

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO NA  
CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA REGIÃO SERRANA  
PRODUTORA DE MAÇÃ EM SANTA CATARINA**

**REMOTE SENSING APPLIED TO THE ENVIRONMENTAL  
CHARACTERIZATION OF THE SERRANA REGION PRODUCING APPLE  
IN SANTA CATARINA STATE**

**SENSOR REMOTO APLICADO A LA CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE  
LA REGIÓN DE SERRANA PRODUCTORA DE MANZANA EN SANTA  
CATARINA**

**Kleber Trabaquini**

Doutor em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Florianópolis, SC. [klebertrabaquini@epagri.sc.gov.br](mailto:klebertrabaquini@epagri.sc.gov.br) / <http://orcid.org/0000-0003-4902-4735>

**Nicole Fracasso Lunardi**

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Florianópolis, SC. [nicoleflunardi@gmail.com](mailto:nicoleflunardi@gmail.com) / <http://orcid.org/0000-0003-2021-1086>

**Valci Francisco Vieira**

Mestre em Geografia Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Florianópolis, SC. [valci@epagri.sc.gov.br](mailto:valci@epagri.sc.gov.br) / <http://orcid.org/0000-0003-0554-101X>

**Denilson Dortzbach**

Doutor em Agronomia-Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Florianópolis, SC. [denilson@epagri.sc.gov.br](mailto:denilson@epagri.sc.gov.br) / <http://orcid.org/0000-0002-9470-1072>

**Everton Vieira**

Mestre em Geografia Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Florianópolis, SC. [evertonvieira@epagri.sc.gov.br](mailto:evertonvieira@epagri.sc.gov.br) / <http://orcid.org/0000-0002-0655-5811>

**Wilian da Silva Rice**

Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Florianópolis, SC. [wilianricce@epagri.sc.gov.br](mailto:wilianricce@epagri.sc.gov.br) / <http://orcid.org/0000-0003-3300-9725>

**Arcângelo Loss**

Doutor em Agronomia-Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Professor da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. [arcangelo.loss@ufsc.br](mailto:arcangelo.loss@ufsc.br) / <http://orcid.org/0000-0002-3005-6158>

**Recebido: 20/02/2022; Aceito: 11/05/2022; Publicado: 30/12/2023.**

## RESUMO

No Brasil, a maleicultura ocupa 38,2 mil ha de área plantada. Porém, estes dados são levantados de forma subjetiva, através de questionários e entrevistas com produtores e cooperativas. Assim, objetivou-se realizar, a partir de dados espectrais do satélite Sentinel-2 e técnicas de sensoriamento remoto, o mapeamento dos pomares de maçã da região serrana de Santa Catarina, com vistas a sua espacialização e quantificação, atualizando a área plantada através de dados objetivos. A região de São Joaquim apresenta 33% da área cultivada e aproximadamente 70% do cultivo. Em relação a altitude e declividade dos pomares, 70% estão entre 1.100 e 1.400 m, e aproximadamente 43%, se localizam em relevo ondulado, com declividade de 8 a 20%. Em relação à vertente de plantio, verificou-se que existe uma tendência de se concentrarem nas vertentes oeste do terreno. A região serrana de Santa Catarina apresenta características climáticas favoráveis à produção de maçã, despontando como território de grande produção, aumentando significativamente sua participação na produção nacional, impulsionada pelo constante crescimento do número de produtores e área cultivada.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; Pomares de Maçã; Sentinel-2; Santa Catarina.

## ABSTRACT

In Brazil, apple orchards occupies 38.2 thousand ha of planted area. However, these data are collected subjectively, through questionnaires and interviews with producers and cooperatives. Thus, the objective was to carry out, using spectral data from the Sentinel-2 satellite and remote sensing techniques, the mapping of apple orchards in the mountain region of Santa Catarina, with a view to their spatialization and quantification, updating the planted area using data goals. The São Joaquim region has 33% of the cultivated area, and approximately 70% of the cultivation. Regarding the height and slope of the orchards, 70% are between 1,100 and 1,400 m, and approximately 43% are located in undulating relief, with a slope of 8 to 20%. In relation to the planting slope, it was found that there is a tendency to concentrate on the west slopes of the land. The mountainous region of Santa Catarina has favorable climatic characteristics for apple production, emerging as a territory of great production, significantly increasing its participation in national production, driven by the constant growth in the number of producers and cultivated area.

**Keywords:** Remote Sensing; Apple Orchards; Sentinel-2; Santa Catarina.

## RESUMEN

En Brasil, el cultivo de manzanas ocupa 38,2 mil ha de área plantada. Sin embargo, estos datos se recopilan de forma subjetiva, a través de cuestionarios y entrevistas con productores y cooperativas. Así, el objetivo fue llevar a cabo, utilizando datos espectrales del satélite Sentinel-2 y técnicas de teledetección, el mapeo de las manzanas de la región serrana de Santa Catarina, con miras a su espacialización y cuantificación, actualizando el área plantada a partir de datos objetivos. La región de São Joaquim tiene el 33% del área cultivada y aproximadamente el 70% del cultivo. En cuanto a la altura y pendiente de los huertos, el 70% se encuentran entre los 1.100 y los 1.400 m, y aproximadamente el 43% se ubican en relieve ondulado, con una pendiente del 8 al 20%. En cuanto al área de siembra, se encontró que existe una tendencia a concentrarse en el lado oeste del terreno. La región serrana de Santa Catarina tiene características climáticas favorables para la producción de manzana, emergiendo como un territorio de gran producción, aumentando significativamente su participación en la producción nacional, impulsada por el constante crecimiento en el número de productores y área cultivada.

**Palabras clave:** Teledetección; Huertos de Manzanas; Sentinel-2; Santa Catarina.

---

## INTRODUÇÃO

O Brasil, em 40 anos, passou de país importador de maçã à autossuficiência, sendo o ano de 1998 um marco no qual o país passa ao status de país exportador. A cultura da

maçã é uma atividade relativamente recente no país, apresentando-se, porém, como importante componente da renda agrícola nos estados do Sul, particularmente, em Santa Catarina, que continua sendo o maior produtor da cultura. Nesta atividade, estão envolvidos mais de 3 mil produtores que geram em torno de 150 mil empregos diretos e indiretos (PETRI et al., 2011).

O estado de Santa Catarina apresenta tradição de mais de 30 anos no cultivo comercial da maçã. Fatores como a produção de variedades modernas, disponibilidade de terras, regiões com condições climáticas favoráveis, bem como preocupações com produtividade, infraestrutura de embalagem e conservação, transformaram este estado no maior produtor nacional.

Segundo CEPA (2019), a participação na produção de maçã no ano de 2017 foi de 50,9% para Santa Catarina e 46,1% para o Rio Grande do Sul, que juntos representam 97,0% da produção nacional e 95,5% da área em produção. No ano de 2016, em Santa Catarina, as mesorregiões Serrana e Oeste Catarinense, juntas participaram com 50% da produção nacional e 51% do valor da produção. Porém, a maleicultura é altamente dependente de variáveis ambientais, como o acumulado de horas de frio, que passa a ser determinante para uma brotação uniforme e produção de frutos de qualidade (PETRI et al., 1996). Além da brotação e florescimento, as fases de frutificação e maturação são igualmente afetadas pela temperatura (JANGRA & SHARMA, 2010). Além disso, quando o frio é insuficiente para satisfazer as necessidades fisiológicas da dormência, ocorrem inúmeras anomalias que reduzem a produtividade e a qualidade dos frutos. As macieiras cultivadas na Região Sul do Brasil possuem requerimento de frio elevado, para que ocorra a quebra da dormência das gemas e, conseqüentemente, florescimento, brotação e frutificação normais. De modo geral, as cultivares exigem uma quantidade de frio superior a 800 horas com temperatura abaixo de 7,2°C (PETRI et al., 1996).

Estudos realizados em regiões produtoras pelo mundo têm demonstrado que o cultivo da maçã está sendo influenciado pelo aumento das temperaturas e fazendo com que os produtores procurem áreas mais altas, ou seja, as mudanças climáticas têm modificado o zoneamento da cultura, pois áreas que anteriormente eram aptas ao cultivo, hoje não são mais (RAI et al., 2015; JANGRA; SHARMA, 2010). Em Santa Catarina, Braga et al. (2001) demonstraram que no ano de 2001, 51 municípios eram aptos ao cultivo de maçã, porém com estudos de Pandolfo et al. (2007), os pesquisadores demonstraram que as mudanças climáticas podem, em longo prazo, causar grandes impactos culturais e afetar a cadeia produtiva da maçã, reduzindo drasticamente as áreas favoráveis ao plantio, o que torna

importante uma análise mais detalhada da produção atual no estado e se os locais onde hoje estão distribuídos os pomares se enquadram nas áreas aptas, das exigências ambientais.

Em Santa Catarina, a região serrana do estado, com destaque para o município de São Joaquim, é caracterizada pela produção de maçã em pequenas e médias propriedades, sendo que as 1.844 unidades produtoras presentes da região representam 60% do total de unidades produtoras do Brasil e 88% do estado de Santa Catarina (IBGE, 2019). Segundo dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2019), o município de São Joaquim possui 1.310 produtores de maçã, Bom Jardim da Serra 324, Urupema 105, Urubici 87 e Paineira 18, totalizando 1.844 produtores. Em janeiro de 2019, a Lei Federal nº 13.790 garantiu a São Joaquim o título de Capital Nacional da Maçã, reconhecendo a importância da região serrana de Santa Catarina no cenário nacional de produção, sendo que somente São Joaquim é responsável por 37,5% da produção do Brasil (KIST, 2019). Isto representa 88% dos produtores catarinenses e 60% dos produtores brasileiros de maçã (IBGE, 2019).

Em função dessas características, a região serrana de São Joaquim tem sido considerada uma das melhores do mundo para produção de maçã, possuindo, portanto, um amplo mercado potencial e os requisitos para a obtenção de uma indicação geográfica (IG) na modalidade Denominação de Origem (DO). A DO está relacionada com o nome geográfico da região que possui qualidades e características exclusivas ou essenciais, incluídos os fatores naturais e humanos, que, materializadas no produto ali elaborado, o diferenciam dos demais. A DO expressa a estreita relação de um produto com seu entorno geográfico, físico, ambiental e cultural (INPI, 2020; DORTZBACH et al., 2022).

No Brasil, as maçãs ‘Gala’ e ‘Fuji’ representam em torno de 62% e 33% da produção, respectivamente. Ao contrário das outras regiões produtoras, onde a ‘Gala’ é a cultivar mais produzida, a região serrana Santa Catarina se destaca na produção da ‘Fuji’, sendo sua principal cultivar, responsável por mais de 50% da produção. Esse fato está diretamente relacionado às condições climáticas dessa região para essa cultivar, como por exemplo, o maior acúmulo de horas de frio, proporcionando frutos diferenciados quando comparados a frutos de ‘Fuji’ produzidos em outras regiões. Para Moraes e Carbonieri (2015), a informação da quantidade de frio em locais com microclimas distintos é um importante subsídio tecnológico para os produtores de maçã, pois reduz os custos de produção, otimiza o momento da aplicação de indutores de brotação e proporciona melhor homogeneização da brotação e frutificação, melhorando a qualidade dos frutos e fornecendo ao agricultor informações para a escolha de espécies e cultivares mais adaptadas às condições microclimáticas locais.

Estudos relacionados ao uso de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo conduzidos com relativa eficácia, onde os autores realizam o mapeamento dos pomares, e posteriormente, o diagnóstico das variáveis ambientais (BHATT; MEHTA, 2005; DHAMI et al., 2012; LI et al., 2018; ZARE et al., 2020).

Diante do exposto, e atendendo à escassez de dados espaciais da cultura da maçã em Santa Catarina, o objetivo deste trabalho foi realizar, através de técnicas de sensoriamento remoto, imagens do satélite Sentinel-2 e dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), o mapeamento dos pomares de maçã e posteriormente, o diagnóstico ambiental das variáveis que influenciam no cultivo da maçã na região serrana de Santa Catarina, Brasil.

## **METODOLOGIA**

O presente trabalho engloba os municípios de São Joaquim, Urubici, Paineira, Urupema e Bom Jardim da Serra. A região é caracterizada pelo clima mais frio do país. Nessa região, temperaturas negativas são registradas todos os anos devido à combinação entre a altitude, a latitude e os sistemas atmosféricos atuantes. A região apresenta clima Cfb segundo Köppen: clima temperado úmido com verão ameno. Clima temperado com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). A região do Planalto Serrano apresenta a precipitação pluviométrica anual entre 1450mm e 1650mm, com o total anual de dias de chuva em torno de 135. A insolação anual está em torno de 1.824 horas. Em função da altitude e da temperatura, essa região apresenta uma formação vegetal típica, conhecida como Floresta Nebular da Crista da Serra Geral, que ocorre em consonância com os campos com capões, florestas ciliares e bosques de pinheiros. As cotas altimétricas ultrapassam os 1.000m na borda leste e descem gradativamente para oeste e noroeste, até alcançarem as cotas inferiores da Bacia do Paraná, a cerca de 300m de altitude (BRAGA et al., 2001).

Para a identificação e mapeamento dos pomares de maçã foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2 (Tabela 1). Este satélite faz parte da missão da *European Space Agency* (ESA) e foi desenvolvido através do programa da União Europeia Copernicus. Lançado no dia 23 de junho de 2015 e atualmente em operação tem sido fonte de informações em escalas locais, regionais e internacionais. Dentre as características desse satélite estão a largura da faixa de imageamento de 290 km, resolução temporal de cinco dias e resolução espacial de 10 m nas bandas do visível e infravermelho próximo. Foram utilizadas 12

imagens do ano de 2018 e 2019, com o objetivo de cobrir todo ciclo fenológico da maçã, que se inicia com a brotação em meados de setembro/outubro e, se encerra com a colheita em março/abril.

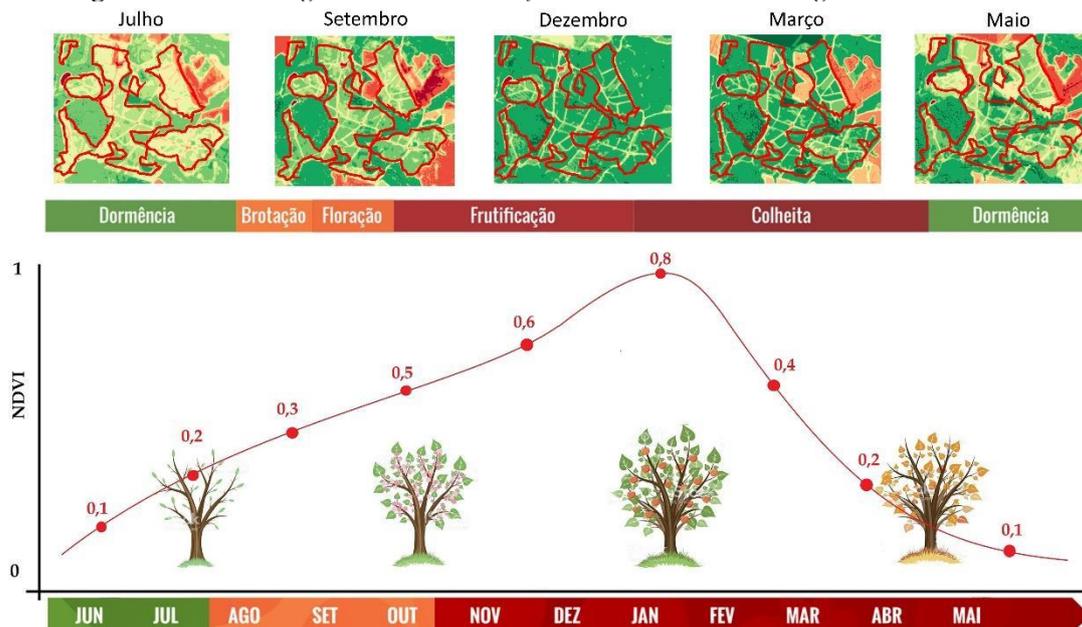
**Tabela 1.** Características espectrais das bandas e cenas do satélite Sentinel-2 utilizadas no mapeamento da maçã na região serrana de SC.

Bandas espectrais	Comprimento de onda central ( $\mu\text{m}$ )	Resolução espacial (m)	Data da imagem		
			2018	2019	
2, azul	0,49	10	22/setembro	15/janeiro	05/maio
3, verde	0,56	10	17/outubro	09/fevereiro	24/junho
4, vermelho	0,66	10	21/novembro	26/março	09/julho
8, infravermelho próximo	0,84	10	11/dezembro	10/abril	28/agosto

Fonte: ESA (2022).

Na Figura 1 verifica-se o ciclo fenológico da maçã e os valores de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Observa-se que os menores valores se encontram quando a planta está no período de dormência, ou sem folhas, nos meses de maio a agosto. A partir do momento em que se inicia a brotação, nos meses de setembro e outubro, os valores de NDVI começam a aumentar. Nas fases de frutificação e colheita ou janeiro e março, os valores de NDVI chegam ao seu máximo, entre 0,7 e 0,8. Nos meses de abril e maio, o NDVI retorna para valores próximos de 0,2, quando a planta entra em dormência novamente.

**Figura 1.** Ciclo fenológico da cultura da maçã e os valores de NDVI originados do Sentinel-2.



Fonte: Elaborado pelos autores.

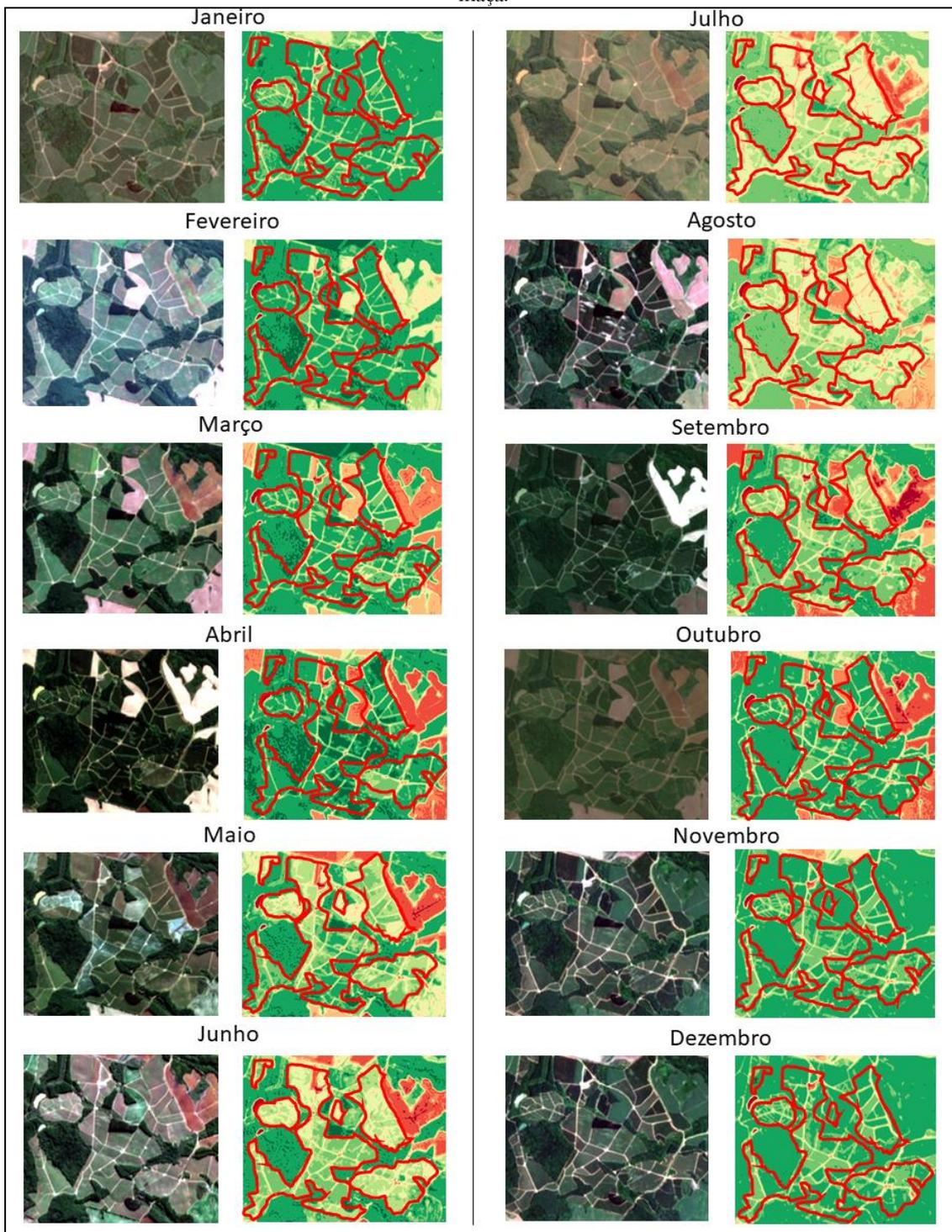
Através de imagens do satélite Sentinel-2 foi possível realizar este acompanhamento de toda a fenologia da cultura, com cálculo de NDVI das imagens mensais, no qual consegue-se distinguir os pomares do restante da paisagem e, por conseguinte, utilizar este índice para o mapeamento dos pomares. Para cada mês selecionou-se a melhor cena, livre de nuvens, e posteriormente foi gerada a composição colorida RGB (432) e em seguida o NDVI (Figura 2).

Através das imagens Sentinel-2, foi calculado o NDVI com as bandas espectrais 4 e 8 através da Equação 1.

$$NDVI = (IVP - VIS) / (IVp + VIS) \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde: IVP corresponde a resposta espectral na banda do infravermelho próximo (B8) e VIS corresponde a resposta espectral do pixel na banda do vermelho (B4).

**Figura 2.** Imagens RGB e NDVI equivalentes para todos os meses de 2019 demonstrado para um pomar de maçã.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a macieira iniciar um novo ciclo vegetativo em condições naturais, é necessário que o pomar seja exposto durante o outono e inverno a temperaturas inferiores ou iguais a 7,2°C (PETRI et al., 2006). Com base nos dados climáticos registrados nos últimos 30 anos pelas estações meteorológicas do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram), foi calculado o número de horas com

temperatura do ar menor ou igual a 7,2°C para o período de abril a setembro. A metodologia utilizada seguiu as recomendações descritas em Pandolfo et al. (2017). Para a obtenção do mapa de horas de frio, aplicou-se a equação de regressão (Equação 1), utilizando como dado de entrada o modelo digital de elevação (MDE) gerado a partir de imagem de radar interferométrico (SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*) de 30 m (FARR; KOBRICK, 2000) e os dados meteorológicos adquiridos no banco de dados do Ciram. A partir dos valores acumulados para cada estação, foi gerada uma equação de regressão linear múltipla em função da latitude ('lat'), longitude ('lon') e altitude ('alt'). A partir deste resultado, foi possível o cruzamento com os dados de localização dos pomares e assim, a mensuração das Horas de Frio (HF) para toda região produtora.

$$HF = (74,50 + -52,13 * 'lat' + 28,99 * 'lon' + 0,52 * 'alt') \quad (\text{Equação 2})$$

Utilizando o MDE gerado a partir de imagem de radar do SRTM, executou-se o processamento a fim de gerar os mapas altimétricos, de declividade e orientação de vertente, para posterior avaliação dos pomares. As classes hipsométricas foram criadas a partir do fatiamento da imagem SRTM que contém as coordenadas geográficas aliadas a altimetria de cada pixel, numa resolução espacial de 30 m. Assim, foram criadas 9 classes, a cada 100 metros, partindo de 700, que foi a altitude mínima encontrada, e 1.800 metros, a altitude máxima.

Em muitos casos, é a topografia do terreno, especialmente a declividade, o principal condicionador de sua capacidade de uso. Em função disto, através de manipulação numérica do MDE, pode-se obter um mapa de classes de declividades. A declividade em porcentagem foi calculada pela mudança na altura (dZ), dividida pela mudança na distância (dX) e multiplicada por 100 [Declividade % = (dZ/dX)\*100]. Essa extensão informou a inclinação do relevo pelo diferencial altimétrico entre as células adjacentes, resultando em sete classes de declividades, definidas segundo os intervalos propostos pela Embrapa (2018).

**Tabela 2.** Classes de declividade aplicadas na imagem SRTM.

Declividade (%)	Classificação do relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte ondulado
45 – 75	Montanhoso
75 - 100	Forte montanhoso ou Escarpado

Fonte: Embrapa (2018).

A última variável calculada utilizando o SRTM foi a orientação de vertente, que é a medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimuth. Dentre os vários aspectos, esta variável relaciona-se ao grau de sombreamento ou iluminação do terreno selecionando ambientes mais propícios para o desenvolvimento de determinados tipos de vegetação em detrimento de outros. Assim, a orientação de vertentes controla a direção dos fluxos de matéria e insolação. Desta forma foram geradas as orientações norte, nordeste, leste, sul, sudeste, sudoeste, oeste e noroeste.

Em qualquer mapa temático obtido através da classificação digital pode ser efetuada a análise da acurácia referente ao dado final (MONTGOMERY: SCHUCH, 1993). Foram sorteados aleatoriamente 847 pontos para verificação dentro dos municípios de São Joaquim, Bom Jardim da Serra, Urupema, Paineira e Urubici. Através de um trajeto de aproximadamente 320 km e calculado a matriz de confusão, conferindo através das imagens orbitais e GPS (*Global Positioning System*). A partir da matriz de confusão, foi calculado o Índice *Kappa* (Equação 2), onde foi obtida a análise de concordância do mapa.

$$\hat{K} = \frac{\hat{p}_0 - \hat{p}_e}{1 - \hat{p}_e} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\hat{p}_0 = \sum_{i=1}^r \frac{n_{ii}}{n} \quad \hat{p}_e = \sum_{i=1}^r \frac{n_{i.} * n_{.i}}{n^2}$$

Onde:

$P_0$  = a proporção observada da concordância

$P_e$  = a proporção esperada de k vezes que os avaliadores concordam

r = categorias de avaliação

$n_{ij}$  = quantidade de elementos amostrais avaliados

$n_{i.}$  = quantidade de elementos amostrais avaliados na categoria i

$n_{.i}$  = a quantidade de elementos amostrais avaliados na categoria i

n = o total de elementos amostrais avaliados.

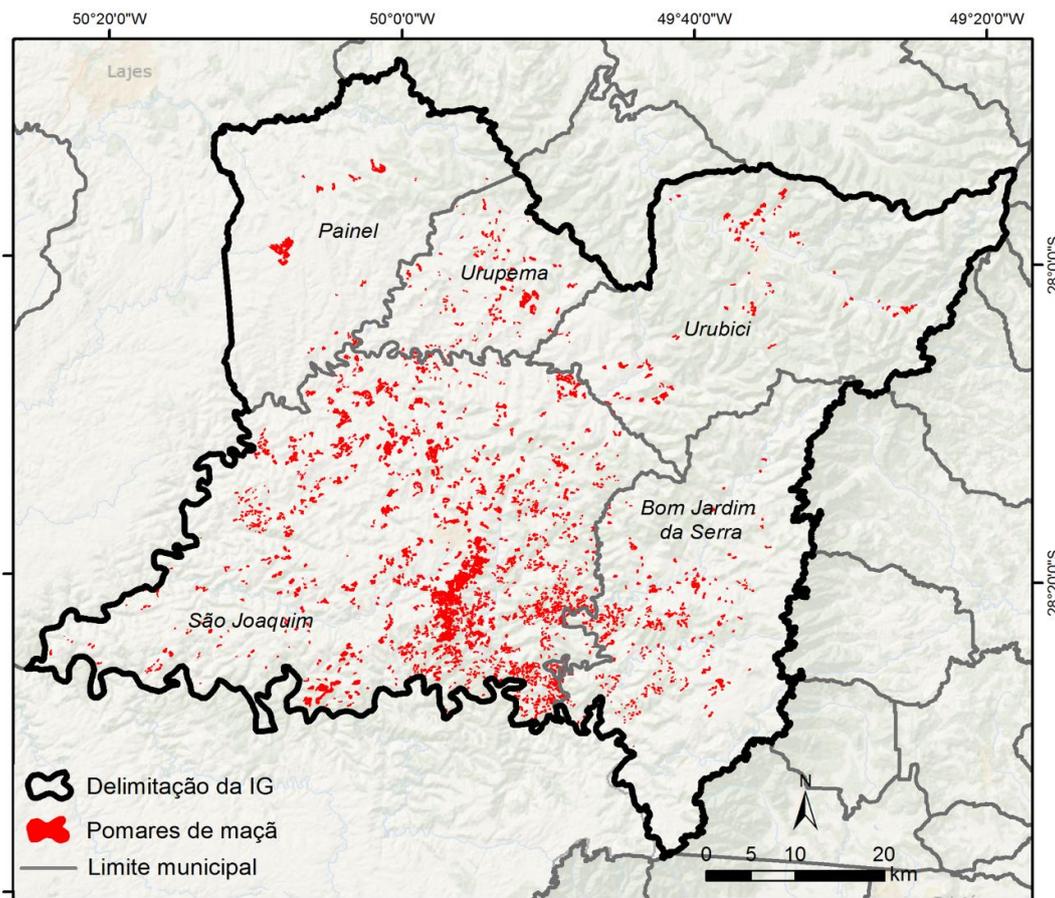
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante das imagens Sentinel-2 e as técnicas aplicadas, a área mapeada com pomares de maçã totaliza aproximadamente 11.010 ha. A região engloba os municípios de São

Joaquim, Paineil, Urupema, Urubici e Bom Jardim da Serra, o que corresponde a 33% da área cultivada no Brasil e aproximadamente 70% do cultivo catarinense (Figura 3).

A acurácia do mapeamento foi avaliada através do índice Kappa, onde obteve-se um acerto de 0,94, o que é considerado como excelente, já que o índice varia de 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1, melhor a acurácia (LANDIS; KOCH, 1977).

**Figura 3.** Distribuição espacial dos pomares de maçã nos municípios representantes da área da delimitação da indicação geográfica (IG) da maçã 'Fuji' no ano de 2019.

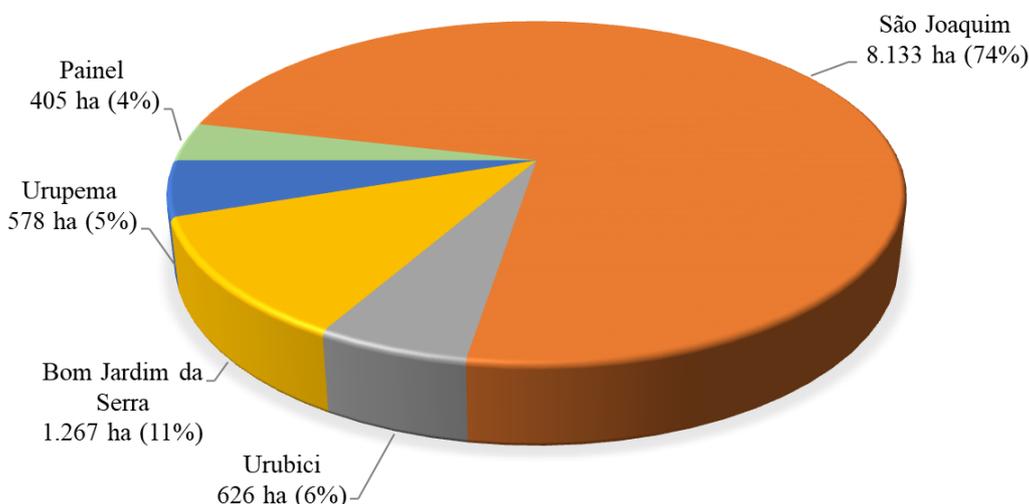


Fonte: Elaborado pelos autores.

São Joaquim representa aproximadamente 74% da área dos pomares em toda a região (Figura 4) e a maçã é considerada o principal eixo da economia local, fato relacionado principalmente ao projeto da Cooperativa Agrícola Cotia, o qual foi implantado em 1973 pelo PROFIT (Projeto de Fruticultura de Clima Temperado), que incentivava o cultivo da maçã na região de São Joaquim. A mão de obra utilizada é predominantemente familiar e as propriedades possuem produção diversificada. O relevo bastante acidentado e pedregoso dificulta a mecanização dos pomares da Região de São Joaquim, condições que resultaram na formação de pomares com características específicas.

Os outros municípios, Paineira, Urupema, Bom Jardim da Serra e Urubici, possuem 405, 578, 1.267 e 626 ha de maçã, respectivamente, representando o restante dos pomares da região serrana produtora de maçã de SC (Figura 4).

**Figura 4.** Porcentagem e área total plantada em hectares de maçã da IG da Maçã ‘Fuji’ no ano de 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando os dados do mapeamento (Figuras 3 e Tabela 3) são comparados com os dados do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2017) e com a estimativa realizada através da Produção Agrícola Municipal - PAM (IBGE, 2019) para o ano de 2019, as diferenças podem chegar a mais de 10%. Valores menores observados no mapeamento, como o observado no município de Bom Jardim da Serra, podem estar relacionados a plantios novos em que a pouca formação das copas podem ter inviabilizado o seu mapeamento.

Os valores superiores observados nos mapeamentos podem estar relacionados ao fato tanto do Censo ser baseado na informação prestada pelos produtores e o PAM ser uma estimativa levantada por agentes vinculados de alguma forma a cadeia produtiva junto aos municípios e que pode gerar esses valores diferenciados (Tabela 3).

**Tabela 3.** Área mapeada (ha) de maçã nos municípios de São Joaquim, Bom Jardim da Serra, Urubici, Urupema, Paineira e sua comparação com as estimativas do Censoagro (2017) e PAM (2019).

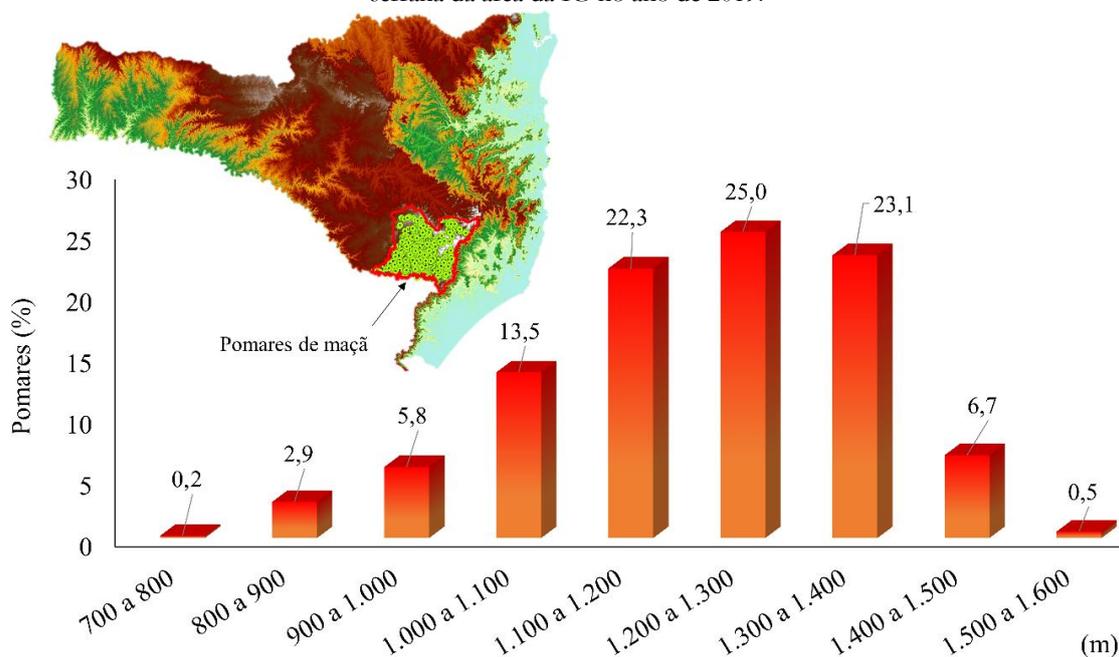
Municípios	Mapeamento (2018/19)	CensoAgro (2017)	%	PAM (2019)	%
São Joaquim	8.133	7.519	-7,55	8.000	-1,64
Bom Jardim da Serra	1.267	1.422	12,23	1.300	2,60
Urubici	626	613	-2,08	600	-4,15
Urupema	578	555	-3,98	495	-14,36

Painel	405	359	-11,36	362	-10,62
Total	11.009	10.468	-4,91	10.757	-2,29

Fonte: (IBGE, 2017; 2019). PAM= Produção Agrícola Municipal.

Utilizando os modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM), pode-se analisar a distribuição dos pomares segundo a sua altitude. Os resultados mostram que 70% dos pomares estão localizados entre 1.100 a 1.400 m de altitude, e que atendem às condições específicas de horas de frio para a obtenção de frutos com qualidade da cultivar Fuji (Figura 5).

**Figura 5.** Porcentagem da área plantada de maçã (%) por faixas de altitude (m) nos municípios da região serrana da área da IG no ano de 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores.

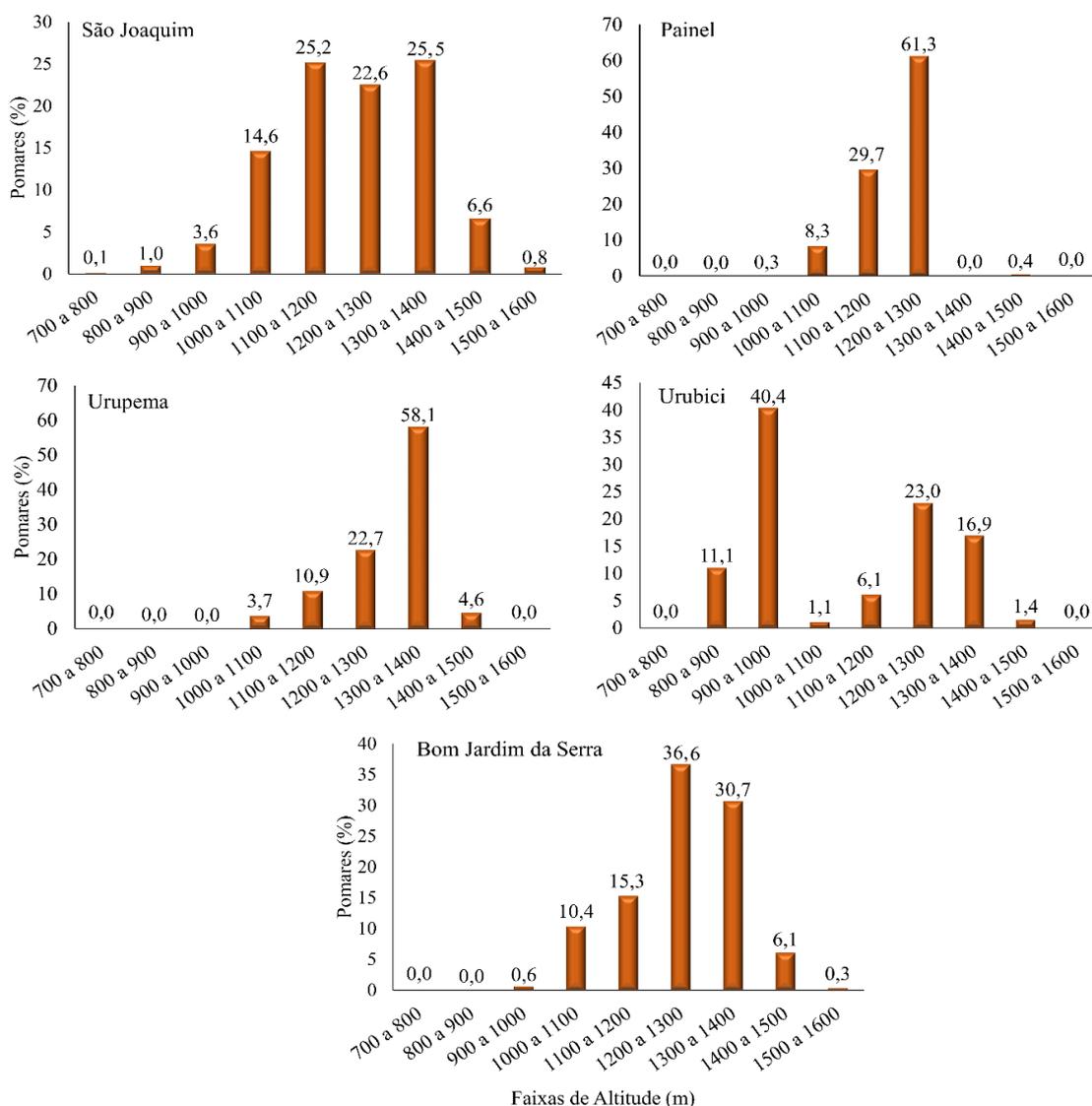
A faixa que apresentou a maior porcentagem de pomares foi a de 1.200 a 1.300 m, com 25% da área, o que corresponde a 2.752 ha de maçã. Mas de forma geral, 70% dos pomares estão entre 1.100 e 1.400 m, representando 7.700 ha. A altitude é um fator determinante na variação da temperatura, pois ela é inversamente proporcional à altitude. De acordo com os dados históricos de 1961 a 2015 da Estação Meteorológica de São Joaquim (Epagri/Ciram), durante o inverno a temperatura média no município não fica abaixo dos 9,66 °C (mês de julho); do final do inverno ao início da primavera a temperatura média fica entre 10,99 °C e 11,74 °C (meses de agosto e setembro, respectivamente); do final da primavera ao início do verão a temperatura média fica entre 14,62 °C e 16,27 °C (meses de novembro e dezembro, respectivamente); no verão a temperatura média chega

no máximo a 17,12 °C. Estes dados comprovam o clima de São Joaquim como sendo o mais frio do Brasil.

Segundo Braga et al. (2001), para a elaboração do zoneamento de riscos climáticos para a cultura da maçã em Santa Catarina, regiões com menores altitudes do estado não foram recomendadas para a cultura, devido à alta correlação desta com a quantidade de horas de frio necessária para a superação da dormência das gemas.

Na Figura 6 são apresentados os dados de distribuição dos pomares e altimetria por município. São Joaquim apresenta 73% dos pomares entre 1.100 e 1.400 m. Já Painei, Urupema, e Bom Jardim da Serra, apresentam nesta mesma faixa altimétrica, 99%, 96% e 93% dos pomares. Urubici é o único município que apresenta 50% dos pomares abaixo de 1.000 m de altitude.

**Figura 6.** Porcentagem da área plantada de maçã (%) por faixas de altitude (m) nos cinco municípios que compõe a região serrana da IG no ano de 2019.

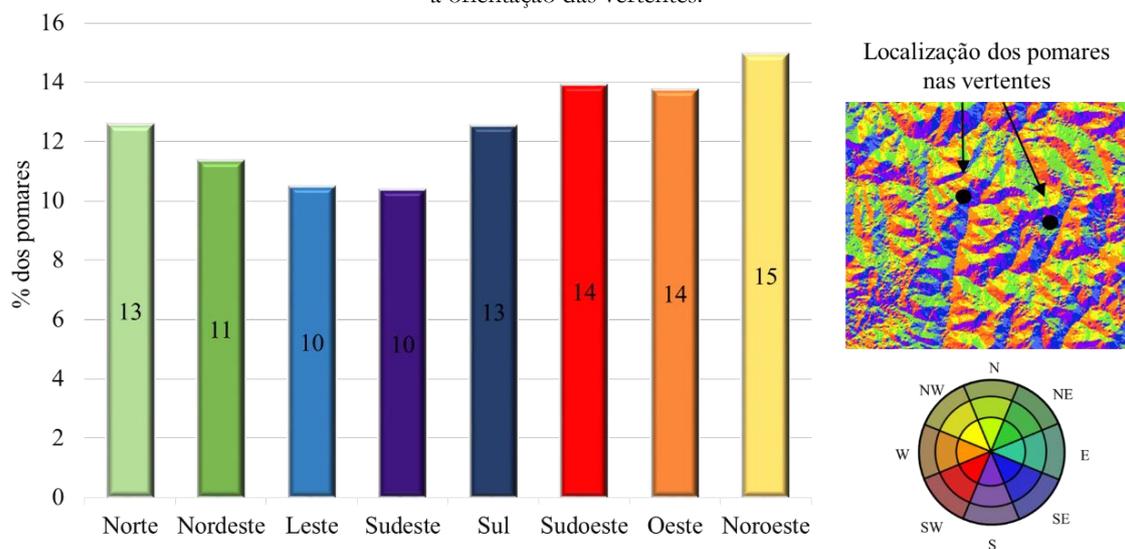


Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com os dados do modelo digital de terreno (MDT) de São Joaquim, o município apresenta 95,52% da sua área acima dos 900 metros de altitude, totalizando 1.802,68 km<sup>2</sup>.

A Figura 7 apresenta a distribuição dos pomares de maçã em vertentes do terreno. É possível perceber que existe uma pequena tendência de se concentrarem nas vertentes oeste do terreno, com 15, 14 e 14% dos pomares na vertente noroeste, oeste e sudoeste, respectivamente, totalizando 43%.

**Figura 7.** Porcentagem da área de pomares de maçã (%) nos municípios que compõe a área da IG em relação à orientação das vertentes.

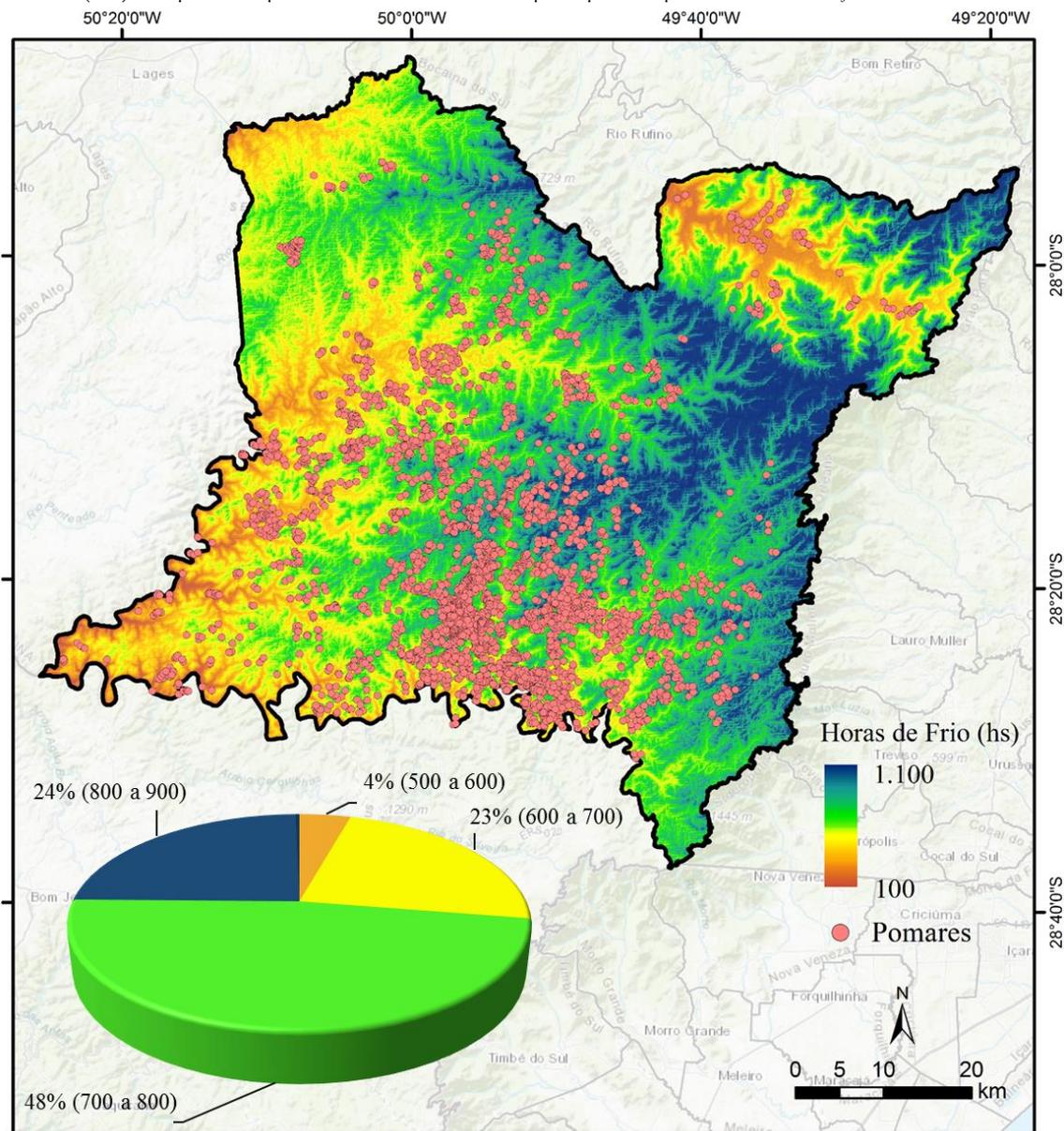


Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com os dados do MDT de São Joaquim obtido pelo SRTM, o município apresenta 13,62% da sua área voltada para N, 11,39% voltada para NE e 14,36% voltada para NW, totalizando 743,57 km<sup>2</sup>.

A Figura 8 apresenta o mapa de horas de frio (HF) da região da IG (Figura 3), onde representa a soma do número de horas com temperatura do ar igual ou abaixo de 7,2°C. O conhecimento do requerimento de frio de determinado local é muito importante para escolha de espécies e cultivares e determinação do momento da superação de dormência, pois em locais onde o frio é insuficiente para superar a dormência de algumas cultivares de maçã, há necessidade de aplicações de produtos químicos sintéticos para complementar seu requerimento em frio e iniciar um novo ciclo vegetativo e reprodutivo (EREZ, 2000). Além disso, o baixo acúmulo de horas de frio durante o inverno, sobretudo para cultivares de maior requerimento em frio, como é o caso da 'Fuji', pode prejudicar a fisiologia da planta, proporcionando a produção de frutos de menor qualidade.

**Figura 8.** Mapa do número de horas de frio, localização dos pomares e a distribuição percentual das horas de frio (HF) nos pomares para a área total dos municípios que compõem o IG da maçã no ano de 2019.

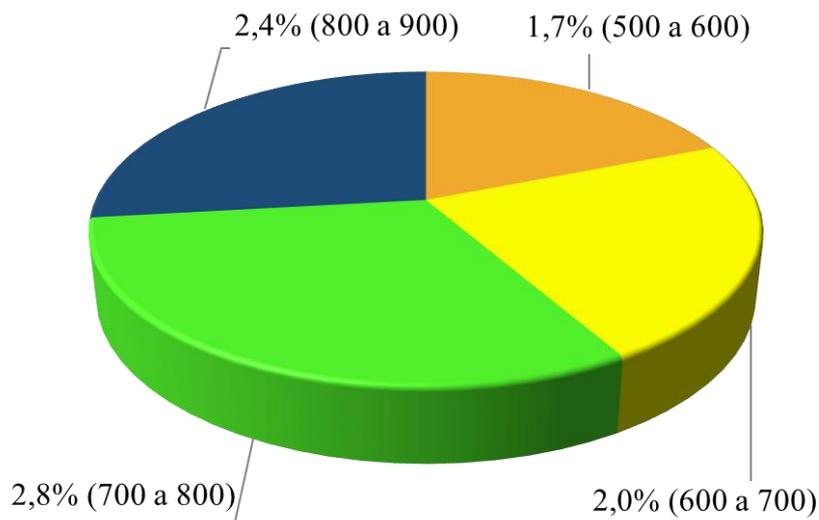


Fonte: Elaborado pelos autores

Pode-se observar que 72% dos pomares estão localizados em propriedades que totalizam mais de 700 HF. Já o restante, 27%, localizam-se abaixo de 700 horas (Figura 8).

A Figura 9 apresenta a relação da área ocupada pelos pomares com a área total por faixas das horas de frio. Através destes dados é possível identificar que os pomares ocupam pequenas parcelas de toda a área mapeada com as horas de frio. A maior relação se apresenta na faixa de 700 a 800 horas de frio, com 3% de área plantada neste intervalo.

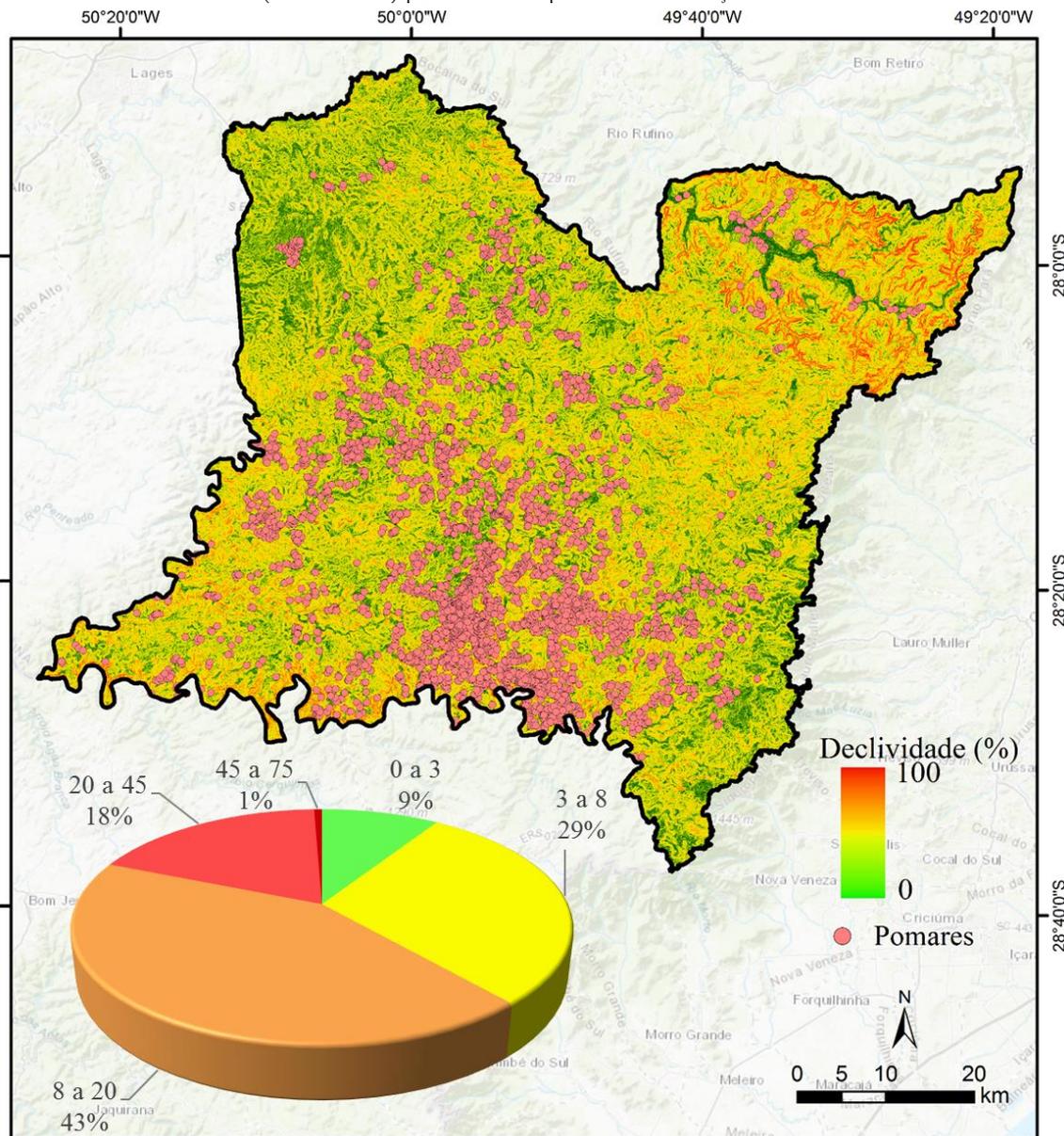
**Figura 9.** Relação da área ocupada pelos pomares com a área total por faixas das horas de frio para os municípios da região



Fonte: Elaborado pelos autores.

A declividade do terreno e a distribuição dos pomares na paisagem da área da IG é demonstrada na Figura 10. Grande parte dos pomares, cerca de 43%, se localizam em declividades que variam de 8 a 20%, o que caracteriza o um relevo como ondulado. Outra classe de maior distribuição é a de 3 a 8% (relevo suave ondulado), com 29% dos pomares.

**Figura 10.** Mapa declividade, localização dos pomares e a distribuição dos pomares no terreno em intervalos de declividade de 0 a 3% (plano), 3 a 8% (suave-ondulado), 8 a 20% (ondulado), 20 a 45% (forte ondulado) e 45 a 75% (montanhoso) para os municípios da IG da maçã no ano de 2019.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com os dados do MDT de São Joaquim obtido pelo SRTM, o município apresenta 39,08% das suas encostas entre 3% e 20% de declividade (regiões com relevo suave ondulado a ondulado), totalizando uma área de 737,69 km<sup>2</sup>.

A declividade do terreno é considerada um dos principais parâmetros em metodologias de classificação da aptidão de uso das terras (RAMALHO FILHO et al., 1995). Solos desenvolvidos em áreas de elevada declividade, por exemplo, tendem a ser pouco profundos e apresentam problemas de erosão em função da predominância do escoamento superficial sobre os processos de infiltração de água, favorecendo desta forma o aparecimento de pedregosidade e a boa drenagem.

De acordo com o estudo feito por Santos et al. (2019), que avaliaram os fatores meteorológicos e fisiográficos que compõem o *terroir* de São Joaquim para viticultura voltada à produção de vinhos finos de altitude, podem ser destacados os seguintes parâmetros: em São Joaquim predomina áreas de relevo acidentado e altitude elevada (entre 715 e 1638 metros), com cerca de 65% dos seus terrenos situados entre 1000 e 1300 metros, sendo 43% das encostas classificadas como tendo relevo fortemente ondulado e 27% como ondulado. A região tem um clima único, com média anual de 13 °C, um dos mais frios do Brasil, com verões amenos (média de 18 °C) e baixas temperaturas durante o inverno (média de 9 °C). Ou seja, esses resultados corroboram os dados encontrados no presente estudo e confirmam que São Joaquim apresenta elevado potencial para produção de maçã.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área mapeada com pomares de maçã na região serrana de Santa Catarina, englobando os municípios de São Joaquim, Paineira, Urupema, Urubici e Bom Jardim da Serra, totaliza 11.010 ha. Essa área corresponde a 33% da área cultivada no Brasil e aproximadamente 70% do cultivo catarinense.

Em relação à altitude, 70% dos pomares estão localizados entre 1.100 a 1.400 m de altitude, o que atende às condições específicas de horas de frio, sendo verificados que 72% dos pomares estão localizados em propriedades que totalizam mais de 700 horas de frio. Estas condições são ideais para a obtenção de frutos com qualidade da cultivar Fuji.

Em relação à declividade, cerca de 43% dos pomares se localizam em declividades que variam de 8 a 20%, o que caracteriza o um relevo como ondulado, e 29% dos pomares estão localizados na classe de relevo suave ondulado com declividade entre de 3 a 8%.

De forma geral, a região serrana de Santa Catarina, com destaque para São Joaquim que representa 73,9% da área com pomares de maçã, apresenta características climáticas favoráveis à produção, despontando como um território de grande produção, aumentando significativamente sua participação na produção nacional, impulsionada pelo constante crescimento do número de produtores e da área cultivada. Além disso, esta região possui atualmente a principal fonte de renda oriunda da exploração da cultura, viabilizando economicamente a pequena propriedade, e explorando adequadamente as potencialidades climáticas da região. Agricultores, pecuaristas e donos de pequenas propriedades da região serrana do estado de Santa Catarina, identificaram na pomicultura uma alternativa de aproveitamento das acidentadas terras e da mão de obra familiar.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

BHATT, N.; MEHTA, N. S. Apple orchard characterization using remote sensing and DEM - A case study for the Kotkhai block of the Shimla District. **Journal Indian Society Remote Sensing**, v. 33, p. 127–130, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF02990001>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

BEST, S. Agricultura de precisión: una plataforma para la fruticultura de exportación. **Pomáceas**, Boletín Técnico, Centro de Pomáceas, Universidad de Talca: Talca - Chile, v. 4, n. 5, set. 2004. Disponível em: <[https://pomaceas.otalca.cl/wp-content/uploads/2016/06/Boletín\\_N04\\_5.pdf](https://pomaceas.otalca.cl/wp-content/uploads/2016/06/Boletín_N04_5.pdf)>. Acesso em 13 maio 2022.

BRAGA, H.J.; SILVA Jr., V.P.; PANDOLFO, C.; PEREIRA, E.S. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da maçã no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 39-445, 2001. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/1481.pdf>>. Acesso em 12 maio 2022.

CEPA. Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2016-2017**. Florianópolis: Epagri/Cepa, 2019. 203 p. Disponível em: <[https://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/Sintese\\_2016\\_17\\_site.pdf](https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2016_17_site.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2022.

DHAMI, J.; ROY, S.; NAIN, A.S.; PANWAR, R. Suitability analysis of apple and pear using remote sensing and GIS in Uttarakhand. **Journal of Agrometeorology**, v. 14, p. 464-474, special issue, 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/269844769\\_Suitability\\_analysis\\_of\\_apple\\_and\\_pear\\_using\\_remote\\_sensing\\_and\\_GIS\\_in\\_Uttarakhand](https://www.researchgate.net/publication/269844769_Suitability_analysis_of_apple_and_pear_using_remote_sensing_and_GIS_in_Uttarakhand)>. Acesso em 15 maio 2022.

DORTZBACH, D.; LOSS, A.; VIEIRA, V. F.; RICCE, W. S.; TRABAQUINI, K.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA NETTO, A. J. J. G. F.; SOUZA, R. S. Delimitação geográfica de área: o caso de Indicação Geográfica da Maçã Fuji da Região Serrana de São Joaquim, SC. **DRd -Desenvolvimento Regional em debate**, v. 12, p. 110-126, 01 abr. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.24302/drd.v12.3274>>. Acesso em: 12 maio 2022.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>>. Acesso em: 15 maio 2022.

EREZ, A. Bud dormancy; phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In: EREZ, A. **Temperate fruit crops in warm climates**. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 17-48.

ESA, **Sentinel-2 data format** [Online]. Disponível em: <<https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/data-formats>>. Acesso em: 5 maio 2022.

FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. **Eos Trans**, AGU, v. 81, n. 48, p. 583-583, 2000.

GHOSH, S. M.; SARAF, S.; BEHERA, M. D.; BIRADAR, C. Estimating Agricultural Crop Types and Fallow Lands Using Multi Temporal Sentinel-2A Imageries. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section A: Physical Sciences**, v. 87, p. 769–779, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40010-017-0447-5>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

JANGRA, M. S.; SHARMA I, M. Climate Change and Temperate Horticulture Over Himachal Pradesh. In: **Climate Change and Agriculture Over India**. New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2010. p. 282–295.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing - A Remote Sensing Perspective**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1986. 379 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

LANDIS, J.R. AND KOCH, G.G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, mar. 1977. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2307/2529310>>. Acesso em 22 maio 2021.

KIST, B. B. **Anuário Brasileiro da Maçã**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2019. 56 p. Disponível em: <<https://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-da-maca-2019/>>. Acesso em: 12 maio 2022.

LI, C.; ZHU, X.; WEI, Y.; CAO, S.; GUO, X.; YU, X.; CHANG, C. Estimating apple tree canopy chlorophyll content based on Sentinel-2A remote sensing imaging. **Scientific Reports**, v. 8, p. 3756, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-018-21963-0>>. Acesso em: 12 maio 2022.

MONTGOMERY, G. E.; SCHUCH, H. C. **GIS data conversion handbook**. Handbook, Colorado: GIS World Books, 1993. 291 p.

MORAIS, E.; CARBONIERI, J. Horas e unidades de frio em pomares com diferentes microclimas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 37, n. 1, p. 01-12, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0100-2945-005/14>>. Acesso em: 12 maio 2022.

PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; CAMARGO, C.; MASSIGNAM, A. M.; PINTO, E. S. P.; LIMA, M. Estimativas dos impactos das mudanças climáticas nos zoneamentos da cultura da banana e da maçã no estado de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis – SC, v. 20, n. 2, jul. 2007.

PETRI, J. L., PALLADINI, L. A., SCHUCK, E. **Dormência e indução de brotação de fruteiras de clima temperado**. Florianópolis: EPAGRI, 1996. 110 p. (Boletim técnico, 75).

PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; FRANCESCOTTO, P. Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, ed. esp., p. 48-56, out. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbf/a/tVbzRCSq9hQ4cwLPt5Jv4BK/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 13 maio 2022.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. **Sistemas de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

TRABAQUINI, K.; LUNARDI, N. F.; VIEIRA, V. F.; DORTZBACH, D. Mapeamento da cultura da maçã no município de São Joaquim-SC utilizando técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO DE FRUTICULTURA DA REGIÃO SUL, 2., 2019, Chapecó. **Anais eletrônicos...** Chapecó: UFFS, 2019. Disponível em: <<https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/FRUSUL/article/view/10694>>. Acesso em: 12 maio 2022.

ZARE, M.; DRASTING, K.; ZUDE-SASSE, M. Tree Water Status in Apple Orchards Measured by Means of Land Surface Temperature and Vegetation Index (LST-NDVI) Trapezoidal Space Derived from Landsat 8 Satellite Images. **Sustainability**, v. 12, n. 1, e70, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su12010070>>. Acesso em: 12 maio 2022.

DOS SANTOS, E. A.; FLORISBAL, L. M.; LOSS, A.; BESSER, M. L.; DORTZBACH, D. Geology and Wine 15. Producing Wine at Altitude: The Terroir of São Joaquim, Brazil. **Geoscience Canada**, v. 45, p. 137-149, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.12789/geocanj.2018.45.139>>. Acesso em: 12 maio 2022.

#### Como citar:

##### ABNT

TRABAQUINI, K. [et al.]. Sensoriamento Remoto aplicado na caracterização ambiental da região serrana produtora de maçã em Santa Catarina. **Interespaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 9, n. 02, e202318, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202318>>. Acesso em: 30 dez. 2023.

##### APA

Trabaquini, K. [et al.]. Sensoriamento Remoto aplicado na caracterização ambiental da região serrana produtora de maçã em Santa Catarina. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 9, n. 02, e202318, 2023. Recuperado em 30 dezembro, 2023, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202318>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.  
Copyright © 2023, Universidade Federal do Maranhão.

