

Identificação e espacialização dos pomares de maçã utilizando dados de sensoriamento remoto no estado de Santa Catarina-Brasil

Identification and spatialization of apple orchards using remote sensing data in the state of Santa Catarina-Brazil

Kleber Trabaquini^{1,*}, Nicole F. Lunardi², Valci F. Vieira¹, Denilson Dortzbach¹, Everton Vieira¹, Wilian da Silva Ricce¹, Arcângelo Loss², Éverton Blainski¹, Fábio Martinho Zamboni¹ e Juliane Christine Silveira³

¹Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – EPAGRI/CIRAM Florianópolis/SC/Brasil

²Universidade Federal de Santa Catarina-Departamento de Agronomia, Florianópolis/SC/Brasil

³Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Florianópolis/SC/Brasil

(*E-mail: kleber@epagri.sc.gov.br)

<https://doi.org/10.19084/rca.18101>

Recebido/received: 2019.06.19

Aceite/accepted: 2021.01.21

RESUMO

Santa Catarina possui destaque nacional no cultivo da maçã, porém atualmente os dados de área cultivada são coletados através de metodologias subjetivas. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de estimativa de área utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Além disso, através de dados SRTM e meteorológicos foi realizada a espacialização de um dos fatores essenciais ao cultivo da maçã, as horas de frio (HF), a qual determina a brotação e consequentemente a produtividade dos pomares. Os resultados mostraram que por meio das imagens orbitais foi possível um mapeamento com 93,4% de índice *Kappa*, fato este obtido principalmente pelo uso de imagens Sentinel-2 e Cbers-4. Cerca de 73% encontram-se em uma faixa de altitude entre 1.100 e 1.400 m. Em relação às Horas de Frio, pomares implantados entre 700 e 900 HF totalizam 71,3% da área de produção. A metodologia aplicada e os resultados alcançados no presente trabalho demonstram grande potencial para o mapeamento de outras regiões produtoras de maçã no estado.

Palavras-chave: *Malus domestica*; remote sensing; Sentinel-2; CBERS-4.

ABSTRACT

Santa Catarina has national prominence in the cultivation of the apple, but currently the data of cultivated area are collected through subjective methodologies. In this sense, the present work aims to present an area estimation methodology using remote sensing techniques. In addition, through SRTM and meteorological data, the spatialization of one of the factors essential to apple cultivation, the chill hours (CH) was carried out, which determines bud break and consequently orchards productivity. Results showed that by means of orbital images a mapping with 93.4% of Kappa index was possible, fact obtained mainly by the use of Sentinel-2 and Cbers-4 images. About 73% are in an altitude range between 1,100 and 1,400 m. In relation to the Chill Hours, orchards implanted between 700 and 900 CH total 71.3% of the production area. The applied methodology and the results achieved in the present work show great potential for the mapping of other apple producing regions in the state.

Keywords: *Malus domestica*; remote sensing; Sentinel-2; CBERS-4.

INTRODUÇÃO

Por razões ambientais, agronômicas e econômicas, levantamentos agrícolas acompanhados pela espacialização dos dados passou a ser nos últimos tempos uma necessidade, pois resultam em informações estratégicas de planejamento, previsão de safra e principalmente mercadológica, refletindo em ações futuras de determinada cultura (Bégué *et al.*, 2018).

No Brasil, a maleicultura ocupa 38,2 mil ha de área plantada e segundo o IBGE (2018), na safra 2016/2017 foi colhido 1,1 milhão de toneladas de maçã, sendo que os estados de maior destaque neste setor são Santa Catarina e Rio Grande do Sul, ambos contribuindo com 95% do montante produzido no país (CEPA, 2018).

Santa Catarina movimentou em média R\$ 891,4 milhões em valor bruto de produção com uma área de 16.205 ha e 523 mil toneladas de maçã na safra 2015/16. Somente a mesorregião Serrana Catarinense participou com 85% da produção estadual nesta mesma safra (CEPA, 2018).

Em escala municipal, São Joaquim, localizado na Serra Catarinense, é o local que apresenta as melhores condições edafoclimáticas para o cultivo da macieira principalmente pelas altitudes elevadas, em média 1.300 m, importante para garantir o mínimo de horas de frio (HF) necessário para a quebra da dormência das gemas e o pleno desenvolvimento da planta (Faust, 2000). Atualmente São Joaquim possui 51% da área plantada e 55% da produção estadual. Já em nível nacional, este município representa 21% de toda área plantada (IBGE, 2018).

Atualmente, todos estes levantamentos agrícolas são realizados de forma declaratória por órgãos oficiais e fornecidos apenas numericamente, não sendo possível visualizar a distribuição da cultura no espaço físico. Já com o uso de sistemas de informações geográficas e imagens orbitais, os levantamentos podem ser realizados de forma rápida e os resultados podem ser quantificados e espacializados ao mesmo tempo, possibilitando a representação espacial dos dados (Bégué *et al.*, 2018).

Projetos de mapeamento e monitoramento agrícolas já são executados em alguns países, como o Geoglam na Europa (*Global Agricultural Monitoring*), que monitora por meio de imagens Sentinel e MODIS culturas como arroz, trigo, milho e feijão (Whitcraft *et al.*, 2018). O Canasat (Monitoramento da Cana-de-açúcar) é um projeto voltado apenas ao mapeamento da cana-de-açúcar no sudeste e centro-oeste do Brasil e que utiliza imagens Landsat, atualmente disponibiliza dados numéricos e espaciais da cultura (Rudorff *et al.*, 2010).

Informações numéricas e espaciais para a cultura da maçã são inexistentes até o presente momento no estado de Santa Catarina, porém com o advento de satélites de alta resolução espacial e temporal como o Sentinel-2 e Cbers-4, essa identificação e mapeamento atualmente é possível, principalmente por este estado apresentar uma estrutura fundiária de pequenas áreas e pequenos pomares na maioria das vezes.

Portanto, com a incorporação das geotecnologias nos atuais sistemas de levantamentos agrícolas, tais análises têm sido possíveis, obtendo dados como estimativa da área plantada e produtividade agrícola de maneira rápida e eficiente através do uso de dados orbitais (Atzberger *et al.*, 2015). O uso das técnicas de sensoriamento remoto permite um melhor entendimento da dimensão das áreas, localização geográfica, além de apresentar uma boa estratégia para o planejamento de manejo e monitoramento agrícola (Belward & Skøien, 2015).

Diante deste contexto, este trabalho tem como objetivo a identificação e mapeamento dos pomares de maçã no município de São Joaquim através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em imagens de alta resolução espacial dos satélites Sentinel-2 e Cbers-4, para fins de estimativa de área e monitoramento de safras futuras. Além disso, utilizando dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e estações meteorológicas do Ciram, é realizada uma análise espacial dos pomares em relação à altitude e horas de frio, duas variáveis altamente correlacionadas com a produtividade da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O município de São Joaquim apresenta área total de 1.897 km² e está localizado na Serra Catarinense, com latitude 28°17'39" S e longitude 49°55'56" W (Figura 1).

Possui altitude média de 1.300 metros acima do nível do mar podendo chegar a 1.700 metros em algumas localidades. Seu relevo é constituído por superfícies onduladas e montanhosas, com predominação de formação basáltica.



Figura 1 - Localização geográfica do município de São Joaquim-SC.

Segundo a classificação proposta por Köppen-Geiger (1948), o clima do município é do tipo Cfb, mesotérmico úmido, sem estação seca e com verão fresco com temperatura média no inverno de 9°C e no verão 18°C, sendo a média anual de 13°C. A característica climática da região faz com que ocorram eventuais nevascas e a ocorrência frequente de geadas (Pandolfo, 2002). Essas características climáticas fazem de São Joaquim um local privilegiado para a prática de atividades agrícolas que requerem um período intenso do ano de frio (Cordeiro, 2006).

O solo da região é classificado como Cambissolos Húmicos, Nitossolo Háplico e Neossolo Litólico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2004).

Para a identificação e mapeamento dos pomares de maçã foram utilizadas imagens dos satélites Sentinel-2 e Cbers-4, conforme descrito no Quadro 1. Foram utilizadas 9 imagens do ano de 2017 e 12 do ano de 2018, com o objetivo de cobrir toda safra da maçã, que se inicia com a brotação em meados de setembro/outubro e a colheita em março/abril. Para cada cena, foi gerada a composição colorida RGB e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (apenas para imagens Sentinel-2), a fim de auxiliar na identificação e delimitação dos pomares.

Quadro 1 - Imagens utilizadas dos satélites Sentinel-2 e Cbers-4 para o período de 2017 a 2018

Satélite	Bandas	Comprimento de onda central (µm)	Resolução espacial (m)	Período	
				2017	2018
Sentinel-2	2	0,49	10	15/01	05/01
	3	0,56	10	24/06	04/02
	4	0,66	10	14/07	16/03
	8	0,84	10	23/08	20/04
				11/11	30/05
				16/12	14/06
				21/12	14/07
				-	13/08
			16/07	06/03	
Cbers-4	1	0,45-0,52	10	21/08	08/05
	2	0,52-0,59	10	-	03/06
	3	0,63-0,69	10	-	23/08
	4	0,77-0,89	10	-	-
	Pan	0,51-0,85	5	-	-

O satélite Sentinel-2 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 à largura da faixa de imageamento de 290 km, resolução temporal de 5 dias e resolução espacial de 10 m nas bandas do visível e infravermelho próximo, conforme descrito no Quadro 1 (Lira *et al.*, 2016).

A câmera Multiespectral MUX do Cbers-4 cobre quatro faixas espectrais com comprimentos de ondas de 0,45 µm a 0,89 µm e uma banda pancromática de 5m de resolução espacial (Quadro 1). Possui uma faixa imageada de 120 km e resolução temporal de 27 dias.

Foram selecionadas as quatro bandas espectrais (visível e infravermelho próximo) do satélite Sentinel-2 e Cbers-4 para o processo de classificação visual das imagens e identificação dos pomares. Através dos metadados e de seus índices de calibração, as imagens Sentinel-2 foram processadas com objetivo de executar a correção atmosférica. Para isso, foi utilizado o SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) (Congedo, 2016) o qual converte a imagem de número digital para reflectância. A necessidade dessa correção é devido aos efeitos causados por conta da absorção e dispersão na atmosfera, e visa melhores resultados para a reflectância da superfície terrestre. Esta etapa de correção é essencial para a geração das imagens NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

Já para as imagens do Cbers-4, foi realizada a etapa de fusão das imagens, com intuito de criar uma imagem multiespectral de melhor resolução espacial. Foi utilizado o algoritmo *HPF Resolution Merge* para a fusão das bandas multiespectrais de 10 m com a pancromática de 5 m resultando numa composição colorida de 5 m de resolução espacial.

Em ambos os sensores, a composição colorida utilizada para a obtenção das assinaturas foram R1G2B3 (Cbers) e R2G3B4 (Sentinel-2) na cor verdadeira, e para a falsa cor R4G3B2 (Cbers) e R8G4B3 (Sentinel-2).

Através das imagens Sentinel-2 processadas pela correção atmosférica, foi calculado o NDVI com as bandas espectrais 4 e 8 através da Equação abaixo.

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{VIS}) / (\text{IVP} + \text{VIS})$$

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).

Esta etapa do trabalho auxiliou na delimitação dos pomares, já que na época de brotação e desenvolvimento vegetativo da macieira, os pomares se destacam dos demais alvos, facilitando a interpretação visual dos talhões e delimitação vetorial/manual através do software ArcGIS. 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, onde consegue-se distinguir os pomares do restante da paisagem e, por conseguinte, utilizar este índice para o mapeamento dos pomares. A Figura 2 apresenta a fenologia completa da cultura da maçã e as imagens NDVI geradas a partir dos dados do satélite Sentinel-2, com valores médios dos pomares. Para cada mês selecionou-se a melhor cena, livre

de nuvens, e posteriormente foi gerada a composição em NDVI. Além das imagens, um banco de dados da Secretaria de Agricultura do Estado de Santa Catarina, com os pontos com coordenadas geográficas das propriedades foi utilizado para a localização e identificação dos pomares. Estes pontos se referenciam apenas a localização e não à delimitação dos pomares.

Após identificação e mapeamento dos pomares, a segunda etapa do estudo pôde ser realizada. Para a macieira sair da dormência e 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). O efeito do frio é cumulativo, podendo variar com a cultivar (Petri *et al.*, 1996). Com base nos dados registrados nos últimos 30 anos nas estações meteorológicas de Santa Catarina, obtidas pelas estações do Ciram (Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina), 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 partir dos valores acumulados para cada estação, foi gerada uma equação de regressão linear

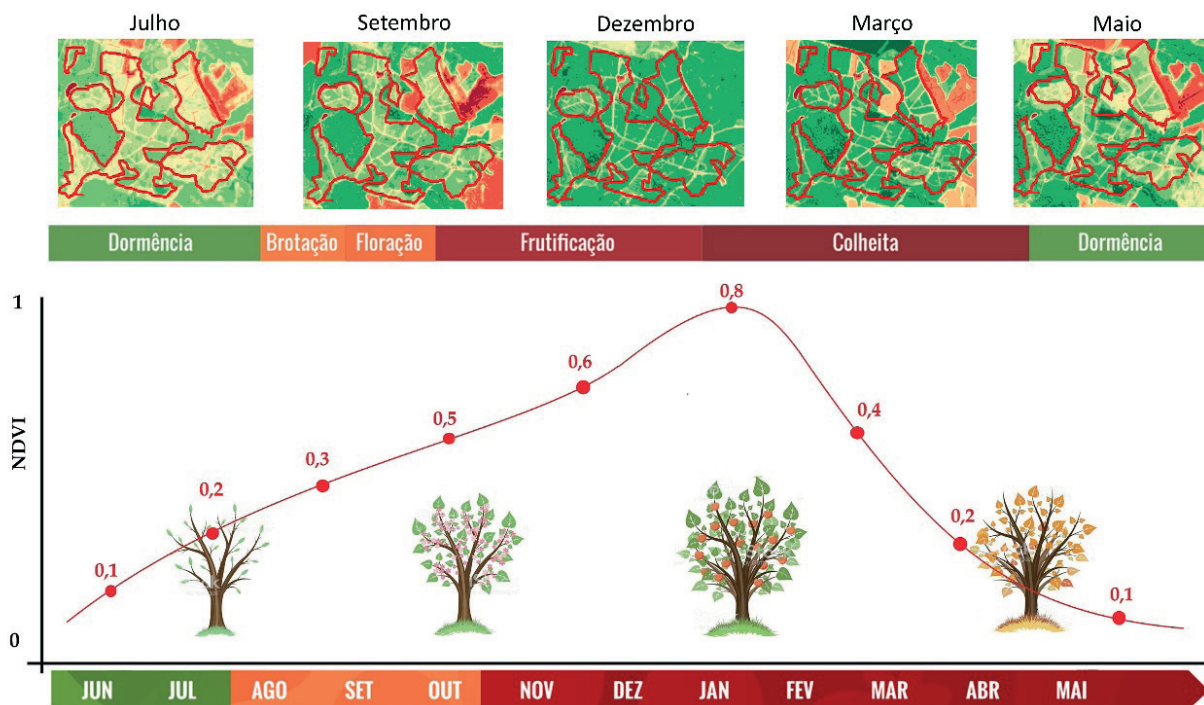


Figura 2 - Fenologia da cultura da maçã e imagens NDVI originadas do satélite Sentinel-2 correspondente às principais fases da cultura.

múltipla em função da latitude, longitude em formato geográfico e altitude em metros e mapeado para o número de horas de frio para o município de São Joaquim-SC.

O método empregado na seleção das variáveis foi o de regressão linear múltipla "Stepwise" (passo a passo), conforme descrito por Massignam *et al.* (2006), com probabilidade de erro $\alpha = 0,05$ para a variável entrar ou sair do modelo, segundo a expressão geral:

$$HF = a + b \times \text{alt} + c \times \text{lon} + d \times \text{lat}$$

onde: HF é o total médio de horas de frio anuais, alt é a altitude em metros, lon é a longitude em graus e décimos positiva, lat é a latitude em graus e décimos positiva e a, b, c e d são os parâmetros do modelo.

A equação de regressão múltipla para estimativa das horas de frio anual é apresentada abaixo:

$$HF = - 6472,44 + 0,559 \times \text{alt} + 240,146 \times \text{lat}$$

A partir dos dados de relevo oriundos do SRTM (30 m) e as horas de frio espacializadas para o município de São Joaquim, foi gerado o cruzamento com os pomares, quantificando as áreas de maçã em relação à altitude e horas de frio.

A última etapa foi a validação do mapeamento, onde foi utilizada uma amostragem aleatória simples para análise de acurácia. Foram sorteados aleatoriamente 847 pontos dentro do município de São Joaquim. Entre os dias 3, 4 e 5 de outubro de 2018 foi realizado um trabalho de campo no município a fim de verificar a veracidade do resultado. Através de um trajeto de aproximadamente 220 km e calculado a matriz de confusão, conferindo através das imagens orbitais e GPS (*Global Positioning System*), os pontos sorteados aleatoriamente, classificando-os em maçã e não maçã, com erros de comissão e omissão. A partir da matriz de confusão, foi calculado o Índice *Kappa*, onde foi obtida a análise de concordância do mapa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi obtido através da interpretação visual das imagens orbitais, 8.117 ha de maçã no município de São Joaquim, permitindo assim espacializar os pomares (Figura 3). No âmbito de quantificar o trabalho realizado, foi estimado um tempo de 1h para o mapeamento de aproximadamente 50 hectares.

No censo agropecuário de 2017 do IBGE, o valor declarado foi de 8.325 ha. Já Goulart *et al.* (2015), através da Análise Comparativa dos Resultados da Fruticultura Catarinense na Safra 2015/16, apresentou um valor de 8.400 ha. Lembrando que ambas as estimativas são subjetivas, ou seja, através de entrevistas e informações declaratórias dos produtores e cooperativas regionais, os órgãos oficiais obtêm as estimativas de área cultivada.

Já no estudo atual, a metodologia se diferencia das anteriores, por ser um método objetivo através da utilização de imagens de satélite e ferramentas de GIS (*Geoprocessing Information System*). Segundo Rudorff *et al.* (2010), o sensoriamento remoto auxilia na obtenção de informações de forma rápida, precisa e menos dispendioso, além de comentar que levantamentos agropecuários têm utilizado cada vez mais ferramentas de geotecnologias pois promovem a coleta de dados de uma maneira mais ágil e eficiente.

Foi verificado que a região é composta basicamente por propriedades pequenas e esse fato está ligado diretamente ao relevo acidentado o que dificulta a mecanização e conseqüentemente o cultivo em áreas extensas. O tamanho médio dos polígonos/talhões mapeados foi de 2,83 ha, o que permite conseqüentemente caracterizar as áreas produtoras do município como pequenas propriedades rurais.

Diante desta condição, foi essencial a utilização de imagens com alta resolução espacial, no caso Sentinel-2 com resolução de 10 m abrangendo 100 m²/pixel e para o CBERS-4 com resolução de 5 m (imagem fusionada) ou 25 m²/pixel. A qualidade espacial das imagens utilizadas auxiliou na identificação e na validação do estudo, podendo

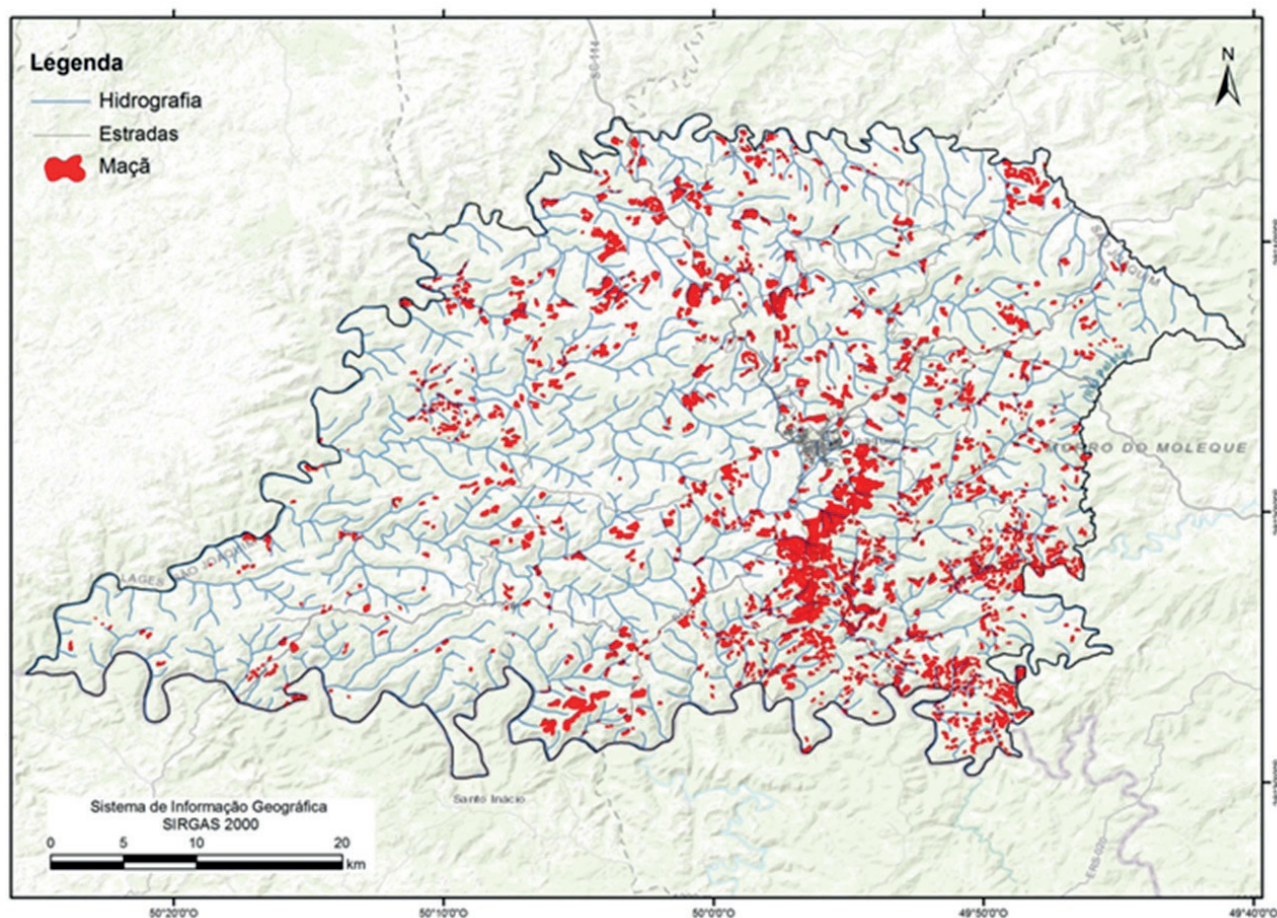


Figura 3 - Distribuição dos pomares de maçã no município de São Joaquim-SC, na safra 2017/2018.

ser identificado visualmente as áreas produtoras utilizando composições coloridas, como demonstrado na Figura 4.

O Quadro 2 apresenta os valores da matriz gerada pela verificação em campo do mapeamento. Através desses valores foi possível a obtenção dos índices de exatidão e índice *Kappa*. A exatidão global (Fm) e o índice *Kappa* (k) para as categorias, resultaram em 96,7% e 92,7%, respectivamente.

Com o índice *Kappa* obtido de 92,7%, segundo Landis & Koch (1977) este valor é classificado como excelente. O erro de omissão foi de 4,4% e se refere a uma definição imperfeita da categoria, ou seja, estão relacionados às áreas de maçã que não foram mapeadas como maçã. Já os erros de comissão se referem a uma delimitação excessiva da categoria,

e se referem às áreas que foram mapeadas como maçã, porém em campo, não eram. Outro importante ponto é que através dos pontos em formato *shapefile* da Secretaria de Agricultura foram essenciais na localização e delimitação dos pomares,

Quadro 2 - Matriz de confusão com dados de validação de campo

Classificação	Maçã	Outros	Total	Erro de omissão
Maçã	465	20	485	4,1%
Outros	8	364	372	2,2%
Total	473	384	857	
Erro de omissão	1,7%	5,2%		
Exatidão	98,3%	94,8%		
Exatidão Global	96,7%			
Índice <i>Kappa</i>	93,4%			

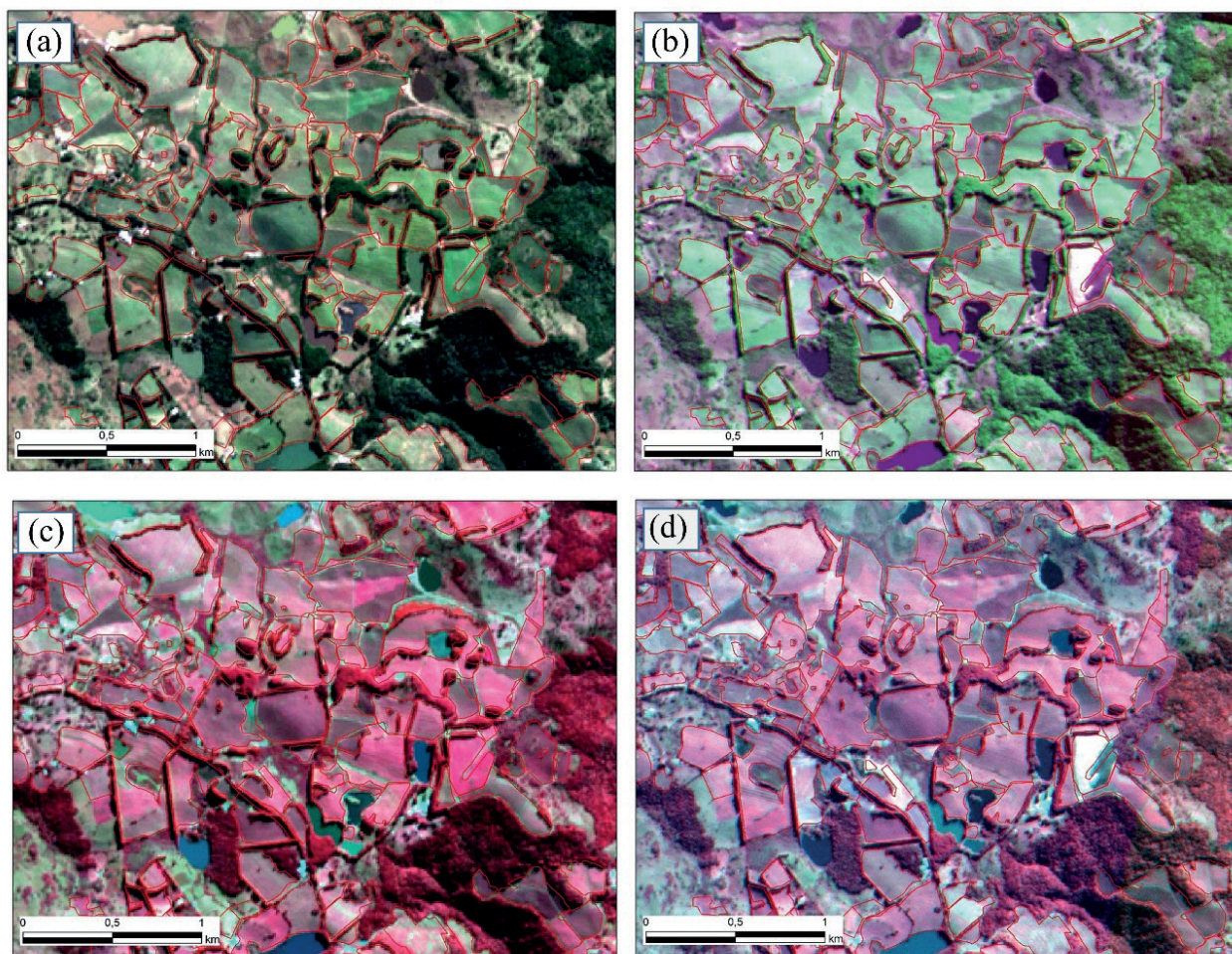


Figura 4 - Detalhes para os pomares de maçã mapeados. (a) Imagem Sentinel-2 em 14/06/2018 com composição colorida R3G2B1; (b) imagem CBERS-4 em 26/07/2017 na composição colorida R1G2B3; (c) Imagem Sentinel-2 em 14/06/2018 com composição colorida R8G4B3; (d) CBERS-4 no período de 26/07/2017 em composição colorida R3G2B1.

diminuindo as confusões com outras culturas semelhantes, como a pera.

Os mapas apresentados na Figura 5 apresentam uma comparação do NDVI calculado em diferentes épocas fenológicas dos talhões. A imagem com a coloração mais intensa na Figura 5a, as macieiras estão no ápice do desenvolvimento vegetativo, datada de 11 de novembro de 2017. No mês de junho (Figura 5a, c) a cultura está com baixo índice de área foliar, numa fase de total desfolha da planta, apresentando valores de NDVI entre 0 e -1. Em pleno desenvolvimento dos frutos, geralmente no mês de novembro, os valores de NDVI se aproximam de +1, com alto índice de área foliar (Figura 5b, d).

Dessa forma, o NDVI auxiliou na delimitação e identificação dos pomares de maçã, como pode ser observado na Figura 5, corroborando com trabalho de White *et al.* (2009), onde os autores utilizaram em seus estudos o índice NDVI para identificação, avaliar o comportamento da vegetação em diversos períodos do ano e monitoramento de culturas agrícolas. 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, onde consegue se distinguir os pomares do restante da paisagem e por conseguinte, utilizar este índice para o mapeamento dos pomares.

A altitude é um fator determinante para a cultura de interesse, pois está relacionada com a temperatura,

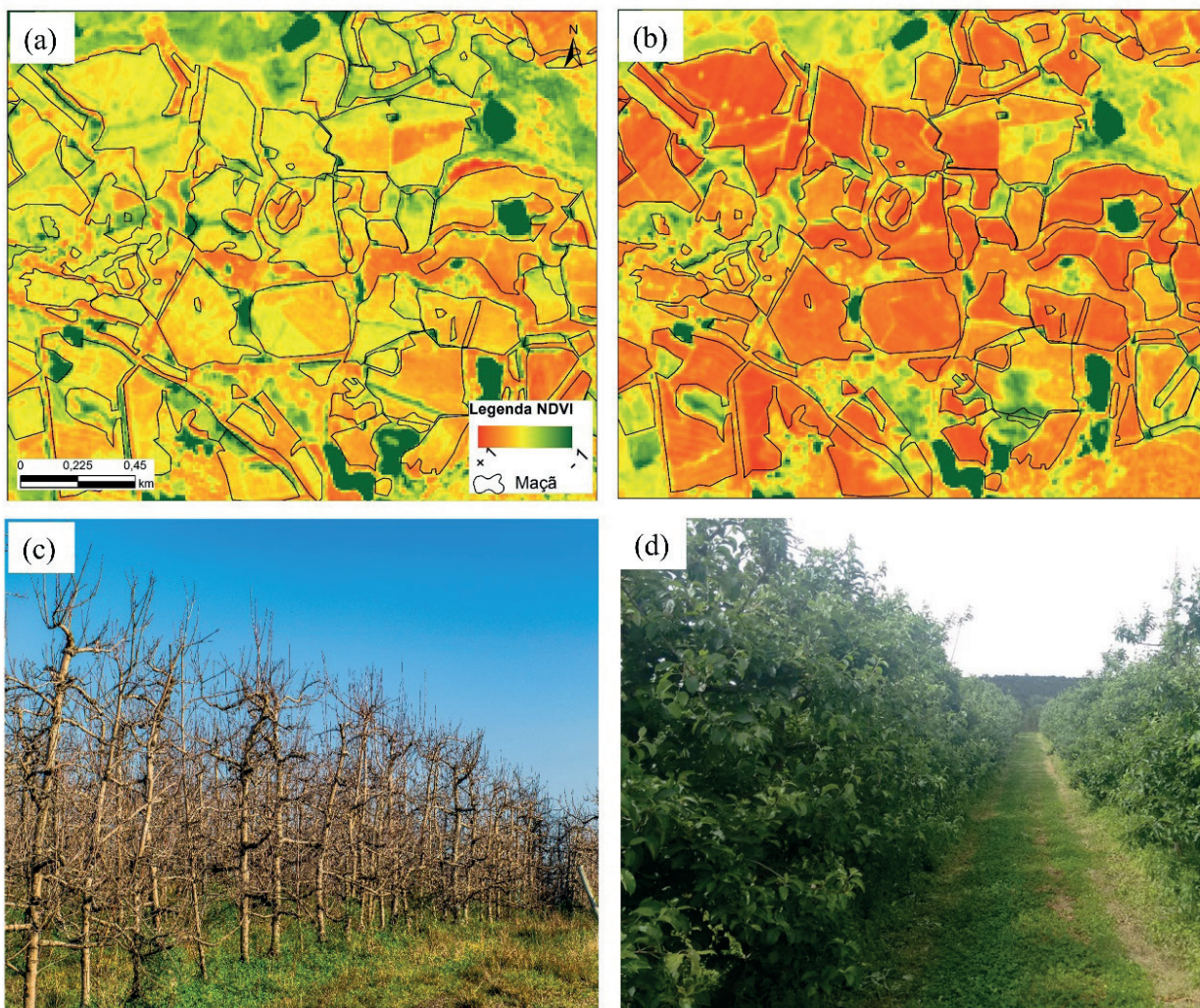


Figura 5 - (a) Imagem Sentinel-2 NDVI na data de 14/06/2018; (b) NDVI de 11/11/2017 sobre os pomares de maçã; (c) pomar de maçã do período de inverno e dormência das gemas; (d) pomar de maçã no período da primavera e de alto vigor vegetativo.

intensidade dos ventos e luminosidade. Para as regiões do sul do Brasil consideram-se como altitude ideal para o cultivo da maçã, as superiores a 800 m, devido a grande influência do fator determinante horas de frio, já que esta apresenta forte correlação entre a altitude (Fioravanço *et al.*, 2010).

Baseado nos dados SRTM é possível verificar na Figura 5 a variação altimétrica no município de São Joaquim entre 700 e 1700 m em relação ao nível do mar. Como observado na Figura 6 (a) as faixas de altitude entre 1000 e 1300 m correspondem a 65% do total do território. Em contrapartida analisando a Figura 6 (b) a maior concentração dos pomares de macieira encontra-se em uma faixa de altitude

entre 1.100 e 1.400 m, tratando-se de 73% das áreas produtoras do município.

Segundo Hoffmann & Nachtigall (2004) o aumento de altitude resulta em frutos mais alongados e cônicos, enquanto em baixas altitudes os frutos tendem ao formato mais arredondados e achatados. Sansavini & Corelli-Grappadelli (1996), Tranquillini (1964) e Aslantas & Karakurt (2009), em seus estudos relacionaram a altitude com radiação solar, de modo que, quanto maior a altitude, maior é o índice de radiação. Sendo assim, esse fator possui grande influência na diferenciação das gemas e o potencial fotossintético, de modo a afetar o crescimento dos frutos, a coloração da epiderme,

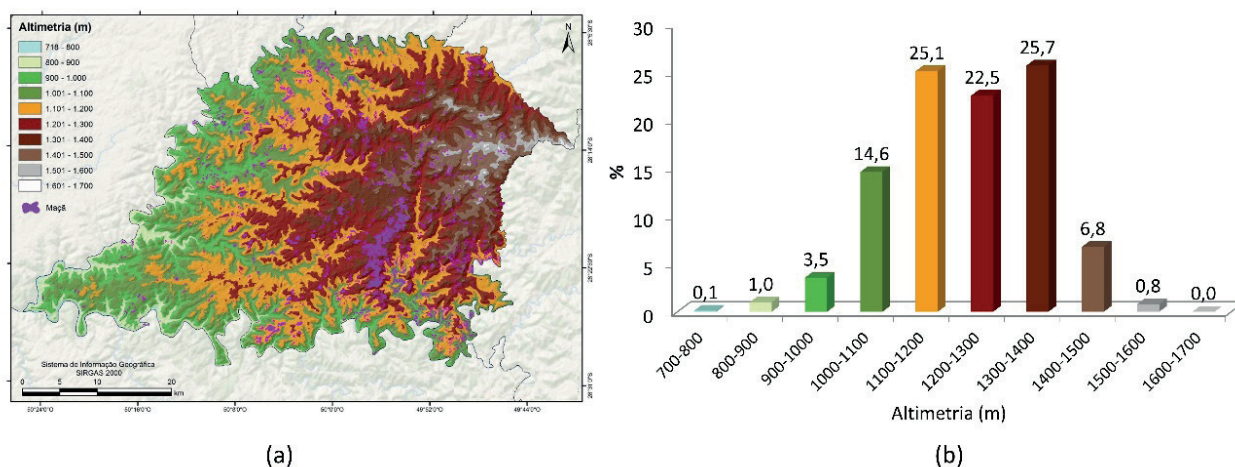


Figura 6 - (a) Altimetria de São Joaquim e (b) a espacialização dos pomares de maçã em relação à altimetria do município.

a acidez e incidência de distúrbios no período de armazenagem.

Silva (2015) acrescenta que, plantas cultivadas em altas altitudes apresentam frutos com grande potencial de dreno, aumento das taxas fotossintéticas contribuindo assim para o aumento dos fotoassimilados, resultando em frutos com melhores taxas de crescimento e com crescimento uniforme. Além disso, este mesmo autor relaciona a presença de *Glomerella* aos cultivos inferiores a 1000 m, devido à temperatura elevada e alta umidade do ar favorecendo o desenvolvimento deste patógeno.

Körner (2007) e Thomas (2011) afirmam que ao ocorrer o aumento gradual da altitude os fatores ambientais variam e consequentemente as características fisiológicas e morfológicas das plantas também como variações atípicas na composição foliar, formação de frutos menores e alteração no formato.

Considerando os fatores climáticos, o que mais se destaca para o caso da maçã é a temperatura, na Figura 7 são apresentados valores médios históricos de horas de frio a partir da década de 80 até os dias atuais para o município, demonstrando as variações térmicas neste microclima com amplitude térmica de 400 a 1000 horas de frio abaixo de 7,2 °C.

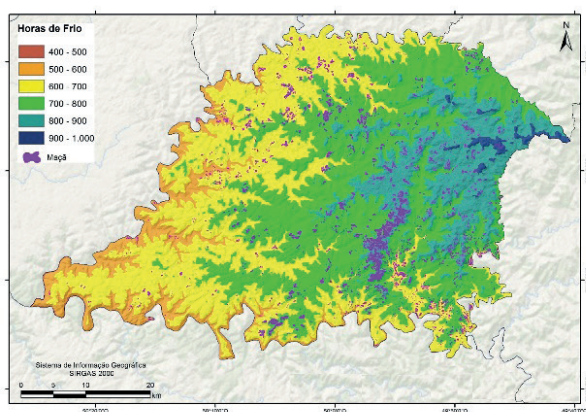
Como observado na Figura 7a a faixa que apresenta maior distribuição dos pomares encontra-se entre

800 e 900 HF. Avaliando isso, Petri *et al.* (2006) e Palmer *et al.* (2003) comentam que cultivares do grupo Gala apresentam necessidade de frio em torno de 600 HF, enquanto as cultivares do grupo Fuji necessitam de maior acúmulo de frio, de 700 a 800 HF.

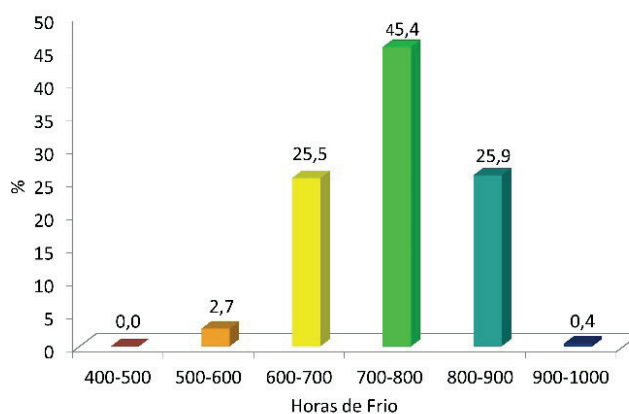
É possível correlacionar as horas de maiores índices de acúmulo de frio com as altitudes superiores. Além disso, Hilgenberg & Ayub (2014) relacionam a falta de frio invernal para a quebra de dormência ao desenvolvimento uniforme dos frutos, má formação dos frutos, crescimento heterogêneo e consequentemente diminuição da produção.

Quantificando o acúmulo total de horas de frio para o município de São Joaquim, a faixa de 600 a 900 HF compreende 90,1% do total do território estando em condições térmicas ideais para o cultivo da macieira. Em contrapartida, comparando esses dados ao acúmulo de horas de frio para os pomares é possível verificar o acúmulo de HF das áreas produtoras no mesmo intervalo de 600 a 900 HF, em 96,93%. Esses dados auxiliam na caracterização das áreas e demonstram que as condições climáticas do município estão no intervalo ideal para o desenvolvimento ideal da cultura, e consequentemente para as variedades mais utilizadas, no caso Gala e Fuji.

Como observado na Figura 7(b) a faixa que apresenta maior índice de pomares implantados é a de 700 a 800 HF, correspondendo a 45,45% da área.



(a)



(b)

Figura 7 - (a) Mapa de horas de frio do município de São Joaquim (b) Distribuição dos pomares em relação às horas de frio de São Joaquim.

Através desses dados, é possível definir e caracterizar as áreas aptas ao cultivo da fruta no município a partir da incidência de frio por determinado período no ano. Então, a partir disso é possível afirmar que o município de São Joaquim ao acumular uma quantidade suficiente de frio nos meses de inverno, pode dispensar na maioria dos casos o uso de agentes químicos que induzem a quebra do repouso vegetativo.

Para Allan e Burnett (1995), as temperaturas superiores a 16°C durante o dia no período de dormência, promovem um efeito contrário para o acúmulo de horas de frio. Hoffman e Nachtigall (2004) afirmaram que a elevação da temperatura acima de 21°C anula a quantidade de frio que estava acumulada. Petri (2006) e Jackson (2000) em seus estudos demonstram que essas oscilações de temperatura durante a fase de dormência resultam com que as plantas permaneçam por mais tempo no período de repouso. Ainda de acordo com o mesmo autor, o acúmulo de frio insuficiente acarreta anomalias nas plantas, reduzindo a produtividade e qualidade final dos frutos.

Acredita que essas informações de acúmulo de horas de frio compõem um importante subsídio tecnológico para os produtores, de modo a auxiliar na aplicação correta dos produtos que atuam na indução da brotação, consequentemente reduzindo os custos de produção. Além disso, através deste mapeamento, poderá ser elaborado um plano

de avaliação de riscos de geadas, principalmente na fase de floração, que pode ser altamente prejudicial ao pomar.

CONCLUSÕES

Através do resultados obtidos neste trabalho, é possível determinar que o método objetivo de mapeamento por meio de dados orbitais e técnicas de sensoriamento remoto foi bastante eficiente, com índice *Kappa* excelente. Frente aos dados subjetivos, originados de levantamentos realizados de forma declaratórias, a área total dos pomares do presente trabalho, quando comparado com dados oficiais do IBGE não ultrapassaram 5%. Além disso, uma metodologia de baixo custo, utilizando imagens gratuitas, como Sentinel-2, Cbers-4 e SRTM.

Foi possível espacializar e analisar os pomares em relação aos fatores edafoclimáticos como altimetria e horas de frio, com um diagnóstico se os mesmos se encontram em áreas aptas ao cultivo, e se atendem as necessidades fisiológicas da planta. O estudo também propiciou um entendimento em relação as áreas aptas para uma futura expansão da cultura em relação as horas de frio.

Enfim, este trabalho contribui com uma metodologia onde poderá ser replicada para outras regiões e portanto, estimar as áreas produtoras de maçã do estado de forma mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, P. & Burnett, M.J.I. (1995) - Peach production in an area with low winter chilling. *Journal of Southern African Society for Horticultural Sciences*, vol. 5, p. 15-18.
- Aslantas, R. & Karakurt, H. (2009) - The effects of altitude on stomata number and some vegetative growth parameters of some apple cultivars. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, vol. 5, n. 5, p. 853-857.
- Atzberger, C.; Vuolo, F.; Klisch, A.; Rembold, F.; Meroni, M.; Mello, M.P. & Formaggio, A.A. (2015) - Agriculture. In: Thenkabail, P.S. (Ed.) - *Remote Sensing Handbook*. Vol. II: Land Resources: Monitoring, Modeling, and Mapping; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; Taylor and Francis Group: London, UK; New York, NY, USA, pp. 71-112.
- Bégué, A.; Arvor, D.; Bellon, B.; Betbeder, J.; Abelleira, D.; Ferraz, R.P.D.; Lebourgeois, V.; Lelong, C.; Simões, M. & Verón, S.R. (2018) - Remote Sensing and Cropping Practices: A Review. *Remote Sensing*, vol. 10, n. 1, art. 99. <https://doi.org/10.3390/rs10010099>
- Belward, A.S. & Skøien, J.O. (2015) - Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian Earth observation satellites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 103, p. 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.03.009>
- CEPA (2018) - *Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola, 2013*. [cit. 2018.08.14]. <http://www.cepa.com.br/>
- Congedo, L. (2016) - *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. Release 6.0.1.1.
- Cordeiro, W.C. (2006) - *A vitivinicultura em São Joaquim-SC: uma nova atividade no município*. Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, UFSC.
- EMBRAPA (2004) - *Solos do estado de Santa Catarina*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro.
- Faust, M. (2000) - Physiological considerations for growing temperate-zone fruit crops in warm climates. In: Erez, A. (Ed.) - *Temperate fruit crops in warm climates*. Kluwer Academic Press, Dordrecht. p. 137-156.
- Fioravanco, J.C.; Girardi, C.L.; Czermainski, A.B.C.; Silva, G.A.; Nachtigall, G.R. & Oliveira, P.R.D. (2010) - *Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal*. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves. 60pp. (Documentos, 71).
- Goulart, J.R.; Reiter, J.M.W. & Mondardo, M. (2015) - *Cartilha: Fruticultura Catarinense – Valor da produção comercial na safra 2014/15*. Florianópolis: Epagri.
- Hilgenberg, T. & Ayub, R.A. (2014) - Avaliação de Brassinosteróides na quebra de dormência e no crescimento de ramos de Macieira (*Malus domestica*). *Ambiência*, vol. 10, n. 2, p. 625-630.
- Hoffmann, A. & Nachtigall, G.R. (2004) - Fatores edafoclimáticos. In: Nachtigall, G.R. (Ed.) - *Maçã: Produção*. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho. p. 25-31. (Série Frutas do Brasil, 37).
- IBGE (2018) - *Quantidade produzida e rendimento médio de maçã*. 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. [cit. 2018.09.24]. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.
- Jackson, J.E. (2000) - Apple production at low latitudes. In: Erez, A. (Ed.) - *Temperate fruit crops in warm climates*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p.305-342.
- Köppen, W. & Geiger, R. (1948) - *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag. Justus Perthes. n.p.
- Körner, C. (2007) - The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 22, n. 11, p. 569-574. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>
- Landis, J.R. & Koch, G.G. (2007) - The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, vol. 33, n. 1, p. 159-154. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lira, C.; Amorim, A.; Silva, A.N.; Tabora, R. (2016) - *Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite*. Lisboa. Edição Eletrônica.
- Massignam, A.M.; Pandolfo, C.; Hammes, L.A. & Pinto, E.S.P. (2006) - Probabilidade de ocorrência do total anual de horas frio (HF \leq 7,2°C) em Santa Catarina. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, vol. 14, n. 3, p. 301-308.

- Palmer, J.W.; Privé, J.P. & Tustin, S. (2003) - Temperature. In: Ferree, D.C. & Warrington, I.J. (Eds.) - *Apples: botany, production and uses*. Wallingford: CABI, Cap. 10, p. 217-236.
- Pandolfo, C.; Braga, H.J.; Silva Júnior, V.P.; Massignan, A.M.; Pereira, E.S.; Thomé V.M.R. & Valci, F.V. (2002) - *Atlas climatológico do estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 1.
- Petri, J.L.; Palladini, L.A.; Schuck, E.; Ducroquet, J.P.H.; Matos, C.S. & Pola, A. (1996) - *Dormência e indução da brotação de fruteiras de clima temperado*. Florianópolis: EPAGRI, 110p. (Boletim Técnico, 75).
- Petri, J.L. (2006) - Formação de flores, polinização e fertilização. In: *A cultura da macieira*. Epagri, Florianópolis. pp. 229-260.
- Rudorff, B.F.T.; Aguiar, A.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M. & Moreira, M.A. (2010) - Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. *Remote Sensing*, vol. 2, n. 4, p. 1057-1076. <https://doi.org/10.3390/rs2041057>
- Sansavini, S. & Corelli-Grappadelli, L. (1996) - Yield and light efficiency for high quality fruit in apple and peach high density planting. In: *VI International Symposium on Integrated Canopy, Rootstock, Environmental Physiology in Orchard Systems* 451. p. 559-568.
- Silva, C.D.V. (2015) - *Aspectos morfofisiológicos e de produção de plantas de macieiras cultivadas em diferentes altitudes no sul do Brasil*. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- Thomas, S.C. (2011) - Genetic vs. phenotypic responses of trees to altitude. *Tree Physiology*, vol. 31, n. 11, p. 1161-1163. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr105>
- Tranquillini, W. (1964) - The physiology of plants at high altitudes. *Annual Review of Plant Physiology*, vol. 15, p. 345-362. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.15.060164.002021>
- White, M.A.; Kirsten, B.; Kamel, D.; David, W.I.; Andrew, D.R.; Olaf, P.J.; John, O'K.; Gong, Z.; Ramakrishna, R.; Willem, J.D.V.L.; Zz, Jesslyn; Brown, F.; Allard, W.; Michael, S.; Xioamao, L.; Michael, D.; Amey, S.B.; John, K.; Mark, D.S.; Dennis, D.; John, T.L. & William, L. (2009) - Intercomparison, interpretation, and assessment of spring phenology in North America estimated from remote sensing for 1982-2006. *Global Change Biology*, vol. 15, n. 10, p. 2335-2359. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01910.x>
- Whitcraft, A.; Jarvis, I.; Rembold, F. & Baruth, B. (2018) - *Summary of the GEOGLAM Workshop on Data and Systems Requirements for Operational Agricultural Monitoring*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.