

ELABORAÇÃO DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE EM CITROS

GABRIEL VILLELA BEDUM¹, MATEUS SILVA GELAIN², EUDOCIO RAFAEL OTAVIO DA SILVA³, RICARDO CANAL FILHO⁴, JOSÉ PAULO MOLIN⁵

¹ Graduando em Eng^o Agrônoma, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, Fone: (16) 996236967, gabrielbedum@usp.br

² Graduando em Eng^o Agrônoma, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, Fone: (14) 997583056, mateus.gelian@usp.br

³ Eng^o Agrícola e Ambiental, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

⁴ Eng^o Agrônomo, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

⁵ Eng^o Agrícola, Professor Titular, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Eng. de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2024
Ribeirão Preto, SP, 25 a 27 de novembro de 2024

RESUMO: O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, o que evidencia a importância de estudos da variabilidade espacial e temporal da produção para a gestão otimizada e aumento da sustentabilidade do sistema. Este estudo explora uma metodologia já existente de elaboração de mapas de produtividade em citros, integrando processos de filtragem local e técnicas de geoestatística. Para isto, foi utilizada uma série de quatro anos de dados de produtividade em campos comerciais de laranja, tendo como base o georreferenciamento dos sacolões de frutos. Estratégias de filtragem global e local foram investigadas e, posteriormente, foram criados mapas detalhados de produtividade utilizando métodos de espacialização, como polígonos de Voronoi e interpolação probabilística. A metodologia de filtrar os dados de produtividade advindas das áreas de contribuição dos polígonos de Voronoi mostrou-se adequada e permitiu obter mapas que representam informações que auxiliam no planejamento e manejo da produção cítrica. A análise geoestatística revelou dependência espacial moderada para a produtividade, justificando o uso de determinadores probabilísticos, porém a análise temporal dos mapas gerados não apresentou repetibilidade no comportamento produtivo.

PALAVRAS-CHAVE: Geoestatística, Filtragem de dados, Polígono de Voronoi.

PREPARATION OF CITRUS PRODUCTIVITY MAPS

ABSTRACT: Brazil is the world's largest orange producer, which highlights the importance of studies on spatial and temporal variability of production for optimized management and increased sustainability of the system. This study explores an existing methodology for preparing citrus productivity maps, integrating local filtering processes and geostatistical techniques. For this purpose, a four-year series of productivity data from commercial orange fields was used, based on the georeferencing of fruit storage areas. Global and local filtering strategies were investigated and, subsequently, detailed productivity maps were created using spatialization methods, such as Voronoi polygons and probabilistic interpolation. The methodology of filtering productivity data from the areas contributed by the Voronoi polygons proved to be adequate and allowed obtaining maps that represent information that assist in the planning and management of citrus production. The geostatistical analysis revealed moderate spatial dependence for productivity, justifying the use of probabilistic determinants, but the temporal analysis of the generated maps did not show repeatability in the productive behavior.

KEYWORDS: Geostatistics, Filtering, Voronoi polygon.

INTRODUÇÃO: A fruticultura tropical e subtropical no Brasil é amplamente explorada. Frutas cítricas, em especial a laranja, têm destaque no Brasil por ser o maior produtor mundial, com cerca de 17 milhões de toneladas na safra de 2019 (FAO, 2020). A identificação da variabilidade espaço-temporal da produtividade nos pomares são práticas de agricultura de precisão (AP) fundamentais para o desenvolvimento sustentável da

fruticultura e permitem o ajuste das práticas agrícolas (PORTELLA *et al.*, 2016; COLAÇO & MOLIN, 2014). O uso de mapas de produtividade tem se mostrado uma camada de informação importante nesse contexto, pois possibilita a visualização e investigação dos fatores agronômicos associados a essa variabilidade (COLAÇO, 2008; WHITNEY *et al.*, 1999). Embora a colheita na fruticultura ainda seja predominantemente manual, há esforços para adaptar métodos de mapeamento à realidade desses ambientes (MOLIN *et al.*, 2015). Abordagens como o uso de imagens georreferenciadas para predição do número de frutos (ANNAMALAI *et al.*, 2003) e o estudo da variação temporal da temperatura na copa das plantas (BULANON *et al.*, 2008) têm avançado no sentido de facilitar a identificação dos frutos e melhorar a precisão dos mapas de produtividade. Além disso, o processamento de imagens, embora promissor, enfrenta desafios como a detecção inadequada de frutos posicionados no interior da copa (TU *et al.*, 2020). Metodologias como a de georreferenciamento dos sacolões na colheita (MOLIN & MASCARIN, 2007) e a interpretação da zona de contribuição de cada sacolão com o uso do polígono de Voronoi (COLAÇO *et al.*, 2020) são exemplos de abordagens de baixo custo e acessíveis à realidade do produtor brasileiro para expressar variações na produtividade.

OBJETIVO: Explorar a metodologia proposta por Colaço *et al.*, (2020) para a geração de mapas de produtividade em citros, incorporando processos de filtragem local e técnicas de geoestatística.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi desenvolvido em campos comerciais de citros, correspondendo a dez talhões de aproximadamente 25 ha cada, localizados no município de Iaras, SP (22°57'03,5"S; 48°39'37,4"W). Os talhões foram implantados em 2008 e 2009 e são semelhantes em porta enxerto, espaçamento (6,80 m X 2,80 m), todavia para a cultivar copa, os talhões 3, 4, 5, 6, 7, 9 e 10 correspondem a cultivar Valência, enquanto os talhões 1, 2 e 8 são da cultivar Natal, todos não irrigados. Durante as safras de 2012 a 2015, os frutos colhidos foram depositados em sacolões, dispostos a cada três fileiras de laranja e georreferenciados por um receptor Garmin 62S. A capacidade de cada sacolão foi estimada por um líder de colheita para padronizar o volume de laranja nos sacolões e garantir massa constante. O fluxograma da metodologia empregada é esquematizado na Figura 1.

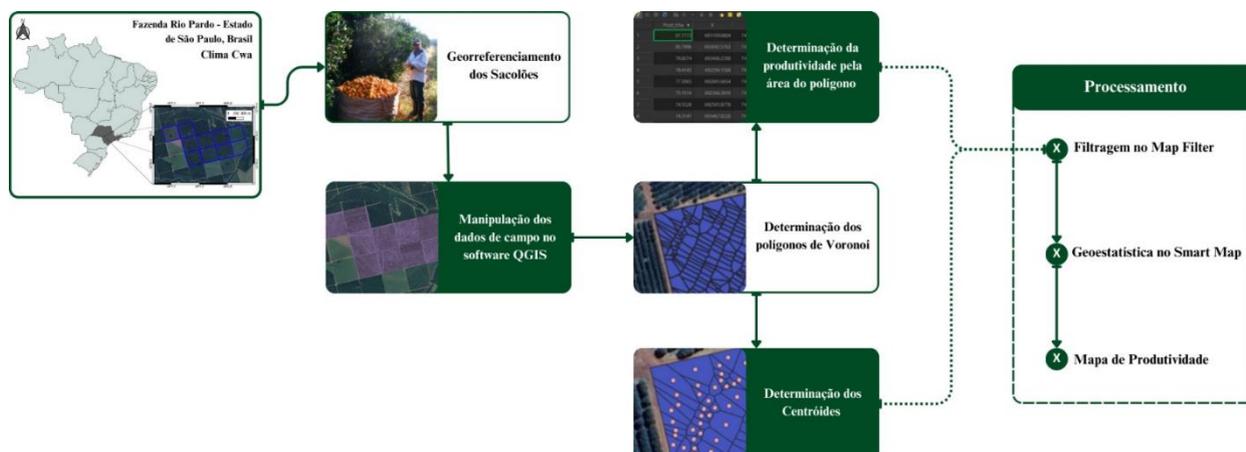


FIGURA 1. Fluxograma de procedimentos para formulação de mapas de produtividade.

Os dados brutos, volume de sacolões, foram submetidos a um processo inicial de limpeza, no qual removeu-se pontos repetidos com sobreposição de coordenadas. Em seguida, no programa QGIS foi criada uma área de representação para cada sacolão utilizando a ferramenta de polígono de Voronoi, conforme efetuado por Colaço *et al.* (2020). Para obtenção da produtividade, a massa dos sacolões foi considerada uniforme, dividida pela área do polígono de Voronoi e posteriormente associada ao centróide. Devido à exatidão limitada do receptor GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) ou à proximidade dos sacolões, determinados polígonos gerados representavam áreas pequenas, resultando em produtividades inconsistentes com as observadas em campo. Logo, fez-se necessário estabelecer uma metodologia de filtragem destes dados e, para isto, foi utilizado o programa Mapfilter 2.0, um filtro baseado em distância e estatística (MALDANER *et al.*, 2022). Individualizados por talhão, os dados de produtividade foram filtrados globalmente, baseado na mediana das observações, com variação de limite fixada em 80,00%, e localmente (considerando o comportamento isotrópico e anisotrópico), com dependência espacial de 28,00 m, sendo aproximadamente duas vezes a faixa de colheita. Esse valor foi adotado a partir da interpretação visual do processo de filtragem, fundamentado na eliminação de valores de produção improváveis por extrapolarem a produtividade observada em experimentos com pomares de idade, cultivares copa e porta-enxerto semelhantes (DOMINGUES *et al.*,

2021; PAVÃO, 2016). Após a filtragem, foi realizada a análise geoestatística dos dados a partir do primeiro ajuste dos semivariogramas almejando minimizar a raiz quadrada do erro-médio (RMSE) e maximizar o coeficiente de determinação (R^2). Os mapas de produtividade foram confeccionados por meio do plugin SmartMap (PEREIRA *et al.*, 2023) e utilizando determinadores probabilísticos (krigagem ordinária) caracterizados por considerarem a dependência espacial entre as amostras. Para a análise dos dados, foi realizado a estatística descritiva das produtividades anterior a filtragem global e local (PE) e após a realização do processo (PO), além de compilar os valores associados ao ajuste do semivariograma, tais como o alcance (A), distância máxima entre pontos com dependência espacial, o efeito pepita (Co), porção da variância não explicada pela distância entre pontos, o patamar (Co+c), semivariância máxima do conjunto de dados, assim como a análise do índice de dependência (ID) obtido a partir da divisão do componente estrutural (c) pelo patamar (Co+c). Para interpretação do ID foi utilizado a separação de classes apresentada em CAMBARDELLA *et al.* (1994), em que valores acima de 0,75 indicam alta dependência, valores entre 0,75 e 0,25 indicam dependência moderada, e valores abaixo de 0,25 indicam baixa dependência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A estatística descritiva dos conjuntos de produção PE e PO são mostrados na Figura 2. Observou-se que o conjunto PE possui maior amplitude de valores e apresentou produtividades improváveis, superando valores observados nos experimentos de Domingues (2021) e Pavão (2016), sendo respectivamente de 48,80 t ha⁻¹ e 38,10 t ha⁻¹. Para os anos 2012, 2013, 2014 e 2015, o processo de filtragem removeu 37,96%, 29,90%, 61,87% e 50,59%, respectivamente.

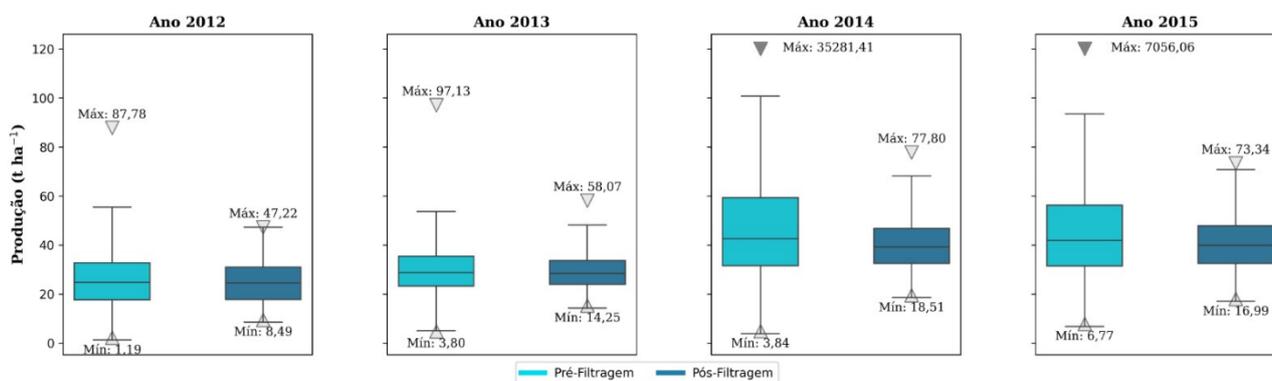


FIGURA 2. Estatística descritiva dos dados de produção PE (pré-filtragem) e PO (pós-filtragem) com descrição dos máximos e mínimos dos conjuntos.

Para análise geoestatística dos dados de produtividade (Tabela 1), foi identificada dependência espacial em todos os anos, ao contrário do observado por Molin e Mascarin (2007) e Molin *et al.* (2011), que obtiveram efeito pepita puro nos ajustes dos semivariogramas. Quanto às métricas de desempenho dos semivariogramas, foram obtidos valores de RMSE de 0,02 a 25,44 para a cultivar Valência, enquanto a cultivar Natal apresentou valores de 1,11 a 31,68, expressando que para os dados utilizados os modelos ajustaram-se melhor para cultivar Valência. Ao analisar o R^2 , notou-se valores elevados para ambas as cultivares, o que corrobora com os trabalhos para a cultura do citros realizados por Colaço (2013), em que obteve R^2 variando de 0,81 a 0,99 e dependência espacial de moderada a forte.

TABELA 1: Parâmetros geoestatísticos da produtividade de citros individualizada por cultivar e ano.

Ano	Cultivar	Estatística	Co*	Co+c**	A***	RMSE	R ²	ID****	Análise
2012	Natal	Máximo	5,20	22,46	442,98	5,69	0,99	0,77	Elevado
		Mínimo	2,57	7,32	265,83	1,98	0,96	0,65	Moderado
		Média	3,88	14,89	354,41	3,84	0,98	0,74	Moderado
	Valência	Máximo	10,65	42,94	356,79	10,06	1,00	0,75	Elevado
		Mínimo	1,41	4,39	159,09	0,02	0,99	0,68	Moderado
		Média	6,03	23,67	257,94	5,04	1,00	0,75	Moderado
2013	Natal	Máximo	6,43	13,55	206,23	2,73	0,98	0,53	Moderado
		Mínimo	5,64	13,15	205,11	1,11	0,96	0,57	Moderado
		Média	6,04	13,35	205,67	1,92	0,97	0,55	Moderado

Valência	Máximo	12,40	50,67	433,44	25,44	0,99	0,76	Elevado	
	Mínimo	3,62	14,10	126,97	1,58	0,97	0,74	Moderado	
	Média	8,01	32,38	280,21	13,51	0,98	0,75	Elevado	
2014	Natal	Máximo	18,63	35,15	120,98	7,49	0,99	0,47	Moderado
		Mínimo	15,53	34,63	120,84	1,65	0,96	0,55	Moderado
		Média	17,08	34,89	120,91	4,57	0,98	0,51	Moderado
Valência	Máximo	22,05	65,83	270,31	12,08	1,00	0,67	Moderado	
	Mínimo	21,78	63,51	144,99	5,00	1,00	0,66	Moderado	
	Média	21,91	64,67	207,65	8,54	1,00	0,66	Moderado	
2015	Natal	Máximo	27,51	78,84	188,34	31,68	1,00	0,65	Moderado
		Mínimo	7,18	16,59	104,48	1,16	0,97	0,57	Moderado
		Média	17,34	47,72	146,41	16,42	0,98	0,64	Moderado
Valência	Máximo	26,40	48,31	143,83	3,95	0,99	0,45	Moderado	
	Mínimo	15,58	26,27	143,55	1,55	0,98	0,41	Moderado	
	Média	20,99	37,29	143,69	2,75	0,99	0,44	Moderado	

* Efeito pepita; ** Patamar; *** Alcance; **** Índice de dependência espacial.

A partir dos mapas gerados (Figura 3), observa-se a variabilidade da produtividade intra e entre talhões no espaço e no tempo em decorrências das variedades, desenvolvimento de planta, sanidade ou características de solo. Analisando-se temporalmente, não foi observado repetibilidade no comportamento produtivo. Verificou-se aumento da produtividade média ao longo dos anos, pois o período analisado contemplou a idade do pomar do terceiro ao quinto ano, período de crescimento. Foi possível identificar que os talhões 9 e 10 apresentam menor produtividade em decorrência de serem pomares implantados mais tardiamente. A representação visual obtida após o processo de filtragem permite caracterizar a variabilidade espacial sem a possível interferência de valores de produtividade que não condizem à realidade no campo e que prejudicam a interpretação da informação pelo gestor do pomar. É possível considerar futuros trabalhos referente à análise geoestatística de diferentes estratégias filtragens, assim como a exploração da dependência espacial nesse processo, e comparar com mapas de produtividades obtidos com a mesma base de dados sem a etapa de filtragem.

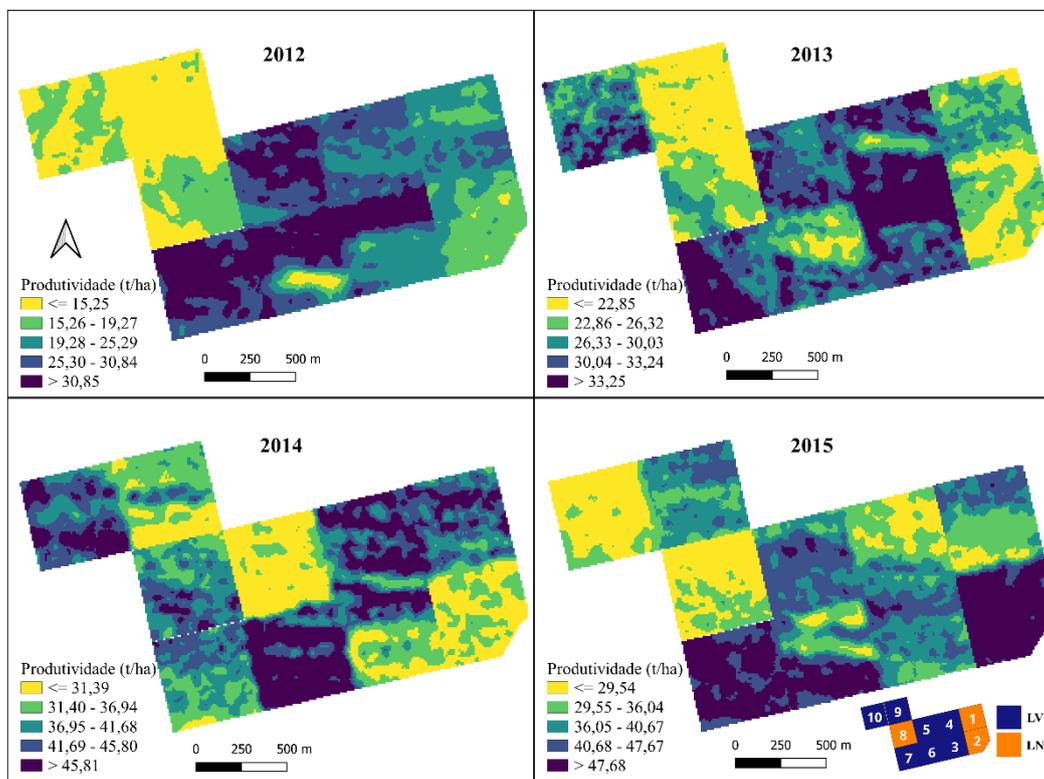


FIGURA 3. Superfície interpolada por krigagem ordinária correspondente a produtividade da laranja do ano de 2012 até 2015 em que LV representa a cultivar Laranja Valência e LN cultivar Laranja Natal.

CONCLUSÕES: A geração de mapas de produtividade em citros possui potencial de aprimoramento. O incremento da filtragem local, usando o programa Mapfilter 2.0 com limite de variação de 80,00% e dependência espacial de 28,00 m, e de técnicas geoestatística permitiu a eliminação de dados de produtividade inconsistentes e garantiu maior similaridade com as referências literárias e observações de campo. Portanto, a abordagem aplicada para a elaboração de mapas de produtividade em citros é uma forma de explorar uma metodologia já existente e incrementar métricas de filtragem que podem contribuir para a gestão de pomares.

REFERÊNCIAS

- ANNAMALAI, P.; LEE, W. S. **Citrus Yield Mapping System Using Machine Vision**. 2003
- BULANON, D. M.; BURKS, T. F.; ALCHANATIS, V. Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection. **Biosystems Engineering**, v. 101, n. 2, p. 161–171, 2008.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society Of America Journal**, 58:1501-1511, 1994.
- COLAÇO, A. F. **Efeito da adubação em doses variadas em pomares de laranjeiras ao longo de quatro safras**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. doi:10.11606/D.11.2013.tde-21022013-160125.
- COLAÇO, A. F.; MOLIN, J. P.; EHSANI, R. **Agricultura de Precisão e Colheita Mecanizada em Citros**. Esalq, Piracicaba- SP Dezembro, 2008.
- COLAÇO, A. F.; MOLIN, José P. **Agricultura de Precisão em Citros Mapeamento de Produtividade e Adubação em Taxas Variáveis**. Agricultura de Precisão, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 1-1, out. 2014.
- COLAÇO, A. F.; TREVISAN, R. G.; KARP, F. H. S.; MOLIN, J. P. Yield mapping methods for manually harvested crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 177, p. 105693, 2020.
- DOMINGUES, A. R.; MARCOLINI, C. D. M.; GONÇALVES, C. H. da S.; GONÇALVES, L. S. A.; ROBERTO, S. R.; CARLOS, E. F. Fruit Ripening Development of ‘Valencia’ Orange Trees Grafted on Different ‘Trifoliata’ Hybrid Rootstocks. **Horticulturae**, Vol. 7, Page 3, v. 7, n. 1, p. 3, 2021
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS. **Citrus Fruit Statistical Compendium**. Rome, 2020,
- MALDANER, L. F., MOLIN, J. P., & SPEKKEN, M. Methodology to filter out outliers in high spatial density data to improve maps reliability. **Scientia Agricola**, 79(1), 2022.
- MENDES, L. G. **Efeitos da adubação em doses variadas em pomares de laranja**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. doi:10.11606/D.11.2019.tde-22032019-180011.
- MOLIN, J P.; MASCARIN, L. S. Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 27, pág. 259-266, 2007.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- MOLIN, J. P.; COLAÇO, A. F.; CARLOS, E. E. Orange yield and plant gap mapping caused by disease. In: EUROPIAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2011. Praga. **Anais**. Praga: ISPA, 2011.
- PAVÃO, G.C. **Produtividade e qualidade de frutos de laranja valência fertirrigadas sob déficit hídrico controlado na região centro-sul do estado de São Paulo**. 2016. Dissertação (em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas, 2016.
- PEREIRA, G. W; VALENTE, D. S. M; QUEIROZ, D.M; COELHO, A. L. F. SMART-MAP: Plugin QGIS para interpolação utilizando Krigagem Ordinária e Machine Learning. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA (SBIAGRO), 14. , 2023, Natal/RN. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023
- PORTELLA, C. R.; MARINHO, C. S.; AMARAL, B. D.; CARVALHO, W. S. G.; CAMPOS, G. S.; SILVA, M. P. S. da; SOUSA, M. C. de. Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliateiro “Flying Dragon” e limoeiro “Cravo” em fase de formação do pomar. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 70–75, jan. 2016.
- TU, S.; PANG, J.; LIU, H.; ZHUANG, N.; CHEN, Y.; ZHENG, C.; WAN, H.; XUE, Y. Passion fruit detection and counting based on multiple scale faster R-CNN using RGB-D images. **Precision Agriculture**, v. 21, n. 5, p. 1072–1091, 2020.
- WHITNEY, L.D.; MILLER, W.M.; WHEATON, T.A.; SALYANI, M.; SCHUELLER, J.K. Precision farming applications in Florida citrus. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 15, n. 5, p. 399-403, 1999.