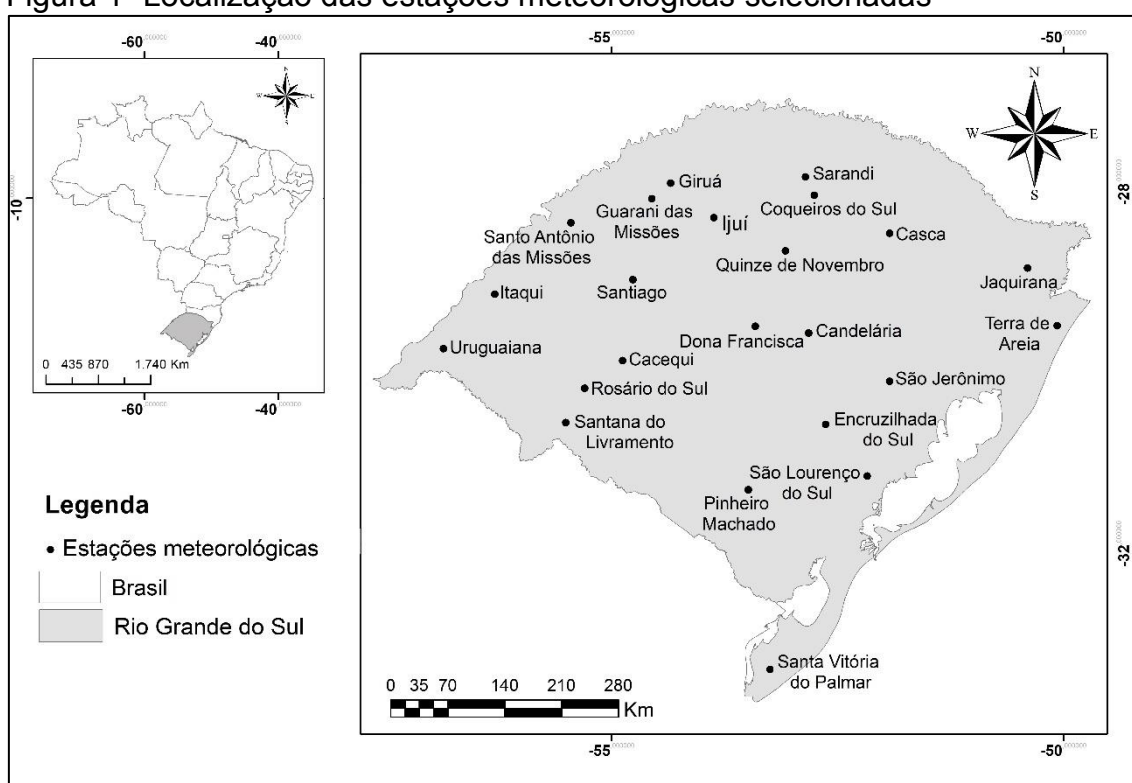
4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 LOCALIZAÇÃO E DETALHAMENTO DOS PONTOS SELECIONADOS PARA O ESTUDO

O trabalho contemplou o estado do RS, localizado entre as latitudes de 27°05'-33°45'S e longitudes de 49°43'-57°39'O. Utilizou-se uma série histórica

(janeiro de 1980 até dezembro de 2019) de dados mensais de precipitação pluvial, de 23 estações meteorológicas (Figura 1) disponíveis no sítio online da Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados foram selecionados conforme à completude, presença de erros, consistência e cobertura espacial. Os dados faltantes foram preenchidos pelo método da ponderação regional (BERTONI E TUCCI, 2001) e depois disso, cada série teve sua consistência analisada pelo método da dupla massa (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 1966).

Figura 1- Localização das estações meteorológicas selecionadas



Após o processo de preparação dos dados das estações pluviométricas (seleção dos postos pluviométricos, substituição das falhas e análise de consistência de dados), obteve-se um conjunto de dados completos mensais para todos os pontos analisados. Considerou-se, para fins de análise, a chuva média mensal e anual de janeiro a dezembro de um período de quarenta anos (1980 a 2019) para todas as estações.

4.2.2 METODOLOGIA

Primeiramente foi feita a análise descritiva estatística preliminar com o objetivo de caracterizar os dados e identificar possíveis discrepâncias. Foram obtidas: médias, medianas, mínimas, máximas, desvios padrões, coeficientes de variações, primeiros e terceiros quartis, das séries de dados de médias mensais de cada estação pluviométrica.

4.2.2.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

seguiu-se a análise fatorial de componentes principais, caracterizado por ser um método que possibilita uma simplificação estrutural do número de dados, reduzindo o número de variáveis originais com relação entre si em um número pequeno de novas variáveis correlacionadas linearmente e capazes de explicar a maior parte da variância total dos dados, com a perda mínima de informações dos dados originais (LOPES et al., 2019). A redução do número de variáveis, chamados também de fatores ou componentes, maximiza o poder explicativo do conjunto de todas as variáveis, a partir da classificação dos autovetores associados aos autovalores da matriz de correlação (WILKS, 2019).

Em n observações de uma matriz existem m variáveis, então a matriz de dados normalizada (média= zero e variância= um) de precipitação pluvial mensal é apresentada como $m \times n$, e denominada de Z , a partir da qual é obtida a matriz de correlação R :

$$R = \frac{1}{n-1} Z \cdot Z^t$$

Logo, R sendo uma matriz de correlação simétrica e positiva de dimensão $(p \times p)$, será diagonalizável por uma matriz ortogonal A , de mudança de base denominada de matriz dos autovetores e obtida por:

$$D = A^{-1} \cdot R \cdot A = A^t \cdot R \cdot A$$

Pela ortogonalidade dos autovetores, a inversa de A (A^{-1}) é igual a sua transposta A^t . Logo, as CPs U_1, U_2, \dots, U_p são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores A^t e a matriz de observações X padronizada, ou seja:

$$U = A^t \cdot X$$

Assim, cada linha de U corresponde a uma CP, que formam as séries temporais associadas aos autovalores. Então, os valores de X do i -ésimo local podem ser estimados por:

$$X_i = a_{j1}U_1 + a_{j2}U_2 + \dots + a_{jk}U_k + a_{jp}U_p$$

As variáveis de U_p correspondem ao conjunto de autovetores X mais significativos em ordem decrescente dos autovalores mais significativos. A solução da equação é única e considera a variação total presente no conjunto das variáveis iniciais, sendo que a CP1 explica o máximo possível da variância dos dados iniciais, enquanto a CP2 explica o máximo possível da variância ainda

não explicada e assim sucessivamente, até a última CPm que contribui com a menor parcela de explicação da variância total dos dados iniciais (WILKS, 2019).

Para tanto, a partir da matriz de correlações (meses) calculou-se os autovalores, os respectivos autovetores e a variância explicada para cada CP. O método utilizado para a determinação do número de CPs retidos foi o subjetivo, por inferência. A partir disso, o biplot foi gerado para uma melhor compreensão das relações as variáveis com as CPs.

4.2.2.2 Análise de Agrupamento: Método de Ward

Com o intuito de verificar a similaridade das informações entre as estações e delimitar regiões com o mesmo padrão de precipitação, optou-se pelo método de agrupamento hierárquico, proposto por Ward (1963). Esse método utiliza a distância euclidiana para medir a similaridade ou dissimilaridade, ou seja, a distância entre os indivíduos (WILKS, 2019), fornecendo um dendrograma com a classificação de classes homogêneas.

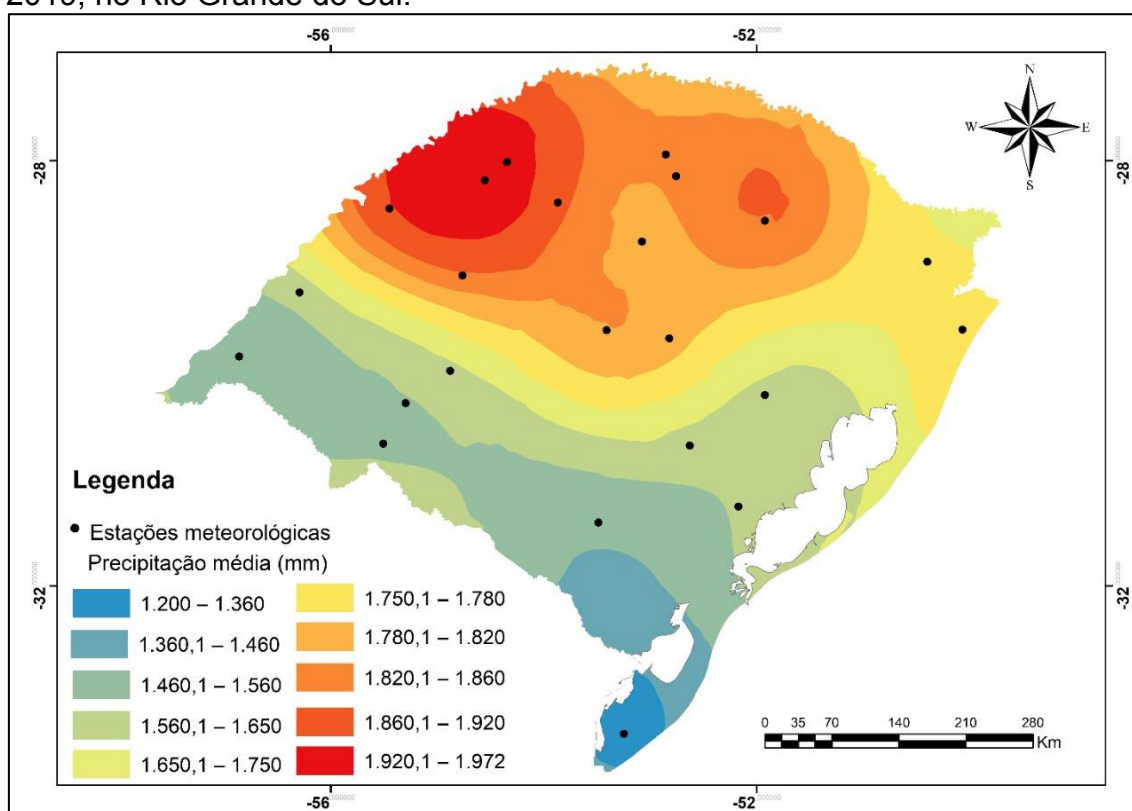
Para a realização dos mapas de variabilidade média das chuvas e do agrupamento obtidos foram utilizadas técnicas geoestatísticas, onde o método de interpolação adotado foi o “Inverse Distance Weighted” (IDW). A tabulação e processamento dos dados foram realizados através do Microsoft® Excel® 2016 e XLSTAT®.

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

As precipitações pluviiais mensais médias no período analisado estiveram entre 1972 mm em Giruá e 1223 mm em Santa Vitória no Palmar. Pela espacialização na figura 2, observa-se maiores precipitações médias na porção norte do estado, que diminuem ao longo do território gaúcho, chegando as menores médias nas regiões mais ao sul. Verifica-se, ainda, que em algumas regiões da metade norte, o volume de chuvas ultrapassa 1900 mm anuais, como ocorre em parte do Planalto Meridional. Na metade sul, ao contrário, algumas regiões apresentam volumes anuais médios inferiores a 1500 mm, como por exemplo no sul do estado, caracterizando, portanto, uma variabilidade espacial significativa na distribuição da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul.

Figura 2- Espacialização da precipitação pluvial média no período de 1980-2019, no Rio Grande do Sul.



A estatística básica dos dados médios mensais obtidos em cada posto pluviométrico é mostrada na Tabela 1. As maiores médias foram encontradas nos meses de outubro, abril, setembro, janeiro e fevereiro. Menores médias de precipitação foram obtidas nos meses de agosto, dezembro julho e julho. Esses dados indicam que os maiores volumes médios de chuvas se concentram na estação da primavera. Radin et al (2017) analisaram a distribuição da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul, no período de 1961 a 2010 e também verificaram que os maiores volumes médios de chuvas ocorrem na primavera.

Tabela 1- Estatística básica dos dados médios mensais de todos os pontos

| Variável | Média (mm) | Mín (mm) | Máx (mm) | Q1 (mm) | Q3 (mm) | DP (mm) | CV (mm) |
|------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Janeiro | 138 | 91 | 190 | 116 | 158 | 27 | 20 |
| Fevereiro | 134 | 89 | 196 | 121 | 143 | 22 | 20 |
| Março | 126 | 72 | 180 | 113 | 143 | 24 | 20 |
| Abril | 149 | 105 | 192 | 132 | 167 | 25 | 20 |
| Mai | 128 | 80 | 153 | 115 | 143 | 19 | 10 |
| Junho | 123 | 84 | 156 | 113 | 138 | 19 | 10 |
| Julho | 124 | 65 | 171 | 111 | 142 | 29 | 20 |
| Agosto | 104 | 62 | 145 | 89 | 121 | 24 | 20 |
| Setembro | 147 | 88 | 197 | 142 | 159 | 28 | 20 |
| Outubro | 174 | 99 | 216 | 141 | 207 | 35 | 20 |
| Novembro | 129 | 72 | 169 | 118 | 142 | 23 | 20 |
| Dezembro | 120 | 75 | 160 | 106 | 136 | 24 | 20 |

Média- média; Mín-valor mínimo; Max- valor máximo; DP - desvio padrão; Q1-primeiro quartil; Q3- terceiro quartil; CV- coeficiente de variação (%)

Os coeficientes de variação obtidos variaram de 10 a 20%, indicando média dispersão entre os dados (GOMES, 1985). Os menores desvios padrões foram evidenciados nos meses de junho e julho, apontando dados mais homogêneos, na média dos anos avaliados.

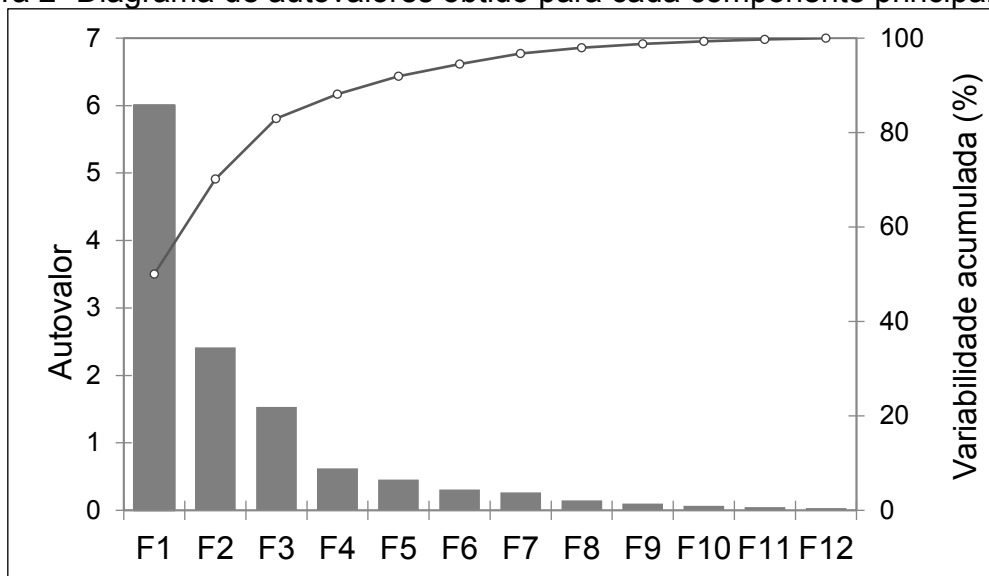
4.3.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

O diagrama de autovalores (*scree plot*) é apresentado na Figura 2 e reflete a qualidade da projeção dos dados analisados, com N dimensões, aqui representadas pelos meses do ano, para um número menor de dimensões. Pode-se verificar que o primeiro autovalor é igual a 6,0 e representa 50,1% da variabilidade total e o segundo autovalor é de 2,4, correspondendo a 20,1% da variabilidade um total de 70,2% de representatividade da variabilidade acumulada.

Logo, é possível confirmar que o CP1 possui a maior variabilidade e é altamente explicativo e que o decréscimo desses autovalores se intensifica na barra relacionada ao CP2, sendo um indício de que os componentes a serem retidos serão os dois primeiros. De acordo com Rencher (2002), pelo menos 70,0% da variância total devem ser explicadas pelos primeiros e o segundo CPs. Guedes et al. (2010). em estudo similar para o estado do Pará, verificaram que dois CPs foram suficientes para explicar 88% da variância total dos dados. Enquanto, Santos et al. (2014), observaram que três CPs explicaram 92,91% da variância total dos dados mensais de precipitação para o mesmo estado. Prado et al. (2016) em uma análise mensal dos elementos atmosféricos: temperatura, umidade relativa do ar, amplitude térmica e precipitação, no período compreendido entre os anos de 2008 a 2012, para Uberlândia, Minas Gerais. Os autores verificaram que apenas uma CP conseguiu explicar 70,59% da variação total e se caracterizou por representar meses úmidos, chuvosos e com pouca variação de temperatura.

O gráfico de Ogiva, o qual está relacionado à variabilidade cumulativa (%), reafirma tal decisão, ao atingir uma variabilidade maior que 70% já na segunda componente. A identificação da separação de onde ocorre uma inclinação mais rasa para a direita, do *scree plot* não envolve inferência estatística quantitativa, segundo Wilks (2019).

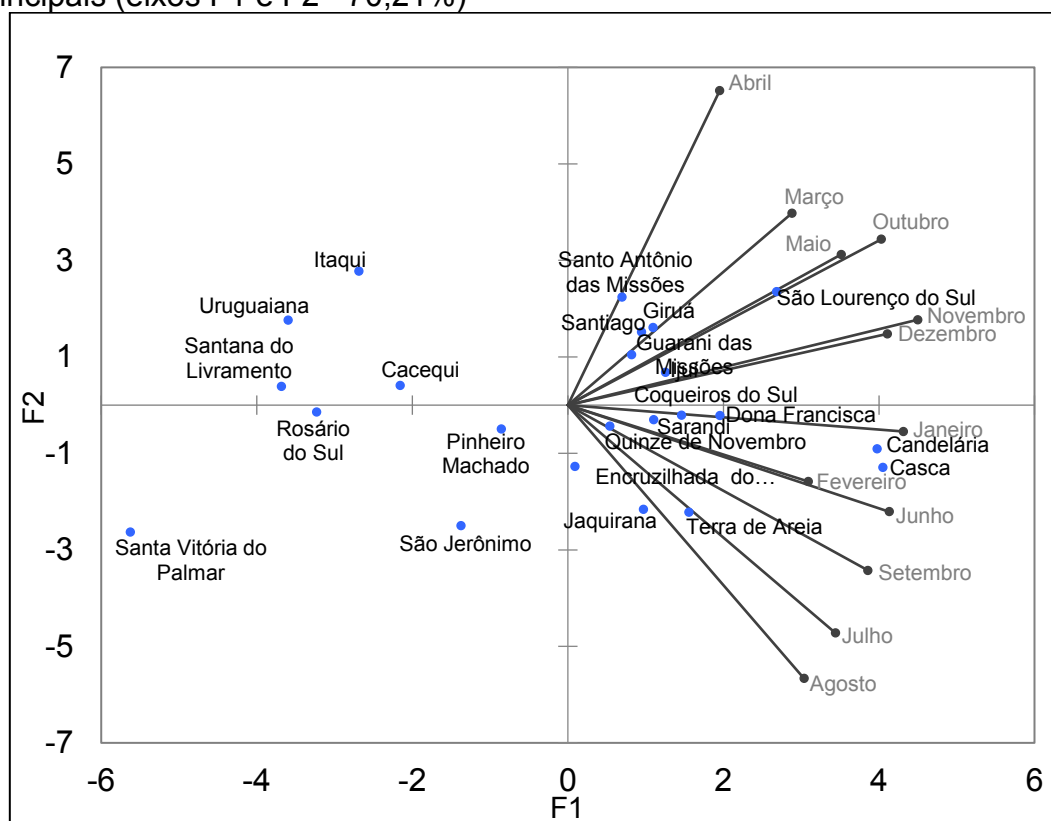
Figura 2- Diagrama de autovalores obtido para cada componente principal



A relação entre a precipitação média dos meses do ano e as estações meteorológicas, através de análises biplot, é apresentada na Figura 3. A CP1 está representada pelo eixo das abscissas e a CP 2 pelo eixo das ordenadas. Logo, as estações pluviométricas que estão nos primeiro e quarto quadrantes são os mais associados ao primeiro componente, ou seja, que apresentam coordenada positiva em relação ao eixo das abscissas, enquanto os postos pluviométricos localizados no segundo e terceiro quadrantes são os menos associados a esse componente. Quanto mais próximos as estações meteorológicas estão dos vetores representando os meses, maior é a associação do mês com o ponto.

Os postos pluviométricos que mais apresentaram relação com a CP1 foram Casca, Candelária, São Lourenço do Sul e Dona Francisca. Enquanto as estações meteorológicas de Santa Vitória do Palmar, Santana do Livramento, Uruguaiana e Rosário do Sul estiveram menos relacionadas com a CP1. As amostras de Itaqui, Santo Antônio das Missões, São Lourenço do Sul e Uruguaiana tiveram maior relação com a CP2 e Santa Vitória do Palmar, São Jerônimo, Jaquirana e Terra de Areia menor relação com a CP2, respectivamente

Figura 3- Representação gráfica da relação de variáveis com os componentes principais (eixos F1 e F2= 70,21%)

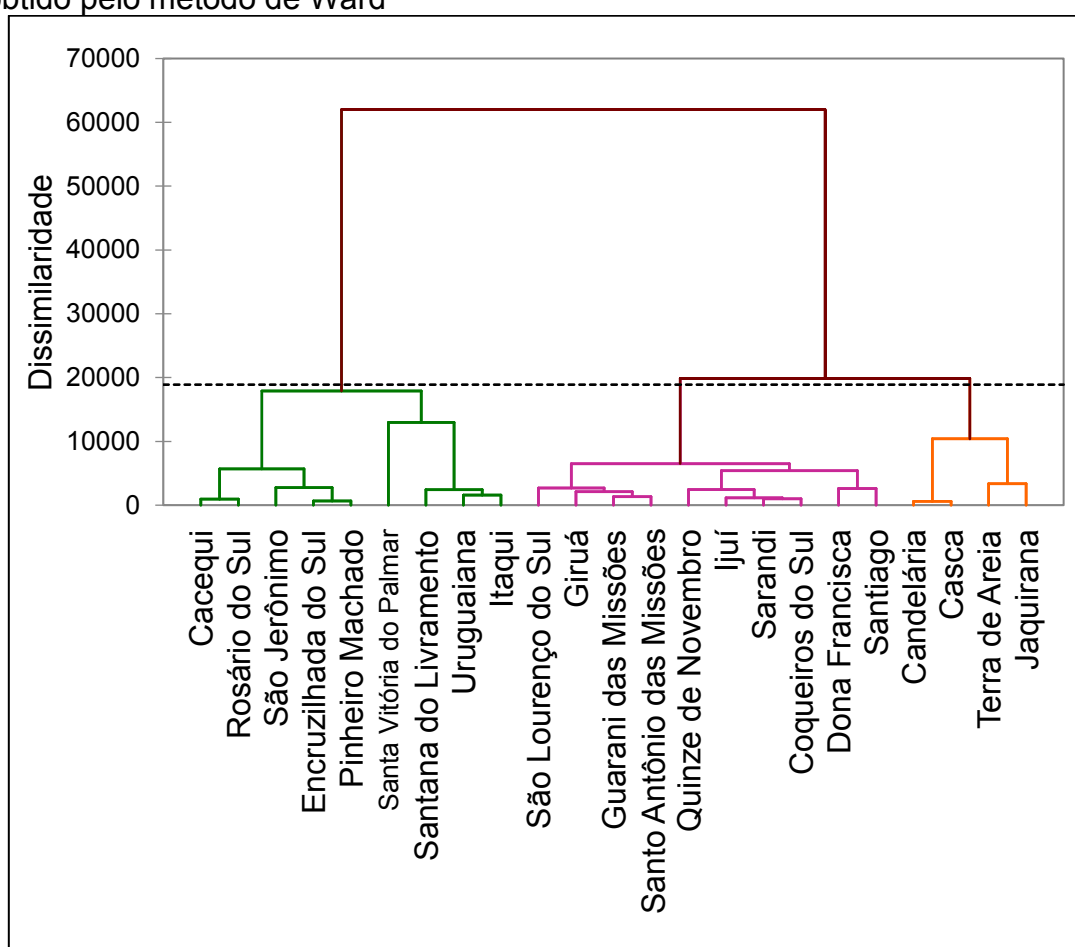


4.3.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO: MÉTODO DE WARD

A identificação de regiões homogêneas foi objetivo de diversos trabalhos. Simões, Silva e Araújo (2018) definiram um zoneamento com 10 agrupamentos para o estado da Bahia, considerando a principal característica climática da localidade, utilizando os parâmetros das altas variabilidades das precipitações, e as grandezas estatísticas das distribuições espacial e temporal das chuvas. Guedes et al. (2010) utilizaram o método Ward de agrupamento para identificar quatro grupos de precipitação homogênea de 27 estações pluviométricas do estado do Piauí utilizando dados de precipitação mensal e altitude. Shirin e Thomas (2016) em um trabalho semelhante para Kerala, na Índia, encontraram sete agrupamentos homogêneos para médias mensais de 63 estações meteorológicas.

O dendrograma do agrupamento, apresentado na Figura 4, foi realizado pelo mesmo método (Ward), através da medida da distância euclidiana de cada uma das variáveis. Verifica-se que três grupos foram formados (em cores diferentes) representando as regiões homogêneas de precipitação. O primeiro grupo (verde) é formado por nove estações meteorológicas, o segundo agrupamento (roxo) é formado por dez postos pluviométricos e o terceiro (cor de laranja) por três estações meteorológicas.

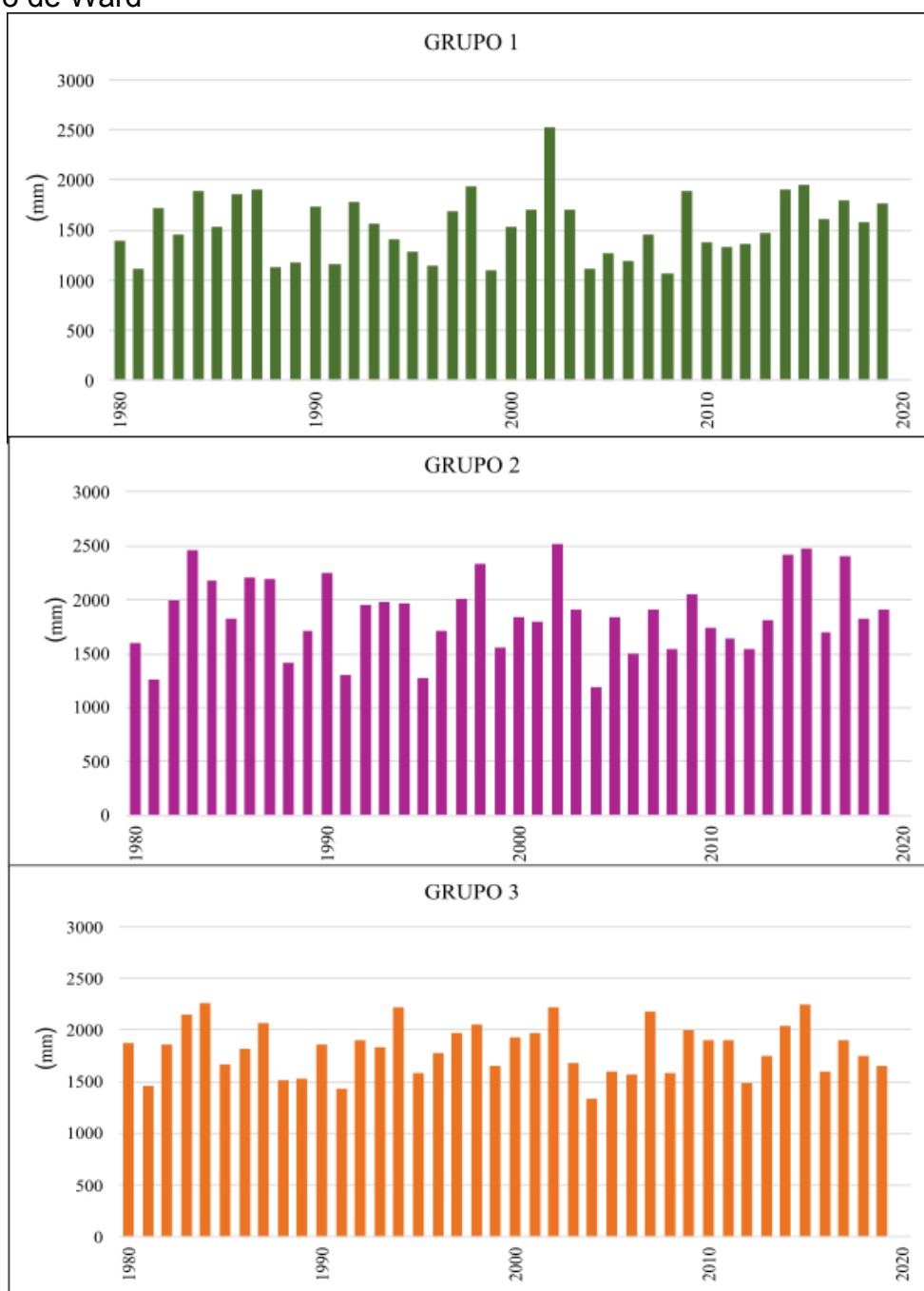
Figura 4- Dendrograma das regiões de precipitação pluviométrica homogênea obtido pelo método de Ward



Arellano-Lara e Escalante-Sandoval (2014) salientam que uma vez alcançada a homogeneidade e definidas as regiões, é necessário mostrar os efeitos dessa análise regional. Para esse propósito, estimativas locais de precipitação média anual e mensal foram geradas para cada um dos

agrupamentos obtidos. Na Figura 5 observa-se as médias anuais dos grupos de precipitações homogêneas obtidas. Apesar do padrão similar no comportamento, os grupos 2 e 3 apresentam médias maiores e semelhantes (1850 mm e 1827 mm, respectivamente), enquanto que o grupo 1 apresenta uma média de 1553 mm.

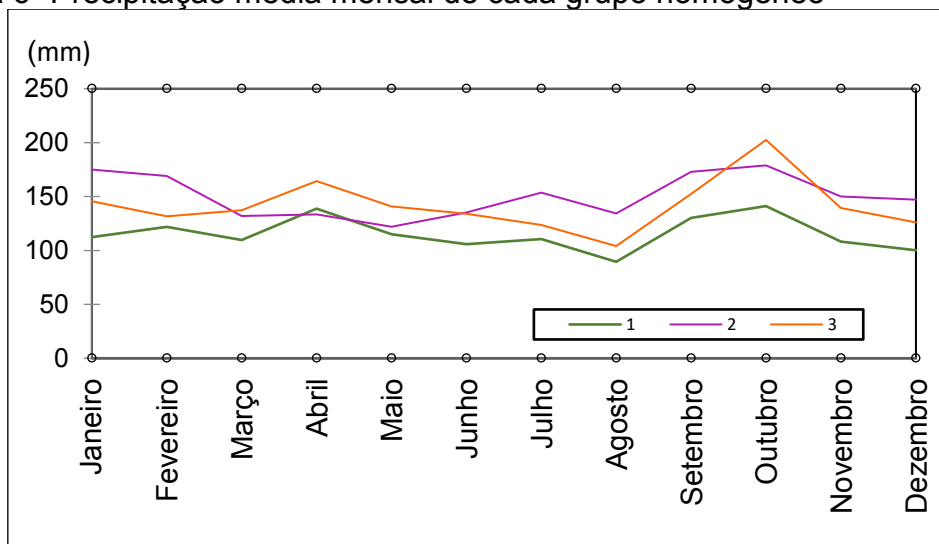
Figura 5- Precipitação média anual acumulada em cada grupo obtido pelo método de Ward



As médias mensais acumuladas de precipitação pluviométrica de cada grupo homogêneo são apresentadas na Figura 6. Verifica-se que há um aumento nas precipitações nos meses de setembro e outubro em todos os agrupamentos e uma similaridade entre a configuração mensal da precipitação nos grupos 1 e 3, com comportamento diferente apenas no mês de fevereiro e nas intensidades, mas com as maiores médias de precipitação sempre no grupo 3.

Além disso, no grupo 1, as médias mensais foram, na maioria das vezes, menores, mantendo um padrão de menores valores de precipitação, se comparado com os outros dois grupos. O grupo 2 apresenta médias mensais mais altas na maioria dos meses, em relação aos demais grupos, com exceção do mês de abril, quando a média do grupo 2 é menor que a dos outros grupos. O grupo 3 caracteriza-se por apresentar maiores médias no outono (março a maio) e outubro e um comportamento intermediário nos valores das médias mensais, em comparação com os grupos 1 e 2.

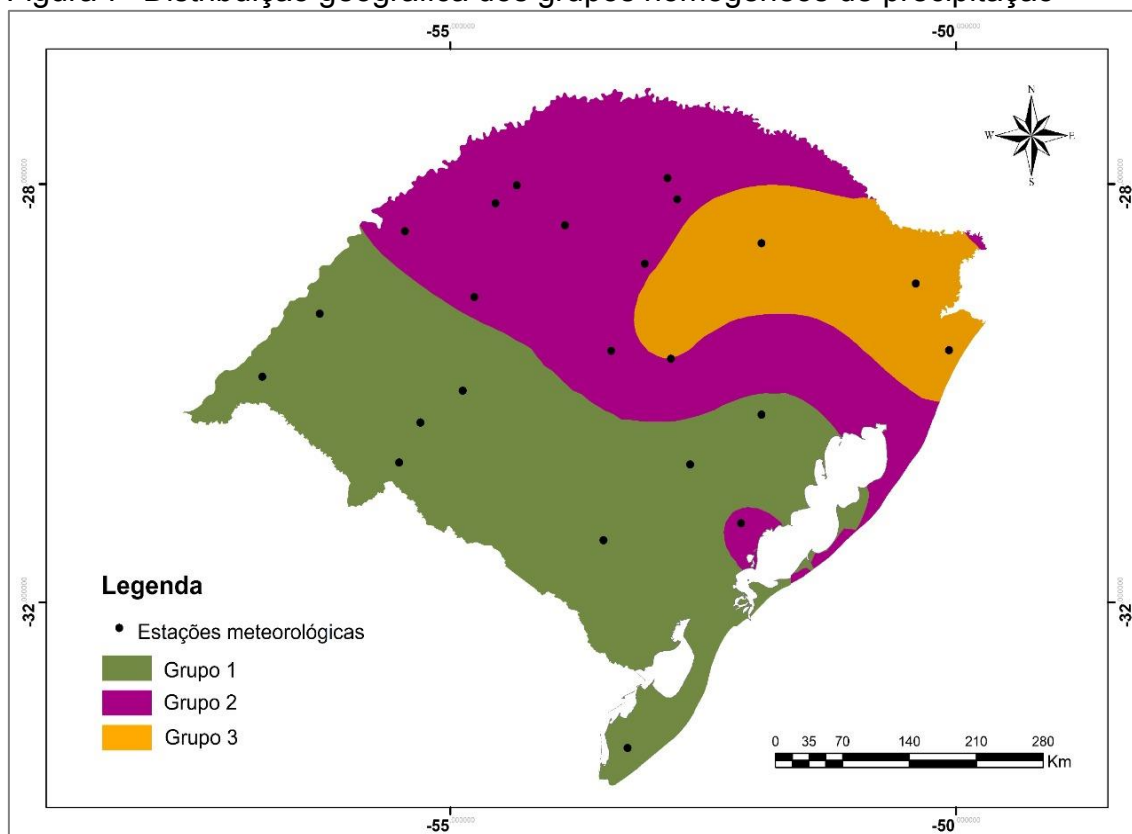
Figura 6- Precipitação média mensal de cada grupo homogêneo



A figura 7 apresenta a interpolação da distribuição geográfica dos grupos de precipitação homogênea no Rio Grande do Sul, obtidos pelo método de Ward, onde observa-se o grupo 1 (verde) localizado mais ao sul e oeste do estado, o

grupo 2 (roxo), com maior parte localizada na porção norte do estado e na porção mais ao nordeste está o grupo 3 (em cor de laranja).

Figura 7- Distribuição geográfica dos grupos homogêneos de precipitação



Observa-se que, em geral, os agrupamentos, realizados com as precipitações mensais de cada estação meteorológica, seguem uma tendência espacial similar à distribuição realizada com médias anuais. Um comportamento diferente é evidenciado no posto pluviométrico de São Lourenço do Sul, agrupado junto a postos mais ao norte, que apresentam médias anuais maiores.

4.4 CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou realizar um delineamento de regiões homogêneas de precipitação com base nos métodos multivariados de análise de componentes principais (ACP) e agrupamento hierárquico, pelo método de Ward, com dados de 23 estações meteorológicas, no Rio Grande do Sul. A quantificação dos dados médios obtidos para cada mês em cada ponto amostrado, permite dizer que existe diferença entre o regime de chuva do sul e norte do Rio Grande do Sul, oscilando entre 1223 mm até 1971 mm, com a precipitação média máxima ocorrendo em outubro e a mínima em agosto.

Quanto a PCA, verificou-se que as duas primeiras CPSs foram capazes de explicar 70,2% da variabilidade total dos dados. O agrupamento, realizado pelo método de Ward, agrupou as estações meteorológicas em três regiões homogêneas de precipitação, com médias variando entre 1553 mm, no grupo 1, até 1850 mm, no grupo 2. O grupo 3 apresentou uma média intermediária: 1827 mm.

As médias dos valores de precipitação nas diferentes regiões fisiográficas não apresentaram uma característica de regime pluviométrico bem definido, ou seja, não há como definir com clareza as estações chuvosas e secas, evidenciando que, na região sul, a distribuição da precipitação média mensal mostra-se regular, oscilando entre 116 e 153 mm, para os meses de novembro e setembro, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ARELLANO-LARA, F.; ESCALANTE-SANDOVAL, C. A. Multivariate delineation of rainfall homogeneous regions for estimating quantiles of maximum daily rainfall: a case study of northwestern Mexico. **Atmosfera**, v. 27, n. 1, p. 47-60, 2014. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71100-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71100-2)>. Acesso em: 12 jun. 2021.

BERTONI J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p.177-241.
ELSANABARY, M. H.; KHAFAGY, H. E.; ABDELLAH, S. E. Rainfall variation over Sinai Peninsula and its teleconnection to El Niño sea surface temperature,

Journal of Arid Environments, v.193, 2021. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196321001476>>.
Acesso em: 18 jun. 2021.

ESPINOSA, L. A.; PORTELA, M. M.; RODRIGUES, R. Spatio-temporal variability of droughts over past 80 years in Madeira Island. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 25, 2019. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581818303677?via%3Dihub>>. Acesso em: 30 mai 2021.

GUEDES, R.V.S.; LIMA, F.J.L.; AMANAJÁS, J.C.; BRAGA, C.C. Análise em componentes principais da precipitação pluvial no estado do Piauí e agrupamento pelo método de Ward. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 218-233, 2010. Disponível em:
<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228794>>.
Acesso em: 02 jun. 2021.

HU, Y.; YAO, L.; HU, Q. Evaluation of Water Resources Carrying Capacity in Jiangxi Province Based on Principal Component Analysis. **Journal of Coastal Research**, v. 105, p. 147, 2020. Disponível em:
<<https://meridian.allenpress.com/jcr/article-abstract/105/SI/147/450189/Evaluation-of-Water-Resources-Carrying-Capacity-in?redirectedFrom=fulltext>>. Acesso em: 01 jun 2021.

GEBERT, D. M. P.; KIST, A.; VIRGENS FILHO, J. S. DAS. Determinação de regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná por meio de técnicas de análise multivariada e geoestatística. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p.374-388, 2018. Disponível em:
<<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60406>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

GOMES, P. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba-SP. ESALQ/USP, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE-. Censo Agropecuário 2017. Disponível em:
<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76518>. Acesso em: 03 de out. de 2021.

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P. E FERREIRA, F. E. P. Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. *Nativa*, **Sinop**, v. 7, n. 1, p. 77-83, 2019. Disponível:
<<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6243>>.
Acesso em: 01 jun 2021.

MACHADO, J. P.; BLANK, D. M. P.; ZONTA, J. H.; JUSTINO, F. B. Comportamento da precipitação e da temperatura no Rio Grande do Sul baseado na análise de agrupamento. **Revista Ciência e Natura**, v. 32, n. 1, p. 49-63, 2010. Disponível em:

< <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546357004>>. Acesso em: 14 ago. 2021.

MISHRA, A. M.; SINGH, V. P. "A review of drought concepts" **Journal of Hydrology**, v. 391, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169410004257>>. Acesso em: 01 jun 2021.

PRADO, B.Q. M.; FERNANDES, H. R.; ARAÚJO, T. G.; ALVARENGA, L.; BIASE, N. G. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21 n.2, p. 407-413, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/7X3f79MpyfKs5FMv3pWwQbT/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

PRAENE, J. P.; MALET-DAMOUR, B. RADANIELINA, M. H.; LUDOVIC, F. RIVIÈRE, G. GIS-based approach to identify climatic zoning: A hierarchical clustering on principal component analysis, **Building and Environment**, v. 164, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319305402>>. Acesso em: 28 mai. 2021.

PREISENDORFER, R. W.; MOBLEY, C. D. Developments in atmospheric science. In: **Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography**, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo., 1988.

RADIN, B.; SCHONHOFEN, A.; TAZZO, I.F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 19-26, 2017. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26263>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

RENCHER, A. C. **Métodos de análise multivariada**. 2. ed. John Wiley & Sons, 2002.

SANTOS, E. F. N.; SOUSA, I. N. Análise estatística multivariada da precipitação do estado de Sergipe através dos fatores e agrupamentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/58267/36587>>. Acesso em: 17 mai. 2021.

SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; CAMPOS, T. L. O. B.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, A. P. P. Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará por meio de Análise em Componentes Principais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 3, p. 615- 627, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233178>>. Acesso em: 17 jul. 2021.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of**

Agricultural Science, v. 153, p. 1394–1411, 2015. Disponível em:
<<http://doi:10.1017/S0021859615000313>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

SHIRIN, A. H. S.; THOMAS, R. Regionalization of rainfall in Kerala State.
Procedia Technology, n 24, p.15 – 22, 2016. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/305109843_Regionalization_of_Rainfall_in_Kerala_State>. Acesso em: 28 mai. 2021.

SIMÕES, Y. S.; SILVA, E. H. B. C; ARAÚJO, E. A. Rainfall zoning of Bahia State, Brazil: an update proposal. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, 2018. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/nTv4gy8P3FgWY4QTNkzYxzD/?lang=en>>. Acesso em: 12 jul. 2021.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY- USGS- Double-Mass Curves.
Manual of Hydrology: Part I. General Surface-Water Techniques, by James K. Searcy and Clayton H. Hardison, United States Department of the Interior, 1966.

WARD, J. H. Hierarchical grouping of optimize an objective function. **Journal American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 4. Ed. Elsevier. 2019. 840 p.

5 ESTUDO III- AVALIAÇÃO DE SECA NO RIO GRANDE DO SUL UTILIZADO O ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO E O ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA

RESUMO

Devido ao seu efeito severo na produtividade das safras e ao efeito indireto no emprego, bem como na renda per capita, a seca agrícola tornou-se uma preocupação primordial em todo o mundo. A ocorrência de seca é um fenômeno climático que não pode ser eliminado e afeta fortemente a agricultura. No entanto, seus efeitos podem ser reduzidos se informações espaço-temporais forem avaliadas e estiverem disponíveis para os tomadores de decisão. Nesse sentido, a previsão da seca por meio do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) aprovado pela Organização Meteorológica Mundial é considerada uma ferramenta fundamental para apoiar iniciativas socioeconômicas e mitigar efetivamente o risco climático, bem como a aplicação de outros índices de chuva. Usando os dados de precipitação de 23 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, o SPI em escala anual foi aplicado para analisar o índice de seca anual de 40 anos (1980-2019). Além disso, foram obtidos, comparados e correlacionados, o SPI e o Índice de Anomalia de Chuva (RAI) em escala mensal. O Índice de Anomalia de Rendimento (YAI) também foi obtido para a cultura da soja, principal cultura do estado gaúcho. Os resultados mostram que a frequência da seca diminuiu e a intensidade da seca aumentou no início do século XXI, mas as áreas de seca diminuíram; o principal tipo de seca é a seca leve a média, raramente ocorrendo seca severa, sendo que o ano de 2004 apresentou seca severa. A safra de 2005 apresentou o menor YAI para a soja de sequeiro, resultado da seca de 2004. A correlação de Pearson para os dados observados, e os índices estimados (SPI e RAI) apresentaram correlações positivas, com tendências semelhantes entre si, ou seja, quando há aumento em um, o outro aumenta também. Entretanto, o teste de valores extremos mostra a variação dos dados extremos nos dois modelos, em períodos diferentes, apontando que são, estatisticamente, diferentes.

Palavras-chave: Índice de Precipitação Padronizado; Índice de Anomalia de Chuva; Pearson.

ABSTRACT

Due to its severe effect on crop productivity and indirect impact on employment and per capita income, agricultural drought has become a significant concern worldwide. Drought is mainly a climatic phenomenon that cannot be eliminated and strongly affects agriculture. However, drought effects can be reduced if space-temporal information is evaluated and made available to decision-makers. In this sense, drought forecasting through the Standardized Precipitation Index (SPI) approved by the World Meteorological Organization is considered a fundamental tool to support socioeconomic initiatives and effectively mitigate climate risk and the application of other rainfall indices. Using rainfall data from 23 meteorological stations in the Rio Grande do Sul, the annual scale SPI was applied to analyze the 40-year yearly drought index (1980-2019). Furthermore, the SPI and the Rain Anomaly Index (RAI) were obtained, compared, and correlated on a monthly scale. We also got the Yield Anomaly Index (YAI) for the soybean crop, the main crop in the state of Rio Grande do Sul. Results show that drought frequency decreased and drought intensity increased in the early 21st century, but drought areas decreased; the primary type of drought is mild to the medium deficit, rarely occurring severe drought, and the year 2004 had a severe drought. The 2005 crop had the lowest YAI for dryland soybeans due to the 2004 drought. Pearson's correlation for the observed data and the estimated indices (SPI and RAI) showed positive correlations, with similar trends between them, i.e., when there is an increase in one, the other increases as well. However, the extreme values test shows the variation of extreme data in the two models in different periods, indicating that they are statistically different.

Keywords: Standardized Precipitation Index; Rain Anomaly Index; Pearson.

5.1 INTRODUÇÃO

A precipitação é considerada uma condição normal, úmida e seca do clima. A seca é uma característica do clima que ocorre ocasionalmente. Por definição, a seca é um longo período de chuvas anormalmente baixas, especialmente aquelas que afetam gravemente o cultivo ou as condições de vida (SHAH, BHARADIYA E MANEKAR, 2015). Seu impacto sobre os humanos pode levar à perda de vidas, desnutrição como resultado da escassez de alimentos devido à quebra de safra, problemas de saúde e migração em massa, enquanto no ecossistema, pode causar danos significativos ao meio ambiente (OGUNRINDE, OLASEHINDE E OLOTU, 2020). Logo, desempenha um papel importante na economia de países e/ou regiões que possuem a economia baseada na agricultura e pecuária, como é o caso do estado do Rio Grande do Sul (RS), que tem o seu PIB (Produto Interno Bruto) diretamente influenciado pelo desempenho das safras agrícolas. O setor agropecuário, de forma geral, tem sido fortemente impactado pela variabilidade interanual dos elementos meteorológicos, principalmente pela precipitação pluvial, sobretudo, as estiagens, gerando resultados ruins em algumas safras e, conseqüentemente, impactando de forma negativa no Produto Interno Bruto (PIB) (BERLATO E FONTANA, 1999; CARGNIN et al., 2013).

De acordo com Cook et al. (2014), globalmente, espera-se que a precipitação aumente sob as condições de um clima mais quente, enquanto, que regionalmente, o aumento na precipitação está previsto para ocorrer principalmente por meio de eventos de precipitação intensa ou extrema. Nesse cenário, nos últimos anos, vários estudos têm observado a formação de chuvas mais intensa, por consequência, tempestades, e também ondas de calor, estiagens, secas e ondas de frio no RS (BERLATO E FONTANA, 2003; AMBOS et al., 2017). Sobre isso, Radin et al. (2017) salientam que muitas das consequências dessas adversidades meteorológicas podem ser minimizadas a partir do conhecimento do clima das diferentes regiões, com o propósito de auxiliar no planejamento das atividades agrícolas, como, por exemplo, a escolha das melhores épocas de semeadura a fim de ajustar o ciclo produtivo das culturas com as melhores condições climáticas.

As secas dependem dos sistemas meteorológicos que atuam na região, do relevo e dos fenômenos climáticos de grande escala que influenciam as variáveis que definem o comportamento e a circulação da atmosfera. Berlato e Fontana (2003) dizem que o Rio Grande do Sul é caracterizado por receber forte influência do El Niño Oscilação Sul (ENOS), que determina períodos de anomalias de precipitação, com baixa pluviosidade na fase fria do fenômeno, o “La Niña”, e maiores volumes de precipitação pluviométrica na fase quente, o “El Niño”.

Zia et al. (2021) dizem que mesmo que seja difícil explicar a interação das plantas com todos os processos associados ao rendimento da colheita, é certo que seus fatores determinantes são afetados pelo estresse hídrico. Nesse sentido, é muito importante investigar os mecanismos da seca para que haja um melhor planejamento, mitigação e minimização dos seus danos, nos mais diversos contextos.

Assim, alguns índices de monitoramento de seca têm sido propostos para descrever e comparar secas entre diferentes períodos de tempo e regiões com diferentes condições climáticas. Os índices de seca são conhecidos por caracterizar propriedades de seca, como: duração, frequência, magnitude/severidade e extensão espacial. No século XX, diversos índices de seca foram estabelecidos para a caracterização da seca. Dentre esses, o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) possui várias características que se diferenciam dos demais índices, por sua simplicidade e flexibilidade (SHAH, BHARADIYA E MANEKAR, 2015), baseado exclusivamente em dados de precipitação, já que requer apenas precipitação, a variável com dados mais disponíveis e com uma cobertura espacial e temporal muito mais precisa em todas as áreas terrestres do globo (VICENTE-SERRANO, 2006). O SPI foi recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) como um índice primário a ser adotado por todos os países do mundo (HAYES et al., 2011). Além disso, o SPI pode ser comparado espacial e temporalmente, se um processo de cálculo uniforme for implementado (RAZIEI, 2021).

O Índice de Precipitação Padronizado (SPI) foi desenvolvido por McKee et al. (1993) para quantificar o déficit de precipitação em diferentes escalas de

tempo, tornando-se adequado para caracterizar a seca de curto, longo prazo e sazonal de uma área ou região (OGUNRINDE, OLASEHINDE E OLOTU, 2020). Estudos, no mundo inteiro, utilizaram e utilizam o SPI para diferentes escalas (ZHANG E JIA, 2013; BELAYNEH et al., 2014, TIRIVAROMBO, OSUPILE E ELIASSON, 2018; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2021).

No Rio grande do Sul, Teixeira et al., (2013) realizaram um estudo utilizando o SPI e índice de Percentagem Normal (IPN) para o município de Bagé, para um total de 1164 meses. Quanto aos valores de SPI, 6,8% (79) foram classificados como eventos de seca severa e extrema e coincidiram com os anos de ocorrência do fenômeno "La Niña". Gross e Cassol (2015) analisaram o RAI para o Rio Grande do Sul, para o período de 1983 a 2012. Os resultados mostraram que a frequência de índices de anomalia de chuva negativos, considerando o número de meses de ocorrência foi maior no setor Sudoeste do Rio Grande do Sul, principalmente nas estações do verão, outono e inverno e na última década do período avaliado.

Embora seja bem menos utilizado, o RAI é tido como uma alternativa ao SPI, por exigir os mesmos tipos de dados e também considerar probabilidade de precipitação zero, mas ser de mais fácil aplicabilidade. Raziei (2021) fez uma comparação entre o SPI e RAI para o Irã e concluiu que há uma boa associação entre os dois índices, sobretudo, o RAI mostrou na maioria dos pontos, um teste com classificações menor do que o SPI, indicando seu maior desvio da distribuição normal. Dutta et al. (2015) salienta também que a obtenção do Índice de Anomalia de Rendimento (YAI) é uma técnica útil para identificar o desvio da produção de um determinado ano em relação à tendência de longo prazo e destaca-se como uma ferramenta importante nos estudos que avaliam índices de seca.

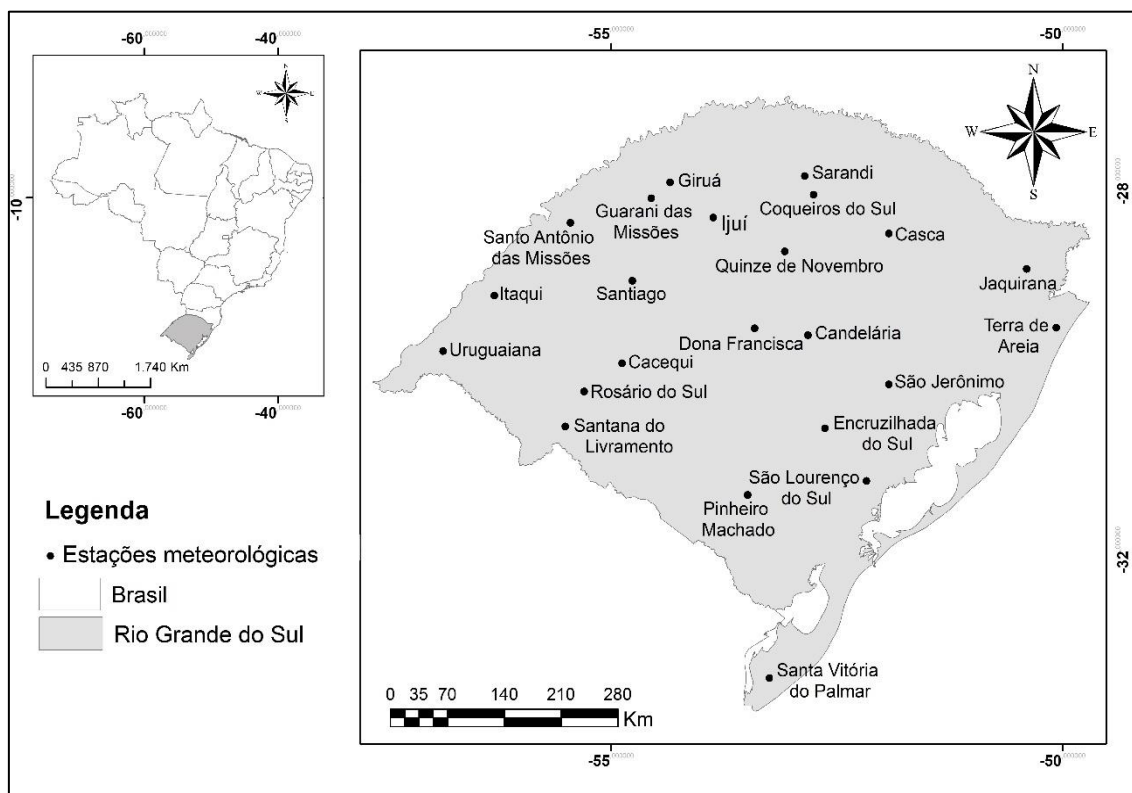
Diante da relevância do tema e da ausência de estudos em nível de estado, esse estudo objetivou avaliar os episódios de seca no Rio Grande do Sul a partir da aplicação do SPI em escalas anuais para 23 estações meteorológicas no estado e em escala anual e mensais para todo o estado e em comparação com o RAI na sua escala de aplicação (mensais) para os dados do Estado. Além disso, através de dados de produtividade de soja nos anos avaliados, obteve-se o YAI.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 DETALHAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste trabalho foram usados os totais mensais precipitados de 23 postos pluviométricos do Estado do Rio Grande do Sul, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), cujas séries apresentam longo período de registros (1980-2019) e estão espacialmente bem distribuídos, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1- Localização das estações meteorológicas selecionadas

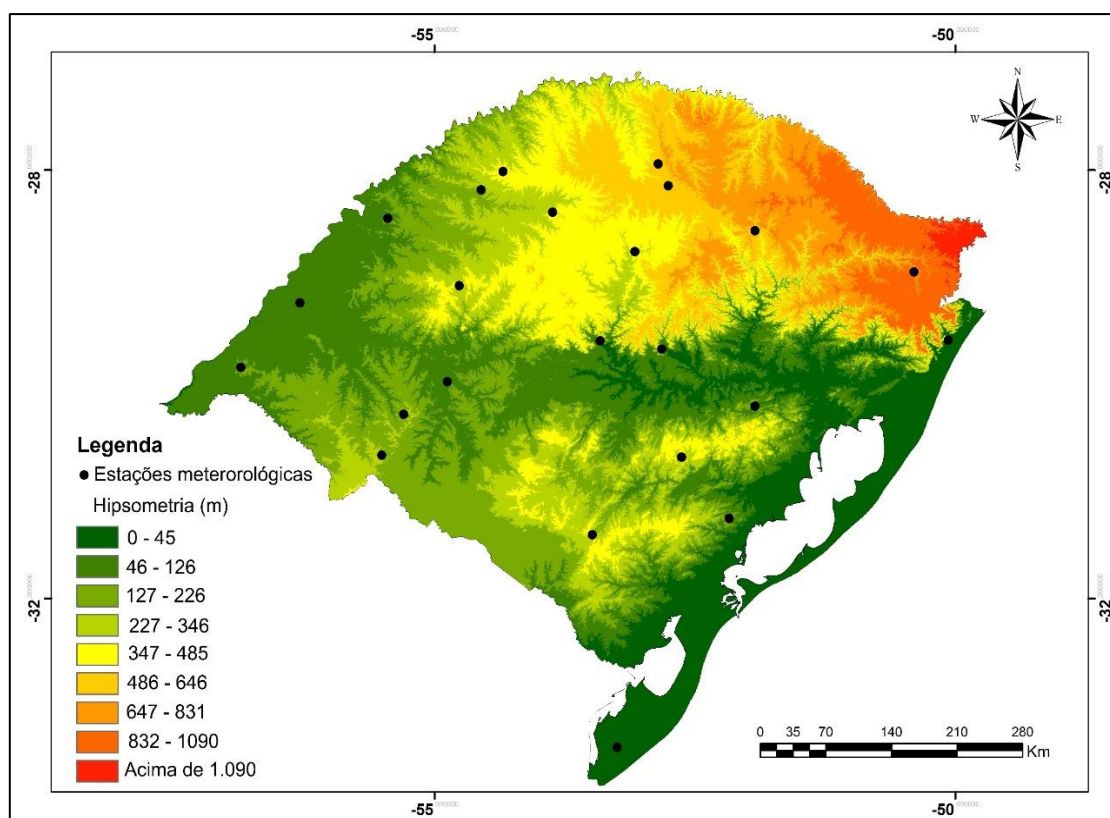


Os dados foram selecionados quanto à completude, presença de erros e consistência e, posteriormente, foram preenchidos pelo método da ponderação regional (TUCCI, 2001). A consistência dos dados, após o preenchimento de falhas, também foi verificada para todos os postos pluviométricos analisados,

segundo o método da dupla massa (TUCCI, 2001). A partir disso, foram obtidas as séries mensais de precipitação para cada estação meteorológica.

A partir disso, foram avaliadas altitudes de cada ponto e as médias anuais. A figura 2 apresenta as altitudes dos postos pluviométricos utilizados. Visualiza-se que a hipsometria varia de 13 metros em Terra de Areia até mais de 1.090 metros, em Jaquirana.

Figura 2- Mapa altimétrico com localização dos pontos escolhidos



5.2.2 METODOLOGIA

Primeiramente foi realizada a análise descritiva estatística preliminar para uma melhor compreensão na variação dos dados, a identificação de possíveis discrepâncias e o conhecimento de médias, medianas, mínimas, máximas, desvios padrões, coeficientes de variações, primeiros e terceiros quartis, das séries de dados de cada estação pluviométrica. A partir disso, seguiu-se a obtenção do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) em escala anual e

mensal, o Índice de Anomalia de Precipitação (RAI) em escala mensal e o Índice de Anomalia de Rendimento (YAI). As correlações entre os dados observados, e os estimados por SPI e RAI, em escalas mensais, foram correlacionados através do coeficiente de correlação linear de Pearson e o teste de Dixon foi realizado para avaliação de valores extremos.

5.2.2.1 Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

O SPI usa apenas dados de precipitação, requer uma série de dados mensais com no mínimo trinta anos e é determinado a partir das funções de densidade de probabilidade que descrevem as séries históricas de precipitação em diferentes escalas de tempo, sendo a distribuição Gama de dois parâmetros aplicada para estimar a probabilidade de ocorrência dos dados mensais de precipitação pluvial (DIKICI, 2020). A distribuição Gama é definida para uma variável aleatória contínua positiva x pela função de densidade de probabilidade.

Uma vez que os valores do SPI são obtidos a partir da distribuição normal padrão, a unidade do SPI pode ser “desvios padrão”, variando entre -2 e +2 e baseia-se em uma probabilidade padronizada de uma certa quantidade de precipitação. Um valor negativo indica uma condição de seca (abaixo do valor médio) e um valor positivo indica uma condição úmida (acima do valor médio). Um valor de zero representa condições normais (a mediana) neste caso. A tabela 1 resume a interpretação de condições úmidas (ou secas) usando os valores de SPI resultantes (MCKEE et al., 1993).

Tabela 1- Intervalos do Índice de Precipitação Padronizado

| INTERVALOS DO SPI | INTERPRETAÇÃO |
|--------------------------|-----------------------|
| >2 | Extremamente chuvoso |
| 1,5 a 1,99 | Muito chuvoso |
| 1,0 a 1,49 | Moderadamente chuvoso |
| -0,99 a +0,99 | Próximo ao normal |
| -1,0 a -1,49 | Moderadamente seco |
| -1,5 a -1,99 | Severamente seco |
| <-2 | Extremamente seco |

Fonte: McKee et al. (1993)

5.2.2.2 Índice de Anomalia de Precipitação (RAI)

Entre os diferentes indicadores de monitoramento de secas, a anomalia de chuva é o índice meteorológico de seca mais eficaz e simples (DUTTA et al., 2015). A equação 1 foi usada para o cálculo do RAI e a interpretação é mostrada na tabela 2.

$$RAI = \frac{R - \mu}{\sigma}$$

Onde:

RAI = Índice de anomalia de precipitação;

R = precipitação;

μ = precipitação média de longo prazo;

σ = Desvio Padrão.

Tabela 2- Intervalos do Índice de Anomalia de Precipitação

| INTERVALOS DO SPI | INTERPRETAÇÃO |
|-------------------|-----------------------|
| >0,3 | Extremamente chuvoso |
| 0,3 a -0,3 | Moderadamente chuvoso |
| -0,3 a -1,2 | Próximo ao normal |
| -1,2 a -2,1 | Moderadamente seco |
| -2,1 a -3,0 | Severamente seco |
| <-3,0 | Extremamente seco |

Fonte: Rooy (1965)

5.2.2.3 Índice de Anomalia de Rendimento (YAI)

É uma técnica útil para identificar o desvio da produção de um determinado ano em relação à tendência de longo prazo (DUTTA et al., 2015). As estatísticas de safras de soja, em situação de sequeiro (1980–2019), foram coletadas no site de Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Anomalias de rendimento dessas safras foram calculadas usando:

$$YAI = \frac{Y - \mu}{\sigma}$$

Onde:

YAI = Índice de anomalia de rendimento

Y = Rendimento da colheita

μ = Rendimento médio de longo prazo

σ = desvio padrão.

5.2.2.4 Teste de Dixon

O teste desenvolvido por Dixon (1950) é utilizado para a detecção de valores extremos, detectando a presença de *outliers* nos dados, avaliando as diferenças entre os valores máximos e mínimos e seus vizinhos, gerando uma razão a qual é atribuída uma certa distribuição.

5.2.2.5 Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre variáveis (MOORE, 2007), com variação de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis.

Kozak (2009) explica que, uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra e uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. Todavia, como valores extremos (0 ou 1) dificilmente são encontrados na prática é importante discutir como os pesquisadores podem interpretar a magnitude dos coeficientes. Cohen (1988) definem que valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Já Dancey e Reidy (2005) apontam para uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte).

A tabulação e à análise estatística dos dados foram realizadas através dos programas Microsoft Excel 2016, XLstat e SigmaPlot 12.5. Os mapas foram confeccionados com o software ArcGis 10.0.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A estatística descritiva das séries temporais mensais de cada posto pluviométrico e do Rio Grande do Sul, no período de 1980 a 2019, é apresentada na tabela 3. Foram calculadas, além das mínimas e máximas, as medidas de tendência central: média e mediana, as medidas de dispersão: desvio padrão e coeficiente de variação e o primeiro e terceiro quartis. A média pluviométrica anual do Estado foi de 1723 mm, com mínima de 1118 mm e máxima de 2482 mm.

É possível observar a que as médias anuais de chuvas variaram de 1223 em Santa Vitória do Palmar até 1972 mm em Giruá. Além disso, verifica-se que as maiores médias anuais pluviométricas (acima de 1900 mm) localizaram-se na porção noroeste do Estado e nas maiores altitudes, sendo apresentadas pelas estações meteorológicas localizadas nos municípios de Giruá, Guarani das Missões, Santo Antônio das Missões, Casca. As menores médias anuais foram encontradas nos pontos localizados em Santa Vitória do Palmar, Pinheiro Machado e Uruguaiana (abaixo de 1500 mm) Litoral, Serra do Sudeste e Campanha, com variação de 836 mm e 989 mm. As maiores mínimas também foram encontradas nas regiões com as maiores médias anuais.

Tabela 3- Estatística descritiva das séries anuais

| Estação meteorológica | Média (mm) | Md (mm) | Mín (mm) | Máx (mm) | Q1 (mm) | Q3 (mm) | DP (mm) | CV (mm) |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Santa Vitória do Palmar | 1223 | 1284 | 713 | 1932 | 1125 | 1442 | 276 | 21 |
| Terra de Areia | 1828 | 1859 | 940 | 2798 | 1598 | 2067 | 384 | 20 |
| Cacequi | 1574 | 1624 | 1070 | 2535 | 1369 | 1910 | 354 | 22 |
| Dona Francisca | 1881 | 1920 | 1059 | 2783 | 1651 | 2147 | 388 | 20 |
| São Jerônimo | 1553 | 1581 | 1062 | 2152 | 1381 | 1773 | 280 | 18 |
| São Lourenço do Sul | 1569 | 1619 | 949 | 2409 | 1384 | 1844 | 356 | 22 |
| Encruzilhada do Sul | 1635 | 1596 | 930 | 2611 | 1265 | 1840 | 371 | 23 |
| Pinheiro Machado | 1451 | 1523 | 869 | 2769 | 1294 | 1773 | 403 | 26 |
| Rosário do Sul | 1577 | 1594 | 949 | 2559 | 1321 | 1857 | 358 | 22 |
| Santana do Livramento | 1547 | 1512 | 808 | 2471 | 1237 | 1767 | 362 | 24 |
| Uruguaiana | 1466 | 1442 | 577 | 2159 | 1110 | 1731 | 399 | 27 |
| Guarani das Missões | 1961 | 1875 | 1039 | 2676 | 1558 | 2136 | 420 | 22 |
| Itaqui | 1590 | 1611 | 1025 | 2696 | 1369 | 1774 | 372 | 23 |
| Santiago | 1878 | 1866 | 1039 | 2753 | 1518 | 2104 | 432 | 23 |
| Santo Antônio das Missões | 1945 | 1942 | 1197 | 2761 | 1681 | 2211 | 425 | 22 |
| Giruá | 1972 | 1931 | 969 | 3021 | 1641 | 2158 | 443 | 23 |
| Sarandi | 1859 | 1896 | 1234 | 2829 | 1639 | 2135 | 395 | 21 |
| Coqueiros do Sul | 1847 | 1896 | 1241 | 2559 | 1702 | 2187 | 368 | 19 |
| Ijuí | 1883 | 1897 | 1085 | 2747 | 1667 | 2171 | 418 | 22 |
| Quinze de Novembro | 1709 | 1723 | 991 | 2571 | 1524 | 1932 | 354 | 20 |
| Candelária | 1847 | 1909 | 1069 | 3001 | 1616 | 2152 | 410 | 21 |
| Jaquirana | 1675 | 1664 | 1091 | 2256 | 1488 | 1818 | 268 | 16 |
| Casca | 1923 | 1927 | 1356 | 2494 | 1663 | 2152 | 326 | 17 |
| RS | 1723 | 1713 | 1118 | 2481 | 1552 | 1930 | 288 | 17 |

Média- média; Md- mediana; Mín-valor mínimo; Max- valor máximo; DP- desvio padrão; Q1- primeiro quartil; Q3- terceiro quartil; CV- coeficiente de variação (%)

Os menores desvios padrões foram encontrados nas estações meteorológicas de Santa Vitória do Palmar, Jaquirana e São Jerônimo (todos abaixo de 300 mm), indicando que essas amostras são mais homogêneas, com valores condensados mais próximos à média enquanto os maiores desvios padrões (acima de 400 mm) foram verificados nas amostras localizadas em Pinheiro Machado, Candelária, Ijuí, Guarani das Missões, Santo Antônio das Missões, Santiago e Giruá, apontando um padrão menos homogêneo dos dados,

que nas demais estações meteorológicas. Um desvio padrão de 288 mm foi encontrado para o Rio Grande do Sul.

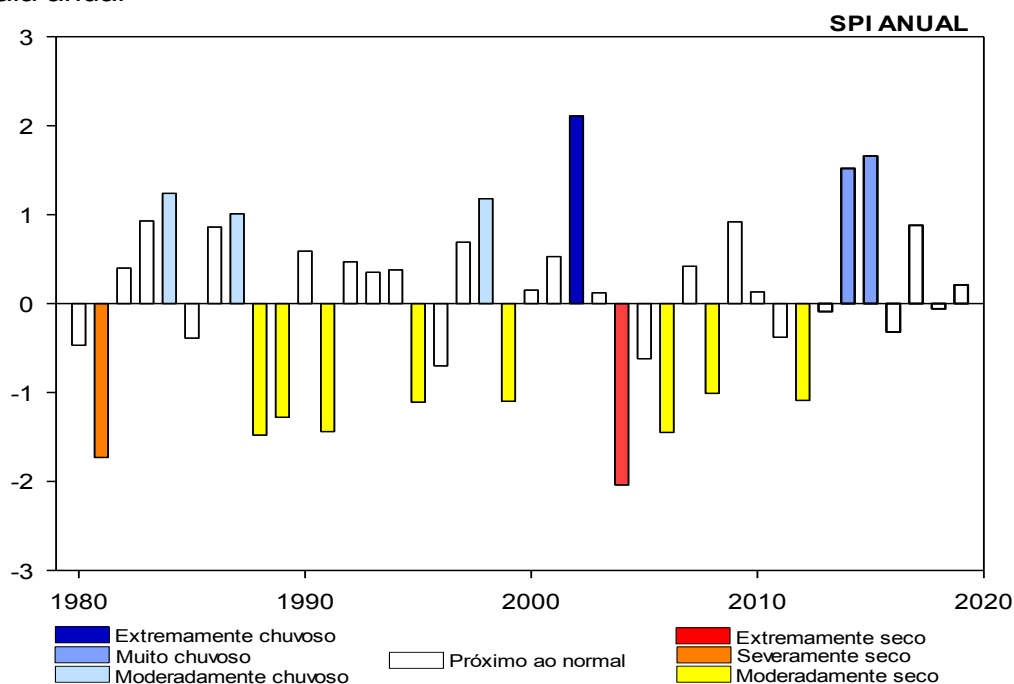
A variabilidade do coeficiente de variação nas séries anuais individuais foi de 16 % a 27 %, interpretados a partir das condições estabelecidas por Gomes (1985), em que coeficientes de variação menores que 10% indicam baixa dispersão entre os dados, logo, uma amostra homogênea, coeficientes de variação entre 10 e 20% indicam média dispersão entre os dados e coeficientes de variação maiores que 20%, dados heterogêneos, ou seja, alta dispersão entre os dados.

Os menores valores de coeficiente de variação (<20%) foram encontrados em Jaquirana (16%), Casca (17%), São Jerônimo (18%) e Coqueiros do Sul (19%), indicando séries homogêneas. Todas as demais regiões apresentaram coeficiente de variação com alta dispersão (>20%) A média de dados obtida para a avaliação geral do Rio Grande do Sul, que apresentou o coeficiente de variação de 165%, indicando média dispersão e homogeneidade e média dispersão.

5.3.2 ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO (SPI)

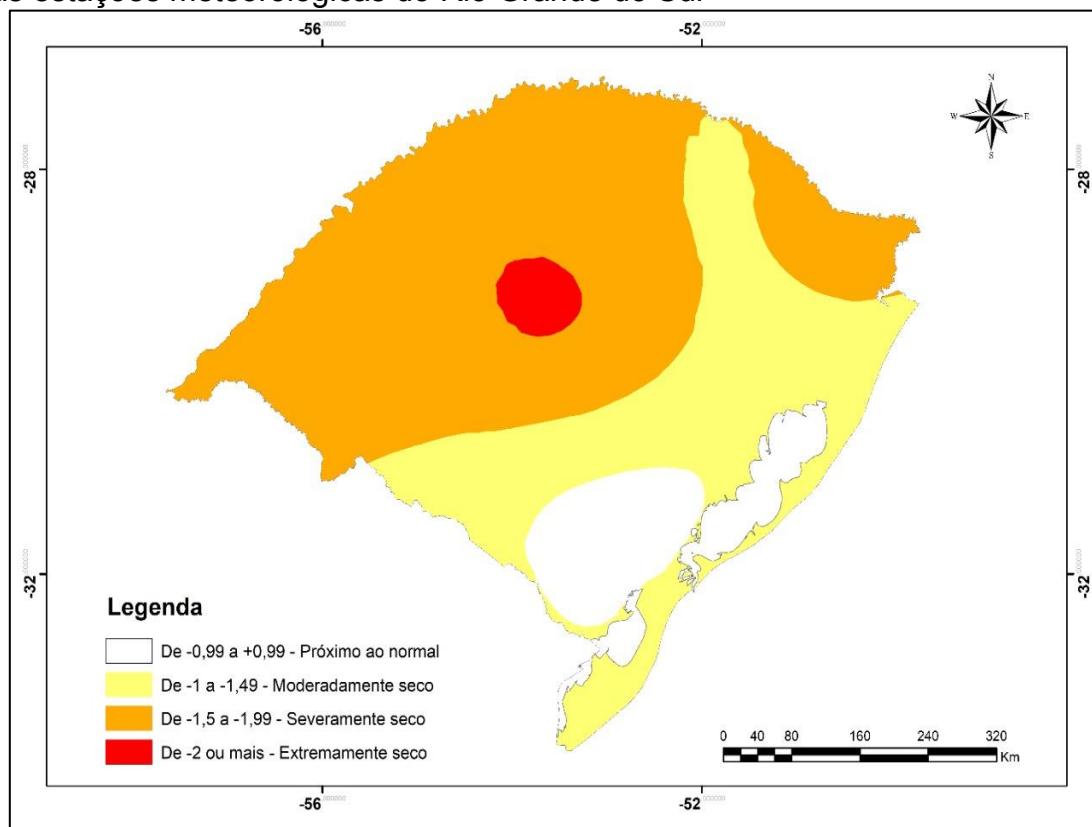
O SPI, em escala anual, foi gerado para o Rio Grande do Sul (Figura 3). Pode-se visualizar que dos 40 anos analisados, 24 apresentaram precipitação próxima ao normal, 8 anos apresentaram precipitação moderadamente secos e 3 anos, classificaram-se como moderadamente chuvosos. O ano de 1981 foi classificado como severamente seco e os anos de 2014 e 2015 como muito chuvosos. Os anos de 2002 e 2004 foram classificados, respectivamente, como extremamente chuvoso e extremamente seco. Segundo o Serviço de Administração Oceânica e Atmosférica (NOAA) dos Estados Unidos da América (EUA) (2021), os anos de 2002, 2014 e 2015 tiveram ocorrência de El Niño,

Figura 3- Índice de Precipitação Padronizado para o Rio Grande do Sul, em escala anual



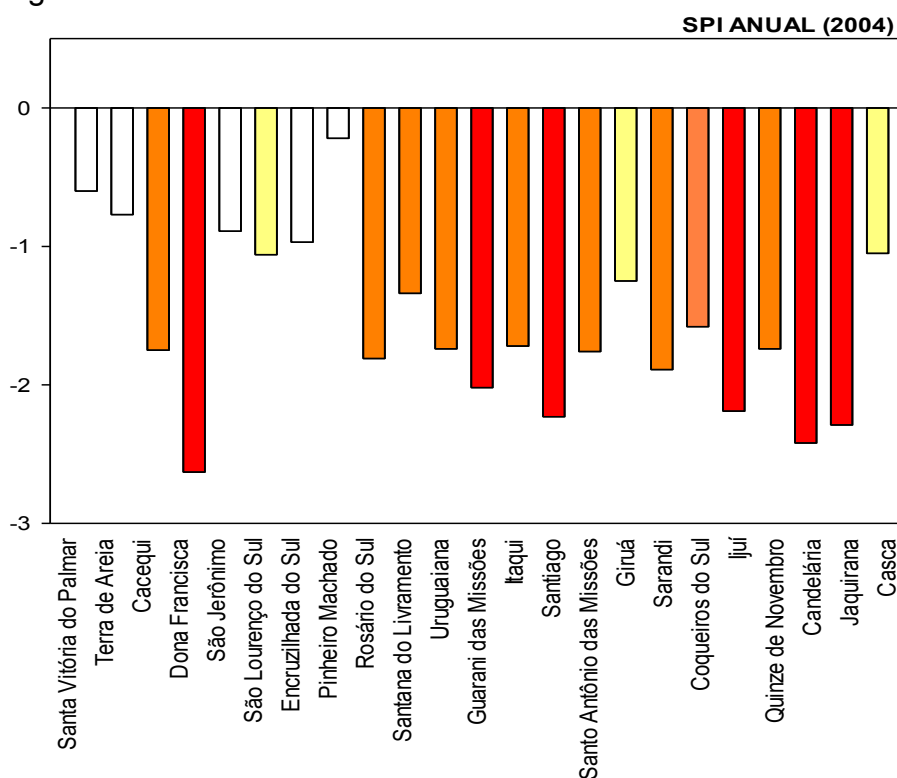
A partir disso, foram gerados os SPI anuais de todas as estações meteorológicas amostradas, para o período de 1980 e 2019. A ênfase de análise dar-se á nos anos classificados como extremamente seco e chuvoso e severamente seco e chuvoso, no SPI anual do Rio Grande do Sul. A figura 4 mostra a espacialização do SPI para o ano de 2004 classificado como extremamente seco, no índice anual gerado para todo o Estado. Nesse ano, todas as estações meteorológicas apresentaram classificação variando de próxima ao normal (quatro pontos) até extremamente seca (seis pontos), nove postos pluviométricos apresentaram classificação severamente seca e quatro como moderadamente secos.

Figura 4- Espacialização dos índices de Precipitação Padronizados para todas as estações meteorológicas do Rio Grande do Sul



A figura 5 apresenta o gráfico com os índices correspondentes a cada um dos postos pluviométricos. Pode-se visualizar que os maiores índices foram obtidos em Dona Francisca, Candelária, Jaquirana, Ijuí, Santiago e Guarani das Missões, enquanto os menores índices foram encontrados em Encruzilhada do Sul, São Jerônimo, Terra de Areia, Santa Vitória do Palmar e Pinheiro Machado.

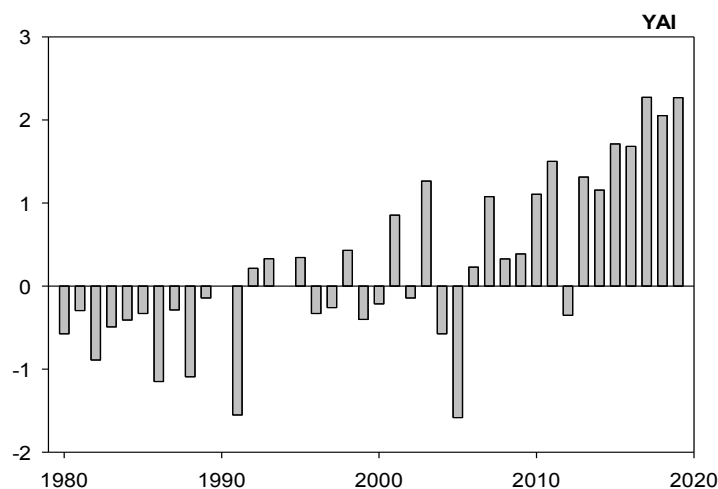
Figura 5- Índice de Precipitação Padronizado do ano de 2004 para cada estação meteorológica



5.3.3 ÍNDICE DE ANOMALIA DE RENDIMENTO (YAI)

O YAI foi gerado para a cultura da soja de sequeiro (Figura 6). Observa-se que no ano de 2004 ocorreu o menor índice. O que vai ao encontro do que verificou Lazzari (2006) ao constatar a perda de cerca de 700 mil hectares plantados com grãos devido à falta de chuvas na safra 2004/2005, sendo que, somente na produção de soja, os prejuízos em relação à safra anterior (2003/2004) foram da ordem de 53% com apenas 655 kg/ha.

Figura 6- Índice de Anomalia de Rendimento para a cultura da soja no RS (1980-2019)



Para Cargnin et al. (2014), em 2005, a participação da economia gaúcha no Brasil sofreu queda significativa, principalmente em decorrência da estiagem de 2004, acarretando fraco desempenho do setor agropecuário gaúcho naquele ano. Para os autores, o baixo desempenho do setor agropecuário contribuiu para uma queda no PIB do estado de 2,8%, em 2005, o que demonstra a importância do setor para a economia gaúcha.

5.3.4 SPI E RAI MENSAL E TESTE DE DIXON

As figuras 7 e 8 mostram o comportamento dos dados estimados para o SPI e RAI, em escala mensal, respectivamente. Visualmente, pode-se dizer que há semelhança entre o comportamento dos índices, com a presença de valores extremos em ambos.

Figura 7- Comportamento do SPI, em escala mensal

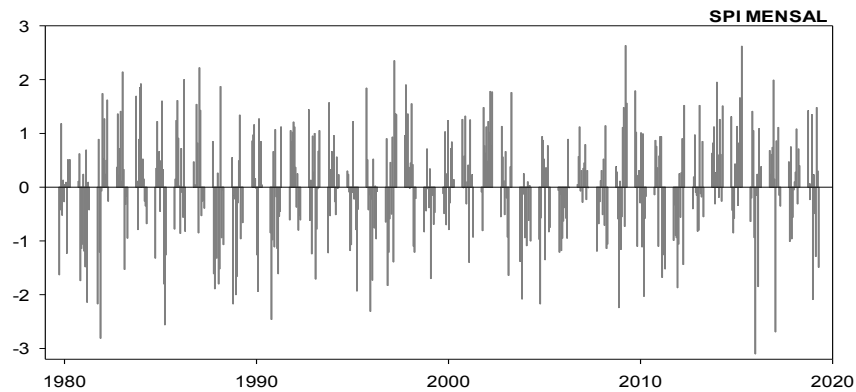
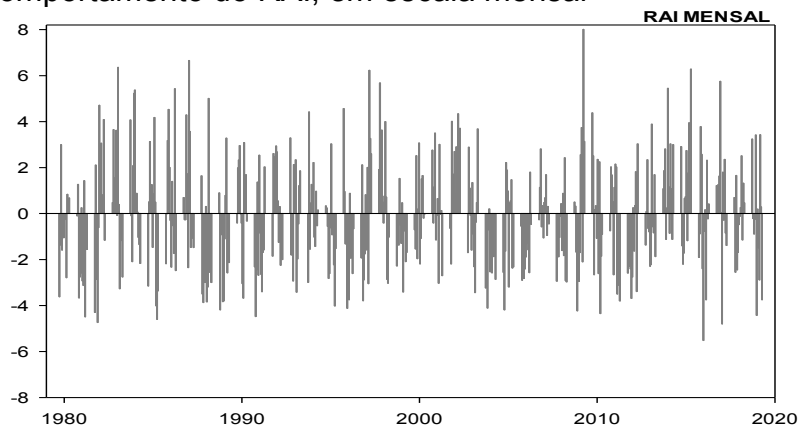
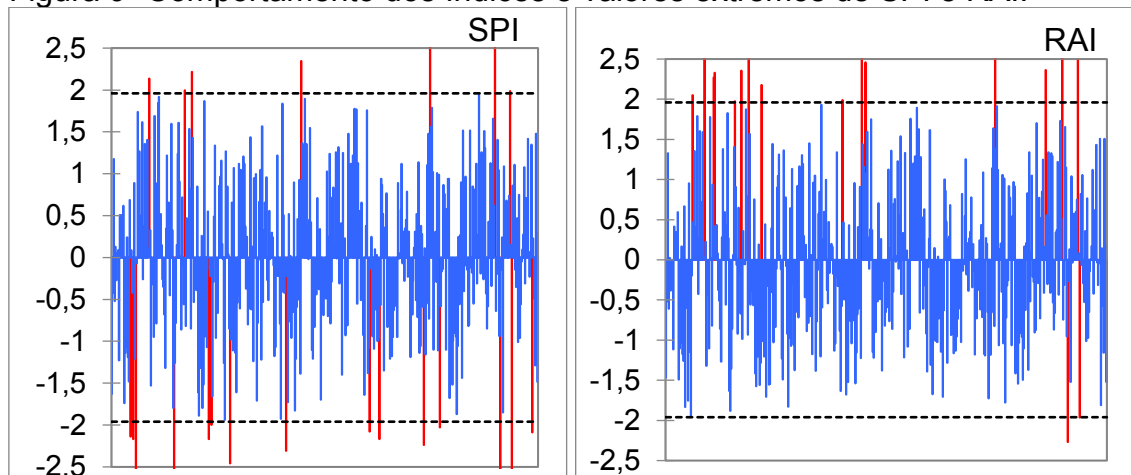


Figura 8- Comportamento do RAI, em escala mensal



A figura 9 mostra o comportamento de valores extremos para o SPI e RAI respectivamente. Observa-se a variação dos dados dos dois índices, com a presença de valores extremos, mas com ocorrência em períodos diferentes

Figura 9- Comportamento dos índices e valores extremos de SPI e RAI.



5.3.5 CORRELAÇÃO DE PEARSON

A tabela 4 apresenta os resultados do teste de correlação linear de Pearson, realizado para a amostra observada e para os índices de precipitação padronizado e de anomalia de chuvas. É possível observar todas as correlações têm valor positivo e se aproximam de 1, mostrando que há uma forte correlação positiva entre eles.

Tabela 4- Teste de correlação de Pearson para os dados mensais de precipitação, SPI e RAI

| Variáveis | Observados | SPI | RAI |
|-------------------|-------------------|------------|------------|
| Observados | - | 0,941 | 0,955 |
| SPI | 0,941 | - | 0,985 |
| RAI | 0,955 | 0,985 | - |

Os valores em negrito são diferentes de 0 com um nível de significância $\alpha=0,05$

O teste de Kolmogorov- Smirnov, realizado para o SPI e RAI, mostrou um p- valor de $< 0,0001$ (menor que o nível de significância de 0,05), indicando que apesar da tendência semelhante, os índices são diferentes entre si, estatisticamente.

5.4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo obter e analisar SPI e RAI para o Rio Grande do Sul, através da informação de precipitações mensais de 23 estações meteorológicas para o período de 1980 e 2019. Também foi avaliado o YAI para a cultura da soja. Os resultados mostram que o principal tipo de seca é a seca leve a média, raramente ocorrendo seca severa, com ocorrência apenas no ano de 2004. A safra de 2005 apresentou o menor YAI para a soja de sequeiro, resultado da seca de 2004. A correlação de Pearson para os dados observados, e os índices estimados (SPI e RAI) apresentaram correlações positivas, com tendências semelhantes entre si, ou seja, quando há aumento em um, o outro aumenta também. Entretanto, o teste de valores extremos mostra a variação dos

dados extremos nos dois modelos, em períodos diferentes e o teste de Kolmogorov- Smirnov, realizado para o SPI e RAI, mostrou que apesar da tendência semelhante, os índices são diferentes entre si, estatisticamente.

REFERÊNCIAS

AMBOS, S. H.; MELLO, R. S. P.; DA SILVA, A. N.; BINKOWSKI, P. Mudanças climáticas e seus efeitos no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, n. 3, p. 683-693, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.21674/2448-0479.34.683-693>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, p. 119-125, 1999. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/209.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2021. ISSN 0104-1347. Acesso em: 17 mar. 2021.

BELAYNEH, A.; ADAMOWSKI, J.; KHALIL, B.; OZGA-ZIELINSKI, B. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models, **Journal of Hydrology**, v.508, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169413007968>>. Acesso em: 12 ago. 2021.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul**: aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003.

CARGNIN, A. P.; BERTÊ, A. M. A.; LEMOS, B. O.; OLIVEIRA, S. B. Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul: quinze anos acompanhando as transformações do estado. **Geo UERJ**, v. 2, 2013. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/8200>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988.

COOK, B.I.; SMERDON, J.E.; SEAGER, R.; COATS, S. Global warming and 21st century drying. **Climate Dynamics**, v.43, n.9-10, p.2607-2627, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-014-2075-y>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

DANCEY, C.; REIDY, J., **Estatística Sem Matemática para Psicologia**: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DIKICI, M. Drought analysis with different indices for the Asi Basin (Turkey). **Scientific Reports**, v. 10, 2020. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1038/s41598-020-77827-z>>. Acesso em: 18 set. 2021.
 DIXON, W. J. Analysis of extreme values. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 21, n. 4, p. 488-506, 1950. Disponível em:
 <projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.aoms/1177729747>. Acesso em: 02 dez. 2021.

DUTTA, D.; KUNDU, A.; PATEL, N. R.; SAHA, S. K.; SIDDIQUI, A. R. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI), **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, p. 53-63, 2015. Disponível em:
 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982315000095>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

HAYES, M. J.; S, M.; WALL, N. A.; WIDHALM, M. The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 92, p. 485-488, 2011. Disponível em: <
https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/92/4/2010bams3103_1.xml>. Acesso em: 21 ago. 2021.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Ocorrências de Índices de Anomalia de Chuva negativos no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geográfica Acadêmica**, n. 9, n. 2, 2015. Disponível em:
 <<https://revista.ufr.br/index.php/rga/article/view/3012>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

KOZAK, M. "What is strong correlation?". **Teaching Statistics**, v. 31, p. 85-86, 2009.

LAZZARI, M. R. Agropecuária gaúcha em 2005: estiagem, câmbio e crise. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v. 33, n. 4, p. 41-50, mar. 2006. Disponível em:
 <<https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/indicadores/article/viewFile/1168/1508>>. Acesso em: 13 set. 2021.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: Conference on Applied Climatology, 8., 1993, Boston. **Anais...** American Meteorological Society. Boston: Preprints, 1993. p.179-184.

MOORE, D. S. **The Basic Practice of Statistics**. New York: Freeman, 2007.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION- NOAA. **Climate Prediction Center**. Disponível em:
 < <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>>. Acesso em: 7 jun. 2021.

OGUNRINDE, A. T.; OLASEHINDE, D. A.; OLOTU, Y. Assessing the sensitivity of standardized precipitation evapotranspiration index to three potential

evapotranspiration models in Nigeria, **Scientific African**, v. 8, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620301691>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; SILVA, I. J. L.; SOUZA, E. O.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. V. S.; SHAH, M.; JAMJAREEGULGARN, P. Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index, **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 224, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364682621001978>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

RADIN, B.; MATZENAUER, R.; MELO, R. W.; WREGE, M. S.; STEINMENTZ, S. Quantificação e distribuição sazonal da precipitação pluvial nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.10, n. 4, p.1161-1169, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168521/1/Silvio-Steinmetz-2017-M.Wrege-RBGF-Quantificacao.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

RAZIEI, T. Revisiting the Rainfall Anomaly Index to serve as a Simplified Standardized Precipitation Index, **Journal of Hydrology**, v. 602, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421008118>>. Acesso em: 13 set. 2021.

ROOY, M. P.; VAN. A. Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space, **Notes**, v. 14, p. 1- 43, 1965.

SHAH, R.; BHARADIYA, N.; MANEKAR, V. Drought Index Computation Using Standardized Precipitation Index (SPI) Method For Surat District, Gujarat, **Aquatic Procedia**, v. 4, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214241X15001637>>. Acesso em: 12 ago. 2021.

TEIXEIRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; BACELAR, L. C. S.; SILVA, G. M.; COUTO, R. S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente & Água**, n. 8, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.4136/ambiente-agua.1245>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

TIRIVAROMBO, S.; OSUPILE, D.; ELIASSON, P. Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI), **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 106, p. 1-10, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706517300542>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência aplicação**. 3 ed. Porto Alegre, RS: FAURGS - Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 942 p.

VICENTE-SERRANO, S. M. Differences in Spatial Patterns of Drought on Different Time Scales: An Analysis of the Iberian Peninsula. **Water Resources Management**, v. 20, p. 37–60, 2006. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-006-2974-8>>. Acesso em: 12 ago. 2021.

ZHANG, A.; JIA, G. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data, **Remote Sensing of Environment**, v.134, p. 12-23, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425713000643>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

ZIA, R.; NAWAZ, M. S.; SIDDIQUE, M. J.; HAKIM, S.; IMRAN A. Plant survival under drought stress: Implications, adaptive responses, and integrated rhizosphere management strategy for stress mitigation. **Microbiological Research**, v. 242, 2021. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33189069/>>. Acesso em: 12 ago. 2021.