

A seca de 2019/2020 no estado do Rio Grande do Sul a partir de dados sistemáticos e não-sistemáticos

The 2019/2020 drought in the Rio Grande do Sul State from Systematic and Non-Systematic Data

Dieyson Pelinson¹ , Fernando Mainardi Fan¹ 

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mails: pelinsondieyson@gmail.com, fernando.fan@ufrgs.br

Como citar: Pelinson, D., & Fan, F. M. (2023). A seca de 2019/2020 no estado do Rio Grande do Sul a partir de dados sistemáticos e não-sistemáticos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20, e21. <https://doi.org/10.21168/rega.v20e21>

RESUMO: O estado do Rio Grande do Sul é constantemente atingido por eventos de seca, afetando diferentes setores da sociedade, onde os anos de 2019 e 2020 se caracterizaram pela ocorrência de um evento de seca extremo no estado. Nesse contexto, apresenta-se um diagnóstico desse evento através de dados sistemáticos e não-sistemáticos, com o objetivo de avaliar a ocorrência dos diferentes tipos de seca (meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconômica) e avaliar sua progressão, utilizando dados sistemáticos para diferentes variáveis hidrometeorológicas. Calculou-se o Índice de Precipitação Padronizado (SPI), Índice de Vazão Padronizado (SSI) e o Índice de Vegetação Padronizado (SVI) para avaliação dos tipos de seca atingidos no evento. Ainda, foram utilizados dados midiáticos e governamentais para a caracterização dos efeitos da seca ao longo do tempo. Verificou-se a ocorrência dos diferentes tipos de seca através dos índices empregados, onde a progressão entre a seca meteorológica e as secas hidrológica e agrícola foi de um e dois meses, respectivamente. Destaca-se não ser um período de La Niña, normalmente ligado a diminuição da precipitação na região sul do Brasil. Para a ocorrência do evento, destacam-se quatro meses seguidos com precipitação abaixo da média em 2019, fazendo com que as vazões dos principais cursos d'água apresentassem recessão, e temperaturas acima da média.

Palavras-chave: Seca; Rio Grande do Sul; Índices de Seca; Sistemáticos; Não-Sistemáticos.

ABSTRACT: The Rio Grande do Sul state is constantly affected by drought events, affecting different sectors of society, where the years 2019 and 2020 were characterized by the occurrence of an extreme drought event in the state. In this context, a diagnosis of this event is presented through systematic and non-systematic data, with the objective of evaluating the occurrence of different types of drought (meteorological, hydrological, agricultural and socioeconomic) and evaluating its progression, using systematic data for different hydrometeorological variables. The Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Outflow Index (SSI) and the Standardized Vegetation Index (SVI) were calculated to evaluate the types of droughts reached in the event. Also, media and government data were used to characterize the effects of drought over time. The occurrence of different types of drought was verified, where the progression between meteorological drought and hydrological and agricultural droughts was one and two months, respectively. For the occurrence of the event, four consecutive months with below average precipitation in 2019 stand out, causing the outflows of the main watercourses to show recession, and above average temperatures.

Keywords: Drought; Rio Grande do Sul; Drought Indexes; Systematic; Non-Systematic.

1. INTRODUÇÃO

A seca pode ser definida como a ausência prolongada ou deficiência na precipitação em diferentes espaços de tempo, que podem ser de maior ou menor duração, atingindo diferentes setores da sociedade, de acordo com a demanda. Estiagens e secas, diretamente relacionadas à redução das precipitações pluviométricas e ao déficit hídrico, estão entre um dos desastres naturais mais frequentes e tidos como um dos maiores problemas nacionais. Esses fenômenos atingem grande extensão territorial e produzem efeitos negativos e prolongados na economia, refletindo amplamente na sociedade. Segundo o Atlas Digital de Desastres no Brasil (Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil, 2020), constatou-se que 33% das secas no Brasil ocorreram na primeira

Recebido: Maio 09, 2023. Revisado: Julho 24, 2023. Aceito: Setembro 09, 2023.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

metade do período analisado (1991 – 2005) e 67% na última metade (2006 – 2019), demonstrando que há uma tendência de aumento nos registros desses eventos.

Segundo Fernandes et al. (2009), vários autores definiram quatro tipos de seca, dependendo principalmente da temática da abordagem. Porém estas classes não apresentam caráter exclusivo, normalmente um evento apresentando características de diferentes classes. A Figura 1 apresenta um fluxograma com as principais características de cada um dos tipos de seca, como a duração e os impactos causados.

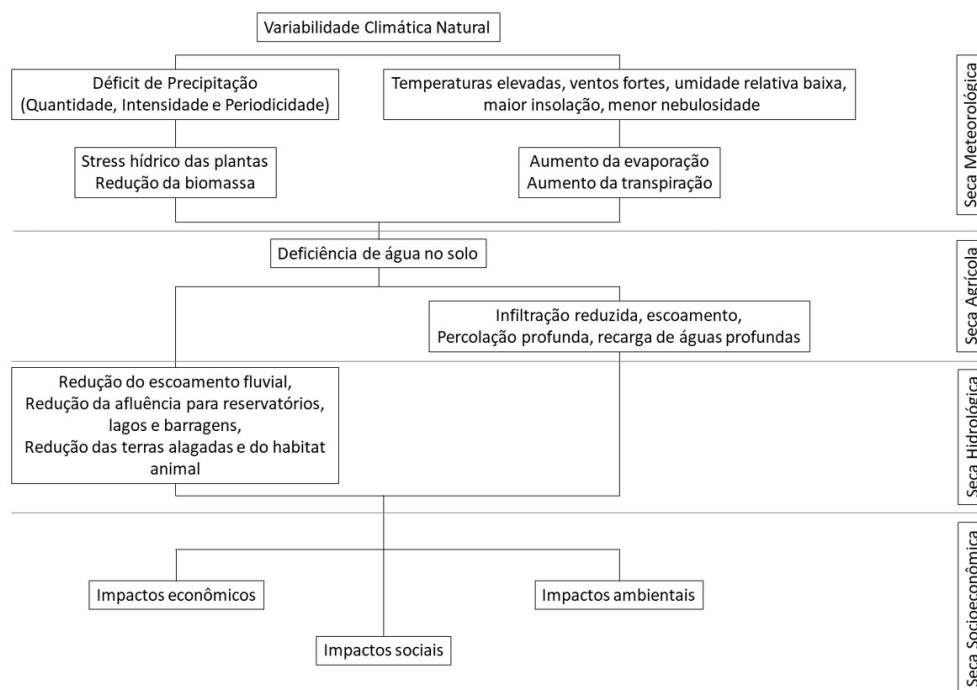


Figura 1. Caracterização dos tipos de seca em função da duração e dos impactos causados.

Fonte: adaptado de Silva (2015).

Secas são eventos difíceis de se identificar e quantificar no espaço e no tempo, o que torna um dos desastres naturais mais complexos (Vicente-Serrano et al., 2016), por afetarem uma ampla gama de variáveis, sendo ambientais ou econômicas. Para estudar esse fenômeno, diferentes índices foram desenvolvidos ao longo do tempo para monitorar sua severidade, e auxiliar no planejamento e mitigação dos seus impactos. Os índices de seca assimilam vários anos de variáveis meteorológicas como a precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento, umidade do solo, entre outros, e assim as combinam a fim de identificar o início de um período de seca (Fernandes et al., 2009), podendo ser padronizados em escalas temporais e espaciais para permitir a comparação entre diferentes regiões. Destacam-se índices relacionados a precipitação, como o SPI (Standardized Precipitation Index), considerado na avaliação de secas meteorológicas; a vazão como o SSI (Standardized Streamflow Index), utilizados para definir secas hidrológicas; e a vegetação como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index), utilizados para verificar secas agrícolas.

As secas socioeconômicas não podem ser caracterizadas através de dados meteorológicos, como os demais tipos de seca. Essas levam em consideração fatores sociais e econômicos. Impactos como o êxodo rural, onde a população rural se desloca para os centros urbanos, diminuição do poder de compra dessa população, devido as perdas causadas no setor primário, ou ainda a falta de abastecimento público de água, tanto para a população rural, quanto para as grandes cidades. Assim, informações advindas de outras fontes, como reportagens em diferentes mídias, decretos de emergência, ofícios estaduais e das prefeituras, ou mesmo entrevistas com a população, principalmente as mais antigas na região de estudo, ajudam a classificar e entender como esses eventos interferem na rotina da população local.

Segundo Vanelli et al. (2020) diversos autores diferenciam as informações sob duas óticas: dados sistemáticos e dados não-sistemáticos. Os dados sistemáticos são aqueles registrados com intervalos de tempo pré-definidos, normalmente auxiliados por estações ou equipamentos de monitoramento. Já os dados não-sistemáticos são aqueles que se referem as evidências identificadas em diferentes meios, como registros históricos ou observações humanas, com registros pontuais no tempo ou no espaço, enfatizando fenômenos ocorridos no passado, e sua compreensão pela população da época.

O estado do Rio Grande do Sul sofre frequentemente com eventos de seca e estiagens. Valente (2018) ao analisar as precipitações no estado no século XX, constatou que há pelo menos um grande evento de seca a cada dez anos. Gross (2015) destaca, ao analisar anomalias negativas de precipitação, que ocorreu um aumento das áreas afetadas no estado a partir do ano de 2002, com destaque aos anos de 2004 e 2012. Ainda, o Atlas Digital de Desastres no Brasil (Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil, 2020) traz que no período de 2000 a 2018, o estado do Rio Grande do Sul teve 2.279 ocorrências de seca/estiagem, com mais de 200 mil afetados, impulsionadas principalmente pelos fortes eventos de 2004/2005 e 2011/2012, que são considerados dois dos principais eventos de seca registrados.

Tendo em vista as inúmeras atividades humanas que são influenciadas pelas condições hidrológicas, a agricultura está entre as mais afetadas por alterações, sendo extremamente dependente da precipitação e da temperatura. Como citado por Ayoade (2002), mesmo com grande avanço tecnológico e científico, os fenômenos climáticos extremos, como as estiagens, ainda são importantes variáveis na produção agrícola, e exercem influência não só nos estágios de crescimento das plantas, mas também no armazenamento, transporte e comercialização. Segundo Berlatto & Cordeiro (2005), a variabilidade interanual da precipitação pluvial é a principal causa da variabilidade dos rendimentos e da produção agrícola do estado, onde em anos pluviométricos favoráveis, o Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 20% da produção de grãos do país, sendo uma das principais atividades econômicas no estado.

Destaca-se ainda o impacto desses eventos no abastecimento humano, devido a diminuição nos níveis dos cursos d'água e reservatórios utilizados com essa finalidade. Com a baixa disponibilidade de água, os municípios acabam por definir diferentes estratégias para tentar contornar o problema, como manobras, rodízio ou racionamento.

O evento de seca registrado a partir de 2019 já se consolida como um dos maiores eventos desse tipo registrados no estado do Rio Grande do Sul. Nota-se isso quando, segundo registros da Defesa Civil - RS, no período 2019/2020, dos 497 municípios do estado, 394 emitiram decretos de situação de emergência devido à seca/estiagem. Pode-se destacar problemas no abastecimento público, como o caso de Bagé, no sul do estado, onde segundo Soares (2020), a restrição à água era de quinze horas por dia em maio de 2020, ou ainda as perdas na agricultura e agropecuária, que segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) chegaram a 40,4% na produção da soja e 31,8% na de milho, impulsionando uma queda no PIB gaúcho de 3,3% no primeiro trimestre de 2020.

Com isso, demonstra-se a importância de estudos sobre as secas e estiagens no estado do Rio Grande do Sul, para que, a partir das informações e do diagnóstico gerados, possam ajudar a promover um melhor planejamento e gestão dos recursos, sejam eles ambientais ou econômicos. Assim, este estudo surge a partir do grande evento de seca constatado em 2019/2020 e apresenta um diagnóstico completo, contemplando os diferentes tipos de seca, de acordo com a metodologia consolidada desse nível de estudo, para que se tenha a verdadeira percepção dos reais impactos causados, sejam ambientais, sociais ou econômicos.

2. ÁREA DE ESTUDO E O EVENTO DE SECA 2019/2020 A PARTIR DE DADOS NÃO-SISTEMÁTICOS

A região de estudo compreende o estado do Rio Grande do Sul, sendo o estado mais ao sul do Brasil, fazendo divisa com o estado de Santa Catarina, ao norte, a Argentina a oeste e com o Uruguai ao sul (Figura 2).

Segundo o Atlas Socioeconômico (Secretaria Estadual de Planejamento, Governança e Gestão, 2020), o Rio Grande do Sul apresenta diferentes regimes de precipitação ao longo do seu território. No Sul do estado a precipitação média anual fica entre 1300 e 1500mm, e no Norte está entre 1500 e 1800 mm anuais, com destaque ao nordeste do Estado. Destaca-se que em termos climáticos, o estado se caracteriza por ter uma precipitação bem distribuída em todas as estações do ano, não havendo uma estação seca. Diversos fatores contribuem para que haja diferença espacial da chuva no estado, como o relevo, a ciclogênese, frontogênese, as teleconexões, entre outros sistemas atmosféricos e o próprio homem (Valente, 2018). Moreno (1961) complementa afirmando que o regime pluviométrico do

estado além de sua formação pelo deslocamento de frentes é acentuado pela orografia, onde nas maiores altitudes as chuvas ocorrem em volumes maiores. O relevo obriga a elevação das massas de ar, as quais se resfriam, condensando-se e ocasionando as chuvas. É por isso, que nas encostas e no bordo do Planalto a precipitação atinge o máximo, e onde a orografia é inexistente as chuvas ocorrem em menor volume, como no litoral.



Figura 2. Localização do estado do Rio Grande do Sul
Fonte: Autor.

O estado do Rio Grande do Sul possui uma densa hidrografia, contando com três grandes regiões hidrográficas. A Região do Uruguai que contempla cerca de 57% da área total do estado. A Região do Guaíba, com 30% da área estadual, e a Região do Litoral, com 13% do território. Ainda, essas regiões são subdivididas em 25 bacias hidrográficas.

Quanto ao uso e ocupação do solo (Figura 3), o estado do Rio Grande do Sul se destaca pela grande área agrícola, que é predominante principalmente na região Centro-Norte do estado, e as áreas de campo, concentradas nas regiões da Serra (Nordeste), Campanha (Sudoeste) e parte do Sul do estado.

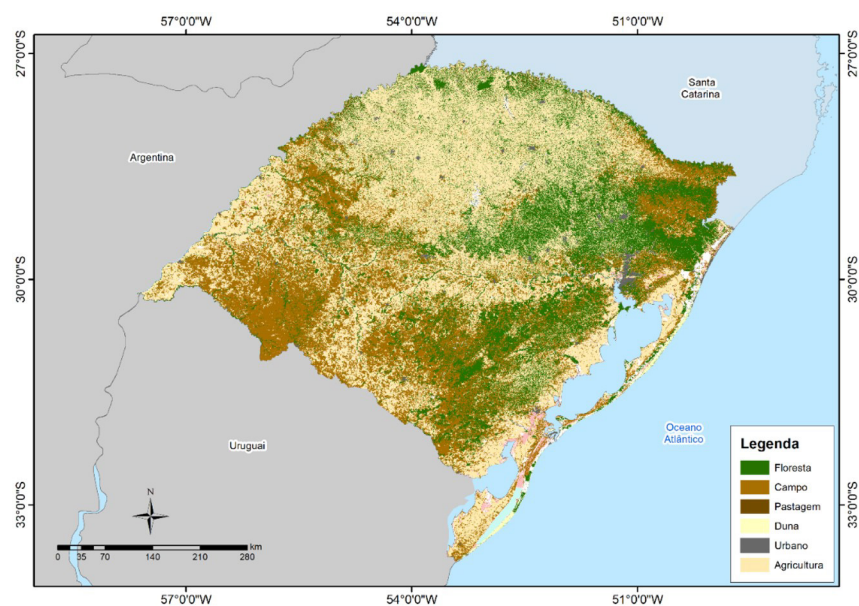


Figura 3. Mapa de Uso e Ocupação do solo.
Fonte: Adaptado de Projeto MapBiomias (2022).

Quanto à economia, segundo o DEE (Departamento de Economia e Estatística Estadual) a agropecuária representa em torno de 9% do valor bruto da economia gaúcha, tendo impacto direto nos demais setores.

Segundo a Secretaria Estadual da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (2020) as perdas nas lavouras de soja chegaram a aproximadamente 32,3% no estado, e 26,3% nas de milho, representando diminuição da renda para agricultores em todas as regiões do estado. Devido as perdas da safra, diminui-se a disponibilidade dos produtos, e conseqüentemente os preços de uma gama de produtos sobem. Como trazido pela BBC Brasil (2021), que demonstra a reação em cadeia do evento de seca, onde a baixa disponibilidade de milho, traz reflexos no preço da carne, devido ao aumento no preço da ração animal.

O evento de seca que assolou o estado do Rio Grande do Sul pode ser percebido pelo número de decretos de situação de emergência expedidos no período. Segundo a Defesa Civil do Rio Grande do Sul (2021), no período 2019/2020, até 27/05/20, 394 municípios gaúchos decretaram situação de emergência devido à seca. Nota-se através da Figura 4 como todo o estado foi afetado por este evento de seca, onde apenas alguns municípios da região metropolitana de Porto Alegre, da região do Litoral e parte da região Sudoeste do estado não tiveram decretos de emergência.

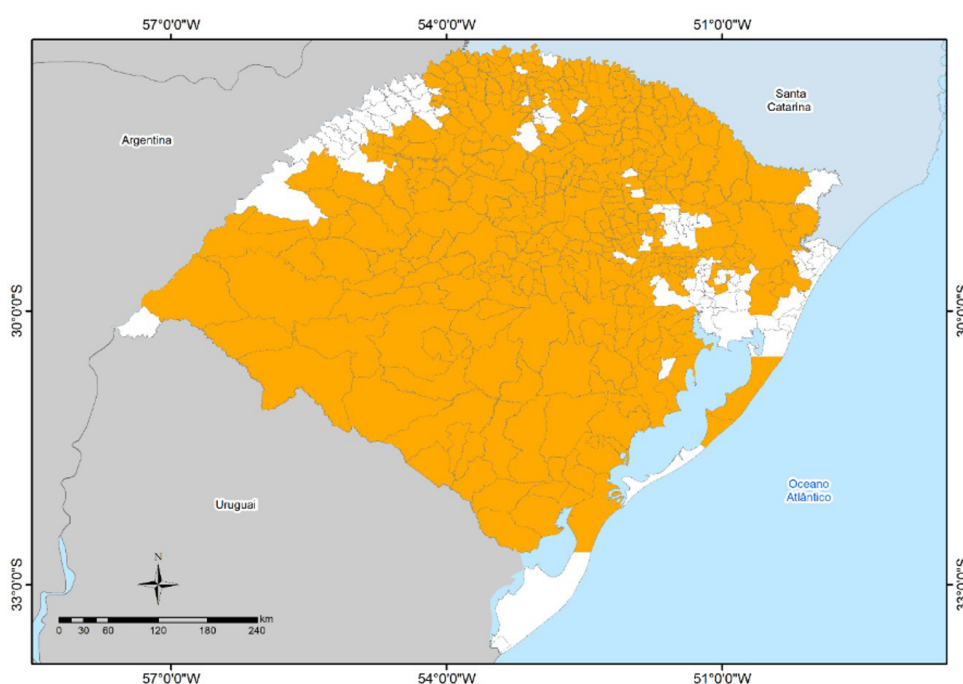


Figura 4. Os 394 municípios com decretos de emergência devido à seca/estiagem 2019/2020 – homologados até 27/05/20

Fonte: Adaptado de Defesa Civil do RS.

Uma percepção interessante sobre o evento de seca de 2019/2020 no estado se dá ao analisar-se as previsões anteriores ao evento. Os boletins emitidos mensalmente pela Sala de Situação, pertencente a SEMA-RS, demonstram isso, onde em boletim publicado em dezembro de 2019 (Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, 2019), já destacava a previsão de um mês de fevereiro com chuvas bem abaixo do padrão para o mês, onde já se demonstrava a tendência de piora na estiagem em todo o estado. Tal boletim também destaca as condições de atenção para estiagem em relação aos níveis dos rios em todo o estado do Rio Grande do Sul.

Esse tipo de informação é parte importante na percepção das secas pela população em geral, juntamente as divulgadas pelas diferentes mídias através de dados não-sistemáticos, e sendo necessárias principalmente para a caracterização de eventos de secas socioeconômicas.

O site GZH apresenta todas as reportagens que trataram da seca no período de estudo, através da tag “seca no RS”. A Tabela 1 apresenta um compilado dessas informações não-sistemáticas que sintetizam a ocorrência do evento de seca 2019/2020 no estado do Rio Grande do Sul, através de notícias veiculadas pela mídia que demonstram os impactos nos diferentes setores da sociedade. Notam-se através das informações constantes como o evento de seca avançou pelo estado do Rio Grande do Sul no ano de 2020, mostrando os diversos problemas causados ao longo do tempo.

Tabela 1. Informações não-sistemáticas da estiagem 2019/2020 no estado do Rio Grande do Sul.

Fonte	Data	Informação
GZH (2020a)	06/01/2020	Colheita do milho adiantada para diminuir as perdas.
GZH (2020b)	07/01/2020	Nove (9) municípios decretam situação de emergência no estado.
GZH (2020c)	08/01/2020	Estiagem afeta reservatórios de usinas de energia no RS.
GZH (2020d)	09/01/2020	Impactos na produção de leite e carne no estado.
GZH (2020e)	12/01/2020	Açudes secos e falta d'água para o gado no RS.
GZH (2020f)	18/01/2020	Falta de alimentos devido à seca.
GZH (2020g)	31/01/2020	Busca por sistemas de irrigação crescem 20%.
GZH (2020h)	31/01/2020	Noventa e nove (99) municípios com decretos de emergência.
GZH (2020i)	19/02/2020	Caminhões-pipa utilizados no abastecimento de água no norte do estado.
GZH (2020j)	20/02/2020	Racionamento na Campanha Gaúcha.
GZH (2020k)	03/03/2020	Aumento do número de municípios com uso de caminhão-pipa.
GZH (2020l)	05/03/2020	Cento e vinte e nove (129) municípios com decretos de emergência.
GZH (2020m)	31/03/2020	46% (231) dos municípios gaúchos com decretos.
GZH (2020n)	03/04/2020	Duzentos e cinquenta e três (253) municípios com decreto no RS.
GZH (2020o)	06/04/2020	Oito bacias hidrográficas em situação de alerta no estado.
GZH (2020p)	07/04/2020	Distribuição de cestas básicas e caixas d'água no RS.
GZH (2020q)	08/04/2020	Problemas no porto de Porto Alegre devido à estiagem.
GZH (2020r)	30/04/2020	Ampliação na construção de novos açudes no estado e trezentos e trinta e quatro (334) municípios com decretos.
GZH (2020s)	30/04/2020	Níveis críticos em barragens de hidrelétricas.
GZH (2020t)	03/05/2020	Trezentos e quarenta e seis (346) municípios com decretos.
GZH (2020u)	12/05/2020	Safra de soja de 2020 é 40% menor no estado.
GZH (2020v)	15/05/2020	Perdas de 15,5 bilhões em lavouras de soja e milho no RS.
GZH (2020w)	10/06/2020	PIB do RS cai 3,3% no primeiro trimestre de 2020.

Fonte: GZH, 2020.

Ainda, o Programa Vigiágua (Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano) que consiste no conjunto de ações adotadas por autoridades de saúde pública para garantir à população o acesso à água, realizou um levantamento, através de questionário desenvolvido para preenchimento dos municípios, visando avaliar os efeitos da estiagem em relação à quantidade e qualidade das águas para o consumo em todo o estado. Segundo Azambuja et al. (2020), pelo menos 173 municípios apresentaram algum impacto no abastecimento de água para consumo humano, com destaque para os municípios com população inferior a dois mil habitantes. Uma das principais consequências relatadas foram a interrupção total ou parcial na captação de águas superficiais.

Outro problema causado pela diminuição nos volumes de precipitação e quantidade de água em rios e reservatórios, é a qualidade dessas águas para o abastecimento público. O Programa ainda destaca que a floração de cianobactérias, devido à falta de tratamento de efluentes, e aumento da turbidez nesses mananciais, prejudicaram o tratamento e fornecimento de água para a população. Outros problemas levantados são o fornecimento de água oriunda de fontes desconhecidas e a utilização de carros-pipa não licenciados, podendo ser fontes de problemas de saúde para a população.

Com isso demonstra-se como as consequências das secas se propagam dentro da sociedade, afetando diretamente e indiretamente todos os setores. Assim, discutir os eventos de secas e seus impactos é essencial, já que sua ocorrência não pode ser impedida, mas sim mitigada, com ações e medidas que diminuam seus impactos sociais e econômicos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item são identificados os dados utilizados ao longo deste trabalho, além dos métodos utilizados para obtenção dos resultados.

3.1 Dados Sistemáticos

Os dados utilizados para as análises foram obtidos de diferentes fontes, conforme a variável verificada.

3.1.1 Precipitação

Os dados de precipitação utilizados foram obtidos a partir das estações pluviométricas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período que contempla os anos de 2019 e 2020, para todas as estações do estado que possuem informação de Normal Climatológica, que segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) é obtida através dos valores médios calculados para um período de, no mínimo, trinta anos de dados. As estações utilizadas estão apresentadas na Tabela 2 e na Figura 5.

Ainda, foram utilizados os dados de SPI do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, 2022) que avalia informações de secas através dos dados de SPI para todo o Brasil, apresentando seus resultados mensalmente. Segundo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (2014) os dados para o cálculo do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) são obtidos através da compilação de dados de estações pluviométricas do próprio CEMADEN e do INPE/CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Essas informações são especializadas com resolução de 25km, e o cálculo do SPI é obtido para cada quadricula.

Tabela 2. Estações Pluviométricas INMET.

ID	Código	Nome da Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
1	83980	Bagé	-31,31	-54,12	245,66
2	83919	Bom Jesus	-28,67	-50,44	1047,50
3	83942	Caxias do Sul	-29,20	-51,19	750,16
4	83916	Lagoa Vermelha	-28,22	-51,51	833,73
5	83914	Passo Fundo	-28,23	-52,41	684,05
6	83985	Pelotas	-31,78	-52,42	13,00
7	83967	Porto Alegre	-30,05	-51,17	41,18
8	83936	Santa Maria	-29,72	-53,72	103,10
9	83907	São Luiz Gonzaga	-28,42	-54,96	245,49
10	83948	Torres	-29,35	-49,72	4,66
11	83927	Uruguaiana	-29,84	-57,08	74,41

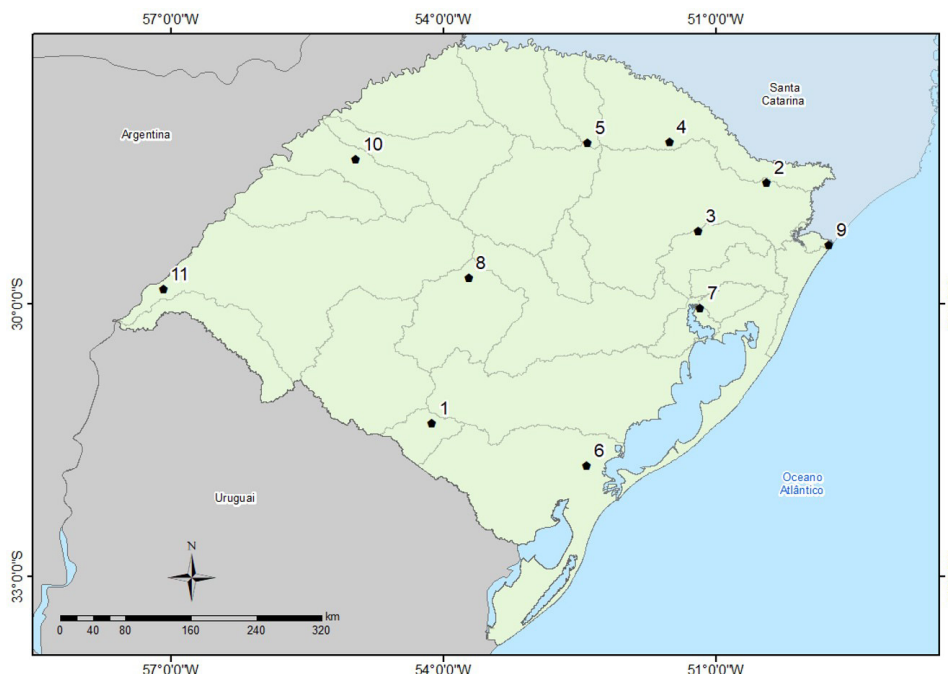


Figura 5. Localização das estações pluviométricas INMET selecionadas

Fonte: Autor

3.1.2 Temperatura

Os dados de temperatura foram obtidos a partir das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período que contempla os anos de 2019 e 2020, para as

estações do estado que possuem informação de Normal Climatológica, ou seja, possuem ao menos trinta anos de dados medidos. As estações utilizadas estão apresentadas na Tabela 3 e na Figura 6.

Tabela 3. Estações Meteorológicas INMET.

ID	Código	Nome da Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
1	83980	Bagé	-31,31	-54,12	245,66
2	83919	Bom Jesus	-28,67	-50,44	1047,50
3	83942	Caxias do Sul	-29,20	-51,19	750,16
4	83912	Cruz Alta	-28,62	-53,61	475,52
5	83914	Passo Fundo	-28,23	-52,41	684,05
6	83985	Pelotas	-31,78	-52,42	13,00
7	83967	Porto Alegre	-30,05	-51,17	41,18
8	83936	Santa Maria	-29,72	-53,72	103,10
9	83997	Santa Vitória do Palmar	-33,53	-53,35	24,01

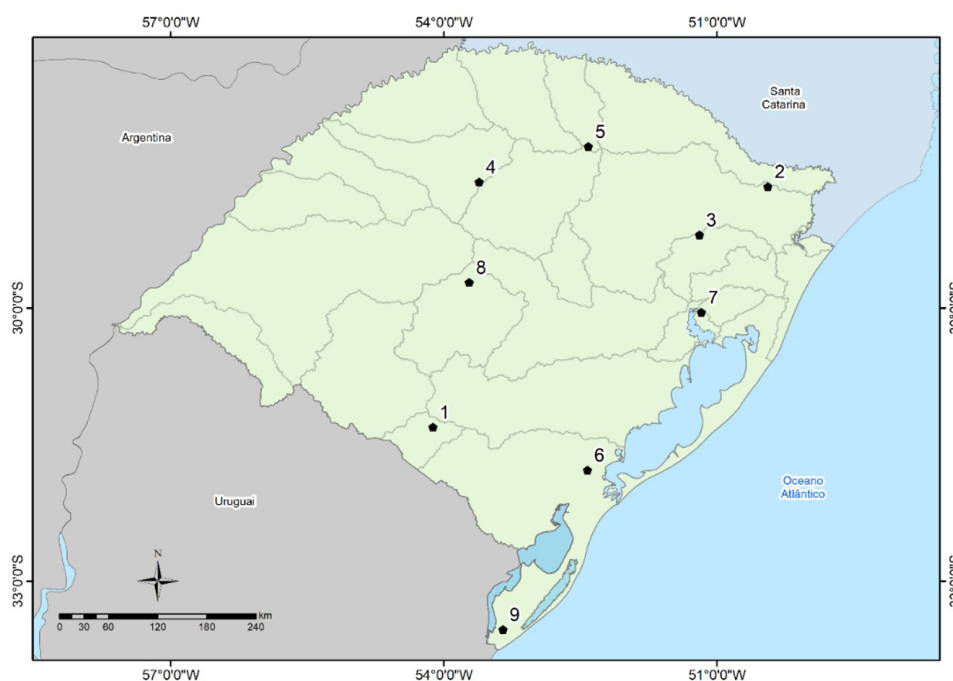


Figura 6. Localização das estações meteorológicas INMET selecionadas
 Fonte: Autor.

3.1.3 Vazão/Escoamento

As informações de vazão utilizadas neste estudo foram obtidas a partir de 30 estações fluviométricas (Tabela 4 e Figura 7) operadas pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/ Serviço Geológico do Brasil), obtidas a partir do sistema Hidroweb/ANA. Foram escolhidas estas estações devido ao período e qualidade dos seus dados, e sua espacialização no estado.

Tabela 4. Estações Fluviométricas operadas pela CPRM.

ID	Código	Nome	Rio	Latitude (°)	Longitude (°)
1	72430000	Passo Do Granzotto	Rio Forquilha ou Inhanduva	-27,87	-51,75
2	72680000	Passo Colombelli	Rio Apue ou Ligeiro	-27,56	-51,85
3	74100000	Iraí	Rio Uruguai	-27,19	-53,26
4	74205000	Linha Cescon	Arroio Caturete	-27,81	-53,02
5	74270000	Passo Rio da Várzea	Rio da Várzea	-27,28	-53,31
6	74370000	Palmitinho	Rio Guarita	-27,33	-53,63
7	74460000	Ponte do Rio Turvo	Rio Turvo	-27,82	-53,73

Tabela 4. Continuação...

ID	Código	Nome	Rio	Latitude (°)	Longitude (°)
8	74800000	Porto Lucena	Rio Uruguai	-27,85	-55,02
9	75230000	Santo Angelo	Rio Ijuí	-28,35	-54,26
10	75600000	Passo das Turnas	Rio Icamaquã	-28,83	-54,85
11	75700000	Passo do Novo	Rio Icamaquã	-28,67	-55,58
12	75900000	Itaqui	Rio Uruguai	-29,11	-56,55
13	76085000	Cachoeira 5 Veados	Rio Toropi	-29,42	-54,05
14	76310000	Rosário do Sul	Rio Santa Maria	-30,24	-54,91
15	76560000	Manoel Viana	Rio Ibicuí	-29,59	-55,48
16	76750000	Alegrete	Rio Ibirapuitã	-29,76	-55,78
17	77500000	Quarai	Rio Quarai	-30,38	-56,45
18	85400000	Dona Francisca	Rio Jacuí	-29,62	-53,35
19	85623000	São Sepé - Montante	Rio São Sepé	-30,19	-53,56
20	85642000	Passo São Lourenço	Rio Jacuí	-30,01	-53,01
21	85830000	Santa Cruz - Montante	Rio Pardinho	-29,70	-52,46
22	86100000	Passo do Gabriel	Rio das Antas	-28,80	-50,49
23	86410000	Passo Barra do Guaiaveira	Rio Turvo	-28,73	-51,42
24	86510000	Muçum	Rio Taquari	-29,16	-51,86
25	86745000	Passo do Coimbra	Rio Forqueta	-29,21	-52,18
26	87380000	Campo Bom	Rio dos Sinos	-29,69	-51,04
27	87399000	Passo das Canoas - Auxiliar	Rio Gravataí	-29,96	-50,97
28	87905000	Passo do Mendonça	Rio Camaquã	-31,01	-52,05
29	88575000	Cerro Chato	Arroio Basílio	-31,86	-53,26
30	88850000	Ponte Cordeiro de Farias	Arroio Pelotas	-31,57	-52,46

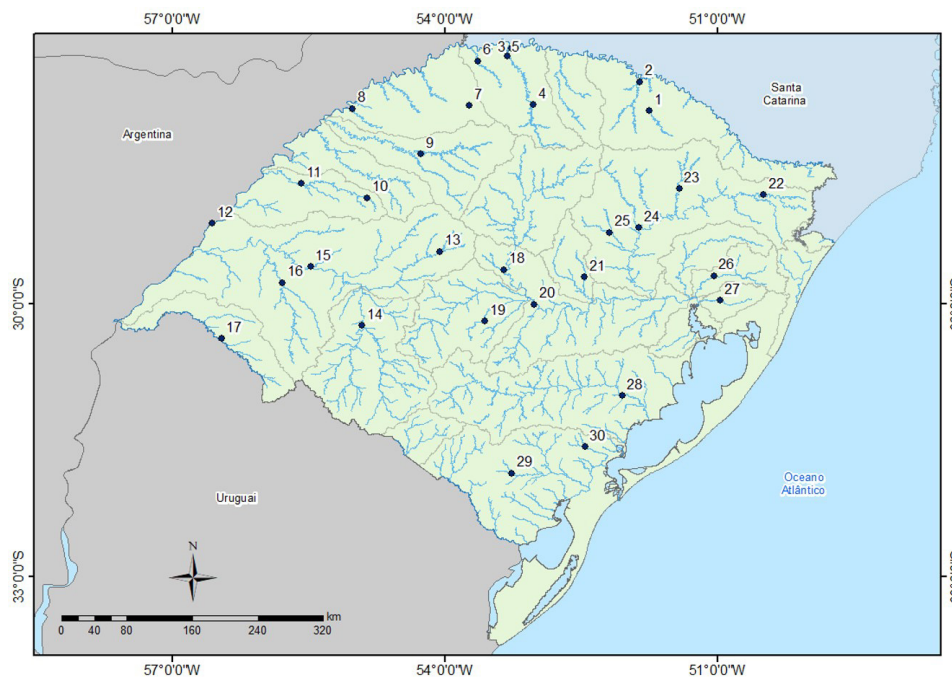


Figura 7. Localização das estações fluviométricas CPRM selecionadas

Fonte: Autor

3.1.4 Vegetação

Para obtenção do índice de vegetação padronizado, utilizou-se o produto do índice de vegetação aprimorado (EVI), derivado de dados obtidos a partir do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo dos satélites Terra e Aqua. O produto denominado MOD13Q1, refere-se a índices espectrais com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 250 metros, com dados disponíveis desde o ano 2000.

Com o uso da plataforma Google Earth Engine (GEE), que segundo Lobo (2020) é uma plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem, utilizada para diferentes estudos e pesquisas de sensoriamento remoto, obteve-se o resultado do EVI mensal para toda a área de estudo para o período selecionado. Para isso, obtêm-se a média para o mês de referência em todo o período de dados apresentados pelo sensor, ou seja, de 2000 a 2020, e a partir do mesmo período de dados, calcula-se o desvio padrão do mês em questão. A partir disso, com o uso da Equação 14 apresentada posteriormente, obtemos o valor do SVI para o mês.

Para a avaliação dos diferentes usos do solo no estado, utilizou-se a coleção 7 do Projeto MapBiomas (2022), que apresenta mapas anuais de uso e cobertura do solo para todo o Brasil, obtidos a partir da classificação em vinte e sete classes, e divulgados em formato matricial com pixel de 30 metros.

3.2 Índices de Seca

Para esse estudo definiram-se três diferentes índices de seca, contemplando a avaliação das principais variáveis atingidas, sendo eles: SPI, SSI e SVI. Foram escolhidos tais índices devido a sua ampla utilização em outros estudos semelhantes, boa representatividade e praticidade na análise do comportamento das variáveis atingidas. Além da grande vantagem desses métodos ser o fato de padronizar a análise, permitindo comparar regiões distintas, como regiões mais úmidas com outras áridas e secas.

3.2.1 Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

O déficit de precipitação normalmente é o primeiro efeito perceptível em eventos de seca, podendo ser o único ou o primeiro, dependendo de sua duração. Perceber e quantificar o déficit na precipitação de determinada região é importante na contextualização e possível mitigação dos seus impactos.

Assim McKee et al. (1993) desenvolveram o Índice de Precipitação Padronizado (Standardized Precipitation Index – SPI), que quantifica o déficit de precipitação para múltiplas escalas de tempo, baseado nos registros de precipitação de longo prazo.

Para calcular o SPI, deve-se utilizar pelo menos trinta anos de dados de precipitação, sendo ajustado pela distribuição gama, e depois transformada em uma distribuição normal, que apresenta a média com valor zero e variância unitária.

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade dada pela Equação 1.

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

Sendo $\alpha > 0$ = parâmetro de forma (adimensional); $\beta > 0$ = parâmetro de escala (mm); $x > 0$ = total de precipitação acumulada (mm); $\Gamma(\alpha)$ = função gama.

E a função gama é obtida pela Equação 2.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

Para estimar os parâmetros de forma α e β , utiliza-se o método da máxima verossimilhança (Thom, 1966), apresentadas pelas Equações 3, 4 e 5.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad (5)$$

Onde, \bar{X} = média aritmética da precipitação pluvial (mm); \ln = logaritmo neperiano; N = número de observações de precipitação.

Os parâmetros obtidos são aplicados para encontrar a probabilidade de ser menor ou igual a um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal. Essa probabilidade de ser menor ou igual é representada pela Equação 6.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

Substituindo $t = \frac{x}{\beta}$, a Equação 7 se transforma na função gama incompleta, apresentada na Equação 7.

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

Como a função gama é indeterminada para x igual a 0, e a distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (8)$$

Sendo, $H(x)$ = distribuição de probabilidade cumulativa; q = probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros); $G(x)$ = distribuição cumulativa teórica.

Thom (1966) indica que q pode ser estimado por $\frac{m}{n+1}$, sendo m o número de zeros presentes na série temporal de precipitação e n o tamanho da amostra.

A distribuição de probabilidade cumulativa $H(x)$ é então transformada em uma variável aleatória normalizada Z , com média zero e desvio padrão 1, com a variável Z correspondendo ao SPI, através da aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz & Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável Z , pelas Equações 9 e 10.

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (9)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (10)$$

Sendo t definido pelas Equações 11 e 12.

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (11)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (12)$$

E os coeficientes utilizados nas equações:

$$C_0 = 2,515517; C_1 = 0,802853; C_2 = 0,010328;$$

$$d_1 = 1,432788; d_2 = 0,189269; d_3 = 0,001308.$$

O SPI pode ser aplicado em diferentes escalas de tempo, assim, por exemplo, o SPI-1 corresponde a precipitação acumulada em períodos mensais, e o SPI-12 corresponde a precipitação acumulada no período de doze meses. É interessante notarmos como a escala temporal altera a percepção sobre os eventos de seca, ao utilizar o índice, onde a medida que se aumenta a escala temporal, o SPI responde mais lentamente a mudanças. Por exemplo, o SPI de 12 meses responde mais rapidamente a seca, categorizando uma seca como mais severa, enquanto que o SPI de 36 meses, por considerar um período três vezes maior, demora mais a entrar na categoria mais severa, porém, sai de forma mais lenta. Assim, deve-se levar em consideração qual o fator a ser estudado, para definir-se qual a escala temporal será utilizada.

McKee et al. (1993) usaram os valores de SPI para definir a existência de seca e seu grau de intensidade, como apresentado na Tabela 1. Segundo os autores, a seca ocorre quando o valor do SPI é continuamente negativo, chegando a uma intensidade igual ou menor a -1, e terminando quando o SPI se torna positivo. Como mostra a Tabela 5, o SPI indica não somente a existência de secas, mas também identifica períodos úmidos.

Tabela 5. Classificação do Índice de Precipitação Padronizada (Fonte: adaptado de McKee et al., 1993).

SPI	Classificação
≥ 2,00	Extremamente úmido
1,50 a 1,99	Severamente úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Severamente seco
≤ -2,00	Extremamente seco

3.2.2 Índice de Vazão Padronizado (SSI)

Modarres & Sarhadi (2010) e Vicente-Serrano et al. (2016) utilizaram o Índice de Vazão Padronizado (Standardized Streamflow Index – SSI), com o objetivo de determinar secas hidrológicas mais simplificada, em comparação com outros índices, que necessitam de diferentes variáveis.

Esse índice se caracteriza por utilizar os mesmos princípios do SPI, porém considerando a vazão média mensal. Assim, segue-se o mesmo sistema de equações apresentados pelo SPI, dependendo de pelo menos trinta anos de dados medidos de vazão, onde seus resultados são classificados de acordo com a Tabela 5, indo de extremamente úmido a extremamente seco.

3.2.3 Índice de Vegetação Padronizado (SVI)

A principal diferença dos índices de vegetação, em relação aos demais, é a necessidade de se utilizar dados advindos de sensoriamento remoto, ou seja, esses índices são obtidos através do uso das faixas espectrais obtidas por esse tipo de informação. Segundo Moreira (2016), a faixa espectral da região do vermelho é uma das principais bandas de absorção da radiação eletromagnética pela clorofila, tendo a faixa do infravermelho próximo como a mais sensível a umidade da vegetação. Esses índices apresentam aumento nos valores quando se tem maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa e a diminuir quando atingidas por períodos de estresse hídrico.

O Índice de Vegetação Melhorado (EVI) tende a otimizar o sinal da vegetação, tendo maior sensibilidade à variação do dossel, onde segundo Huete et al. (2002) esse índice realça o sinal da vegetação através da otimização na sensibilidade em regiões com valores altos de biomassa, permitindo melhorar o monitoramento através da redução dos efeitos de substrato do dossel e da influência da atmosfera.

$$EVI = G \cdot \frac{NIR-RED}{NIR+C_1 \cdot RED-C_2 \cdot BLUE+L} \quad (13)$$

Onde: *NIR* é a refletância do infravermelho próximo; *RED* é a refletância do vermelho; *BLUE* é a refletância do azul; *G* é um fator de ganho (geralmente 2,5); *L* é o ajuste de fundo do dossel vegetal (geralmente 1); *C*₁ e *C*₂ são coeficientes de correção dos efeitos atmosféricos para as bandas do vermelho e azul (geralmente 6 e 7,5, respectivamente)

Devido a relação existente entre vigor vegetativo e as condições meteorológicas, esses índices são utilizados na formulação de indicadores de situação de secas ou estiagens, auxiliando no monitoramento e quantificação desses fenômenos. Como exemplo tem-se a padronização do índice EVI, que busca a identificação de anomalias da vegetação, assim identificando períodos de seca e estiagem (Leivas et al., 2014; Sousa Júnior et al., 2010; Sartori et al., 2009).

O Índice de Vegetação Padronizado (Standardized Vegetation Index – SVI) permite verificar o quanto a cobertura vegetal ficou acima ou abaixo do comportamento normal da vegetação para determinado período. Essa padronização ainda permite realizar comparações entre diferentes regiões.

$$SVI = \frac{X_{valor} - \bar{X}_{ref}}{\sigma} \quad (14)$$

Onde: *X*_{valor} representa o valor referido; \bar{X}_{ref} é a média para diversos anos no período referido; e σ é o desvio padrão de vários anos no período referido.

O SVI pode ser categorizado de muito abaixo do normal, a muito acima do normal, que leva em consideração o verdor da vegetação, como apresenta a Tabela 6.

Tabela 6. Intervalos de classes de valores do SVI (Fonte: adaptado de Leivas et al., 2014).

SVI	Categorização
$\geq 2,00$	Muito acima do normal
1,50 a 1,99	Acima do normal
1,00 a 1,49	Ligeiramente acima do normal
0,99 a -0,99	Normal
-1,00 a -1,49	Ligeiramente abaixo do normal
-1,50 a -1,99	Abaixo do normal
$\leq -2,00$	Muito abaixo do normal

3.3 Análise das variáveis e índices de seca

Para a avaliação da precipitação e da temperatura para o período de estudo, faz-se a comparação com a normal climatológica para cada estação utilizada. Essa avaliação é realizada para comparação do volume de precipitação e da temperatura média ocorrido com o esperado para o mesmo período em anos anteriores. Tal análise é realizada através das estações do INMET que possuem normais climatológicas associadas e com dados atualizados para o período de estudo. Essas estações foram especializadas e classificadas como abaixo ou acima do esperado para o mês, a fim de facilitar a compreensão e possibilitar a identificação das regiões do estado que foram mais afetadas por variações no período.

Posteriormente faz-se a análise dos índices de seca aplicados para cada variável estudada. A metodologia para caracterização e identificação do evento de seca seguiu o proposto por McKee et al. (1993), onde um evento de seca é caracterizado quando o índice é continuamente negativo, com valor igual ou inferior a -1.

O índice de precipitação foi aplicado para um período mensal, sendo o fator inicial de um período de seca, que se inicia a partir da redução da precipitação, posteriormente atingindo outras variáveis como vazão e vegetação.

O índice de vegetação foi aplicado para um período mensal, a fim de avaliar-se o quanto a vegetação foi influenciada pelo evento de seca. Para verificar os tipos de vegetação mais afetados por esse evento, avaliou-se o tipo de uso e cobertura do solo das áreas onde o índice apresentou maior severidade, a partir do mapa de classes do MapBiomass.

Avaliou-se o índice de vazão/escoamento em um período mensal, analisando também a localização dessas estações dentro da bacia hidrográfica, a fim de verificar o quanto a proximidade com o divisor de águas altera a ocorrência de menores vazões durante o evento estudado.

Todos os resultados apresentados pelos índices aplicados foram especializados através de figuras, para que fosse analisada a extensão espacial do evento em questão, e permitir avaliar quais as regiões do estado mais afetadas. Esse tipo de avaliação permite uma caracterização das áreas mais vulneráveis do estado, auxiliando nas tomadas de decisão em períodos de eventos de seca que possam vir a ocorrer.

3.4 Análise temporal do evento

O tempo de resposta entre as diferentes variáveis é determinante quando tratamos de mitigação dos problemas causados por eventos de seca.

Com o intuito de avaliar o tempo de propagação entre os diferentes tipos de seca relacionados ao evento estudado, fez-se a comparação do tempo de resposta da percepção entre a anomalia de precipitação e seu reflexo nas vazões e na vegetação.

Para isso, realizou-se a comparação entre os diferentes índices aplicados ao período mensal, onde é possível ter uma melhor resposta da relação entre as variáveis.

3.5 Análise do evento a partir dos dados não-sistemáticos

Os dados não-sistemáticos são uma das principais fontes de verificação dos impactos que eventos de seca tem na sociedade.

Para validar a propagação do evento de seca ocorrido e sua percepção pelos impactos causados em diferentes setores da sociedade, analisa-se e compara-se os dados não-sistemáticos, apresentados na Tabela 1, com as informações sistemáticas apresentadas ao longo dos resultados.

3.6 Análise da ocorrência do fenômeno ENOS

Um dos principais fatores normalmente relacionados como causadores, ou intensificadores dos eventos extremos no Rio Grande do Sul é o fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul), onde os anos de La Niña estão relacionados com a diminuição da precipitação em todo o Sul do Brasil (Ferreira, 2014).

Para verificar a ocorrência desse fenômeno, avalia-se os resultados apresentados pelo Índice Oceânico Niño (*Oceanic Niño Index* – ONI), através dos dados relativos as anomalias de temperatura extraídos da NOAA (National Weather Service, 2022) que segundo Pelissaro (2022) é um dos índices mais utilizados para verificar a ocorrência do fenômeno ENOS.

Analysaram-se os dados com as médias móveis trimestrais, e avaliou-se a ocorrência do fenômeno ENOS para o período de estudo.

4. RESULTADOS

Nesta seção estão apresentados os principais resultados obtidos, assim como as discussões quanto a eles.

4.1 Precipitação

Na Figura 8 estão apresentadas as estações INMET para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2019, e de janeiro, fevereiro, março e abril de 2020, comparando com a normal climatológica para o período de 1991 a 2020. Esses meses consistem no período de primavera e verão, considerado menos chuvoso no estado.

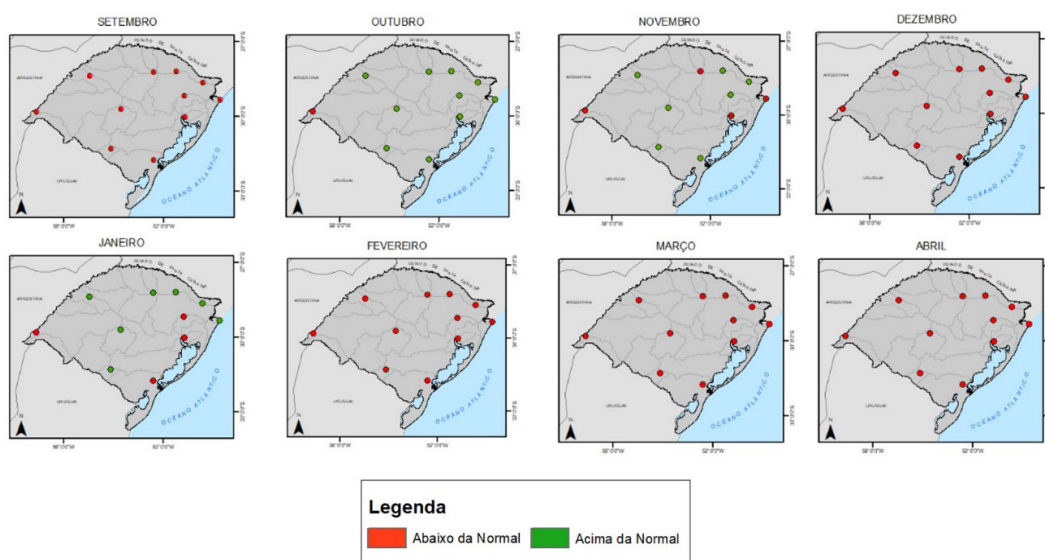


Figura 8. Comparativo do volume de chuva e normal climatológica em estações do INMET
Fonte: Autor

Quanto ao quadrimestre final de 2019, notam-se variações expressivas na pluviosidade no estado. Os meses de setembro e dezembro foram caracterizados com chuvas abaixo do esperado em todas as estações avaliadas, e os meses de outubro e novembro com chuvas dentro e acima da média na maioria das estações no estado. Já o início de 2020 apresentou chuvas bem distribuídas no estado, ficando o acumulado acima do esperado no mês de janeiro, na região Centro-Norte do estado. Porém, a partir do mês de fevereiro, os acumulados apresentaram significativa redução em relação à média esperada para o mês. Algo que se repetiu ao longo dos meses seguintes, onde no mês de março foram registradas chuvas cerca de 100 mm abaixo do esperado, seguido do mês de abril com acumulados bem abaixo da média para o mês. Os meses seguintes de 2020 já apresentaram chuvas variando próximas a média na maior parte das regiões do estado.

Para melhor avaliação do quanto abaixo da média para o mês o volume de precipitação está, a Figura 9 apresenta o SPI em escala mensal (SPI-1) espacializado para todo o estado, de acordo com Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (2022). A escala de um mês do índice tende a ser mais variável, quando comparada a períodos maiores do mesmo índice, devido ao seu período de cálculo, que compara o total acumulado no mês ao mesmo período em outros anos, semelhante a comparação quanto a normal climatológica apresentada anteriormente.

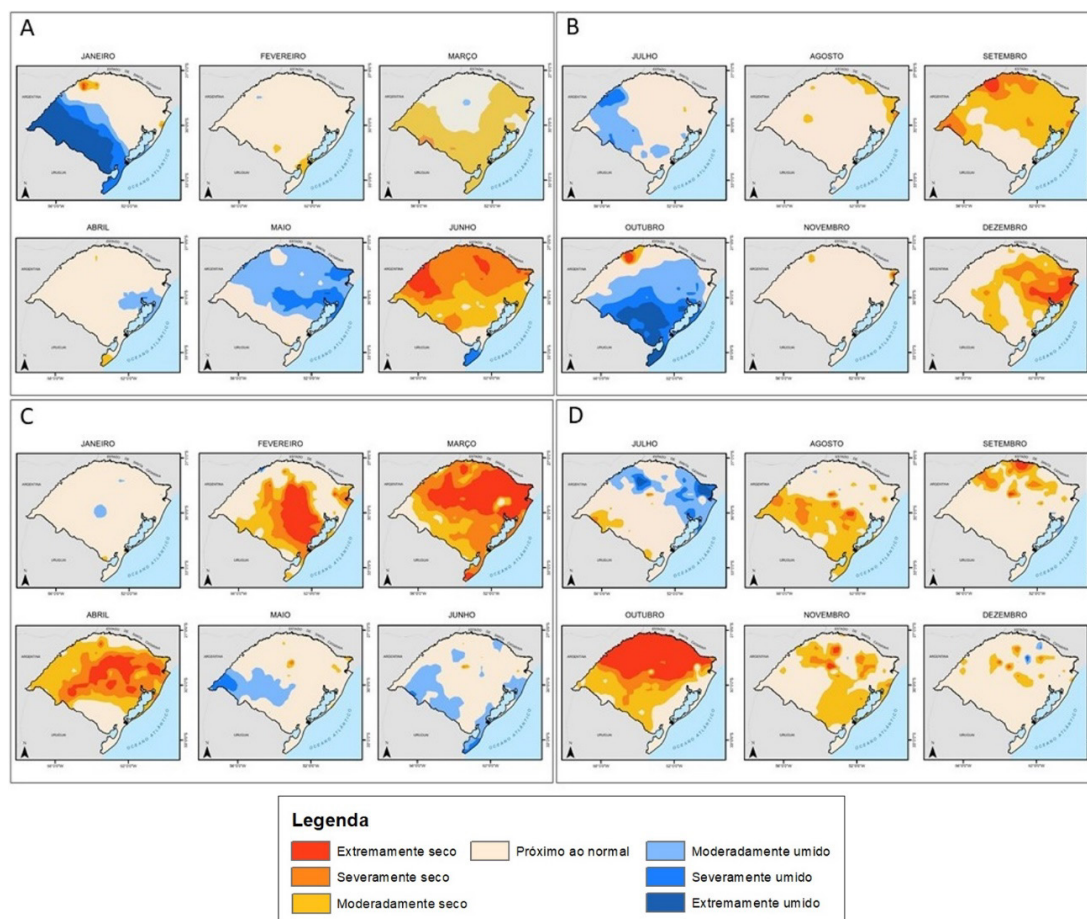


Figura 9. Resultados do SPI-1: A) ano 2019; B) ano 2019; C) ano 2020; D) ano 2020.

Fonte: Adaptado de Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (2022)

Quando se analisa o SPI-1 já no ano de 2019, obtêm-se a mesma resposta demonstrada pela comparação dos dados obtidos no comparativo entre as estações INMET e as normais climatológicas, onde os meses de setembro e dezembro apresentam chuvas bem abaixo da média, podendo ser classificados como de moderadamente secos a extremamente secos, destacando-se a região norte do estado no mês de setembro, e a região do litoral no mês de dezembro. Cabe destacar ainda no ano de 2019 que o mês de outubro foi considerado um mês úmido, comparado ao mesmo para o período, porém já o mês de novembro ficou dentro da média (entre -1 e 1), não mantendo a tendência apresentada pelo mês anterior.

Já o início de 2020, percebe-se que a precipitação se manteve abaixo do esperado para o período. O mês de janeiro apresentou chuvas dentro do esperado, mas a partir de fevereiro nota-se que somente as áreas mais ao norte do estado apresentam precipitações dentro do esperado para o mês, enquanto o Centro-Sul do Rio Grande do Sul apresenta situação de seca severa a extrema.

Os meses de março e abril de 2020 representam os meses mais críticos quanto as chuvas, onde todo o estado se encontra em situação de seca, no primeiro destaca-se as regiões nordeste e centro, classificados como extremamente secos. Já abril, segue a situação de seca, porém mais amena quando comparada ao mês anterior.

Nota-se no decorrer do ano de 2020, uma pequena atenuação nos meses de maio, junho e julho, porém a maior parte do estado apresentando chuvas dentro da normalidade esperada para o período. Já o último semestre do ano voltou a ter precipitação abaixo do esperado, com destaque para a região Centro-Norte do estado, classificado como extremamente seco.

4.2 Temperatura

Estão apresentadas nos gráficos da Figura 10 a anomalia entre a temperatura média mensal das temperaturas em comparação a normal climatológica para os anos de 2019 e 2020.

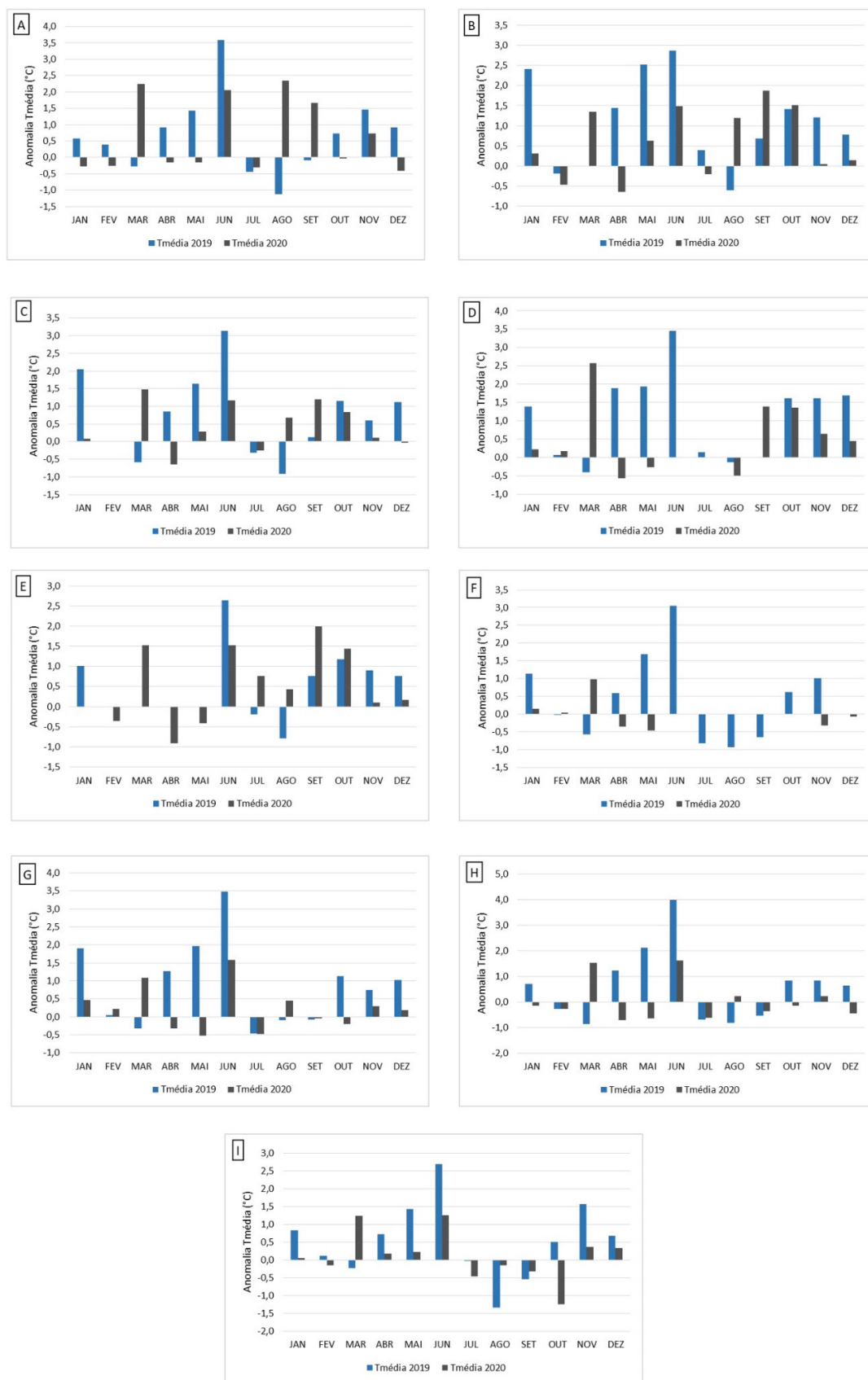


Figura 10. Anomalia das temperaturas médias mensais das estações INMET no período 2019 e 2020: A) Estação Bagé (83980); B) Estação Bom Jesus (83919); C) Estação Caxias do Sul (83942); D) Estação Cruz Alta (83912); E) Estação Passo Fundo (83914); F) Estação Pelotas (83985); G) Estação Porto Alegre (83967); H) Estação Santa Maria (83936); I) Estação Santa Vitória do Palmar (83997).

Fonte: Autor.

Ao analisar-se os gráficos de temperatura apresentados, nota-se que o último trimestre de 2019, composto pelos meses de outubro, novembro e dezembro, todas as estações analisadas apresentaram temperaturas médias mensais acima da normal climatológica, ou seja, acima da média para o período. Notam-se no mês de outubro, temperaturas acima de 0,5°C acima do esperado no Centro-Sul do estado, sendo +0,7°C em Bagé, +0,6°C em Pelotas, +0,8°C em Santa Maria, e +0,5°C em Santa Vitória do Palmar. Já nas demais regiões do estado, para o mesmo mês registraram-se temperaturas acima de 1°C acima da média, sendo +1,4°C em Bom Jesus, +1,1°C em Caxias do Sul, Porto Alegre e Passo Fundo, e +1,6°C em Cruz Alta.

Já no mês de novembro de 2019 as temperaturas em todas as estações analisadas no estado apresentaram variação acima da média, indo de +0,6°C em Caxias do Sul, a +1,6°C em Cruz Alta e Santa Vitória do Palmar. Ainda no mês de dezembro de 2019 as temperaturas seguiram a mesma tendência dos meses anteriores, ficando em média 0,8°C acima da normal, exceto no município de Cruz Alta, onde a temperatura ficou 1,7°C acima da média no município.

No início de 2020, os meses de janeiro e fevereiro, que já possuem a maior média de temperatura do ano, não apresentaram grande variação nas estações analisadas, tendo as temperaturas ficado dentro da média em todo o estado.

Já no mês de março de 2020 as temperaturas médias voltam a atingir valores acima do esperado para o mês, ficando acima de 1°C em todas as estações avaliadas. Destaca-se novamente a estação localizada no município de Cruz Alta, onde a temperatura no mês de março ficou 2,5°C acima do esperado para o mês, sendo seguido do município de Bagé, onde a estação registrou temperatura de 2,2°C acima da média mensal. Os meses de abril e maio de 2020 voltaram a registrar temperaturas dentro da normalidade para o período em todas as estações analisadas no estado do Rio Grande do Sul.

Ainda, vale o destaque para o mês de junho dos anos de 2019 e 2020, que como mostra a normal climatológica, em média é o segundo mês mais frio do ano, atrás apenas do mês de julho. No ano de 2019, o mês de junho apresentou temperaturas acima da normalidade em todas as estações analisadas, chegando a mais de 3°C acima da média nas estações de Bagé, Caxias, Cruz Alta, Pelotas, Porto Alegre e Santa Maria, e acima de 2,5°C nas estações de Bom Jesus, Passo Fundo e Santa Vitória. Já no mês de junho de 2020 as temperaturas voltaram a atingir valores acima do esperado para o mês, ficando em média 1,3°C acima do esperado em todas as estações analisadas, com destaque para a estações no município de Bagé, que ficou 2°C acima do esperado para o período no município.

4.3 Vegetação

Os eventos de seca têm grande influência sobre as plantas, sobretudo na agricultura, onde devido à redução de umidade e precipitação, e se for longa o suficiente, podem afetar o ciclo como um todo (Braz, 2015).

Através da padronização do índice de vegetação é possível avaliar o impacto do período de seca sobre as áreas do estado. A Figura 11 demonstra o índice mensal para o segundo semestre do ano de 2019 e ao longo do ano de 2020.

O índice apresenta pequenas áreas com variação negativa ao longo de todo o ano de 2019, porém destaca-se a maior abrangência de áreas afetadas a partir do mês de novembro, onde nota-se a maior espacialização com vegetação afetada, mas ainda próxima a normalidade.

A partir do mês de janeiro de 2020 verifica-se uma piora pontual em algumas regiões do estado, com destaque a região sudeste do estado. Nas demais regiões o índice fica de próximo a ligeiramente abaixo do normal.

Notam-se variações no índice durante o ano de 2020, porém pode-se destacar o período a partir de fevereiro a maio como o período de evidência do período do evento de seca, onde destacam-se áreas caracterizadas como muito abaixo do normal. Esse período é concomitante com o período das safras de verão no estado, como citado por Junges et al. (2020), onde a resposta da vegetação apresenta alterações no seu desenvolvimento devido à baixa pluviosidade.

As variações apresentadas no SVI podem se dar por diferentes formas. Por ser principalmente influenciado pela agricultura, o índice pode sofrer alteração devido ao atraso no plantio, ou alternância de culturas. Porém, vale destacar, que mesmo que essa variação seja influência do atraso no plantio, esse também se dá na maioria das vezes devido à falta de chuvas. Leivas et al. (2014) comenta que as chuvas de dezembro a março explicam cerca de 80% do rendimento de grãos no Rio Grande do Sul, principalmente para a cultura da soja.

Ao comparar-se o mapa de uso e ocupação do solo no Rio Grande do Sul e as áreas afetadas apresentadas pelo SVI (Figura 12), notam-se que as áreas de agricultura foram realmente afetadas pelo evento, onde, de acordo com a classificação apresentada, classificam-se em categorias de seca. Cabe destacar as áreas classificadas como “campo”, que principalmente nos meses de março, abril e

maio, mostram que esse tipo de vegetação apresentava sinais de problemas devido à seca prolongada, em conjunto as altas temperaturas ocorridas, principalmente no mês de março, como destacado anteriormente. É interessante notar que essas áreas de campo, não são áreas cultivadas, demonstrando que mesmo a vegetação natural sofreu com os impactos da seca.

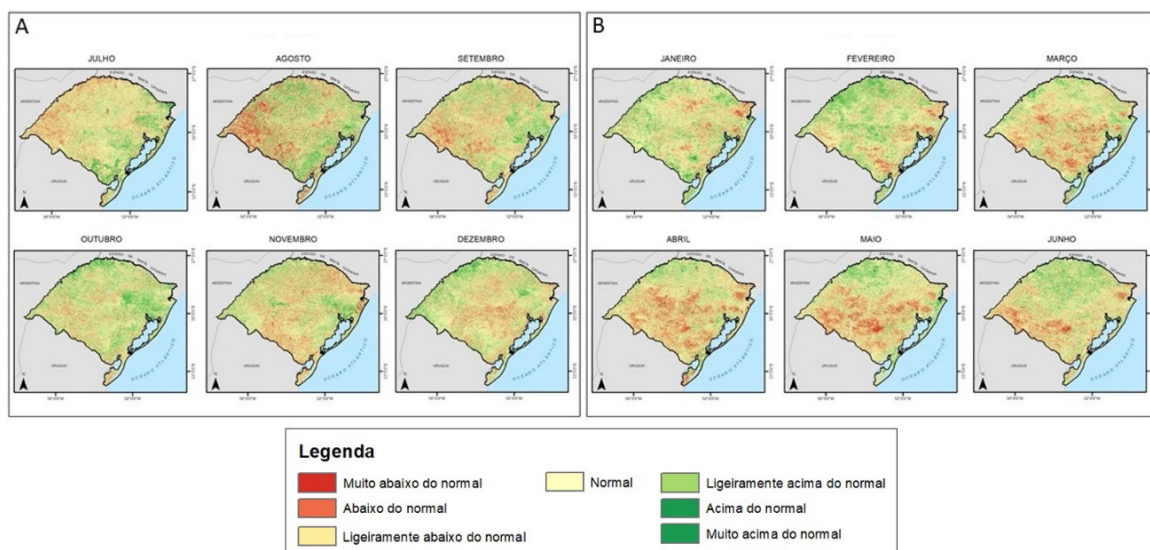


Figura 11. Resultados do SVI: A) ano 2019; B) ano 2020.

Fonte: Autor

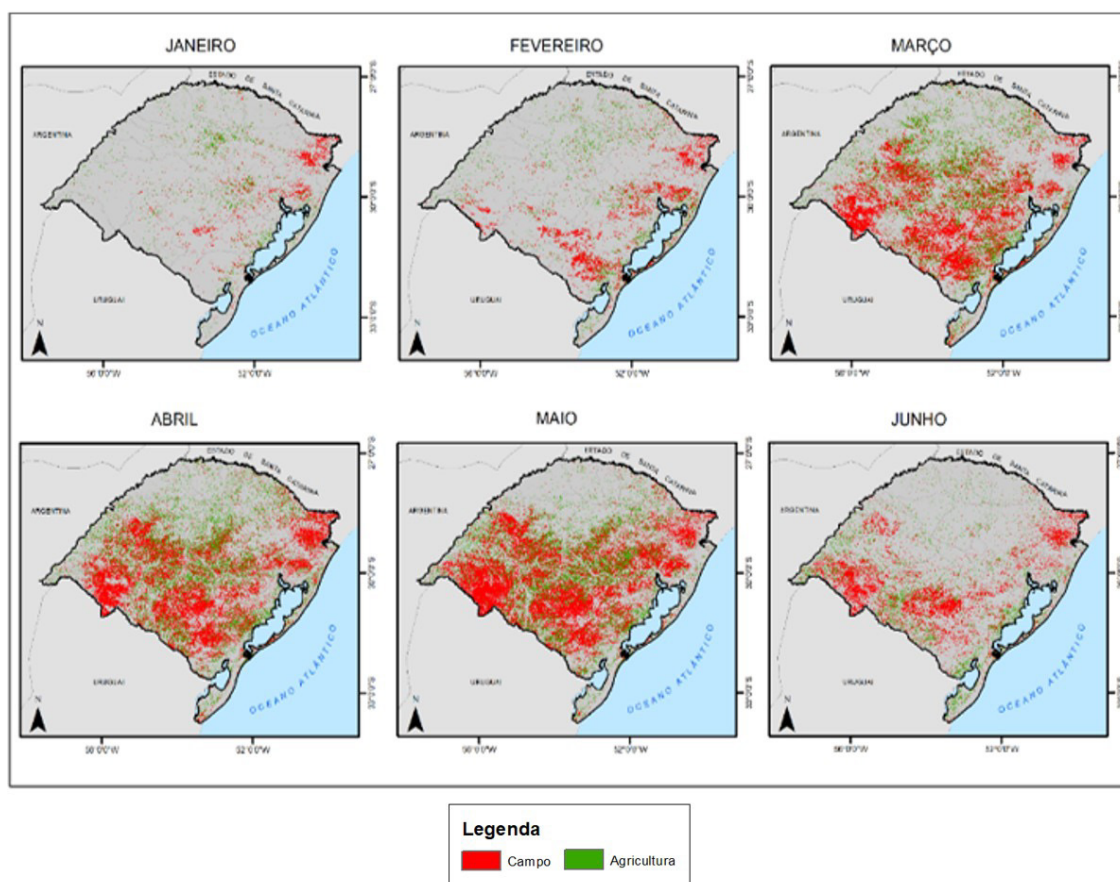


Figura 12. Tipos de vegetação mais afetadas pela seca no ano de 2020.

Fonte: Autor.

Os resultados verificados pelo índice coincidem com o que o Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (2020) apresenta quanto ao rendimento de grãos de soja no estado na safra 2019/2020, onde os volumes baixos de precipitação nos meses de fevereiro e março são coincidentes com a etapa do ciclo dessa cultura com maior demanda hídrica, e com isso as perdas de rendimento no período, que correspondeu a apenas 56% do rendimento da safra anterior (2018/2019). Ainda segundo Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (2020) a safra do milho ficou muito próxima ao rendimento médio da série histórica no estado, porém representando apenas 70% da safra anterior.

4.4 Vazão/Escoamento

Na Figura 13 estão apresentados os resultados do SSI-1, ou seja, o quanto a média de vazão de determinado mês ficou abaixo do esperado de acordo com o mesmo período analisado ao longo da série histórica. Nota-se a rápida resposta que a vazão tem em relação a diminuição das chuvas.

Durante o ano de 2019 vemos que as estações analisadas se mantiveram dentro da normalidade na maior parte do ano. No mês de maio de 2019, onde o SPI apresentou situação de chuvas acima da média, as estações, de acordo com o SSI-1, mostraram resposta rápida, ficando também acima da média, podendo classificá-las em situação de moderadamente úmido. Já no mês de setembro, na região nordeste do estado, os rios apresentavam situação de seca fraca, devido ao baixo acumulado de chuva em agosto, e principalmente em setembro na região.

Já no ano de 2020 que o índice apresenta a pior situação frente a vazão no estado, onde no mês de abril todas as estações analisadas apresentam situação de seca, podendo ser classificado de moderado a extremamente seco.

É interessante notar a propagação da seca no estado ao longo dos primeiros meses do ano de 2020, frente a vazão. A seca inicia-se pelo norte e nordeste do estado, se propagando para as demais regiões posteriormente, indo de encontro ao que foi verificado pelo índice de precipitação.

Nota-se que a região norte do estado apresenta resposta rápida a variação de precipitação, onde a propagação de uma seca meteorológica para uma seca hidrológica ocorre dentro do mesmo mês. Essa resposta rápida fica ainda mais clara quando analisamos o mês de julho de 2020, onde o SSI-1 responde rapidamente ao maior acumulado de chuvas registrados no mês, e evidenciados pelo SPI-1.

A região central do estado demonstra uma resposta mais lenta frente a baixa pluviosidade, quando comparada ao norte do estado. Isso fica mais nítido quando se avaliam os meses de fevereiro e março de 2020. No mês de fevereiro as estações ainda demonstravam estado de normalidade na região, vindo a ser classificada em seca apenas no mês de março, onde as chuvas também ficaram abaixo do esperado. Esse tempo de resposta também fica evidente quando olhamos os meses de outubro e novembro do ano anterior, onde em outubro as chuvas foram mais significativas na área, porém, as estações apresentaram essa resposta apenas no mês seguinte. Assim, evidencia-se que para a região central do estado, a propagação de uma seca meteorológica para uma seca hidrológica é de aproximadamente um mês.

Essa variação pode estar relacionada as diferenças de altitude no estado, onde em regiões com maior declividade, os cursos d'água respondem mais rapidamente a qualquer alteração. Já em áreas mais planas, a resposta é mais lenta, como em planícies. Esse resultado se aproxima ao encontrado por Chagas et al. (2018), que demonstraram que o efeito das secas meteorológicas na vazão não é homogêneo, pois a propagação das secas se diferem principalmente devido as características de cada bacia hidrográfica.

Esse resultado demonstra como as vazões no estado respondem rapidamente a variação das precipitações. Chagas et al. (2018) obtiveram resultados semelhantes, demonstrando que os efeitos da seca meteorológica já podem ser notados desde o primeiro mês no estado. Cabe destacar também, que podem ocorrer variações entre os tempos de resposta de estações próximas, devido a regularização de vazões ocasionada por reservatórios, que podem alterar as respostas frente ao evento.

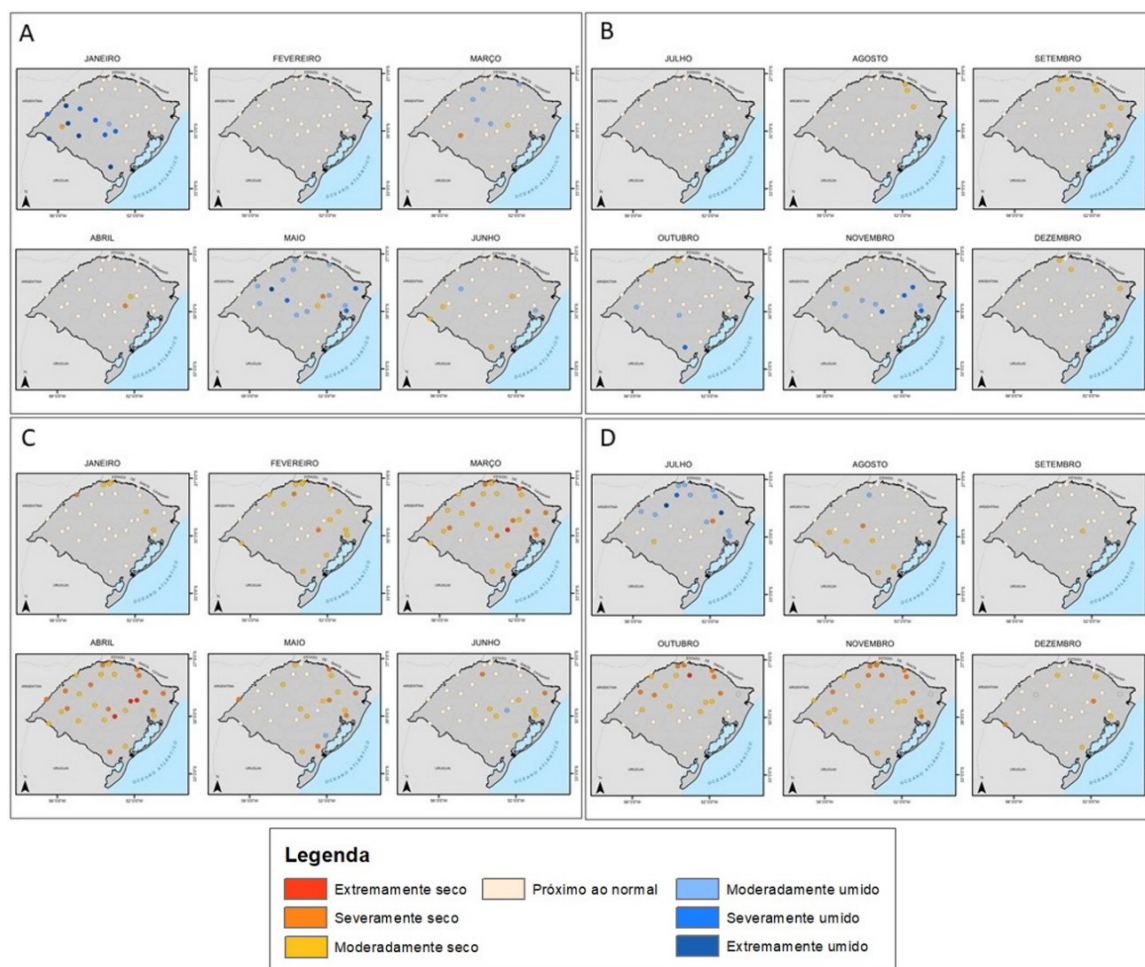


Figura 13. Resultados do SSI-1: A) ano 2019; B) ano 2019; C) ano 2020; D) ano 2020.
 Fonte: Autor

4.5 Ocorrência Do Fenômeno ENOS

Para que seja caracterizado como a ocorrência do fenômeno ENOS, a temperatura da superfície do mar na região do Niño 3.4 deve apresentar cinco anomalias consecutivas de três meses. A Tabela 7 apresenta os valores de anomalias trimestrais da superfície do mar, onde os períodos quentes (em vermelho) caracterizam a ocorrência de El Niño e os períodos frios (em azul) a ocorrência de La Niña.

Tabela 7. Valores de anomalia da SST

ANO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2018	-0,9	-0,9	-0,7	-0,5	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,8
2019	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5
2020	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-1,2
2021	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-1,0	-1,0

Fonte: Adaptado de National Weather Service, 2022.

Nota-se através dos dados que o período compreendido entre os trimestres Junho/Julho/Agosto (JJA) de 2019 e Maio/Junho/Julho (MJJ) de 2020 é caracterizado como neutro, ou seja, não é considerado a ocorrência do La Niña ou El Niño. Ainda, percebe-se que não ocorreu o resfriamento das águas no período de ocorrência do evento de seca estudado.

Percebe-se também que o primeiro semestre de 2019 é indicado com a ocorrência do fenômeno El Niño, que caracteriza-se normalmente pelo aumento das chuvas no estado. Essa ocorrência está de acordo com o apresentado pelo SPI para os primeiros meses de 2019, com destaque para o mês de janeiro, que apresentou chuvas acima do esperado para o período.

Já a partir do segundo semestre de 2020 é caracterizada a ocorrência do fenômeno La Niña, quando ocorre o resfriamento das águas do Oceano Pacífico. Nota-se também que valores negativos já

são apresentados desde o trimestre Março/Abril/Maio (MAM) de 2020, e se estendendo até o final de 2021, como um pequeno intervalo de neutralidade na metade do ano. A ocorrência do fenômeno La Niña a partir da metade de 2020 pode explicar a continuidade do período de seca iniciado em 2019, já que tem por característica a diminuição dos volumes de chuva no estado.

Assim, a anomalia de precipitação ocorrida no período de estudo, e que desencadeou o evento extremo de seca ocorrido no estado do Rio Grande do Sul, não está ligado a ocorrência do La Niña, de encontro ao apresentado por Reckziegel (2007), que demonstrou que outros períodos de seca no estado do Rio Grande do Sul ocorreram em anos neutros.

5. SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Essa seção apresenta uma análise integrada dos resultados obtidos até aqui, apresentando o comportamento de cada variável estudada antes e durante o período da seca ocorrida no estado do Rio Grande do Sul.

O verão de 2019 apresentou chuvas acima da média no Oeste e Sudoeste do estado, e dentro da normalidade nas demais regiões do estado, em conjunto com a ocorrência do El Niño, que caracteriza-se pelo aumento da precipitação no estado, que se estendeu até o mês de junho do mesmo ano, onde foi seguido por um período neutro.

Ao longo dos meses seguintes de 2019, a precipitação ficou abaixo do esperado em todas as estações verificadas. Os meses de junho, julho, agosto e setembro tiveram precipitação abaixo da normal climatológica, chegando a 130 mm de déficit no mês de setembro na estação de Lagoa Vermelha, no norte do estado, resultando ao final de agosto e início de setembro, uma redução das vazões nas estações selecionadas das bacias hidrográficas do estado.

Já as temperaturas ao longo do ano de 2019, os meses de abril, maio e junho apresentaram temperaturas acima da normal climatológica em todo o estado, com destaque ao mês de junho, sendo seguidos pelos meses de julho, agosto e setembro que apresentaram temperaturas dentro do esperado para o período. O último trimestre de 2019 voltou a apresentar temperaturas médias acima do esperado, tendo o mês de novembro a maior variação, com destaque a estação em Cruz Alta, que registrou cerca de 1,6°C acima do esperado.

Quando avaliou-se, dentre os fatores hidrometeorológicos que levaram a esse evento extremo de seca, a precipitação se destaca, por ser esse o principal fator desencadeador de todos os outros efeitos posteriores resultantes desse tipo de evento.

Destaca-se a ocorrência de quatro meses seguidos com chuvas abaixo da normal climatológica (junho, julho, agosto e setembro), onde a precipitação ficou em média 77% abaixo da normal, fazendo com que as vazões apresentassem recessão em todo o estado. Após isso, apresentam-se dois meses com chuvas acima do esperado (outubro e novembro), sendo seguidos dos meses de verão, no final de 2019 e início de 2020, onde a precipitação também ocorreu abaixo do normal, ficando em média 95 mm abaixo do esperado, ou cerca de 67% abaixo da normal, com destaque ao mês de março de 2020, que registrou cerca de 20% do esperado para o mês. Com isso, as vazões voltaram a recessão acentuada no período, chegando nos meses seguintes aos valores mais baixos registrados durante o evento.

Através da Figura 14, que apresenta a análise temporal ao longo de todo o ano de 2019, demonstram-se algumas das situações causadoras do evento de seca 2019/2020. Esse tipo de informação é útil para que se auxilie quando de situações semelhantes no futuro, ajudando na preparação e mitigação dos possíveis problemas a serem causados.

Durante o período do evento pode-se caracterizar, através de dados sistemáticos juntamente a aplicação dos índices de seca, a ocorrência de seca meteorológica, hidrológica e agrícola. A seca meteorológica é caracterizada já a partir de dezembro de 2019, quando o índice de precipitação padronizado (SPI) apresenta valores abaixo de -1, iniciando pela região norte e nordeste do estado, e se intensificando no mês de março de 2020, em todo o estado.

A seca hidrológica já é percebida no mês de janeiro de 2020, com destaque para a região de fronteira com o estado de Santa Catarina, de acordo com o índice de vazão padronizado (SSI), que apresenta valores abaixo de -1 nas estações analisadas. Esse resultado vai de encontro as informações apresentadas na Tabela 1, onde já no mês de janeiro, reservatórios de usinas hidrelétricas já apresentavam problemas devido à estiagem. A partir do mês de fevereiro as regiões norte, leste e sul do estado também apresentam pontos de seca hidrológica. No mês de março e abril o evento de seca hidrológica atinge todo o estado, com diferente intensidade.

Em relação a seca agrícola, essa é percebida principalmente a partir do mês de fevereiro de 2020, com o aumento da intensidade e das áreas atingidas, de acordo com os resultados apresentados pelo

índice de vegetação padronizado (SVI), que apresenta valores abaixo de -1, caracterizando conforme a Tabela 6, como abaixo do normal, com destaque na região Centro-Sul do estado, mantendo-se durante os meses de março, abril e maio.

Um dos resultados disso se dá no número de municípios com decretos de emergência devido à seca no ano de 2019/2020, como mostra a Figura 4.

Todos esses fatores relacionados aos diferentes tipos de seca, levam a problemas no abastecimento público de água, perdas na agricultura, consequentemente aumento nos preços dos alimentos, entre outros, como os apresentados na Tabela 1. Tudo isso caracterizando o evento como seca socioeconômica.

Assim, demonstra-se que esse evento de seca extrema caracteriza-se pelo atingimento dos quatro tipos de seca.

Ao verificar-se as regiões do estado mais afetadas pela seca, pode-se destacar diferenças entre as variáveis apresentadas. Quanto a precipitação e a vazão, as regiões norte e nordeste do estado apresentam os piores resultados, podendo ser verificado quando se comparam as respostas aos índices empregados, onde esses classificam-se em severo a extremamente secos. Quanto a vegetação, pode-se destacar a região sul e sudoeste do estado como as mais afetadas, muito influenciadas pela resposta do campo frente ao longo período com precipitação abaixo da normalidade.

A seguir apresenta-se a análise temporal da seca, utilizando os dados não-sistemáticos (Figura 15) e os dados sistemáticos (Figura 16), levantados e apresentados ao longo deste trabalho, onde pode-se notar a progressão do evento de seca.

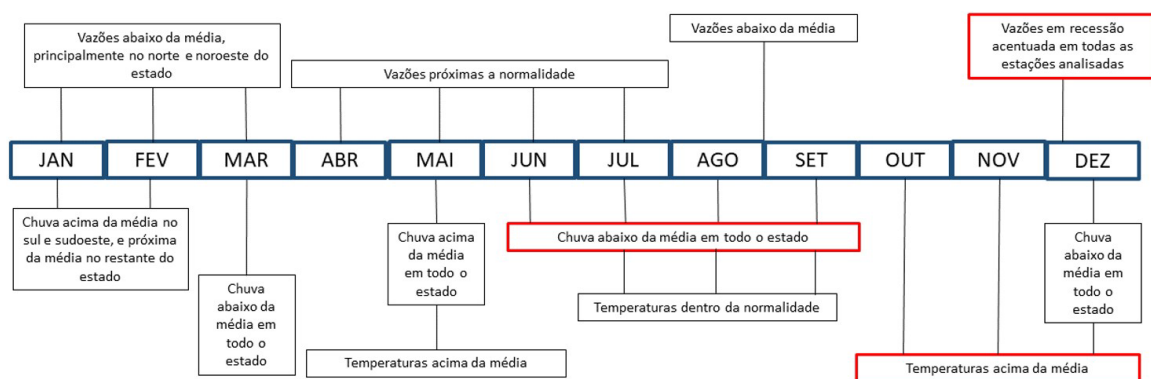


Figura 14. Linha temporal das variáveis no ano de 2019.

Fonte: Autor.

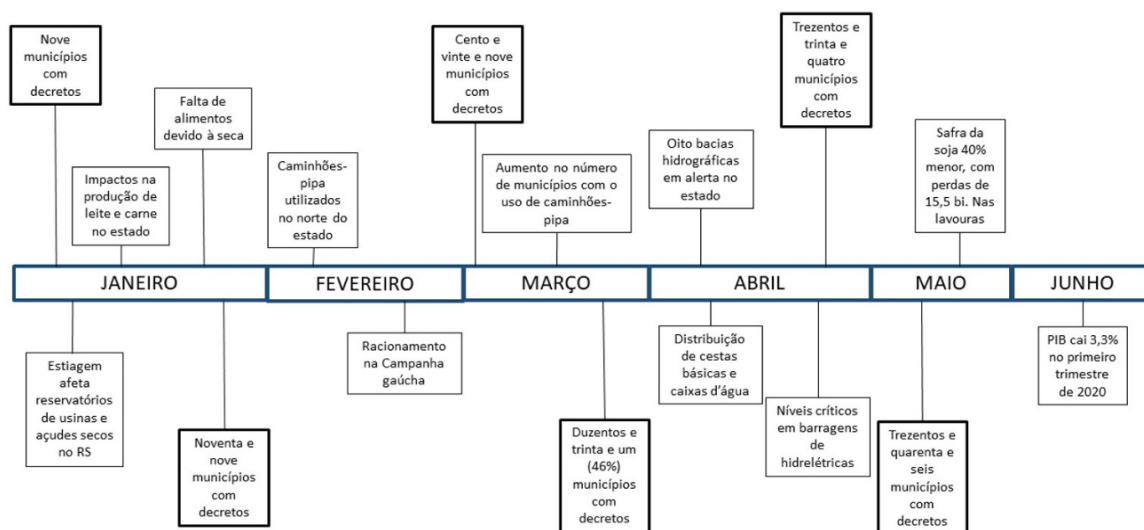


Figura 15. Linha temporal do evento de seca 2019/2020 pela análise de dados não-sistemáticos

Fonte: Autor.

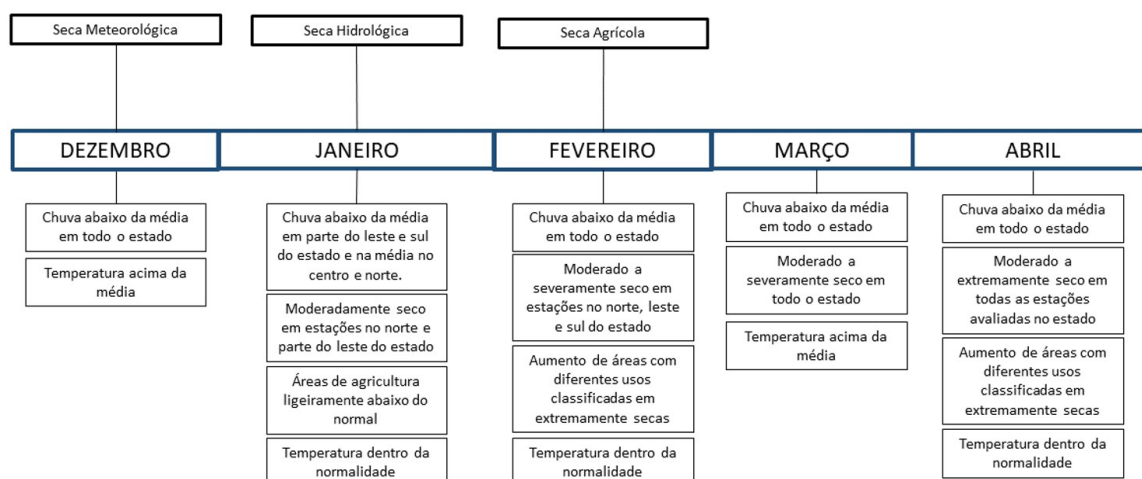


Figura 16. Linha temporal do evento de seca 2019/2020 pela análise de dados sistemáticos
Fonte: Autor.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho fez-se uma análise integrada do evento de seca ocorrido no estado do Rio Grande do Sul a partir do final de 2019, utilizando-se dados sistemáticos e não-sistemáticos. O principal objetivo desta metodologia é fazer uma caracterização do evento, onde os resultados obtidos possibilitaram concluir que a ocorrência de quatro meses seguidos com chuvas abaixo da média pode ser relacionado como um dos principais fatores causadores do evento de seca, já que afetou diretamente as vazões, onde associada a falta de chuvas no final de 2019, deu início ao prolongado evento de seca no estado do Rio Grande do Sul. De acordo com os índices empregados, a seca meteorológica tem início no mês de dezembro de 2019, influenciando ainda mais as vazões já no mês seguinte em muitas das estações analisadas, podendo classificar-se como o início da seca hidrológica e a seca agrícola é percebida principalmente a partir do mês de fevereiro, com áreas de agricultura e campo apresentando as maiores variações, se intensificando a partir do mês de março, conjuntamente a um registro de temperaturas acima da média em todo o estado. Assim, a progressão entre a seca meteorológica e a seca hidrológica é de aproximadamente um mês neste evento, e a seca agrícola é de aproximadamente dois meses. Nesse evento também pode ser observada a ocorrência da seca socioeconômica, onde diversos setores da sociedade são afetados pela seca, como falta de água para o abastecimento, perdas na agricultura, com consequências no aumento de preços de produtos e diminuição no PIB do estado. Destaca-se o período de neutralidade do fenômeno ENOS de julho de 2019 a julho de 2020, demonstrando não ser um período de La Niña, normalmente ligado a diminuição da precipitação na região sul do Brasil. Com isso, como fonte de previsão de um evento semelhante ao ocorrido, deve-se atentar para a sequência de meses com precipitação abaixo do esperado, que dá início a uma recessão nas vazões.

Ainda que nem todos os eventos de seca no estado ocorram com a mesma magnitude, aprender com os eventos passados contribui para a gestão desse tipo de desastre no futuro.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abramowitz, M., & Stegun, I. A. (1965). *Handbook of mathematical functions with formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. 1046 p. Dover - New York.
- Ayoade, J. O. (2002). *Introdução à climatologia para os trópicos*. (8. ed.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 332 p.
- Azambuja, C. B., Lorenzini, R., & Camelo, L. G. C. (2020). Efeitos da estiagem na água para consumo humano no Rio Grande do Sul entre 2019 e 2020. *Revista Afluente*, 8, 25-34.
- BBC Brasil. (2021). *Como seca histórica no Brasil traz risco de inflação e racionamento de energia*. Recuperado em 03 de maio de 2022, de <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-57290389>.
- Berlato, M. A., & Cordeiro, A. P. A. (2005). Variabilidade climática e agricultura do Rio Grande do Sul. In: Federação dos Clubes de Integração e Troca de Experiência –FEDERACITE (Org.), *As estiagens e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência?* (pp. 43-59). Porto Alegre: Ideograf Editora Gráfica.
- Braz, D. F. (2015). *Impactos de eventos severos na agricultura do Rio Grande do Sul* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

- Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil – CEPED. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. (2020). *Atlas Digital de Desastres no Brasil*. Recuperado em 03 de maio de 2022, de <http://atlasdigital.mdr.gov.br/>.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CEMADEN. (2014). *Informações sobre produtos de monitoramento climático mensal e sazonal das chuvas no Brasil na página do CPTEC/INPE*. Recuperado em 03 de maio de 2022, de http://s2.cptec.inpe.br/webcptec/sites/clima/pdf/Documento_produto_distribuiçoes.pdf.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CEMADEN. (2022). *Índice padronizado de precipitação – SPI*. Recuperado em 03 de maio de 2022, de <http://clima1.cptec.inpe.br/indice/pt>.
- Chagas, V. B. P., Bevacqua, A. G., & Chaffe, P. L. B. (2018). *Propagação de secas meteorológicas para secas hidrológicas no sul do Brasil*. In *I Encontro Nacional de Desastres*. Recuperado em 17 de junho de 2022, de <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=3752>.
- Defesa Civil do Rio Grande do Sul. (2021). *Decretos Homologados e Reconhecidos: Estiagem 2019/2020*. Recuperado em 20 de julho de 2021, de <https://www.defesacivil.rs.gov.br/estiagem>.
- Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária – DDPA. (2020). *Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural.
- Fernandes, D. S., Heinemann, A. B., Da Paz, R. L., Amorim, A. O., & Cardoso, A. S. (2009). *Índices para a Quantificação da Seca*. Santo Antônio de Goiás, GO: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Arroz e Feijão, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 48 p.
- Ferreira, M. G. (2014). *Análise da variabilidade da precipitação e da estiagem no município de Erechim e Região Norte do Rio Grande do Sul* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Gross, J. A. (2015). *Índice de Anomalia de Chuva (IAC) dos Municípios do Rio Grande do Sul afetados pelas estiagens no período de 1991 a 2012* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- GZH (2020a). *Estiagem no RS é a mais severa desde a safra de 2012*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-e-lavoura/noticia/2020/01/estiagem-no-rs-e-a-mais-severa-desde-a-safra-de-2012-ck5362tja01y401ody8tlh62r.html>
- GZH (2020b). *Nove cidades decretaram situação de emergência devido a estiagem*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/01/nove-cidades-decretaram-situacao-deemergencia-devido-a-estiagem-ck541u6sl022d01odlfsutp0c.html>.
- GZH (2020c). *Estiagem afeta reservatórios de usinas de energia no RS*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/marta-sfredo/noticia/2020/01/estiagemafeta-reservatorios-de-usinas-de-energia-no-rs-ck55f3qxm02d401ocrbf4b532.html>.
- GZH (2020d). *Estiagem também impacta produção de leite e de carne no RS*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/giseleloeblein/noticia/2020/01/estiagem-tambem-impacta-producao-de-leite-e-de-carne-no-rsck57e3d0402ul01od0al7z3c5.html>.
- GZH (2020e). *Com açudes secos produtores precisam improvisar para dar água ao gado*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/01/com-acudes-secos-produtores-precisamimprovisar-para-dar-agua-ao-gado-ck5eie8tf001801ocbbbsnccj.html>.
- GZH (2020f). *Estiagem provoca falta, alta e até redução de preços de alimentos no RS*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/giane-guerra/noticia/2020/01/estiagem-provoca-falta-alta-eate-reducao-de-precos-de-alimentos-no-rs-entenda-ck5jnbgm600zv01oc8z1ns9fv.html>.
- GZH (2020g). *Após estiagem busca por sistemas de irrigação cresce 20% no RS*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/giseleloeblein/noticia/2020/01/apos-estiagem-busca-por-sistema-de-irrigacao-cresce-20-no-rsck61c9y0e0eyh01qdwyf8npca.html>
- GZH (2020h). *Número de municípios afetados pela estiagem sobe e defesa civil alerta que problema seguirá durante fevereiro*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/02/numero-de-municipios-afetados-pela-estiagem-sobe-e-defesa-civil-alerta-que-problema-seguira-durante-fevereiro-ck68haoth0gb101qd6tw4kmg.html>
- GZH (2020i). *Estiagem leva corsan a abastecer fontoura xavier com caminhões-pipa*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/02/estiagem-leva-corsan-a-abastecer-fontouraxavier-com-caminhoes-pipa-ck6tpoc500kid01qd88a0u0dy.html>.

- GZH (2020j). *Três Cidades do RS pedem ajuda para garantir abastecimento devido a estiagem*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/02/tres-cidades-do-rs-pedem-ajuda-para-garantirabastecimento-devido-a-estiagem-ck6uz67ur0ksa01qdh81t4tvo.html>.
- GZH (2020k). *Atingidos pela estiagem, 11 municípios do RS recebem caminhões-pipa para abastecimento de água*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/03/atingidos-pela-estiagem-11-municipios-do-rsrecebem-caminhoes-pipa-para-abastecimento-de-agua-ck7c7sf4600z401oamxyex12q.html>.
- GZH (2020l). *Chuva abaixo da média agrava situação no RS*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/03/chuva-abaixo-da-mediaagrava-situacao-no-rs-ck7f62up401qd01pq09rsnygv.html>.
- GZH (2020m). *Cerca de 46% dos municípios gaúchos já decretaram situação de emergência devido a estiagem*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/03/cerca-de-46-dos-municipios-gauchos-jadeclararam-situacao-de-emergencia-devido-a-estiagem-ck8gfm86j009f01pmatstlwjj.html>.
- GZH (2020n). *Estiagem no RS: 253 municípios decretaram situação de emergência*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-elavoura/noticia/2020/04/estiagem-no-rs-253-municipios-decretam-situacao-de-emergenciack8kzdhgk01jf01pmauryzvd.html>.
- GZH (2020o). *Secretaria do meio ambiente aponta que chuva prevista para os próximos meses não reverterá quadro de estiagem no RS*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/04/secretaria-do-meio-ambiente-aponta-que-chuva-previstapara-os-proximos-meses-nao-revertera-quadro-de-estiagem-no-rs-ck8p80qy900i801qw416kq4xa.html>.
- GZH (2020p). *Municípios atingidos pela estiagem vão receber 25 mil cestas básicas e 550 caixas d'água*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/04/municipios-atingidos-pela-estiagem-vaoo-receber25-mil-cestas-basicas-e-550-caixas-dagua-ck8q27ovo00m401qwuyxepzo.html>.
- GZH (2020q). *Por estiagem Porto de Porto Alegre opera com restrições*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/martasfredo/noticia/2020/04/por-estiagem-porto-de-porto-alegre-opera-com-restricoesck8royhon013n01nt6nvlwf1t.html>.
- GZH (2020r). *Com 67% das cidades em emergência governo do RS retoma programa de construção de açudes*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/04/com-67-das-cidades-em-emergencia-governo-dors-retoma-programa-de-construcao-de-acudes-ck9mx2gp1005a015nvozlxygc.html>.
- GZH (2020s). *Barragens de hidrelétricas estão em níveis críticos no RS por falta de chuva*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/martasfredo/noticia/2020/04/barragens-de-hidreletricas-estao-em-niveis-criticos-no-rs-por-falta-de-chuvack9n3qhfo007e015np4klbyub.html>.
- GZH (2020t). *Safra de soja do RS deste ano será 40% menor*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/gisele-loeblein/noticia/2020/05/safra-desoja-do-rs-deste-ano-sera-40-menor-cka41ffwe0095015ntu445e2i.html>.
- GZH (2020u). *Afetado por estiagem e início da pandemia PIB gaúcho cai 3,3% no primeiro trimestre de 2020*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/noticia/2020/06/afetado-por-estiagem-e-inicio-da-pandemiapib-gaучo-cai-33-no-primeiro-trimestre-de-2020-ckb9edmo6005h015nkl43cx6a.html>.
- GZH (2020v). *Como a estiagem mudou a rotina em 10 municípios do RS*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/05/como-aestiagem-mudou-a-rotina-em-10-municipios-do-rs-cka868u6y0028015n36jbn5o3.html>.
- GZH (2020x). *69% dos municípios gaúchos decretam situação de emergência em razão da estiagem*. Recuperado em 20 de agosto de 2022, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/05/69-dos-municipios-gauchos-decretam-situacao-de-emergencia-em-razao-da-estiagem-ck9rue99000gu015njtzf2i95.html>.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment Journal*, 83, 195-213.
- Junges, A. H., Cardoso, L. S., Varone, F., & Tazzo, I.F. (2020). Condições meteorológicas ocorridas em janeiro de 2020 e situação das principais culturas agrícolas no estado do Rio Grande do Sul. *Comunicado Agrometeorológico*, 34(9), 6-29.
- Leivas, J. F., Andrade, R. G., Victoria, D. de C., Torresan, F. E., Vicente, L. E., Teixeira, A. H. de C., Bolfe, E. L., & Barros, T. R. (2014). Avaliação do índice de Vegetação Padronizado no Monitoramento Indicativo de Estiagens em Períodos Críticos da Soja no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, 66(5), 1145-1155.
- Lobo, F.L. (2020). *Introdução ao Google Earth Engine: apostila*. Pelotas: UFPel.

- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Eighth Conference on Applied Climatology* (pp. 179-184). Anaheim, California: American Meteorological Society.
- Modarres, R., & Sarhadi, A. (2010). Frequency distribution of extreme hydrologic drought of southeastern Semiarid Region, Iran. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15, 255-264.
- Moreira, A. A. (2016). *Análise da seca/estiagem no norte do estado de Minas Gerais a partir de dados MODIS* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Moreno, J. A. (1961). *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura.
- National Weather Service – NOAA. (2022). *Equatorial Pacific sea surface temperatures*. Recuperado em 17 de junho de 2022, de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff.
- Pelissaro, E. D. (2022). *O papel do oceano atlântico sudoeste e da oscilação antártica nos extremos de precipitação no sul do Brasil* (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Projeto MapBiomias. (2022). *Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil*. Recuperado em 17 de junho de 2022, de <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>
- Reckziegel, B. W. (2007). *Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Sartori, A. A. C., Silva, R. F. B., Pianucci, M. N., & Zimback, C. R. L. (2009). Influência do período de estiagem no Índice de Vegetação (NDVI), no Município de Botucatu –SP. In *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal: INPE.
- Secretaria Estadual da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural – SEAPDR. (2020). *Relatório Oficial n. 9 -Condições Meteorológicas Ocorridas no Rio Grande do Sul (Verão 2019/2020)*. Recuperado em 17 de junho de 2022, de <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202003/13112140-relatorio-09-estiagem-seapdr.pdf>
- Secretaria Estadual de Planejamento, Governança e Gestão – SEPGG. (2020). *Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul* (5. Ed.). Porto Alegre: Departamento de Planejamento Governamental.
- Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul – SEMA. (2019). *Boletim Hidrometeorológico*. Dezembro de 2019. Recuperado em 25 de abril de 2022, de <http://www.saladesituacao.rs.gov.br/boletins>
- Silva, G. M. (2015). *Avaliação da ocorrência de seca no estado do Rio Grande do Sul* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- Soares, F. (2020). *Municípios do RS enfrentam dificuldades de abastecimento de água*. Porto Alegre: GZH. Recuperado em 19 de junho de 2021, de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/05/municipios-do-rs-enfrentam-dificuldades-de-abastecimento-de-agua-cka879tf6002r015nf8xoo46m.html>
- Sousa Júnior, M. A. S., Sausen, T. M., & Lacruz, M. S. P. (2010). Monitoramento de estiagem na Região Sul do Brasil utilizando dados ENVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a Junho de 2009. In *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 5901). Curitiba: INPE.
- Thom, H. C. S. (1966). *Some methods of climatological analysis*. Geneva: World Meteorological Organization. 53 p. (WMO Technical Note, 81).
- Valente, P. T. (2018). *Eventos extremos de precipitação no Rio Grande do Sul no Século XX a partir de dados de reanálise e registros históricos* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Vanelli, F. M., Fan, F. M., & Kobiyama, M. (2020). Panorama geral sobre dados hidrológicos com ênfase em eventos hidrológicos extremos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 17, e24. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v17e24>
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., & Morán-Tejeda, E. (2016). Accurate computation of a streamflow drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17, 318-332.

Contribuições dos autores:

Dieyson Pelinson: realizou o trabalho de dados (obtenção, processamento e análise) e foi responsável pela redação do artigo.

Fernando Mainardi Fan: auxiliou na concepção da ideia, revisão da literatura e dados, revisão do artigo, correções e sugestões.

|