Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology

OPEN ACCESS

BIBLIOTECA Coordenadoria de Bibliotecas Portal de Periódicos
ISSN 2237-8642

ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DA OCORRÊNCIA DE GRANIZO EM PLANTAÇÕES DE FUMO NO RIO GRANDE DO SUL (1999-2018)

Temporal and spatial analysis of hail occurrence in tobacco plantations in Rio Grande do Sul (1999-2018)

Análisis temporal y espacial de la ocurrencia de granizo en plantaciones de tabaco en Rio Grande do Sul (1999-2018)

Luciana Barros Pinto
Universidade Federal de Pelotas
luciana.pinto@ufpel.edu.br

Josiéle Souza dos Santos
Universidade Federal de Pelotas
josi03ju@hotmail.com

Rose Ane Pereira de Freitas
Universidade Federal de Pelotas
freitas.rose@ufpel.edu.br

Morgana Vaz da Silva
Universidade Federal de Pelotas
morgana.silva@ufpel.edu.br

Luciana Cardoso Neta
Universidade Federal de Pelotas
lcneta@gmail.com

Leonardo Calvetti
Universidade Federal de Pelotas
lcalvetti@gmail.com

Deivid Araújo Magano
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
maganodeivid@gmail.com

Luís Eduardo Panozzo
Universidade Federal de Pelotas
maganodeivid@gmail.com

Resumo: O granizo é um fenômeno meteorológico severo que frequentemente causa danos significativos à agricultura, afetando especialmente culturas de alto valor econômico, como o fumo. Este estudo caracteriza a distribuição temporal e espacial dos eventos de granizo que danificaram plantações de fumo no Rio Grande do Sul entre 1999 e 2018. Foram identificados os casos mais severos para a análise dos sistemas meteorológicos responsáveis. Dados da AFUBRA foram integrados com reanálises ERA-5, permitindo uma análise detalhada de três eventos de grande impacto. Observou-se que outubro concentrou o maior número de propriedades afetadas, seguido de novembro e dezembro, com maior frequência de eventos nas regiões central e sul do estado. O terceiro evento analisado destacou-se pelos danos mais expressivos, associados à presença de um jato de baixos níveis persistente, que intensificou a severidade do fenômeno.

Palavras-chave: Tabaco. Eventos Extremos. Meteorologia Severa. Sul do Brasil.

Abstract: Hail is a severe meteorological phenomenon that often causes substantial damage to agriculture, particularly in high-value crops like tobacco. This study characterizes the temporal and spatial distribution of hail events that damaged tobacco plantations in Rio Grande do Sul from 1999 to 2018. The most severe cases were identified to examine the associated meteorological systems. Data from AFUBRA were integrated with ERA-5 reanalysis, enabling a detailed analysis of three high-impact events. October recorded the highest number of affected properties, followed by November and December, with the central and southern regions of the state showing the highest hail frequencies. The third event caused the most extensive damage, attributed to a persistent low-level jet that intensified the severity of the phenomenon.

Keywords: Tobacco. Extreme Events. Severe Meteorology. Southern Brazil.

Resumen: El granizo es un fenómeno meteorológico severo que frecuentemente causa **daños importantes** a la agricultura, afectando especialmente cultivos de alto valor económico como el tabaco. Este estudio caracteriza la distribución temporal y espacial de los eventos de granizo que afectaron plantaciones de tabaco en Rio Grande do Sul entre 1999 y 2018. Se identificaron los casos más severos para analizar los sistemas meteorológicos responsables. Los datos de AFUBRA se integraron con el reanálisis ERA-5, lo que permitió un análisis detallado de tres eventos de gran impacto. Se observó que octubre concentró el mayor número de propiedades afectadas, seguido de noviembre y diciembre, con mayor frecuencia de eventos en las regiones central y sur del estado. El tercer evento analizado se destacó por los daños más graves, asociados a la presencia de un chorro de bajo nivel persistente, que intensificó la severidad del fenómeno.

Palabras clave: Tabaco. Eventos Extremos. Meteorología Severa. Sur de Brasil.

Submetido em: 05/12/2024
Aceito para publicação em: 04/05/2025
Publicado em: 11/06/2025

1. INTRODUÇÃO

O fumo é uma das principais culturas exportadoras do Brasil, com aproximadamente 85% da produção destinada ao mercado internacional, o que posiciona o país como um dos maiores fornecedores globais desse produto (SINDITABACO, 2025). A cadeia produtiva do fumo movimenta diversos setores relacionados à industrialização, transporte e exportação, gerando impactos econômicos expressivos.

No contexto da região Sul do Brasil, o cultivo de fumo assume uma importância ainda maior. O Rio Grande do Sul destaca-se como principal produtor nacional, tendo alcançado, na safra 2022/2023, a marca de 605.703 toneladas em uma área de 261.740 hectares (AFUBRA, 2024). Além da relevância econômica, o fumo desempenha papel central na geração de empregos, especialmente no âmbito da agricultura familiar, predominante nessa região (SILVEIRA, 2015). De acordo com Vendruscolo et al. (2023), o cultivo do tabaco no meio rural é permeado por dinâmicas institucionais heterogêneas, refletindo tanto mudanças nos vínculos quanto nas interpretações relativas ao tabaco.

O manejo da cultura envolve práticas intensivas, como o preparo do solo, o plantio, o controle fitossanitário e a colheita (PELLEGRINI, 2006). As condições climáticas exercem influência direta sobre o desenvolvimento do fumo, sendo que as grandes amplitudes térmicas típicas do Sul do Brasil favorecem tanto o crescimento vegetativo quanto a formação de compostos aromáticos nas folhas (SILVEIRA, 2015). Chuvas moderadas e boa luminosidade durante o ciclo de desenvolvimento também contribuem para a qualidade das plantas, embora o trabalho agrícola exponha os produtores a riscos à saúde, como a doença da folha verde (RIQUINHO; HENNINGTON, 2014).

O ciclo da cultura inicia-se geralmente em julho e estende-se até fevereiro, abrangendo estágios críticos de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Este período, entretanto, coincide com a maior vulnerabilidade às adversidades climáticas, especialmente à precipitação de granizo. Esse fenômeno pode comprometer a qualidade das folhas e reduzir o valor comercial do produto. Diante dos prejuízos ocasionados, o seguro agrícola, majoritariamente gerido pela Associação dos Fumicultores do Brasil (AFUBRA), torna-se fundamental para garantir a sustentabilidade econômica dos produtores (AFUBRA, 2024).

A ocorrência de granizo no Rio Grande do Sul está associada a sistemas meteorológicos severos, como Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e Sistemas

Frontais (SF) (SILVA DIAS, 1999; CAMPOS; MARIA, 2014; NEDEL et al., 2012). A formação desses sistemas é favorecida pela atuação do Jato de Baixos Níveis (JBN), que transporta calor e umidade em abundância, intensificando a convecção nas camadas mais baixas da atmosfera (SILVA DIAS et al., 2009). Esses fatores geram instabilidade atmosférica e promovem movimentos verticais intensos, que levam à formação de nuvens com grande desenvolvimento vertical, características de tempestades de granizo (SALIO; NICOLINI; ZIPSER, 2007). A previsão e o monitoramento desses eventos continuam sendo desafios relevantes para a meteorologia.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é caracterizar a distribuição temporal e espacial dos episódios de granizo que provocaram danos às plantações de fumo no Rio Grande do Sul entre 1999 e 2018. Também se busca identificar os casos mais severos, correlacionando-os com os sistemas meteorológicos atuantes, por meio da análise do ambiente atmosférico e da distribuição espacial dos eventos mais impactantes, com base no número de propriedades atingidas e nas condições sinóticas associadas.

2. METODOLOGIA

2.1 Dados Utilizados

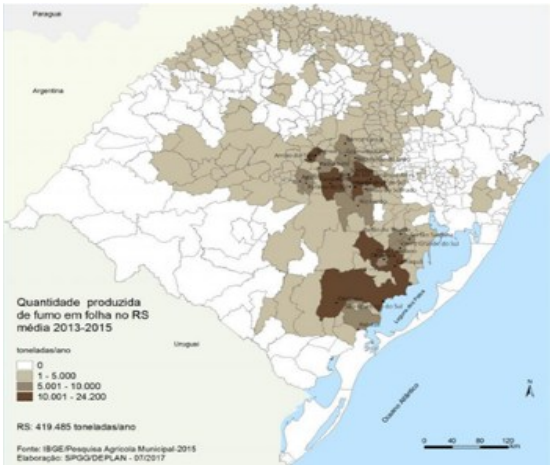
2.1.1 Ocorrência de Granizo

Os dados sobre a ocorrência de granizo que afetaram plantações de fumo no Rio Grande do Sul foram fornecidos pela Associação dos Fumicultores do Brasil (AFUBRA, 2024). Essas informações identificam diretamente o município e a data em que houve precipitação de granizo suficiente para acionar o seguro agrícola, independentemente do estágio de desenvolvimento das plantas. É importante destacar que ocorrências de granizo que não resultaram em danos às plantações de fumo não foram contabilizadas. Os dados abrangem o período de safra, entre os meses de julho e fevereiro, no intervalo de 1999 a 2018.

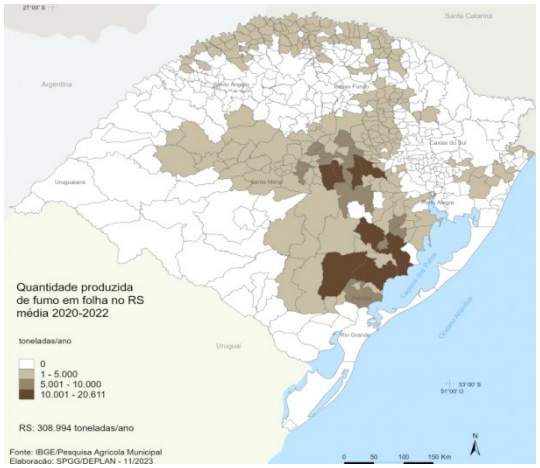
Os meses de outubro a dezembro, identificados como os de maior ocorrência de granizo, coincidem com os estágios de rápido crescimento vegetativo e início da fase reprodutiva do fumo. Esses estágios são cruciais para a definição da produtividade e da qualidade da cultura, tornando os danos causados pelo granizo especialmente severos nesse período (SAUSEN; SAITO, 2012).

A Figura 1 apresenta a localização dos municípios produtores de fumo no estado do Rio Grande do Sul. Para complementar a análise histórica apresentada, essa figura também detalha a produção média de fumo no estado em diferentes períodos, além da evolução da área plantada e da quantidade produzida entre 2012 e 2022. Essas informações permitem avaliar as tendências recentes na cultura do fumo, relacionando-as aos possíveis impactos de eventos climáticos e à distribuição da área plantada ao longo do tempo.

Figura 1 - Quantidade produzida de fumo em folha no Rio Grande do Sul: (a) média de 2013 a 2015, (b) média de 2020 a 2022 e (c) tabela da evolução anual da área plantada e da quantidade produzida de fumo em folha no Brasil e no RS de 2012 a 2022.



(a)



(b)

Ano	Brasil		Rio Grande do Sul	
	Área Plantada (hectares)	Quantidade Produzida (toneladas)	Área Plantada (hectares)	Quantidade Produzida (toneladas)
2010	450.076	787.817	220.512	343.682
2011	454.521	951.933	223.867	499.455
2012	410.675	810.550	203.996	388.500
2013	419.554	850.873	210.697	392.147
2014	427.461	880.653	215.800	401.290
2015	407.157	781.664	199.961	341.315
2016	383.765	677.472	186.244	319.225
2017	391.890	865.620	189.369	414.488
2018	**361.054**	**756.232**	**180.819**	**357.860**
2019	363.233	769.801	174.040	374.159
2020	354.077	702.208	166.740	288.457

Fonte: Rio Grande do Sul, 2024.

(c)

2.1.2 Imagens de Satélite

Para identificar células convectivas associadas aos eventos de granizo, foram utilizadas imagens da série GOES (*GeostationaryOperational Environmental Satellites*). As imagens do canal infravermelho, com resolução espacial de 4 km × 4 km e resolução temporal de 30 minutos, foram fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC/INPE (2024). O monitoramento das tempestades abrangeu desde o surgimento da nebulosidade até sua dissipação.

2.1.3 Precipitação

Os dados de precipitação foram obtidos das estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024), registrados às 12h UTC nos dias dos eventos de granizo e no dia subsequente. A análise concentrou-se nos três eventos mais significativos, que causaram danos em mais de 4.000 propriedades. Essa investigação permitiu identificar os locais com os maiores índices pluviométricos associados aos eventos.

2.1.4 Sondagens Atmosféricas

As sondagens atmosféricas, fornecidas pela Universityof Wyoming (UNIVERSITY OF WYOMING, 2024), foram utilizadas para analisar o perfil vertical da atmosfera nas cidades de Santa Maria, Uruguaiana e Porto Alegre. Os dados foram coletados às 00 h UTC e às 12 h UTC nos dias dos três eventos mais severos de granizo, que resultaram em danos superiores a 4.000 propriedades.

2.1.5 Dados de Reanálise

Para caracterizar o ambiente atmosférico e analisar as condições sinóticas associadas aos três eventos mais impactantes, foram utilizados dados da reanálise ERA-5, fornecidos pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF (CLIMATE CHANGE SERVICE, 2019). Essa reanálise oferece parâmetros atmosféricos, condições de superfície terrestre e do estado do mar, com resolução espacial de 0,25° × 0,25°, além de estimativas

de incerteza. Foram gerados campos compostos com base nas médias dos 15 eventos mais intensos, permitindo uma análise detalhada dos sistemas meteorológicos associados.

2.1. Procedimentos Metodológicos

O desenvolvimento deste estudo foi realizado em quatro etapas principais, detalhadas a seguir:

2.1.1 Identificação e Distribuição Temporal e Espacial dos Casos de Granizo

Os eventos de granizo que afetaram as lavouras de fumo foram identificados com base nos dados fornecidos pela Associação dos Fumicultores do Brasil (AFUBRA). Para a distribuição temporal, contabilizou-se o número total de dias com ocorrência de granizo e o número de propriedades atingidas em cada mês no estado do Rio Grande do Sul, durante o período de safra do fumo (julho a fevereiro), nas safras de 1999 a 2018. Na distribuição espacial, mapas foram gerados utilizando o software QGIS, somando-se o total de propriedades danificadas por granizo em cada município ao longo do período analisado.

2.1.2 Identificação dos Eventos Mais Intensos

Dentro do intervalo temporal estudado, foram destacados eventos de granizo que atingiram mais de 2.000 propriedades, totalizando 15 casos. Para uma análise mais detalhada, foram selecionados os três eventos de maior impacto, definidos por um limiar de danos superior a 4.000 propriedades. Essa seleção permitiu aprofundar o estudo sobre o ambiente atmosférico que desencadeou os eventos mais severos.

2.1.3 Análise dos Sistemas Atuantes nos Casos Mais Intensos

Inicialmente, os 15 eventos mais intensos (danos superiores a 2.000 propriedades) foram analisados por meio de imagens de satélite, permitindo a identificação dos sistemas

meteorológicos associados. Para uma análise mais detalhada, foram gerados campos compostos dos parâmetros meteorológicos utilizando o software Grid Analysisand Display System (GrADS). Os parâmetros analisados incluíram:

- Escoamento e magnitude dos ventos zonais (u) e meridionais (v) em 250 hPa e 850 hPa;
- Umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C) em 700 hPa e 850 hPa;
- Temperatura do ar na superfície (°C) e pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa).
- As médias foram calculadas para os dias dos eventos (D0), o dia anterior (D-1) e o dia seguinte (D+1), sempre às 00 h UTC.

2.1.4 Caracterização do Ambiente Atmosférico nos Eventos de Maior Impacto

Os três eventos mais severos (acima de 4.000 propriedades afetadas) foram analisados em maior detalhe. As seguintes atividades foram realizadas:

1. Identificação das células convectivas: as imagens de satélite permitiram acompanhar o desenvolvimento dos sistemas durante seu ciclo de vida.
2. Consultas aos boletins técnicos: o*Boletim Climanálise* e o *Boletim Técnico* do CPTEC foram utilizados para confirmar os sistemas meteorológicos atuantes nos eventos, dependendo da disponibilidade para as datas específicas (CLIMANÁLISE, 2009).
3. Análise de precipitação: dados das estações convencionais do INMET foram utilizados para avaliar os acumulados de precipitação associados a cada evento.
4. Mapeamento dos danos: mapas foram gerados com os dados de granizo fornecidos pela AFUBRA, mostrando a distribuição espacial dos municípios afetados nos três eventos analisados. Esses mapas foram comparados com os dados de precipitação.
5. Análise termodinâmica da atmosfera: os perfis verticais da atmosfera foram examinados para identificar as condições que favoreceram os eventos severos.
6. Caracterização do Jato de Baixos Níveis (JBN): utilizou-se o critério 1 de Bonner (1986) para identificar a presença do JBN, com as seguintes condições:

- Velocidade do vento em 850 hPa (V850) ≥ 12 m/s;

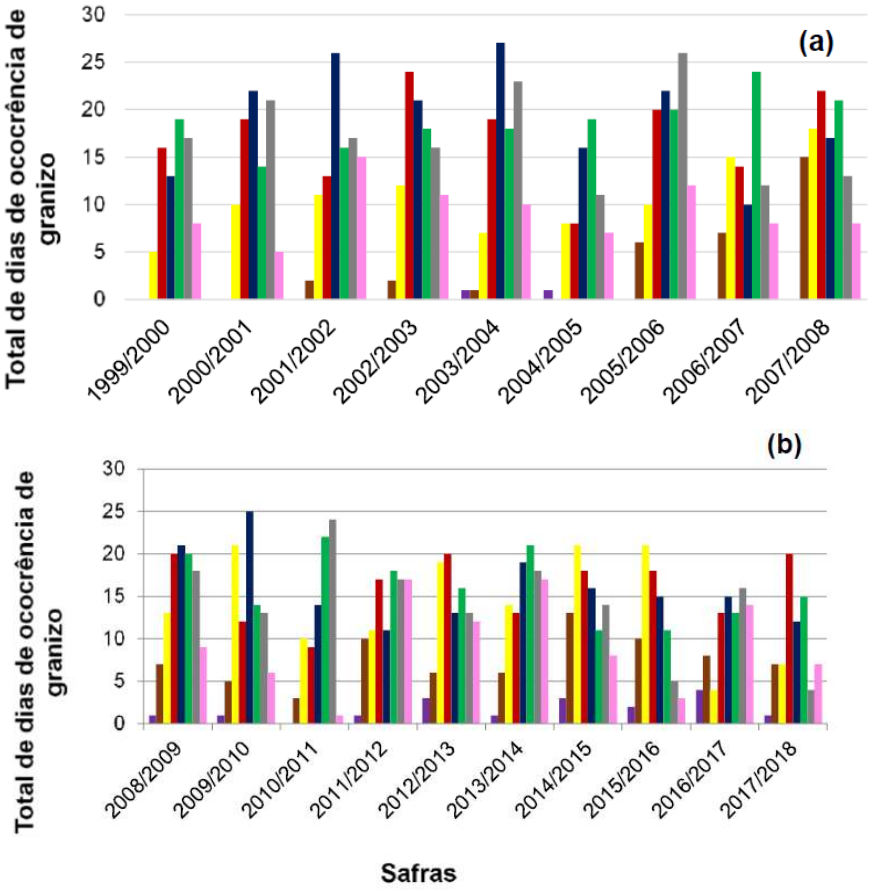
- Velocidade do vento em 700 hPa (V700) ≥ 6 m/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Identificação e Distribuição Temporal e Espacial dos Casos de Granizo

A análise dos dados de ocorrência de granizo ao longo da safra de fumo revelou variações significativas entre os períodos estudados. Nas nove primeiras safras analisadas (Figura 2a), a quantidade de dias com ocorrência de granizo foi superior à verificada nas dez últimas safras analisadas (Figura 2b). Entre as safras de 2004/2005 (Figura 3a), 2008/2009 e 2012/2013 (Figura 3b), o número de propriedades de fumo atingidas pelo granizo permaneceu relativamente estável. No entanto, observaram-se picos expressivos nas safras de 2001/2002, 2003/2004 e 2005/2006 (Figura 3a), bem como a partir de 2013/2014, com exceção da safra de 2016/2017 (Figura 3b), que apresentou valores baixos em comparação às demais.

Figura 2–Distribuição temporal dos dias com ocorrência de granizo que causaram danos em plantações de fumo no Rio Grande do Sul, separada por períodos: (a) 1999-2007, com maior frequência de eventos, e (b) 2008-2018, evidenciando redução nos casos registrados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

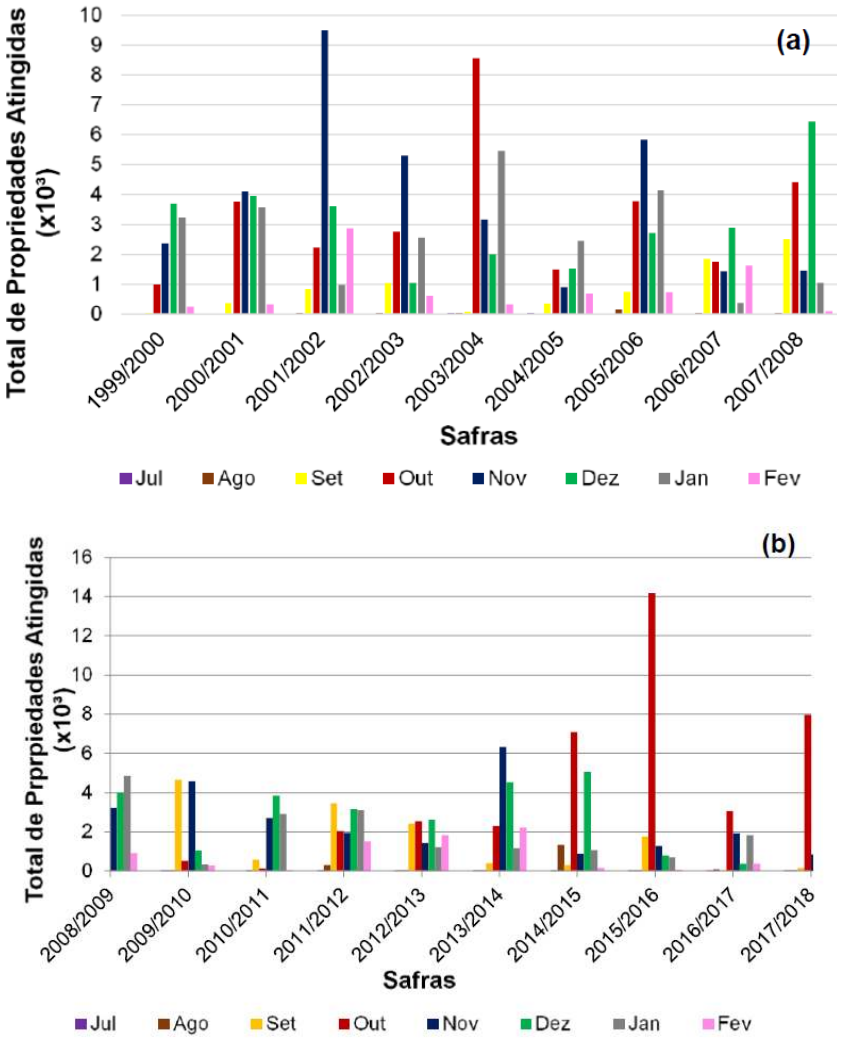
Nota-se que as safras com maior ocorrência de granizo foram a de 2005/2006, com 116 dias, e a de 2007/2008, com 114 dias (Figura 2a), seguidas por 2008/2009 (Figura 2a) e 2013/2014 (Figura 2b), ambas com 109 dias, e 2003/2004 (Figura 2b). A safra com menor ocorrência foi 2004/2005, com 70 dias (Figura 2a), seguida por 2017/2018, com 73 dias (Figura 2b). Observa-se, na Figura 3 que a safra com o maior número de propriedades atingidas foi a de 2001/2002, com 19.995 propriedades, enquanto 2004/2005 apresentou o menor número, com 7.387 propriedades. Com isso, é possível constatar que nem sempre a maior ocorrência de granizo em uma safra corresponde ao maior número de propriedades atingidas, pois isso depende da extensão da área impactada pelo evento, que pode variar de alguns metros a centenas de quilômetros.

Observa-se que o maior número de episódios de granizo ocorre nos meses de

primavera e verão (Figuras 2a e 2b), assim como o maior número de propriedades atingidas. Outubro e novembro se destacam como os meses com as maiores ocorrências de granizo e propriedades afetadas (Figuras 2a, 2b, 3a e 3b). Isso se deve ao fato de que o fumo é plantado entre agosto e setembro, com a colheita ocorrendo entre janeiro e fevereiro. Assim, quando as precipitações ocorrem nos meses quentes, a planta está em uma fase crítica de desenvolvimento, o que resulta em prejuízos significativos para os fumicultores, levando ao acionamento do seguro agrícola.

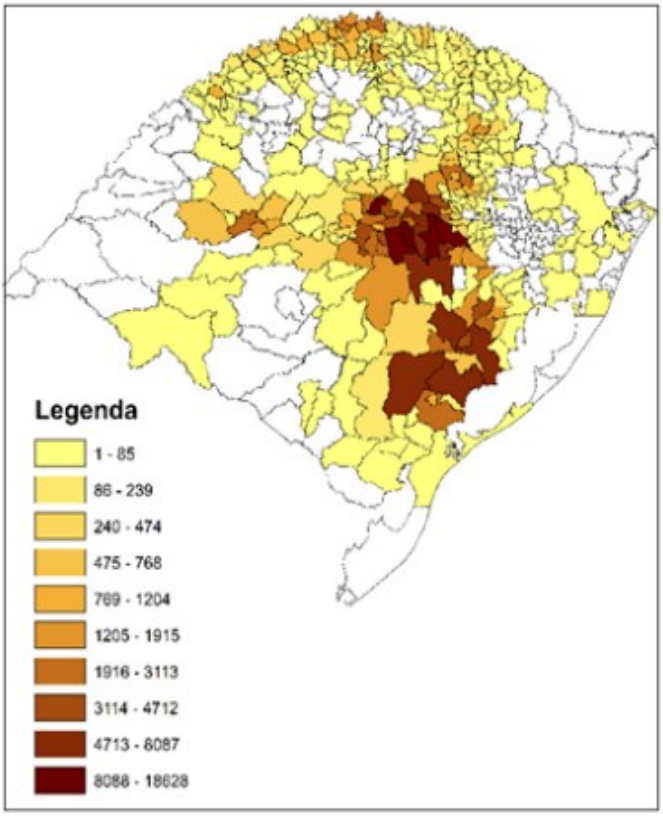
A distribuição espacial das propriedades de fumo atingidas por granizo no Rio Grande do Sul ao longo do período estudado é apresentada na Figura 4, na qual se observa que as regiões central e sul do estado registraram o maior número de danos nas plantações de fumo. A Figura 5 apresenta a distribuição espacial dos dias com ocorrência de granizo que atingiram as plantações, destacando que os municípios mais afetados estão localizados nas mesmas regiões central e sul. Essa concordância entre as duas análises da distribuição espacial pode ser atribuída ao fato de que essas regiões abrigam os maiores produtores de fumo do estado, conforme os dados do IBGE (2018) mostrados na Figura 1. Como resultado, os produtores dessas áreas acabam sendo os mais prejudicados pelos eventos de granizo, devido à sua maior exposição e relevância na produção de fumo no estado.

Figura 3 - Distribuição anual do número de propriedades de fumo atingidas por granizo no Rio Grande do Sul, separada por períodos: (a) 1999-2007, destacando anos com picos de danos, e (b) 2008-2018, evidenciando mudanças na severidade dos eventos registrados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

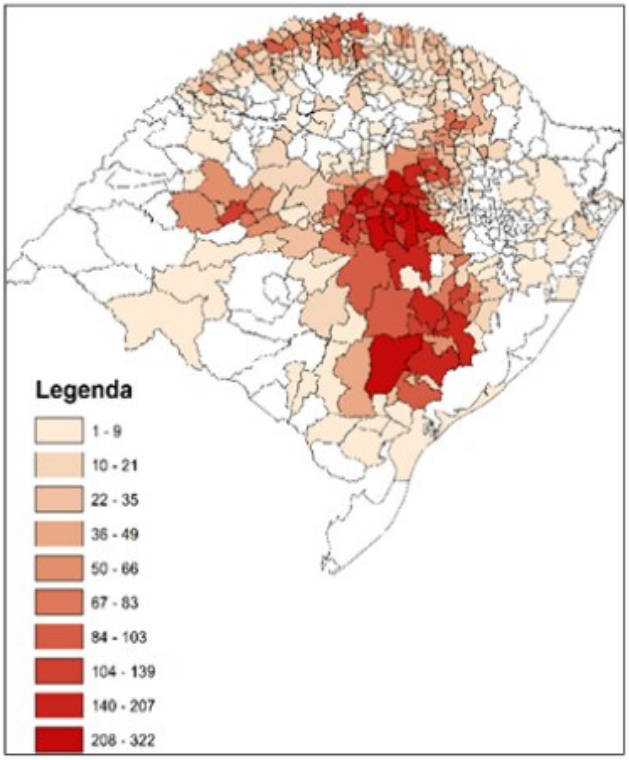
Figura 4 - Distribuição espacial das propriedades de fumo atingidas por granizo entre as safras de 1999 até 2018 no Rio Grande do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Logo, a análise dos eventos de granizo nos meses de outubro a dezembro revelou uma sobreposição entre os períodos de maior desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do fumo e a atuação de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs). Esses sistemas, ao intensificarem a precipitação de granizo, comprometem significativamente a qualidade das folhas, que constituem a principal parte comercializável da planta.

Figura 5 - Distribuição espacial dos dias com ocorrência de granizo que atingiram plantações de fumo entre as safras de 1999 até 2018 no Rio Grande do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.2 Identificação dos Eventos Mais Intensos

No estado do Rio Grande do Sul, há aproximadamente 150 mil propriedades dedicadas ao cultivo de fumo. Neste estudo, utilizou-se um limiar de 2.000 propriedades atingidas para caracterizar um evento como intenso. Essa decisão baseou-se no fato de que o evento mais danoso registrado impactou 7.856 propriedades, enquanto eventos típicos afetam entre 1.000 e 1.500 propriedades. Os eventos que atenderam a esse critério de intensidade estão apresentados na Tabela 1, juntamente com os fenômenos meteorológicos associados a cada um, identificados por meio de imagens de satélite. Observa-se que, dos 15 casos destacados, 12 foram causados por Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), enquanto os outros 3 foram desencadeados pela passagem de Sistemas Frontais (SF). Esses dois sistemas meteorológicos são os principais responsáveis pela alta frequência de granizo no Rio Grande do Sul durante a primavera e o inverno (NEDEL et al., 2012; CUNHA et al., 2001), períodos que coincidem com a safra do fumo.

A Tabela 1 mostra que o mês de outubro concentra o maior número de eventos de granizo que causaram danos à cultura do fumo, contabilizando sete casos ao longo dos anos estudados. Novembro e dezembro aparecem em seguida, com três casos cada, correspondentes ao período de desenvolvimento do fumo. Além disso, três casos se destacaram pelo elevado número de danos em relação aos demais: casos 2, 8 e 13 (Tabela 1).

Tabela 1 –Casos destacados pelo alto número de danos em plantações de fumo no Rio Grande do Sul, Brasil.SF: Sistema Frontal. SCM: Sistema Convectivo de Mesoescala. CCM: Complexo Convectivo de Mesoescala.

Caso	Data	Número de Propriedades Atingidas	Sistema Meteorológico Atuante
1	20/11/2002	2.774	SF
2	08/10/2003	4.679	SCM
3	04/11/2005	3.902	SF
4	24/12/2007	2.451	SF
5	09/12/2008	2.213	SCM
6	10/01/2009	2.495	SCM
7	30/09/2011	3.437	SCM
8	10/11/2013	4.852	CCM e/ou SCM
9	17/10/2014	2.561	SCM
10	19/10/2014	3.223	SCM
11	20/12/2014	3.911	SCM
12	08/10/2015	2.071	SCM
13	14/10/2015	7.856	SCM
14	15/10/2015	2.307	SCM
15	01/10/2017	2.973	SCM

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

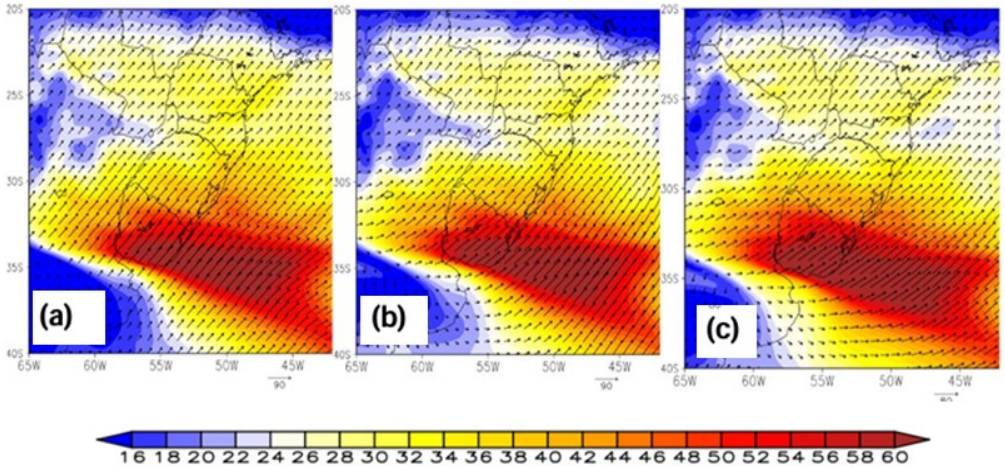
3.3 Análise dos Sistemas Atuantes nos Casos Mais Intensos

Para os 15 casos selecionados no item anterior, foram gerados campos compostos com as médias de diversas variáveis atmosféricas: ventos em 250 hPa e 850 hPa, umidade relativa e temperatura do ar em 700 hPa e 850 hPa, além da pressão ao nível médio do mar e da temperatura do ar em superfície. Essas médias estão representadas nas Figuras 6, 7, 8, 9 e 10, respectivamente. Nas figuras, são apresentadas três situações temporais distintas: (a) o D-1, que representa a média do dia anterior aos eventos de granizo; (b) o D0, que corresponde à média do dia em que os eventos de granizo ocorreram; e (c) o D+1, que

representa a média do dia seguinte aos eventos de granizo. Todas as médias foram calculadas para 00:00 h UTC.

A análise desses campos permite observar que, em D-1, no campo de 250 hPa (Figura 6a), há uma diminuição na velocidade dos ventos ao norte do Rio Grande do Sul, enquanto velocidades elevadas são observadas ao sul. Já na análise dos ventos em 850 hPa (Figura 7a), nota-se a presença de um Jato de Baixos Níveis (JBN) no norte/noroeste da Argentina. Nas camadas de 700 hPa (Figura 8a) e 850 hPa (Figura 9a), observa-se, nessa mesma região do território argentino, a presença de umidade e aquecimento, assim como na região norte do Rio Grande do Sul, embora em menor intensidade. No campo que mostra a média da pressão ao nível médio do mar e da temperatura em superfície (Figura 10a), nota-se a presença de uma baixa pressão e temperaturas elevadas no norte/noroeste da Argentina, com o prolongamento de um cavado sobre o Rio Grande do Sul, além de aquecimento na região. Para o D0, observa-se, em 250 hPa (Figura 6b) a mesma condição encontrada em D-1.

Figura 6 - Média dos ventos em 250 hPa (m/s), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.

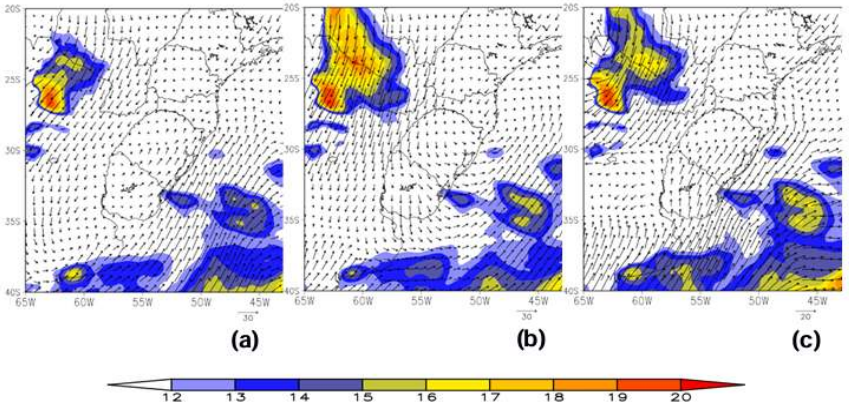


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Quanto aos ventos em 850 hPa (Figura 7b), é possível observar que, neste dia, há um escoamento de norte sobre o RS, mesmo não configurando um JBN, pois a condição de ventos com no mínimo 12 m/s não acontece (MARENGO et al., 2004), o escoamento trouxe calor e umidade para a região o que deve ter favorecido a formação de nuvens de

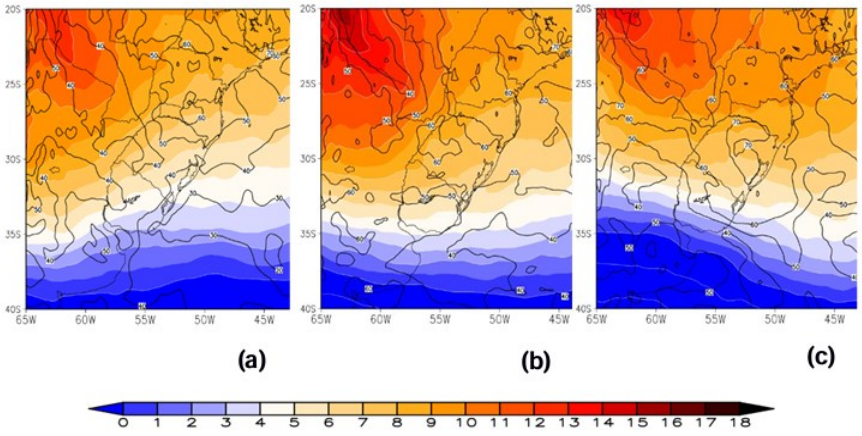
tempestade. Contudo, essa condição necessária para formação de JBN é encontrada no norte/noroeste da Argentina. Em 700 hPa (Figura 8b), 850 hPa (Figura 9b) e no campo de temperatura em superfície e pressão ao nível médio do mar (Figura 10b), as condições encontradas no dia anterior se intensificam. No D+1 observa-se a mesma condição para os ventos em 250 hPa (Figura 6c). Nos outros campos estudados (Figuras 7c, 8c, 9c e 10c), as condições encontradas em D0 perdem intensidade.

Figura 7 - Média dos ventos em 850 hPa (m/s), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.



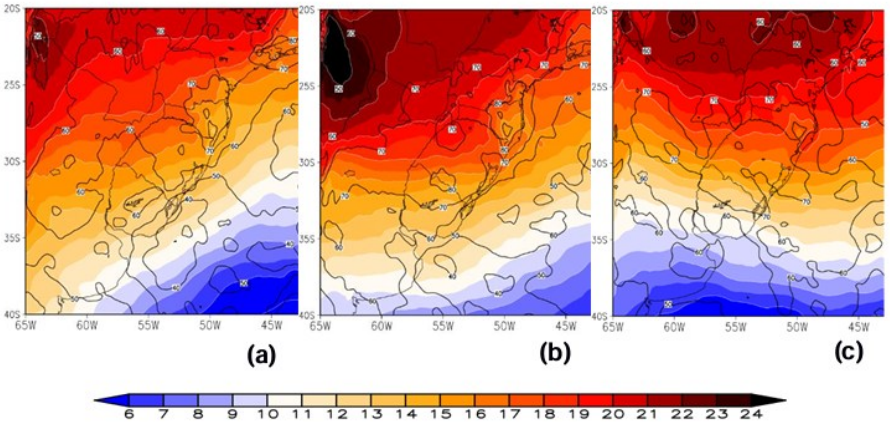
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 8 - Média da umidade relativa do ar (%, sombreado) e temperatura do ar (ºC, linha contínua) em 700 hPa , onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.



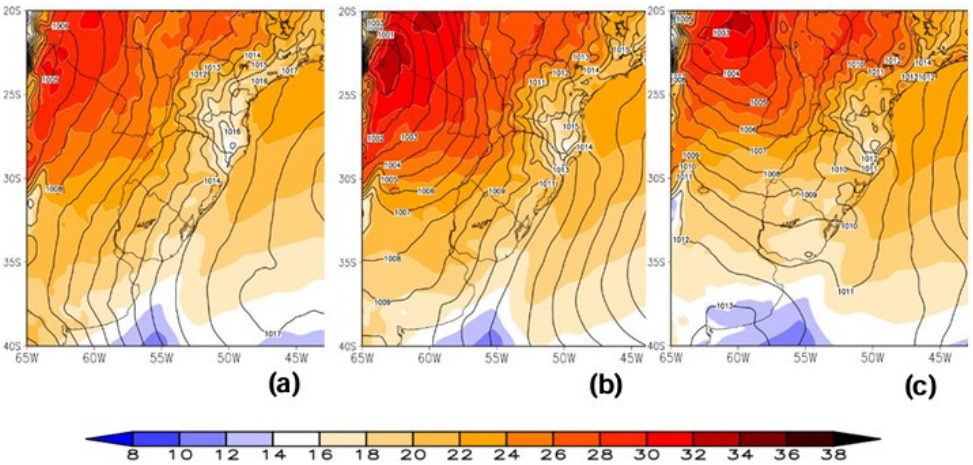
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 9 - Média da umidade relativa do ar (%, sombreado) e temperatura do ar (°C, linha contínua) em 850 hPa , onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC. (a) (b) (c) (a) (b) (c) 40 (a) (b) (c)



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Figura 10 - Média da temperatura do ar em superfície (°C, sombreado) e da pressão ao nível médio do mar (hPa, linha contínua), onde (a) D-1, (b) D0 e (c) D+1 às 00:00 UTC.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Rocha (2018) mostrou em seu estudo que a presença de uma baixa pressão no noroeste da Argentina contribui para o desenvolvimento de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) na América do Sul. A baixa pressão presente no norte/noroeste da Argentina é alimentada por um Jato de Baixos Níveis (JBN) e prolonga um cavado até o Rio Grande do Sul, que apresenta temperaturas elevadas em superfície e alta umidade, nos baixos níveis devido ao escoamento de norte. Esses fatores são importantes condicionantes para a formação e o desenvolvimento de SCMs (SALIO et al., 2007). Assim, indica-se que havia condições favoráveis para a formação de SCM nos 15 eventos de granizo estudados, corroborando a análise anterior feita com base apenas em imagens de satélite (Tabela 1).

Contudo, como se tratam de médias, não é possível realizar um estudo detalhado; por isso, foram selecionados os três casos que causaram maior impacto às plantações de fumo para uma análise mais aprofundada do ambiente atmosférico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu caracterizar a distribuição temporal e espacial dos episódios de granizo que causaram danos às plantações de fumo no Rio Grande do Sul entre 1999 e 2018. Por meio da metodologia aplicada, foram identificados 13.305 casos de granizo no período estudado, com destaque para os meses de outubro, novembro e dezembro, que apresentaram as maiores ocorrências. As regiões central e sul do estado foram as mais afetadas, evidenciando a vulnerabilidade dessas áreas a eventos meteorológicos severos.

Os resultados confirmaram que a ocorrência de granizo está fortemente associada à passagem de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), característicos do Rio Grande do Sul. A análise dos campos compostos revelou que o ambiente atmosférico propício à formação de granizo foi caracterizado por uma combinação de escoamento de norte, que trouxe calor e umidade, aquecimento superficial e a presença de uma baixa pressão no noroeste da Argentina, que prolongou um cavado sobre o estado, criando condições favoráveis ao desenvolvimento de sistemas de mesoescala.

Entre os três casos mais severos analisados, o terceiro evento, que atingiu 7.856 propriedades, destacou-se como o mais intenso. A elevada incidência de granizo nesse caso foi atribuída à presença do Jato de Baixos Níveis (JBN), que desempenhou um papel fundamental na intensificação das condições atmosféricas favoráveis à formação de granizo.

Este estudo ressalta a necessidade de compreender as interações entre os ciclos biológicos das culturas agrícolas e os fenômenos meteorológicos severos. No caso do fumo, a vulnerabilidade durante o período de outubro a dezembro reforça a importância de implementação de medidas preventivas direcionadas, incluindo o aprimoramento do seguro agrícola e medidas preventivas.

Os resultados obtidos contribuem para aprofundar o conhecimento sobre os impactos de eventos meteorológicos extremos na agricultura e oferecem subsídios para o desenvolvimento de ferramentas mais eficazes de previsão e gestão de riscos. Estudos

futuros poderão explorar soluções para aumentar a resiliência das culturas agrícolas diante das mudanças climáticas, considerando a intensificação e a maior frequência de eventos severos, como o granizo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao MEC pelas bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

AFUBRA. Associação dos fumicultores do Brasil. Disponível em: https://www.afubra.com.br/. Acesso em: 25 jun. 2024.

BRUM, A. L.; BAGGIO, D. K.; KOLOSQUE, F. P.; BEBER, M. A. da C. Cadeia produtiva do tabaco na Região Sul do Brasil: estudo da composição e do relacionamento dos seus agentes. *Research, Society andDevelopment*, v. 9, n. 9, p. e852997769, 2020. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7769.

CAMPOS, C. R. J.; EICHHOLZ, C. W. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 29, n. 2, p. 331–345, 2008.https://doi.org/10.1590/S0102-261X2011000200009

CLIMATE CHANGE SERVICE. Conjunto de dados climáticos - reanálise climática ERA-5. Disponível em: https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis. Acesso em: 25 ago. 2019.

CPTEC/INPE. *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos*. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/. Acesso em: 5 nov. 2018.

CUNHA, G. R.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J. *Clima e agricultura no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 15 out. 2018.

INMET. *Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos*. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br. Acesso em: 2 dez. 2024.

JACONDINO DE CAMPOS, C. R.; MONTEIRO MARIA, D. Ocorrência de granizo associada a um SCM que afetou o Rio Grande do Sul em agosto de 2006. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 37, n. 1, 2014.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J. Eventos extremos de precipitação no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 19, n. 1, p. 63–84, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-77862004000100006.

NEDEL, A. S.; SAUSEN, T. M.; SAITO, S. M. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 1989–2009: granizo e vendaval. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, p. 181–194, 2012.

PELLEGRINI, A. *Sistemas de cultivo da cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5513/Andre%20Pellegrini%201.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO. *Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul*. 8. ed. Porto Alegre: SPGG, 2024. Disponível em: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/. Acesso em: 5 dez. 2024.

RIQUINHO, D. L.; HENNINGTON, É. A. Cultivo do tabaco no sul do Brasil: doença da folha verde e outros agravos à saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, n. 12, p. 4797–4808, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csc/a/fjCKC4MyCZydpK7Sx4cvhcS/. Acesso em: 20 jan. 2025.

ROCHA, R. P. de la. *Dinâmica da atmosfera: conceitos básicos e aplicações*. São Paulo: Livraria da Física, 2018.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesoscaleconvective systems over southeastern South Americaandtheirrelationshipwiththe South American low-leveljet. *Monthly Weather Review*, v. 135, n. 4, p. 1290–1309, 2007.

SAUSEN, T. M.; SAITO, S. M. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 1989–2009: granizo e vendaval. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, p. 181–194, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/7tqpDfkzsyDjTQ5cY4SqKNm/. Acesso em: 20 jan. 2025.

SILVA DIAS, M. A. F. Jato de baixos níveis na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 169–194.

SILVA DIAS, M. A. F. Storms in Brazil. In: PIELKE, R. Sr.; PIELKE, R. Jr. (org.). *Storms. HazardandDisasters Series*. New York: Routledge, 1999. p. 207–219.

SILVEIRA, R. L. L. A cultura do fumo na Região Sul do Brasil: dinâmica de produção, organização espacial e características socioeconômicas. *Geografia: Ensino & Pesquisa*, v. 19, n. 2, p. 23–40, 2015.

SINDITABACO. *O tabaco no Sul do Brasil*. Disponível em: https://www.sinditabaco.com.br/item/o-tabaco-no-sul-do-brasil. Acesso em: 20 jan. 2025.

UNIVERSITY OF WYOMING. *AtmosphericSounding Data*. DepartmentofAtmospheric Science, 2024. Disponível em: http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html. Acesso em: 2 dez. 2024.

VENDRUSCOLO, R. et al. Institutionsand critiques in tobaccocultivation in Rio Grande do Sul-Brazil: institutionalchangesandreaffirmation. *Redes*, v. 28, 2023.