Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology

OPEN ACCESS

DOI: 10.5380/abclima

Seção Temática: Prêmio ABClima "Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro" - Edição 2021

ONDAS DE FRIO E IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE DA MAÇÃ SÃO JOAQUIM (SC - BRASIL)

COLD WAVES AND IMPACTS ON APPLE PRODUCTIVITY SÃO JOAQUIM (SC - BRAZIL)

OLAS FRÍAS E IMPACTOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA MANZANA SÃO JOAQUIM (SC - BRASIL)

Maikon Passos Amilton Alves
Pesquisador do Laboratório de Climatologia Aplicada - LabClima/UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
maiconpassos@gmail.com

João Afonso Zavattini
Professor colaborador do Programa de Pós-Graduação de Geografia da UFSC , Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
jazavattini@hotmail.com

Rosandro Boligon Minuzzi
Universidade Federal de Santa Catarin, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
rbminuzzi@hotmail.com

Resumo: Os eventos de ondas de frio (*OdF*) são mais evidentes quando, por vezes, impactam diversos setores da sociedade, inclusive o setor agrícola, cujo desenvolvimento é altamente dependente das condições climáticas. O Estado de Santa Catarina é reconhecido em todo o país pelos seus cultivos de maçã, sendo o município de São Joaquim o maior produtor desta fruta em território nacional. Desta forma, o objetivo deste estudo foi verificar os possíveis impactos associados à produtividade da maçã no município de São Joaquim. Correlações entre os parâmetros OdF (*frequência, duração, intensidade e severidade média*) e a produtividade da maçã no município de São Joaquim, nas safras de 2001 a 2017, foram pesquisadas por meio da correlação de *Pearson* (*r*), e posteriormente, por análise de regressão linear múltipla (*RLM*) e simples *(RLS*). O período de correlação corresponde aos ciclos de dormência e crescimento vegetativo (*floração, frutificação e colheita*). A frequência (*Frq*) (r = 0,53) e a

duração (*D*) (r = 0,58) apresentaram correlação significativa (*p <0,05*) com a produtividade da maçã no período de dormência (*maio a setembro*). Ressalta-se que o parâmetro duração (*D*) explicou 38% da variação da produtividade da cultura no município de São Joaquim, nas safras de 2001 a 2017.

Palavras-chave: Ondas de Frio; São Joaquim; Maçã; Impactos.

Abstract: Cold wave (*CW*) events gain more prominence when at times they make an impact on certain sectors of society – among them the agricultural sector, whose development highly depends on weather conditions. The state of Santa Catarina is recognized nationwide for its apple crops, being the municipality of São Joaquim the biggest producer of this fruit. In this regard, this study aimed check the possible their impacts on apple yield in the mountainous municipality of São Joaquim. Correlations between the set CW parameters (frequency, duration, intensity and average severity) and São Joaquim's apple yield in the 2001-to-2017 harvests were investigated using the Pearson correlation coefficient (*r*) and subsequently using multiple (*RLM*) and simple (*RLS*) linear regression. The correlated period comprised the dormancy and growth stages (flowering, fruiting, and reaping). The frequency (r = 0.53) and duration (r = 0.58) rates obtained showed a significant correlation (*p <0.05*) with apple yield in the dormancy stage (May to September. It is worth stressing that the duration parameter explained 38% of apple yield variation in the municipality of São Joaquim.

Keywords: Cold Waves; São Joaquim; Apple; Impacts.

Resumen: Eventos de ola de frio (*OdF*) son más evidentes cuando, a veces, causan impacto en varios sectores de la sociedad, entre ellos el sector agrícola, cuyo desarrollo es altamente dependiente de condiciones del clima. El Estado de Santa Catarina es reconocido en todo el país por sus cultivos de manzana, siendo el municipio de São Joaquim el mayor productor de esta fruta en el territorio nacional. De esta forma, el objetivo del presente estudio fue verificar los posibles impactos asociados a la productividad de manzana, en el municipio de São Joaquim. Correlaciones entre parámetros de OdF (frecuencia, duración, intensidad y severidad media) y la productividad de manzana en el municipio de São Joaquim, en las cosechas de 2001 a 2017, fueron investigadas usando correlación de Parson (r) y, posteriormente, por análisis de regresión linear múltiple (*RLM*) y simple (*RLS*). El periodo de correlación corresponde a los ciclos de dormancia y crecimiento vegetativo (floración, fructificación y recolección). La frecuencia (*Frq*) (r = 0,53) y la duración (*D*) (r = 0,58) mostraron correlación significativa (*p <0,05*) con la productividad de manzana en el período de dormancia (mayo a septiembre). Se resalta que el parámetro duración (*D*) explicó 38% de la variación de productividad de la cultura en el municipio de São Joaquim, en las cosechas de 2001 a 2017.

Palabras clave: Olas frías; São Joaquim; Manzana; Impactos.

Submetido em: 16/09/2021
Aceito para publicação em: 26/03/2022
Publicado em: 10/06/2022

1. INTRODUÇÃO

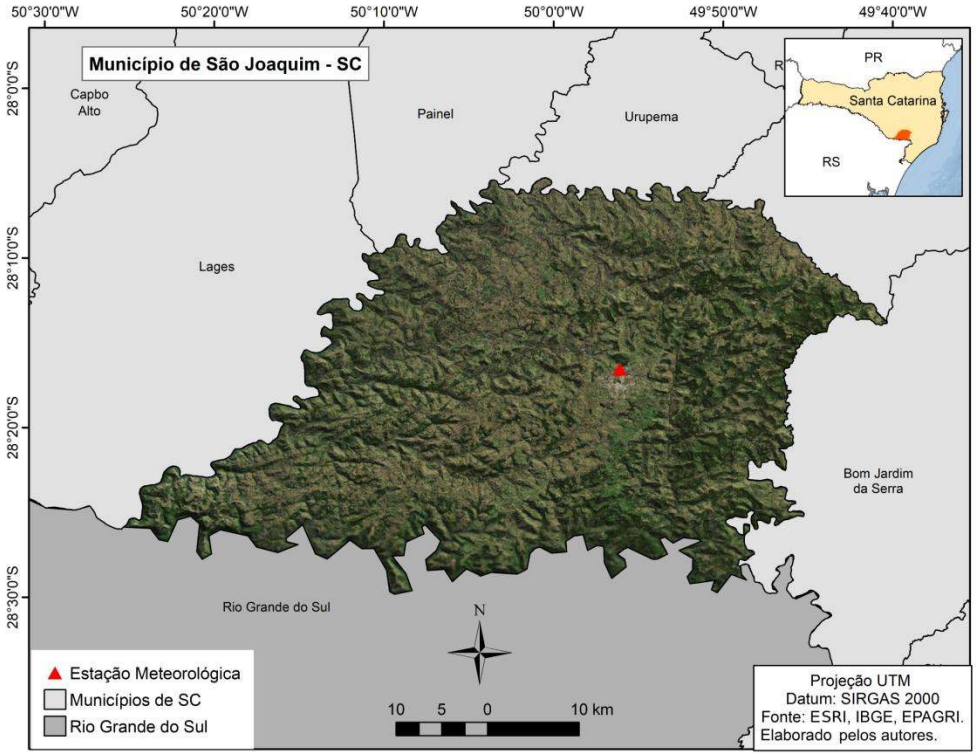
A agricultura é a atividade econômica mais influenciada ou dependente das condições climáticas (SENTELHAS, MONTEIRO, 2009; FIORAVANÇO, LAZZAROTTO, 2012). No mundo, 80% da variabilidade da produção agrícola devem-se às condições climáticas durante o ciclo do cultivo, especialmente para as culturas de sequeiro (FAGERIA, 1992). As condições climáticas não influenciam apenas na variabilidade da produtividade, mas também na atividade de microrganismos, insetos, fungos e bactérias, favorecendo ou não a ocorrência de pragas e doenças, o que demanda medidas de controle adequadas (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

Os acentuados declínios de temperatura associados às incursões de ar frio, por vezes, vêm a causar imensos prejuízos no setor agrícola, em grande parte da América do Sul, e especialmente, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (ESCOBAR, 2007). Diversas pesquisas investigaram os impactos das OdF do ponto de vista atmosférico e também seus reflexos na agricultura (e.g. SERRA, RATISBONNA, 1945; TITARELLI, 1972; SEZERINO, 1982; MARENGO et al., 1997; GARREAUD, 2000; SELUCHI, MARENGO, 2000; ESCOBAR, 2007; CUNHA, 2012; APOSTOL et al., 2012; MENDONÇA, ROMERO, 2012; BARBOSA, SANTOS, 2014).

O impacto do clima no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas pode ser quantificado através das variáveis meteorológicas como chuva, temperatura do ar e radiação solar (HOOGENBOOM, 2000). A temperatura do ar afeta uma série de processos nas plantas, como a fotossíntese, a transpiração, o repouso vegetativo, a duração das fases fenológicas das culturas, a indução ao florescimento e na taxa de germinação de sementes (PEREIRA et al., 2002; MAVI, TUPPER, 2004).

Santa Catarina se destaca como um dos principais produtores de alimentos do Brasil. Entre os produtos agrícolas de maior relevância para a economia do estado destaca-se a maçã (CEPA, 2016). O estado catarinense ostenta a primeira colocação na produção brasileira de maçã, representando 53% (679.836 t) da produção, com rendimento de 31.638 kg/ha na safra de 2016/2017 (IBGE, 2018). Grande parte desta produção é cultivada na Mesorregião Serrana (*MS*), o que representa, aproximadamente, 64% de toda a produção no estado, com destaque para o munícipio de São Joaquim, localizado no Planalto Sul catarinense, na serra Geral, entre os paralelos, 28°30"S e 28º05"S e 49°40"W e 50º25"W, aproximadamente (Figura 1).

Figura 1 - Localização do município de São Joaquim em Santa Catarina - Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conhecido como “capital da maçã”, São Joaquim é o maior produtor a nível nacional, e possui na exploração da cultura a principal fonte de renda do munícipio (BITTENCOURT, MATTEI, 2008; BRDE, 2011). A última estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizada em 2020, apontava para uma população de 27.139 pessoas no referido município. Há que ressaltar um incremento no número de habitantes durante a época de colheita da maçã, entre os meses de janeiro e maio, devido à alta demanda por mão de obra, quando o município recebe trabalhadores de várias regiões do Brasil (CORDEIRO, 2006).

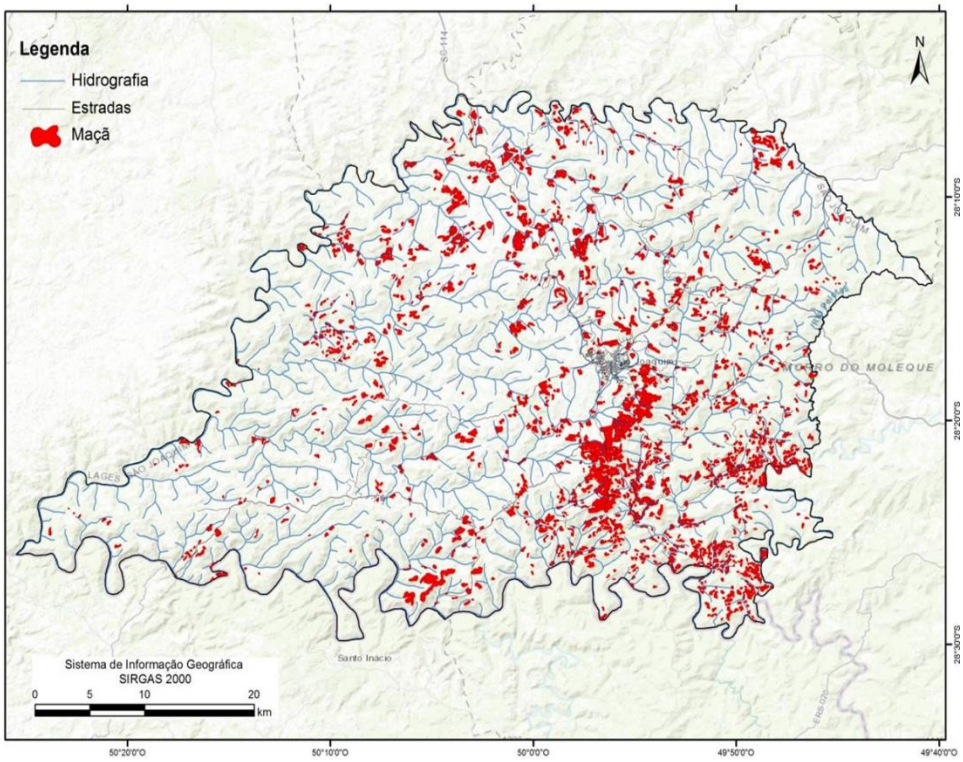
São comuns as pequenas unidades de produção na região produtora de São Joaquim, geralmente vinculadas a cooperativas, de modo a viabilizar as estruturas de processamento e armazenagem da referida fruta (BITTENCOURT, MATTEI, 2008; RECH et al., 2014). Embora o relevo seja bastante acidentado e pedregoso, as suas características climáticas são muito favoráveis à produção de maçãs, uma vez que o clima frio e a oscilação da temperatura do início ao fim do dia conferem mais açúcar e maior coloração às mesmas (BITTENCOURT, MATTEI, 2008; BRDE, 2011). O clima de São Joaquim é classificado como Cfb, temperado

constantemente úmido, sem estação seca e com verão fresco (KÖPPEN; GEIGER, 1936). As ocorrências de geadas, neve e OdF, são características climáticas comuns da área.

A variedade que mais se adapta às condições climáticas de São Joaquim, e também a mais produzida, é a Fuji, oriunda do Japão, seguida pelo cultivar da Gala (BITTENCOURT, MATTEI, 2008; BRDE, 2011; RECH et al., 2014). A maçã Gala tem sua colheita nos meses de fevereiro e março, enquanto a colheita da maçã Fuji ocorre nos meses de abril e maio (BONETI et al., 2006). Com essa diferença de datas de colheita, o fato de a produção da região estar dividida nos dois cultivares favorece, evidentemente, a otimização de recursos nas etapas de colheita e pós-colheita (RECH et al., 2014).

Lunardi (2018), através de técnicas de sensoriamento remoto, estimou uma área de 8.117 ha de produção de maçã no município de São Joaquim (Figura 2). Isto representa, aproximadamente, 2,34 % (81,2 km²) da área total (1.892.256 km²) constituída por macieiras.

Figura 2 – Distribuição geográfica dos pomares de maçã em São Joaquim/SC.



Fonte: Lunardi (2018).

A temperatura é uma das variáveis meteorológicas mais significativas para a cultura da maçã, podendo ser limitante (quebra da dormência e períodos vegetativo e produtivo),

dependendo do ano e da região cultivada (BOYNTON, 1960; NACHTIGALL et al., 2009). A altitude e a topografia ao redor do pomar também são fatores importantes a serem considerados (PETRI, 2006; NACHTIGALL et al., 2009).

São consenso nos estudos de clima e fruticultura (*e.g.* SEZERINO, 1982; PETRI, PASQUAL, 1982; THOMÉ et al., 1999; PETRI et al., 2006; NACHTIGALL et al., 2009; MORAIS, CARBONIERI, 2015; LEITE et al., 2018) as exigências da maçã no que tange aos valores térmicos. No período de repouso ou dormência, a necessidade se reflete em unidades de frio superior a 800 horas (depende da variedade) abaixo de determinada temperatura base, no caso 7,2°C. Quando esta necessidade de frio não é plenamente satisfeita, o processo de quebra de dormência se prolonga demais, repercutindo negativamente na evolução da planta, com um crescimento irregular e deficiente, afetando a qualidade da fruta e, consequentemente, a produtividade. Já no período vegetativo, em tese, temperaturas muito baixas dificultam o crescimento e a formação adequada do fruto (SEZERINO, 1982; CAMELATTO, 1990; PETRI et al., 2006; LEITE et al., 2018).

Dada a grande importância do clima para a produção agrícola, em especial a cultura da maçã, o uso de informações a respeito das ocorrências de OdF para o município de São Joaquim, aliado aos impactos na produtividade da maçã (positivos ou negativos), são fundamentais para a agricultura catarinense. Estas informações podem ser empregadas no planejamento dos cultivos da maçã, assim como auxiliar nos processos de tomada de decisão, quanto ao melhor momento para a execução de diferentes práticas agrícolas. As informações agrometeorológicas também podem permitir aos sistemas agrícolas adquirir maior capacidade para enfrentar condições meteorológicas severas, como as ondas de frio, tornando-os mais resilientes às adversidades climáticas. Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo verificar os impactos das OdF na produtividade da maçã no município de São Joaquim.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Ondas de Frio

Para a identificação de uma OdF foi utilizada a metodologia proposta por Alves (2020), que inicialmente identifica limites diários baseados no percentil 10 (*p10*) da temperatura

mínima do ar absoluta (*Tmín*), centrado numa janela de 15 dias (7 dias antes, o dia em questão e os 7 dias posteriores). Esse procedimento proporcionou uma amostragem de até 435 observações para o cálculo do limiar climatológico diário (*p10*) específico para São Joaquim. Assim, definiu-se que um evento de OdF é aquele com pelo menos três dias frios consecutivos. Esse autor caracterizou os eventos de OdF a partir dos parâmetros frequência (*Frq*), duração (*D*), intensidade (*Int*) e severidade média (*Sm*). Os possíveis impactos das OdF na cultura da maçã no município de São Joaquim foram analisados a partir destes quatro parâmetros citados.

Por Frequência (*Frq*) deve-se entender a quantidade de OdF encontradas por mês, por estação do ano e anualmente. O número de dias em que a *Tmín<10* permanece por no mínimo três dias consecutivos, refere-se ao parâmetro duração (*D*). Já a média da temperatura durante o evento, uma vez calculada, é chamada de intensidade (*Int*). Assim, a intensidade da OdF é dada por: $Int = \frac{1}{D}(\sum_i^D (T_{min})_i)$. A severidade é determinada por $S = \sum_i^D (|T_{min} - p10|)_i$. Entretanto, na análise em questão foi aplicada a severidade média (*Sm*), obtida por: $Sm = \frac{S}{D}$ (ALVES, 2020). A *Sm* permite mostrar o quão intensa é uma OdF, especificamente em relação à época do ano no qual o evento ocorreu, uma vez que este parâmetro permite a detecção de eventos relativamente mais frios durante os meses mais quentes, conforme Bitencourt et al., 2019; Alves et al., 2020; Alves, 2020.

2.2. Impactos das OdF na cultura da maçã

Os dados originais da produtividade (maçã) de 2001 a 2017, para São Joaquim, foram obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais especificamente no PAM (Produção Agrícola Municipal). A série histórica de produtividade foi inicialmente submetida ao teste de tendência de *Mann-Kendall*, a um nível de significância de α = *5%*, a fim de comprovar a necessidade ou não de separar os efeitos das tecnologias incorporadas no sistema de produção. Constatou-se a necessidade de corrigi-las, pois o valor de p foi significativo (*p = 0,009*). Assim, para retirar a tendência tecnológica dos dados de produtividade daqueles decorrentes da variabilidade climática interanual, utilizou-se a Equação 1.

$$Y = Y_i - (Y_{ix} - Y_o) \qquad (1)$$

Onde, *Y, Yi, Yix e Yo* são, respectivamente, as produtividades do ano *i* corrigido, a produtividade original do ano *i*, a produtividade do ano *i* estimada pelo modelo de regressão e a produtividade do primeiro ano da série histórica estimada pelo modelo de regressão.

Portanto, os dados de produtividade (*Y*) da maçã no município de São Joaquim, dos anos de 2001 a 2017, foram submetidos à análise de regressão linear simples (*RLS*) (Tabela 1), para separar o efeito tecnológico (que ao longo do tempo é incorporado no sistema de produção) sobre a produtividade da cultura e diferenciá-lo daquele proveniente da variabilidade climática interanual.

Tabela 1 - *RLS* da produtividade da maçã (kg/ha) em São Joaquim/SC, de 2001 a 2017.

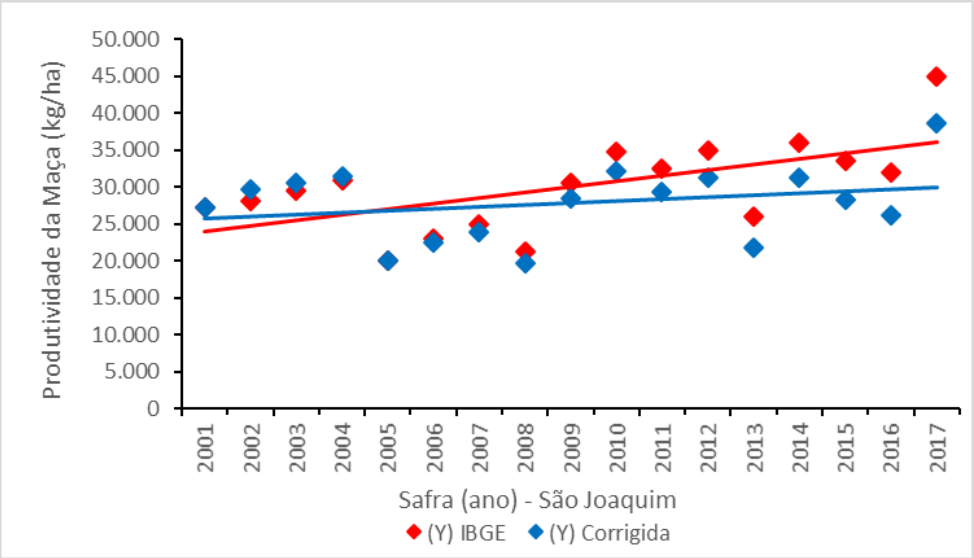
n	17
a (intercepto)	0,5303
b (slop)	-1036
r	0,51
r^2	0,27
p-valor	<0,045*
EPER	4,15

(*) significativo ao nível de α = 5%.

Fonte: IBGE/PAM.

O efeito tecnológico fica evidenciado quando comparados os dados originais da série histórica de produtividade (*Y do IBGE*) com os dados de produtividade corrigidos através da *RLS* (*Y corrigida*) (Figura 3), dos quais retirou-se a tendência tecnológica associada. Por exemplo, considerando os últimos nove anos de registro da série do IBGE, apenas 2013 apresentou produtividade (*Y*) abaixo de 30.000 kg/ha. Por conseguinte, todas as análises estatísticas relacionadas à produtividade foram baseadas na série *Y* corrigida.

Figura 3 - Produtividade (*Y*) da maçã (kg/ha) no município de São Joaquim/SC de 2001 a 2017.



Fonte: Elaborado pelos autores.

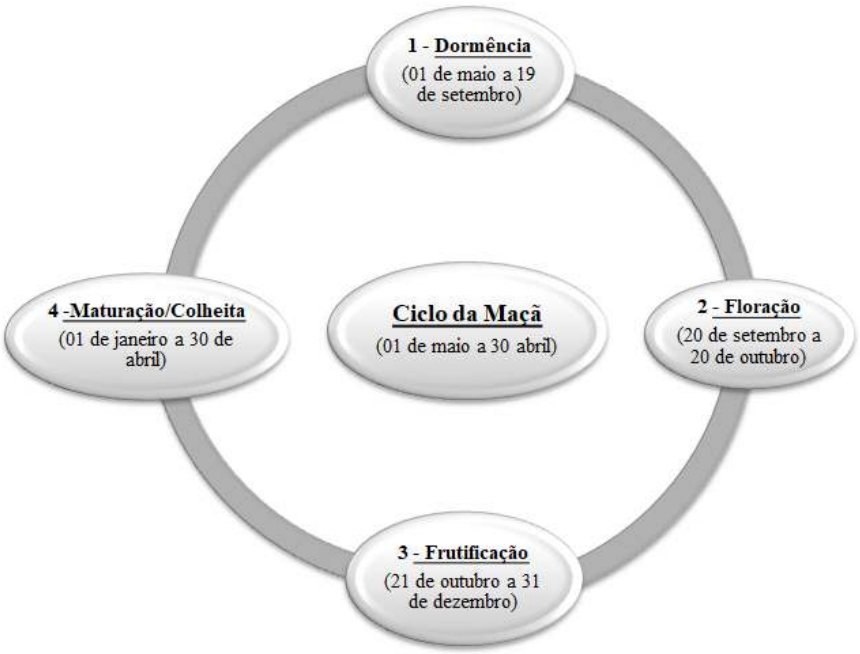
Para avaliar os impactos dos parâmetros relativos às OdF na produtividade da maçã em São Joaquim aplicou-se o teste de regressão linear múltipla (*RLM*). A *RLM* é utilizada em análises em que mais de uma variável independente (*x*) pode influenciar na variável dependente (*y*) (ROGERSON, 2012, p. 225). Com n variáveis explicativas independentes, a equação da *RLM* é:

$$\hat{y} = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \cdots + b_n x_n \qquad (2)$$

Onde: $\hat{y}$ é o valor predito da variável dependente; *a* é o coeficiente de interseção (intercepto); *b* é o coeficiente das variáveis investigadas, e *x* é o valor da variável independente.

Primeiramente, de forma separada, testou-se a correlação entre os parâmetros das *OdF* e a produtividade para verificar quais destes (*Frq, D, Sm e Int*) iriam compor a análise de *RLM*. A correlação utilizada foi a de *Pearson* (*r*), pois os dados apresentaram distribuição normal, verificada a partir do teste de *Shapiro-Wilk* (*W*) (α *= 5%).* O período correlacionado (Figura 4) compreendeu os ciclos da dormência e do crescimento vegetativo (*floração, frutificação e colheita*). O ciclo de floração da macieira em São Joaquim foi baseado em Pereira (2017), que considerou o período de 20 de setembro a 20 de outubro, pois abrange o início e o final da floração dos cultivares *Fuji* e *Gala*, já que 91% dos pomares brasileiros de maçã são formados por estes cultivares.

Figura 4 - Ciclo anual da maçã em São Joaquim/SC e suas fases fenológicas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para cada fase fenológica da maçã foi contabilizada a *Frq* (número de ondas de frio), o somatório de dias com *OdF* ($\sum D_{OdF}$), ou seja, a soma da duração de todas as OdF identificadas na fase fenológica; a *Sm*, e a *Int* das OdF. Os dados agrícolas foram caracterizados pela produtividade por ano agrícola ($\sum P$).

As comparações foram realizadas a cada fase fenológica, dos anos de 2001 a 2017, por meio do cálculo de *r* e *r2* entre: *Frq* e $\sum P$; $\sum D$ e $\sum P$; e entre a, $\overline{X}_{Sm}$ e $\sum P$ e a $\overline{X}_{Int}$ e $\sum P$. Foram consultadas as notícias publicadas em jornais de circulação estadual e regional, relacionadas com as repercussões e/ou impactos do frio no setor agrícola catarinense, em especial na produção da maçã.

Foram também consultados, com o mesmo escopo, os boletins agropecuários mensais e anuais do Centro de Socieconomia e Planejamento Agrícola (CEPA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao testar as correlações entre os parâmetros das *OdF* para São Joaquim (*Frq, D, Sm e Int*) e a produtividade da maçã (kg/ha), em suas diferentes fases fenológicas, bem como ao longo de todo o ano agrícola, para verificar quais deles iriam compor a análise de *RLM* (Tabela

2), foi encontrada significância estatística (*α = 5%)* apenas na fase de dormência (1° de maio a 19 de setembro) e para os parâmetros *Frq* (0,027) e *D* (0,015).

Tabela 2 - Correlação de Pearson (*r*) entre a Produtividade da maçã (kg/ha) em São Joaquim/SC, de 2001 a 2017 e os parâmetros das OdF (*Frq, D, Int e Sm*).

Fase Fenológica	OdF - Parâmetros	*n*	*r*	*p-valor*
Dormência	*Frq*	17	0,53	*0,027*
	D	17	0,58	*0,015*
	Sm	13	0,20	0,501
	Int	13	-0,09	0,758
Floração	*Frq*	17	-0,01	0,730
	D	17	-0,15	0,557
	Sm	3	-0,98	0,101
	Int	3	0,13	0,913
Frutificação	*Frq*	17	0,01	0,701
	D	17	0,12	0,640
	Sm	6	-0,04	0,943
	Int	6	0,32	0,534
Maturação/Colheita	*Frq*	17	0,05	0,850
	D	17	0,03	0,907
	Sm	13	-0,10	0,736
	Int	13	0,12	0,690
Ano Agrícola	*Frq*	17	0,41	0,100
	D	17	0,42	0,094
	Sm	16	0,02	0,948
	Int	16	-0,13	0,637

n = número de amostras.

Ao submeter os parâmetros *D* e *Frq* ao modelo de *RLM* (Tabela 3), foi constatada a presença de multicolinearidade, ou seja, alto grau de correlação (*r=0,97*) significativo a 5% entre as variáveis independentes (Freund et al., 2006); no caso a *D* versus *Frq* (Tabela 4). Embora o ajuste seja significativo no conjunto (*valor de F*), as contribuições marginais de cada variável (*D e Frq*) são insignificantes (Tabela 3), ratificando a presença de multicolinearidade.

Tabela 3 - RLM da Produtividade da maçã (kg/ha) em São Joaquim/SC, de 2001 a 2017 com a frequência e a duração na fase da Dormência.

n=17	*Coeficientes*	Erro Padrão	$t_{calculado}$	*p-valor*
Intercepto	23,344521	2,036532	11,46287	<0,0001*
Frequência	0,1974406	4,262045	0,046325	0,963705
Duração	0,9635051	1,054862	0,913394	0,376497

Valores do teste: r^2 = 0,38 (38%); r^2 ajustado = 0,29 (29%); F de significação = 0,035; Erro padrão estimado = 4,2; (*) significativo ao nível de α = 5%.

Para Maia (2017), numa *RLM*, quando há uma forte relação linear entre *X1* (*D*) e *X2* (*Frq*) (multicolinearidade) (Tabela 4) fica difícil identificar os efeitos isolados de *X1* e *X2* sobre a variável dependente *Y* (produtividade), isto é, a maior parcela da variabilidade de *Y* é explicada pelo efeito conjunto de *X1* e *X2*. Devido à dependência entre as variáveis regressoras, a multicolinearidade apresenta sérios efeitos nas estimativas de mínimos quadrados dos coeficientes de regressão (HAIR, 2005; MONTGOMERY et al., 2006; MAIA, 2017), uma vez que não é possível resolver o sistema de equações normais.

Tabela 1 - Correlação de Pearson (*r*) entre as variáveis independentes Frq e D.

n	17
r	0,9673
p-valor	<0,0001

Diversas metodologias têm sido propostas para minorar o problema causado pela multicolinearidade, entre as quais: aumentar o tamanho da amostra, transformar as variáveis explicatórias, excluir uma ou mais variáveis independentes altamente correlacionadas, dentre outras (HAIR, 2005; MONTGOMERY et al.; 2006; MAIA, 2017). Assim, optou-se por excluir ou omitir a variável *Frq* do modelo de *RLM,* pois o parâmetro da *D* apresentou uma maior significância estatística. Contudo, foi necessário realizar não mais uma *RLM*, e sim uma *RLS* (Tabela 5), pois tem-se apenas uma variável independente. Sendo assim, pelo modelo de *RLS* proposto para OdF, foi possível identificar que a *D* explica 38% (r^2) da variável dependente (*y*), com comprovação estatística de 5%. Em outras palavras, 38% da produtividade da maçã no município de São Joaquim são explicados pelo número de dias frios ou pelo parâmetro *D* durante a fase da dormência da macieira, especificamente de 01 de maio a 19 de setembro. Dessa forma, os 62% restantes devem-se a outras causas não analisadas neste estudo, como,

por exemplo: outros condicionantes climáticos como a precipitação, a tecnologia incorporada aos sistemas de produção, o manejo correto, a pesquisa e extensão, além dos incentivos governamentais (ABPM, 2017; CEPA, 2017).

Tabela 5 - *RLS* entre a Produtividade da maçã (kg/ha) em São Joaquim/SC de 2001 a 2017 e a Duração das OdF.

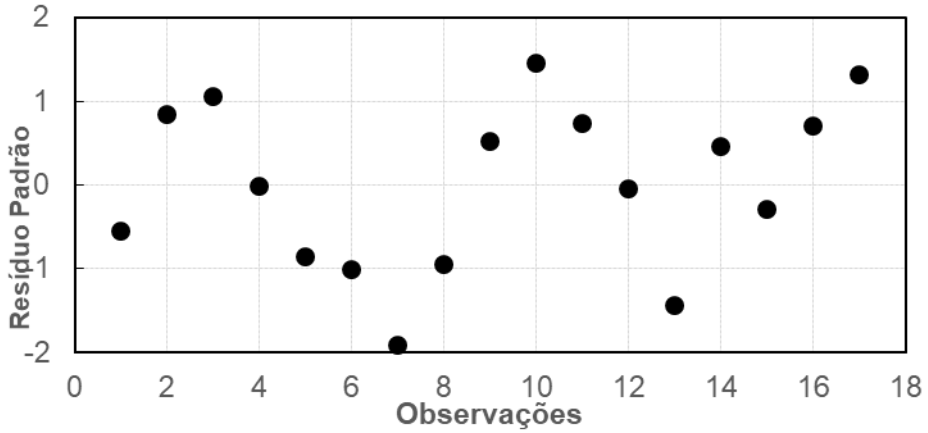
n=17	*Constantes*	Erro Padrão	$t_{calculado}$	*p-valor*
Intercepto	23,38739	1,752637	13,34412	<0,0001
Duração	1,009684	0,333324	3,029132	0,0084

Valores do teste: r^2 = 0,38 (38%); r^2 ajustado = 0,34 (34%); F de significação = 0,008; Erro padrão estimado = 4,1.

Durante o inverno, a continuidade do frio é indispensável para que as macieiras possam iniciar novo ciclo vegetativo, com brotação e floração apropriadas (BURIOL et al.; 1974; BRAGA, et al., 2001; PETRI et al., 2006; PIO et al., 2018). Estando em dormência, a ação contínua de baixas temperaturas por determinado período levará a planta a sair da dormência. Desta maneira, as baixas temperaturas têm uma dupla função, a de induzir e de terminar a dormência, permitindo uma nova brotação (PETRI et al., 1996; PETRI et al., 2006). A restrição ou desuniformidade na disponibilidade de frio hibernal pode promover alguns distúrbios fisiológicos e fenológicos em macieiras. Entre eles, destacam-se a paralisia do crescimento de novos brotos, o desenvolvimento de folhas pequenas, a formação de frutos pequenos e achatados e o abortamento de gemas florais, gerando impactos quantitativos e qualitativos na produção e longevidade das macieiras (EMBRAPA, 2013; ANZANELLO et al., 2014).

Ao observar os resíduos padrão da produtividade da maçã durante os eventos de OdF (*duração*) na fase da dormência (Figura 5), constata-se que todos os valores estão dentro do intervalo de -2 a 2, considerado aceitável.

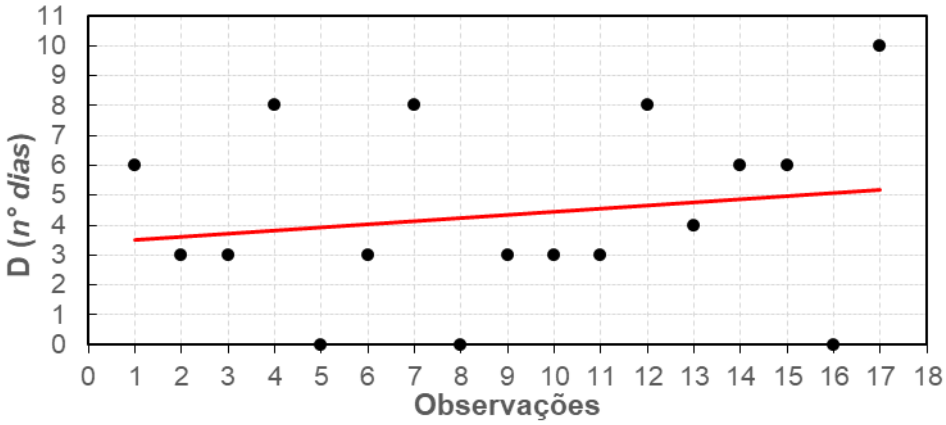
Figura 1 - Resíduos padrão da produtividade da maçã em São Joaquim/SC de 2001 a 2017 durante os eventos de OdF (*Duração*) na fase da dormência.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A dispersão entre a duração das OdF e a produtividade da maçã (Figura 6) indica que, de maneira geral, as situações que apresentam maiores produtividades são aquelas em que as OdF são mais duradoras, especialmente nos eventos com período acima de seis dias.

Figura 6 - Gráfico de dispersão entre *Duração* das OdF e *produtividade da maçã* em São Joaquim/SC de 2001 a 2017.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir dos dados originais da série histórica de produtividade (Y do IBGE) (Figura 3) ordenaram-se os anos de maior produtividade de maçã em São Joaquim, das safras de 2001 a 2017 (Tabela 6). A partir da classificação estabelecida foram selecionadas as safras de 2017 (a de maior produtividade) e a safra de 2005 (e de menor produtividade), com o propósito de analisar os fatores que influenciaram nas referidas produtividades, especialmente as condições relacionadas ao clima.

Tabela 6 - Classificação decrescente da produtividade anual da maçã (kg/ha) de 2001 a 2017 em São Joaquim/SC.

Ranking	Ano	Produtividade (kg/ha)
1°	2017	45.000
2°	2014	36.000
3°	2012	35.000
4°	2010	34.782
5°	2015	33.600
6°	2011	32.500
7°	2016	32.000
8°	2004	30.880
9°	2009	30.600
10°	2003	29.500
11°	2002	28.100
12°	2001	27.272
13°	2013	26.000
14°	2007	25.025
15°	2006	23.000
16°	2008	21.250
17°	2005	20.000

3.1. Safra da maçã de 2017

A safra de maçã de 2017 foi considerada a maior da história tanto para o município de São Joaquim como para todo o estado de Santa Catarina e também para todo o território nacional (ABPM, 2018). Uma supersafra, não apenas na análise quantitativa dos dados de produção (374,625 *ton*) e da produtividade recordes (32.940 kg/ha), como em termos de qualidade da fruta, uma das mais proveitosas desde o início das atividades em grande escala na região serrana catarinense, há mais de 40 anos (CIDASC, 2017). A supersafra em questão foi noticiário de diversos veículos de comunicação digital, assim como em websites e boletins do ramo agropecuário em Santa Catarina (Figura 7).

Figura 7 - Manchetes de mídia eletrônica (digital) relatando a supersafra de maçã 2016/2017 em Santa Catarina. A) G1/SC - 22/02/2017, B) Anuário Brasileiro da Maçã (2017), C) Globo.com/globorural - 12/02/2017, D) Correio Otaciliense - 23/02/2020 e E) ABPM (2017).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os aspectos responsáveis por esse sucesso, que leva em consideração o formato, a textura, a cor e o sabor da fruta, são os altos investimentos em tecnologia de produção feitos por empreendedores, bem como os incentivos governamentais, as técnicas de cultivo adequadas, o combate às pragas e doenças, além dos condicionantes climáticos, em especial o frio (ABPM, 2017; CEPA, 2017; CIDASC, 2017).

Durante o ciclo da dormência (1º de maio a 19 de setembro de 2017) as condições climáticas foram favoráveis ao desenvolvimento das macieiras, com ocorrência de horas de frio acima da média histórica dos últimos três anos (CEPA, 2017). O inverno de 2016 registrou em São Joaquim: 1,4 mil horas de frio (soma das horas com temperatura do ar abaixo ou igual a 7,2°C) (EPAGRI, 2020), que foram o dobro das 700 horas necessárias para a brotação e a florada da variedade Fuji, e mais que o dobro para quebra da dormência na Gala, que é, em média, de 600 horas frio (PETRI et al., 2006; NACHTIGALL et al., 2009). As condições invernais favoráveis promoveram a antecipação da brotação nas macieiras, com concentração na floração das cultivares Gala e Fuji. Sezerino (1982) aponta que quando há concentração de

frio no início do período de repouso, a quebra da dormência acontece mais cedo, o que proporciona uma brotação e floração mais homogênea e exitosa. O bom desempenho das macieiras tem seu potencial climático amplamente conexo ao frio, nomeadamente aquele de ocorrência entre os meses de maio a setembro (e.g. USHIROZAWA, 1978; BACK, 2006; PETRI et al., 2006; NACHTIGALL et al., 2009; CARDOSO, 2011; PIO et al., 2018); desde que não congelante, o frio é primordial para a quebra da dormência (PEREIRA et al., 2002; PETRI et al., 2006; NACHTIGALL et al., 2009).

A safra de 2017 teve a maior duração de dias frios durante a fase da dormência, dentre todas as safras analisadas (Tabela 7). Esses dias frios ocorreram nas OdF do mês de maio (de 17 a 19) e de junho (de 7 a 13), contabilizando 10 dias de duração. Fato interessante é que os anos com altos valores de produtividade foram justamente aqueles que tiveram as maiores durações de OdF dentro do intervalo da fase de dormência (Tabela 7). Esse resultado ratifica o parâmetro D das OdF como determinante nos valores de produtividade da maçã em São Joaquim, durante o ciclo da dormência, conforme demostrado anteriormente na RLS (Tabela 5). O rendimento médio em São Joaquim subiu aproximadamente 62% em relação à produtividade da safra 2015/2016 (Tabela 7), com um detalhe: em ambas as safras a área plantada foi 8.325 ha.

Tabela 7 - Produtividade (kg/ha) e duração das OdF em São Joaquim/SC nas fases de dormência, vegetativo e ano agrícola, nas safras de 2001 a 2017.

Ano	Produtividade (kg/ha)	Dormência	Vegetativo			
			Floração	Frutificação	Maturação/Colheita	Ano Agrícola
2001	27.272	6	0	0	0	6
2002	29.690	3	0	0	7	10
2003	30.560	3	0	0	3	6
2004	31.410	8	0	0	3	11
2005	20.000	0	4	3	4	11
2006	22.470	3	0	0	3	6
2007	23.940	8	0	3	0	11
2008	19.660	0	0	0	0	0
2009	28.480	3	0	3	6	9
2010	32.130	3	0	0	4	7
2011	29.320	3	3	0	0	6
2012	31.290	8	0	4	6	18
2013	21.760	4	0	0	9	13
2014	31.230	6	3	0	3	12
2015	28.300	6	0	3	6	15
2016	26.170	0	0	0	8	11
2017	38.640	10	0	3	3	16

Fonte: Organizado pelos autores.

Ressalta-se que “dias frios” foram considerados somente os que configuraram uma OdF, ou seja, aquele com no mínimo três dias consecutivos interruptos. Assim, quando analisados os dias considerados frios, independentemente de configurarem ou não uma OdF, as correlações e o grau de dependência se apresentaram ainda mais significativos. Lima et al. (2003) observando a relação entre as unidades de frio e o rendimento das safras de maçã no período de 1972 a 2002, em Fraiburgo, Santa Catarina, concluíram que há uma redução na produtividade da cultura da maçã ao submetê-la a quantidades inferiores de unidades de frio acumuladas até o mês de setembro. Severis et al. (2020) ao analisarem quali-quantitativamente a interação entre as variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação sobre a produção de maçã na região do Planalto Sul-catarinense (Lages e São Joaquim), entre das safras de 2006 a 2017, indicaram que a precipitação, o número de horas de frio durante a fase de dormência e o número de horas com temperaturas mais elevadas no período

vegetativo podem ter influenciado na produção de maçãs no Planalto Sul-catarinense. Acrescentam que a queda de produção pode estar associada à ocorrência de fenômenos meteorológicos extremos, como o granizo e a geada.

Ainda relacionado às boas condições de frio invernais em 2016, o engenheiro agrônomo André Werner, responsável técnico da Agropecuária Schio, maior produtora, processadora e exportadora do setor macieiro no Brasil, em entrevista publicada no Anuário Brasileiro da Maçã, em 2017, p. 54, acentua que o inverno de 2016 foi "um dos melhores invernos dos últimos tempos para o segmento, com manutenção de temperaturas baixas e amenas, sem muita oscilação, o que se requer para o bom desenvolvimento da cultura". Outras condicionantes climáticas também vieram a contribuir ao bom desempenho agronômico no cultivo da maçã durante a safra/2017, tais como: a boa distribuição de chuva durante a primavera, a insolação na medida ideal, a boa amplitude térmica, aliadas à baixíssima ocorrência de granizo e ausência de geadas tardias (ABPM, 2017; CIDASC, 2017).

Enquanto no período 2015/2016 houve restrição em volume, a oferta nacional no ano de 2017 apresentou-se com plenas condições para dar conta da demanda interna, assim como da exportação que apresentou uma recuperação de 80% com relação à quantidade negociada na safra 2015/16 (ABPM, 2017; CEPA, 2017). Ademais, após a quebra experimentada na safra anterior, o Brasil retornou em 2017 aos seus patamares tradicionais de produção, ou seja, 1,3 milhão de toneladas (ABPM, 2017, 2018).

3.2. Safra da maçã de 2005

O ano de 2005 teve uma das piores safras de maçã em Santa Catarina até o momento. Os dados de desempenho apresentados pelo IBGE (LSPA de junho de 2005) apresentaram uma queda de 12,1% no volume de maçã produzida (855.535 toneladas) e de 8,8% de incremento na área colhida (35.723 hectares), em relação à safra passada. Em São Joaquim não foi diferente (CEPA, 2005). O município serrano teve na safra 2004/2005 uma produção de 99.000 ton, numa área colhida de 4.950 ha, cerca de 13,9% a menos em volume de produção em relação à safra anterior, mesmo com um incremento na área plantada de 32,8%. Estes números representaram a menor produtividade das últimas 17 safras, que não ultrapassou os 20.000 kg/ha (Tabela 7).

Os baixos valores no desempenho agronômico da safra em questão foram consequência de adversidades climáticas, tais como o baixo índice pluviométrico, a queda de granizo e o frio fora de época, além das doenças relacionadas à maçã, tais como a sarna da macieira e a podridão amarga (CEPA, 2005). Todas estas variáveis contribuíram para uma diminuição na produtividade, na qualidade e no tamanho dos frutos (CEPA, 2005). Fioravanço e Lazzarotto (2012) atribuem os efeitos adversos de eventos climáticos às perdas de produção e produtividade dos anos de 2004 e 2005, em muitos pomares dos principais polos produtores do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, dentre eles o município de São Joaquim, na Serra catarinense.

Os eventos climáticos tais como granizo, geadas, ondas de frio, estiagens, inundações estão diretamente relacionados com a produtividade. No período de 11 anos (2000 a 2010), em apenas três deles a presença desses eventos não afetou negativamente a produção de maçã no Brasil (BRDE, 2011). A ocorrência de geadas tardias após a quebra de dormência, que coincide com o período inicial de desenvolvimento da macieira, pode trazer grandes prejuízos à cultura, uma vez que as estruturas florais e frutos em desenvolvimento são sensíveis, o que pode comprometer a produção (NATCHIGALL et al. 2009; CARDOSO, 2011; EMBRAPA, 2013). Essas geadas tardias são as mais prejudiciais, pois "queimam" a vegetação e podem comprometer, total ou parcialmente, a produção de maçãs de uma safra e afetar inclusive as safras seguintes (SEZERINO, 1982; EMBRAPA, 2013).

Conforme supracitado, esta pesquisa trata do evento de OdF, portanto, não significa que no período de dormência da safra 2004/2005 não tenham ocorrido dias frios ou temperaturas baixas. Eles ocorreram sim, só não foram suficientes para configurar uma OdF. De acordo com a Epagri (2020) foram registradas 868h/frio em São Joaquim, de maio a setembro de 2004, suficientes para a quebra da dormência da Gala e Fuji, sem a aplicação de indutores. Em relação ao frio fora de época ou tardio, constatou-se a ocorrência de três OdF em São Joaquim, duas OdF no segundo semestre de 2004, sendo as duas OdF no mês de outubro: de 05 a 08 (fase de floração) e de 26 a 28 (fase de frutificação); a terceira OdF ocorreu quando as maçãs já estavam em vias de maturação, em fevereiro de 2005 (Tabela 7). Ou seja, a duração das OdF se concentrou em fases consideradas críticas ao desenvolvimento da fruta, especificamente na fase de floração e frutificação, e não ocorreram em época teoricamente benéfica para a cultura, ou seja, durante a dormência (Tabela 7).

Entre os meses de setembro e novembro, cujo período insere-se nas fases de floração (20 de setembro a 20 de outubro) e frutificação efetiva (21 de outubro a 31 dezembro), o frio prejudica o desenvolvimento da maçã (BACK, 2006), pois as temperaturas baixas durante essas fases fenológicas, consideradas críticas, acabam por retardar o processo de maturação, o que pode comprometer a produtividade (PETRI, 2006; CARDOSO, 2011). Uma vez ocorrida a floração, temperaturas baixas afetam, negativamente, os processos fisiológicos e a resistência ao frio das partes em atividade (PETRI, 2006; EMBRAPA, 2013). No período de crescimento dos frutos, o frio pode limitar a qualidade comercial dos mesmos, em longo prazo (CARDOSO, 2011). Ademais, durante a floração, temperaturas inferiores a 10 °C dificultam a fixação e o adequado crescimento dos frutos, além de dificultar a atividade dos insetos polinizadores (IUCHI, 2006; CORREZOLA, 2010; EMBRAPA 2013). A faixa ideal de temperaturas para a macieira no período vegetativo é de 18 a 23°C, não ultrapassando no verão (dezembro a fevereiro) o limite máximo de 25 °C (PETRI, 1986; BACK, 2006; EMBRAPA, 2013). Nos locais onde a temperatura durante a noite sofre queda brusca há produção de maçãs de boa coloração. Isto, porque em localidades onde a temperatura noturna é de 15°C, aproximadamente, há uma boa formação da antocianina, que é responsável pela coloração dos frutos (LEITE et al., 2002; BLITTENCOURT, MATTEI, 2008; NACHTIGALL et al., 2009). As maçãs de polpa mais firme são procedentes de locais onde a temperatura é amena, como é o caso de São Joaquim. Tais colocações vêm ao encontro dos resultados obtidos aqui, que mostram como o frio tardio acaba por prejudicar a produtividade da maçã, assim como a qualidade da fruta, protelando e impactando negativamente as etapas seguintes da safra. Portanto, reforçam a tese da importância de eventos frios durante a dormência para alcançar uma safra satisfatória, tanto em qualidade como em quantidade.

Entre os meses de outubro e dezembro de 2004, correspondentes ao período de floração e desenvolvimentos dos frutos (frutificação), o estado de Santa Catarina passou por um período de estiagem (BIFFI, 2006; SPINELLI et al., 2018), o que possivelmente contribuiu para a baixa performance da safra 2004/2005 (BIFFI; NETO, 2008). A precipitação tem efeitos diretos sobre o tamanho das maçãs, a capacidade de absorção de nutrientes, a produtividade e a limitação do trabalho de abelhas polinizadoras (MOTA; ALVES, 1990). Nachtigall et al. (2009, p.456) explicaram que a precipitação pluviométrica é de fundamental importância no cultivo da macieira, especificamente no período de setembro a maio, quando do ciclo

vegetativo. A deficiência de água na fase de desenvolvimento dos frutos pode afetar o tamanho final deles, além de prejudicar a absorção de nutrientes, o crescimento da planta e a diferenciação das gemas floríferas no ciclo subsequente. A falta de água no solo dificulta a absorção de nutrientes por parte das raízes, podendo reduzir o crescimento das plantas (EPAGRI, 2002). Porém, durante a floração, uma sequência de dias chuvosos vem a interferir no trabalho dos polinizadores, assim como aumenta a incidência de doenças, e também pode provocar lavagem dos grãos de pólen que se encontram na superfície do estigma (NACHTIGALL, 2004).

Em fevereiro de 2005 a colheita de cultivar Gala e de outras variedades precoces encontrava-se em pleno andamento nos principais estados produtores. A variedade Fuji teve a sua colheita iniciada no mês de abril. Em alguns municípios catarinenses, no entanto, a atividade foi antecipada em virtude do baixo índice pluviométrico predominante, fenômeno que apressou a maturação do fruto (CEPA, 2005). No fim de março a chuva voltou a cair, resolvendo a falta de água nas lavouras, e contribuindo para uma melhora no desenvolvimento dos frutos em alguns pomares do estado (CEPA, 2005). Pereira (2017), ao analisar a relação entre a variabilidade climática e a produtividade da maçã cultivada na região de São Joaquim (safras de 2001 a 2015), constatou que a chuva durante a fase de floração (20 de setembro a 20 de outubro) respondeu por 70% da variação na produtividade da macieira, na região de São Joaquim.

Em 2005, segundo a Secretaria do Comércio Exterior e do Departamento de Operações do Comércio Exterior (MDIC/Secex), as exportações brasileiras atingiram um total de 99,3 mil toneladas e decresceram 35% em relação a 2004, sendo comercializadas apenas 153 mil toneladas.

4. CONCLUSÕES

Os estudos relacionados às condições meteorológicas de cada ano, especialmente às variações na temperatura do ar ligadas aos extremos de frio, do ponto de vista da climatologia geográfica são essenciais para vários setores da sociedade, dentre eles o setor agrícola. Tais informações, aplicadas ao planejamento, aos processos de decisões e ao aumento da

resiliência da produção agrícola possibilitam um sistema mais produtivo e com menores riscos de perdas.

Atestou-se, no desenvolvimento desta pesquisa, que as OdF provocam tanto impactos positivos como negativos na produtividade da maçã no munícipio de São Joaquim, dependendo do período em que ocorreram, ou seja, durante suas diferentes fases fenológicas. Há aumento de produtividade de safras em anos com maior frequência e duração das OdF, especialmente quando no ciclo da dormência do fruto (maio a setembro), com altos valores de produtividade e ótima qualidade dos frutos, como no caso da safra de 2017 (1° lugar em produtividade). O parâmetro duração das OdF explicou 38% da produtividade de maçã no município de São Joaquim. No que tange aos impactos negativos, derivam da não ocorrência de frio durante a fase da dormência, e os mesmos se agravam quando os dias frios se concentram nas fases consideradas críticas ao desenvolvimento da fruta, isto é, as de floração e de frutificação.

Por fim, sugere-se que análises deste cunho sejam praticadas, sempre que possível sob a ótica da dinâmica atmosférica e integrada aos dados do setor macieiro de outras regiões produtoras de Santa Catarina e do sul do Brasil. Recomenda-se, ainda, que outras variáveis, tais como a precipitação e a radiação, sejam estudadas de forma conjunta com as OdF, a fim de correlacioná-las aos dados de produtividade das safras de maçã de São Joaquim, e que os "*dias de frio*" passem a ser considerados independentemente da ocorrência ou não de OdF.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG da UFSC, berço desta pesquisa por meio de uma tese já concluída pelo primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ABPM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ. **Anuário brasileiro da maçã 2017** / Benno Bernardo Kist ... [et al.]. - Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 56 p., 2017.

ABPM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ. **Anuário brasileiro da maçã 2018** / Benno Bernardo Kist ... [et al.]. - Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 56 p., 2018.

ALVES, M.P.A. **Ondas de frio em Santa Catarina: impactos no cultivo de maçã no município de São Joaquim.** 2020. 176 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geociências, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 176 p., 2020.

ALVES, M.P.A.; SILVEIRA, R.B.; MONTEIRO, A.; BITENCOURT, D.P.; SOUSA, C.M. Reconstrução de dados e deteção de ondas de calor e de frio no Porto e concelhos vizinhos – Portugal. **Territorium** (Coimbra), nº 27, v. 2, p. 49-66, 2020.

ANZANELLO, R.; FIALHO, F. B.; SANTOS, H. P.; BERGAMASCHI, H.; MARODIN, G. A. B. Bud dormancy in apple trees after thermal fluctuations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 6, p. 457-464., 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000600007.

APOSTOL, L.; MACHIDON, O.; SFÎCĂ, L.; MACHIDON, D. Impact of the blizzards and cold waves of 24 January – 18 February., 2012 in Romania. **Risks and disasters**. 10.

BACK, C.R. **Manejo Integrado de Pragas da Macieira.** Relatório de Estágio do Curso de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 51p., 2006.

BARBOSA, H.; SANTOS, F. Episódio de onda de frio em cidade de clima tropical: estudo de caso de Presidente Prudente, São Paulo (Brasil). **Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)**, n.º 6 (dezembro). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 23-43., 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.17127/got/2014.6.004.

BIFFI, L. J.; RAFAELI NETO, L. S. Comportamento espacial de variáveis agronômicas da maçã 'Fuji' durante dois anos de observações no planalto serrano de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 975-980., 2008.

BITTENCOURT, C. C.; MATTEI, L. F. Panorama da cadeia da maçã no estado de Santa Catarina: algumas evidências no segmento da produção. In: **Anais do II Encontro de Economia Catarinense.** Chapecó., 2008.

BITENCOURT, D.P., FUENTES, M.V., FRANKE, A.E., SILVEIRA, R.B., ALVES, M.P.A. The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016**. Int J Climatol.** 2020; 40:2464-2478. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.6345.

BONETI, J.I.S.; CESA, J.D. PETRI, J.L.; BLEICHER, J. Evolução da cultura da macieira. In: EPAGRI. **A cultura macieira**. Florianópolis, p.37-57., 2006.

BOYNTON, D. La temperatura como factor limitante en el cultivo del manzano en la América Tropical. **Turrialba**, San José, Costa Rica, v.10, n.1, p.17-27., 1960.

BRAGA, H.J.; DA SILVA JR, V.; PANDOLFO, C.; PEREIRA, E.S. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da maçã no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia,** v.9, n.3, p.439-445., 2001.

BRDE - BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL. **Cadeia Produtiva da Maçã no Brasil:** limitações e potencialidades. Porto Alegre: BRDE, 44p., 2011.

BURIOL, G.A.; FERREIRA, M.; ESTEFANEL, V. Variabilidade das temperaturas médias mensais e estacionais do ar no estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.4, n.3, p.271-294., 1974.

CAMELATTO, D. Dormência em fruteiras de clima temperado. **Revista Horticultura Sul, Pelotas,** v.1. n.3, p.12-17., 1990.

CARDOSO, L. S. **Modelagem aplicada à fenologia de macieiras 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema' em função do clima, na região de Vacaria, RS.** Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 166 p. ,2011.

CEPA - CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2004 - 2005.** v.1. Florianópolis: 2005. Disponível em: <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/sintese_2005.pdf>. Acesso em: 12 mar.2020.

CEPA - CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2015 - 2016**. v.1. Florianópolis: 2016. Disponível em: <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2016.pdf>. Acesso em: 13 set.2019.

CEPA - CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2016 - 2017.** v.1. Florianópolis: 2017. Disponível em: <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2016_17_site.pdf>. Acesso em: 15 mar.2020.

CIDASC - Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina. **Santa Catarina terá uma das melhores safras de maçã da história**. Publicado por JV Ascom em 24/02/2017 - 09:00. Disponível em: <http://www.cidasc.sc.gov.br/blogsafras-de-maca-da-historia>. Acesso em: 17 fev.2020.

CORDEIRO, W.C. **A vitinicultura em São Joaquim -SC: uma nova atividade no município.** Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis., 2006.

COREZZOLA, D. **Caracterização e Análise do arranjo produtivo local:** APL da Maçã no município de Ipê - RS. Ipê, 28 out., 2010.

CUNHA, L. Riscos Climáticos no Centro de Portugal. Uma leitura geográfica**. REVISTA GEONORTE**, edição especial, v.4, n.4, p.105-115., 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Maçã:** o produtor pergunta, a Embrapa responde. Editores técnicos: FIORAVANÇO, J.C.; SANTOS, R.S.S. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 239 p. ISBN 978-85-7035-204-0.

EPAGRI/CIRAM - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Boletim do monitoramento diário da 2° quinzena de janeiro/2012 em Santa Catarina.** Acervo institucional, 2012. Acesso em: 24 fev.2020.

EPAGRI/CIRAM - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **A cultura da macieira**. Florianópolis: GCM/Epagri, 2002. 743 p.

ESCOBAR. G. Padrões Sinóticos Associados a Ondas de Frio na Cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 241-254., 2007. DOI:https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000200009.

FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker. 274 p., 1992.

FIORAVANÇO, J. C.; LAZZAROTTO, J. J. A cultura da macieira no Brasil: reflexões sobre produção, mercado e fatores determinantes da competitividade futura. **Informações Econômicas (Impresso),** v. 42, p. 42-54., 2012.

FREUND, R. J.; WILSON, W. J.; SA, P. Regression analysis – Statistical Modeling of a response variable. **Elsevier**, Inc., San Diego, 459p., 2006.

GARREAUD, R. D. Cold air incursions over subtropical South America: Mean structure and dynamics.Mon. Wea. *Rev*, 128, 2544–2559., 2000. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)128%3C2544:CAIOSS%3E2.0.CO;2.

HAIR, JR., J. H.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. TRAD. Adonai Schlup Sant'Ana e Anselmo Chaves Neto. *Análise Multivariada de Dados.* 5ed. Porto Alegre: Bookman., 2005.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agriculturaland Forest Meteorology**, 103, 137-157., 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00108-8.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção - LSP.** 2018a: Maçã: produção e área colhida, Brasil e unidades da Federação. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 10 mai. 2020.

IUCHI, V.L. Botânica e fisiologia. *In*: **EPAGRI. A Cultura da macieira**. 2. ed. Florianópolis: EPAGRI, p. 59-104., 2006.

LEITE, G.B.; PETRI, J.L.; MONDARDO, M. Efeito da tela antigranizo em algumas características dos frutos de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, p.714-716., 2002.

LEITE, G.B.; PETRI, J.L.; COUTO, M. Dormência das Fruteiras de clima temperado. In: PIO, R. (org). **Cultivo de fruteira de clima temperado em regiões subtropicais e tropicais** – 2ed. Revisada e ampliada, Lavras, Minas Gerais, Ed UFLA, p 50-73., 2018.

LUNARDI, N.F. **Mapeamento da cultura da maçã no munícipio de São Joaquim-SC utilizando dados de sensoriamento remoto**. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC: Florianópolis, 22p., 2018.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Handbuch der klimatologie. **Gebrüder Borntraeger**, Berlin., 1936.

LIMA, M.; QUADRO, M.F.L.; PEREIRA, R.S. et al. Relação entre as unidades de frio e o rendimento das safras de maçã de 1997 a 2002 em Fraiburgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 203, Santa Maria, RS. **Anais**...Santa Maria, RS: Unifra; SBA., 2003.

MAIA, A.G. **Econometria: conceitos e aplicações**. Cap 10, 2017.

MARENGO, J. A.; CORNEJO, A.; OYAMBURO, N. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Estudo de caso da primeira massa de ar frio em 1996 no sul do Brasil. Observações e resultados do modelo de Circulação Geral da Atmosfera do CPTEC/COLA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 12, p09-24., 1997.

MAVI, H.S.; TUPPER, G.J. *Agrometeor***ology - Principles and application of climate studies in agriculture.** New York: Food Products Press. 364p., 2004.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. ondas de frio, índices de oscilação e impactos socioambientais das variabilidades climáticas de baixa frequência na América do sul. Edição Especial - "Climatologia Geográfica", **Revista Acta Geográfica (UFRR**), v.2, p.185 - 185., 2012.

DOI: http://dx.doi.org/10.5654/acta.v0i0.1102.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. Introduction to linear regression analysis. **John, Wiley and Sons***,* Inc., New York, 612p., 2006.

MORAIS, H.; CARBONIERI, J. Horas e unidade de frio em pomares de maçã com diferentes microclimas. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Jaboticabal, v.37, n.1, jan/mar2015.

MOTA, F.S.; ALVES, E.G.P. Regiões edafoclimáticas preferenciais para macieira no Rio Grande do Sul. **Horti Sul***,* Pelotas, v.1, n.3, p.18-24., 1990.

NACHTIGALL, G.R. (Ed.). Maçã: produção. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho; Brasília, DF*:* **Embrapa Informação Tecnológica***,* p.171., 2004.

NACTHIGALL, G.R.; FIORAVANÇO, J.C.; HOFFMANN, A. Macieira. In: MONTEIRO, J.E.B.A**.** (ed.) *Agrometeorologia dos cultivos*: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, p.451-464., 2009.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas***.* Guaíba, RS: Ed. Agropecuária, 478p., 2002.

PEREIRA, D. **Variabilidade climática e a produtividade de maçã na região de São Joaquim.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2017.

PETRI, J.L. Fatores edafoclimáticos. In: EPAGRI. **A cultura macieira**. Florianópolis, p.105-112., 2006.

PETRI, J.L.; PASQUAL, M. **Quebra de dormência em macieira***.* Florianópolis: EMPASC, 54p., 1982.

PETRI, J.L.; PALLADINI, J.A.; POLA, A.C. Dormência e indução da brotação da macieira. In: EPAGRI. **A cultura macieira***.* Florianópolis, p.261-298., 2006.

PIO, R.; NETO, J.E.B.; ALVARENGA, A.A. Cultivo da Macieira. In: PIO, R. (org). **Cultivo de fruteira de clima temperado em regiões subtropicais e tropicais** - 2ed. Revisada e ampliada, Lavras, Minas Gerais, Ed UFLA, p.74-116., 2018.

RECH, S.; CARIO S.A.F.; AUGUSTO, C.A. Avaliação conjuntural da produção e comercialização da maçã em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul. **Indic. Econ. FEE**, v 42, n.1, p.81-98., 2014.

ROGERSON, P.A. **Métodos estatísticos para geografia:** um guia para o estudante. Porto Alegre, 3ª ed.: Bookman, 2012, 348 p.

SELUCHI, M.; MARENGO J. Tropical-Mid Latitude Exchange of air masses during Summer and Winter in South America: Climatic aspects and extreme events. **International Journal of Climatology.,** v. 20, p. 1167-1190., 2000. DOI:https://doi.org/10.1002/1097-0088(200008)20:10%3C1167::AID-JOC526%3E3.0.CO;2-T.

SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J.E.B.A. Introdução: Agrometeorologia dos Cultivos - Informações para uma Agricultura Sustentável. In: Monteiro, J. E. B. A. (ed.) **Agrometeorologia dos cultivos:** O fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, p.3-11., 2009.

SERRA, A.; RATISBONNA, L. Ondas de frio na Bacia Amazônica. **Boletim Geográfico**. IBGE, Rio de Janeiro, Ano 3, n° 26, p.172-207., 1945.

SEVERIS, R.M.; CAMPOS, C.G.C.; MALINOVSKI, L.I. Análise quali-quantitativa da interação entre variáveis climáticas e produção de maçã no Planalto Sul-catarinense. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.1, p.27-34., 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i1.26559.

SEZERINO, M. de L. **As condições climáticas e o cultivo da maçã em São Joaquim - Santa Catarina.** Dissertação (Mestre em Ciências) UNESP-Rio Claro. 1982.

SPINELLI, K.; NASCIMENTO, R.S.; FUENTES, M. Condições meteorológicas dos períodos de estiagem que provocaram desastres na região Oeste catarinense. In: **Anais** do XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Juiz de Fora, p. 789-798., 2018.

TITARELLI, A. H. V. **A onda de frio de abril de 1971 e sua repercussão no espaço geográfico brasileiro.** Série Teses e Monografias, São Paulo: USP-IG, 1972.

THOMÉ, V.M.R.; ZAMPIERI, S.; BRAGA, H.J.; PANDOLFO, C.; SILVA JÚNIOR, V. P.; BACIC, I.; LAUS NETO, J.; SOLDATELI, D.; GEBLER, E.; ORE, J.D.; ECHEVERRIA, L.; MATTOS, M.; SUSKI, P.P. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, v.1000. p.1000. CD-ROOM, 1999.

USHIROZAWA, K. **A cultura da maçã**. Florianópolis, EMPASC. 1978.