

## **MAPAS DE PRODUTIVIDADE PARA CENOURA EM SISTEMA DE COLHEITA SEMI-MECANIZADA**

**PEDRO M. N. OTTONI<sup>1</sup>, LEONARDO F. MALDANER<sup>2</sup>, MARCELO C. F. WEI<sup>3</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Eng. Agrônoma, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Mestrando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biossistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, Fone: (19) 34478905, jpmolin@usp.br

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Com recentes inovações tecnológicas, a cultura da cenoura tende a ser produzida em escala e a importância do entendimento da variabilidade espacial das lavouras cresce. Para tanto, os mapas de produtividade se tornam necessários. O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade de obtenção de dados de campo para a geração de mapas de produtividade de cenoura em colheita semi-mecanizada e comparar os métodos de interpolação pelo inverso da distância e krigagem ordinária com esse conjunto de dados. Tais dados foram obtidos de uma área de 1,56 ha em Uberaba, MG, georreferenciando as caixas de cenouras juntadas após o arranquio mecanizado. A estimativa da produtividade, interpolação de dados e geração de mapas foram realizadas com ferramentas de Sistema de Informação Geográfica. A partir da análise estatística descritiva e geoestatística foi observada a necessidade da filtragem de dados discrepantes e após este processamento os dados de produtividade apresentaram dependência espacial moderada. O método de interpolação pelo inverso da distância apresentou menor erro quadrático médio da raiz relativa em relação à krigagem ordinária. Dessa forma, conclui-se ser viável gerar mapas de produtividade para cenoura com sistema de colheita semi-mecanizada para o talhão estudado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, Sistema de Informação Geográfica, Variabilidade Espacial

### **DEVELOPMENT OF YIELD MAPPING FOR CARROT SEMI-MECHANIZED HARVEST**

**ABSTRACT:** The carrot production systems tend to be grown in larger proportions with the advance of the technology provided to the farmers which enhance the necessity to understand the spatial variability on crops. Therefore, yield maps become essential. This work aimed to evaluate the feasibility to collect field data to develop yield maps for carrot semi-mechanized harvest system and to compare interpolation methods by inverse distance weighted and ordinary kriging for these data. The dataset was obtained from an area of 1.56 hectare in Uberaba, MG, georeferencing the carrot boxes gathered after the mechanical pull-off. The yield estimation, data interpolation and generation of yield maps were performed using Geographic Information tools. The descriptive statistics and geostatistics analysis allowed visualizing the necessity to remove outlier data. After this procedure, the yield data presented moderate spatial dependency. The Inverse Distance Weighted method presented a lower root mean square deviation than the Ordinary Kriging method. This work concludes that it is feasible to develop yield maps in carrot semi-mechanized harvest system for this area of study.

**KEYWORDS:** Geostatistic, Geographic Information System, Spatial Variability

**INTRODUÇÃO:** A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma importante cultura hortícola na economia brasileira, além de ser uma excelente fonte nutricional ao ser humano (ALVES et al., 2016). A adoção de novas tecnologias na colheita da cenoura, como os equipamentos que realizam a remoção das raízes do solo, corte das folhas e a pré-limpeza, é cada vez mais adotada e induz à concentração e aumento do tamanho das áreas produtivas. A mecanizaçãorega impactos na redução de custo de mão-de-obra, além da redução do índice de

danos às raízes e possibilidade de colheita em diversos turnos de trabalho (MELO et al., 2016). A agricultura de precisão (AP) é um sistema de manejo integrado que visa melhorar economicamente a atividade agrícola considerando a variabilidade espacial e temporal (INAMASU & BERNARDI, 2014). Segundo MOLIN (2004), o resultado de uma lavoura, ou seja, a produtividade, é a informação mais importante para visualizar a variabilidade espacial da produção por meio de um mapa de produtividade. A coleta de dados de produção georreferenciados permitem a criação e identificação de áreas com diferentes potenciais produtivos permitindo desta maneira uma investigação direcionada (RABELLO et al., 2014). A qualidade na geração de mapas de produtividade é intrínseca à coleta adequada de dados, tornando-se mais complexa para sistemas de colheita altamente dependente de mão-de-obra com destaque para as culturas hortícolas (MOLIN et al., 2015). Processos para a coleta de dados em colheita manual ou semi-mecanizada já foram desenvolvidos para culturas como cana-de-açúcar (MOLIN et al., 2004) e laranja (COLAÇO et al., 2015). Diante disso, o presente trabalho teve como objetivos analisar a viabilidade de obtenção de dados de campo para a geração de mapas de produtividade em cenoura para colheita semi-mecanizada e explorar métodos de interpolação desses dados.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados foram coletados em uma área de 1,56 ha, na região de Uberaba, MG (19°31'7"S - 47°46'45" W) com a cultivar de cenoura Verano. A semeadura foi realizada em canteiros de 1,75 m de largura, com plantas dispostas em três conjuntos de linhas: linhas triplas nas extremidades e uma linha dupla na posição central. A colheita foi realizada no mês de agosto de 2017 quando ocorreu o amarelecimento e secamento das folhas mais velhas e o curvamento das folhas mais novas para baixo. Para arrancar as raízes foi utilizada a colhedora, modelo Dewulf GKIISE (Dewulf Group, Bélgica), que realiza o processo de remoção das raízes do solo em um único canteiro, retira o excesso de solo das raízes, corta as folhas e deposita a cenoura sobre o solo (Figura 1A). As cenouras colhidas foram depositadas ao lado esquerdo da colhedora com deslocamento de 5,25 m (Figura 1B). Devido ao tempo de processamento e a velocidade de deslocamento, as cenouras foram depositadas 16,5 m à frente, no sentido da colheita, em relação ao local onde foram arrancadas. Para o cálculo dessa distância, a cenoura inicialmente arrancada do solo foi marcada com tinta spray e uma estaca foi posicionada para marcar seu posicionamento inicial. Em seguida, foi rastreado e localizado o local de deposição da cenoura marcada com a tinta no solo pela máquina, dessa forma, foi mensurado o deslocamento da cenoura desde o ponto de arranquio até a sua deposição. Por causa das características construtivas da colhedora, a colheita foi realizada em único sentido de deslocamento, de modo que os erros de deposição das raízes ocorreram em sentidos iguais para todas as passadas da colhedora.



FIGURA 1. Sistema de colheita da cenoura semi-mecanizada. Colhedora de cenoura (A). Enleiramento das raízes ao lado da colhedora (B).

As cenouras são avaliadas visualmente pelos coletores previamente instruídos e, então, são depositadas em caixas plásticas com dimensões de 0,30 m x 0,33 m x 0,55 m e capacidade de 52 L. Dessa forma, as raízes que não se enquadravam no padrão de comercialização da fazenda, danificadas ou defeituosas, eram descartadas no campo (Figura 2A). Foi realizada a aferição da massa de cenouras contida em 150 caixas,

aleatoriamente escolhidas dentro da área de estudo, sendo que o peso médio por caixa foi de 28,59 kg. Seguindo a metodologia descrita por Colaço et al. (2015) e adaptada a essa condição, primeiramente as caixas de cenouras vazias eram dispostas próximos aos canteiros, sendo estes com faixas compreendendo de 20 m a 25 m. O preenchimento foi realizado colocando somente as cenouras mais próximas da caixa até completar aproximadamente 29 kg. O preenchimento das caixas ocorreu de forma individual, resultando em um grupo de caixas por pessoa. Todas as caixas na lavoura foram georreferenciadas por meio de um receptor GNSS modelo SMART-AG (NovAtel Inc., Canadá) e suas coordenadas geográficas foram armazenadas pelo programa SST Field Rover II, versão 7.13 (SST Development Group, EUA) por meio de um computador de mão iPAQ H3650 (Compaq Computer Corporation, EUA) (Figura 2B).

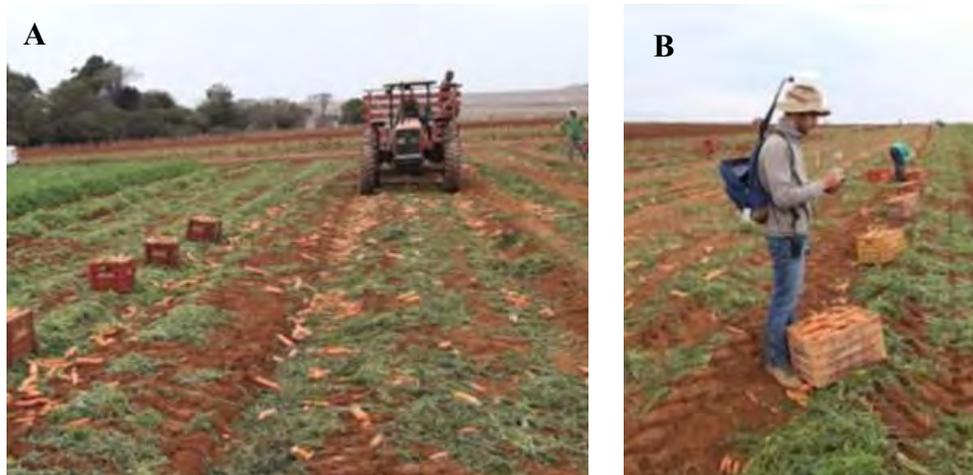


FIGURA 2. Coleta de dados da cenoura. Seleção e encaixotamento das raízes (A). Georreferenciamento das caixas (B).

Para correção do posicionamento das cenouras, foi realizado o deslocamento dos pontos (16,5 m) em sentido contrário da colheita. Para estimar os valores de produtividade em cada ponto coletado, primeiramente utilizou a ferramenta 'Voronoi Polygons' do software QGIS 3.0 (Geographic Information System, v. 3.0.1 Girona, QGIS 2018). Este algoritmo divide a área em polígonos menores, cada um correspondente à área de cobertura de cada caixa coletada (Figura 3). Em seguida atribuiu-se o valor de 28,59 kg para todos os pontos juntamente com os valores das áreas, transformando os dados em produtividade ( $\text{ton ha}^{-1}$ ). Devido à necessidade de remoção de pontos com valores discrepantes de produtividade, foi utilizada a metodologia de identificação e remoção de dados discrepantes descrito por Spekken et al. (2013). Realizou-se a estatística descritiva dos dados de produtividade antes e após a remoção dos dados discrepantes e na sequência, a análise geostatística no software Vesper 1.6 (ACPA, University of Sydney) e os modelos esféricos, exponenciais e gaussiano foram testados. O nível de dependência espacial foi avaliado com base na porcentagem do efeito de pepita sobre a variância do peitoril e classificado como forte ( $< 25\%$ ), moderado (entre 25 e 75%) ou fraco ( $> 75\%$ ) (Cambardella et al., 1994). Constatada a presença de dependência espacial entre os dados, foram realizadas as interpolações por krigagem ordinária (KO) e Inverso da distância (ID). A KO foi realizada utilizando o software Vesper 1.6 e a interpolação por ID foi realizada utilizando a ferramenta 'Interpolation' do software QGIS 3.0. Para considerar as diferenças nos mapas em relação ao tipo de interpolador, a medida estatística escolhida para comparação do desempenho de cada cenário foi o erro quadrático médio da raiz relativa (RMSE).

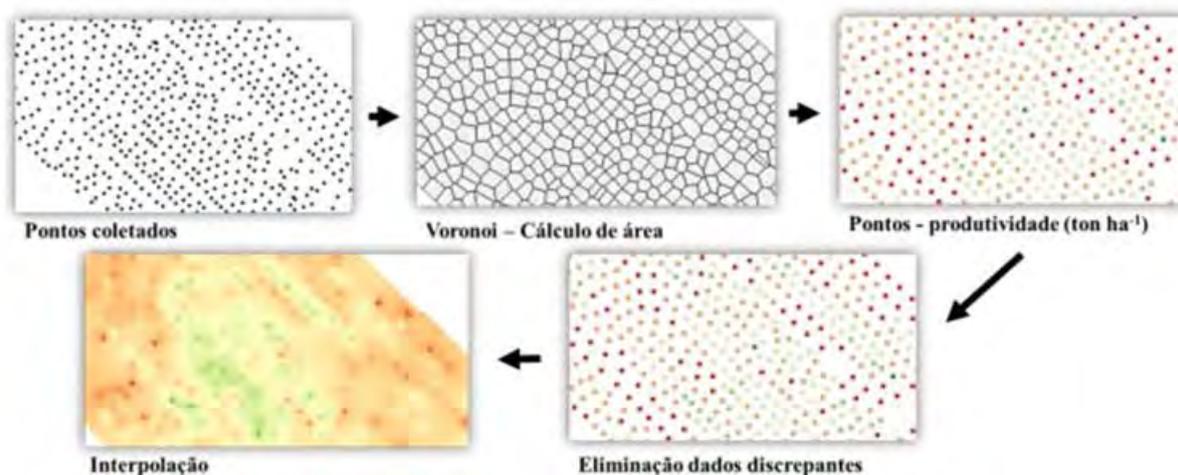


FIGURA 3. Etapas para geração do mapa de produtividade de cenoura.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Observou-se que os pesos contidos nas caixas de cenoura colhidas no campo podem ser considerados estatisticamente iguais (Tabela 1). Isso possibilita o monitoramento da produtividade em campo a partir do seu georreferenciamento. Entretanto, essa atividade deve ser realizada com equipamentos que possibilite a coleta dos pontos de forma ágil, acurada e precisa. Caso contrário, distorções no mapa de distribuição de caixas no campo podem ocorrer. Imprevistos que impossibilitem o perfeito funcionamento do maquinário envolvido na colheita, além do incorreto posicionamento das caixas pelos funcionários, podem ser outros fatores causadores de erros.

TABELA 1. Estatística descritiva dos pesos de 150 caixas com cenoura (kg).

n	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	DP	CV (%)
150	27,2	28,7	28,6	30,0	0,6	2,2

n- número de amostras; DP – desvio padrão; CV- coeficiente de variação.

A variação dos valores de produtividade e do coeficiente de variação indicaram que existem dados com valores de produtividade discrepantes no conjunto de dados originais (Tabela 2). A metodologia utilizada para o cálculo da produtividade utilizou o valor fixo de peso das caixas variando somente os valores de área de atribuição de cada caixa, de modo que, os valores de áreas muito pequenas ou muito grandes resultaram em valores de produtividade superestimados e/ou subestimados. O alto valor do efeito pepita indica que existe grande variação da produtividade em pequenas distâncias na base de dados originais, além de mostrar que a distância amostral adotada não foi suficiente para medir a variabilidade espacial. Após a remoção dos dados discrepantes, a produtividade média do talhão foi de 75,39 ton ha<sup>-1</sup> e variou entre 48,46 ton ha<sup>-1</sup> e 114,44 ton ha<sup>-1</sup>. Além disso, após a filtragem, houve redução na ordem de 85% no valor do efeito pepita. Os dados pós-processados de produtividade apresentaram moderada dependência espacial com alcance de 38,07 m.

TABELA 2. Estatística descritiva e análise geostatística dos dados de produtividade da cenoura.

Dados	n	Mín.	Média	Med. ton ha <sup>-1</sup>	Máx.	DP	CV %	M	C <sub>0</sub>	A m	R	IDE
Filtrado	2620	48,46	75,39	74,76	114,44	12,03	15,95	Esf.	82,09	38,07	0,70	0,52

n – número de amostras; Mín. – mínimo; Med. – mediana; Máx. – Máximo; DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; M – Modelo ajustado; Esf. – Esférico; C<sub>0</sub> – efeito pepita; A- alcance; R – coeficiente de correlação da validação cruzada; IDE – índice de dependência espacial.

Os mapas gerados apresentaram mesmos padrões, entretanto há uma maior suavização das informações no mapa gerado pela KO (Figura 4). Valores RMSE próximos de zero indicam menor erro na estimação de valores de produtividade, indicando a qualidade dos dados estimados. Dessa forma, neste estudo, é possível inferir que para esse cenário avaliado (talhão e metodologia) o método de interpolação ID apresentou melhor desempenho que a KO para os dados de produtividade, da forma como foram obtidos. A interpolação por ID manteve as variações de produtividade em pequenas distâncias, o que já era esperada devido à alta

densidades de caixas. Já a KO suavizou estas informações em pequenas distâncias, porém o mapa ainda apresenta as informações de altas e baixas produtividades da lavoura.

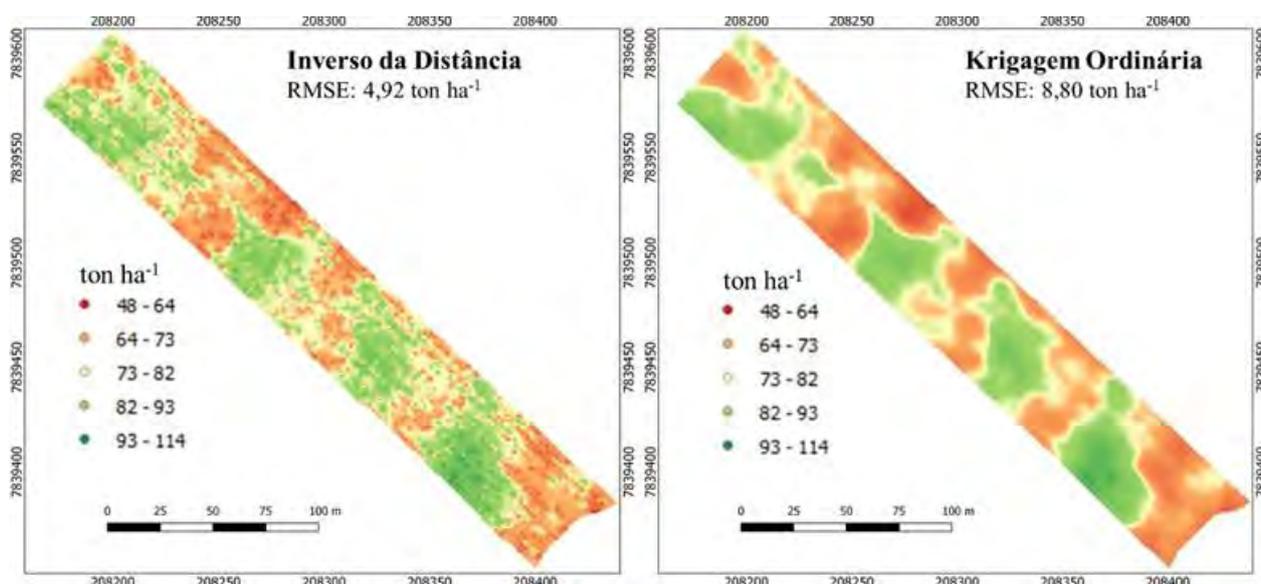


FIGURA 4. Mapas de produtividade de cenoura desenvolvidos a partir de diferentes métodos de interpolação. Interpolação dos dados pelo inverso da distância (A); interpolação dos dados pela krigagem ordinária (B).

O georeferenciamento das caixas de cenoura durante a colheita e o pós-processamento dos dados mostraram ser uma ferramenta viável para gerar mapas visando à gestão localizada no cultivo da cenoura. Apesar dos valores de peso das caixas com cenoura distribuídas pela área apresentarem homogeneidade, ou seja, não há diferença de produtividade entre os canteiros, foi possível observar visualmente pelo mapa de produtividade uma variabilidade na produtividade de forma contínua entre os canteiros.

**CONCLUSÃO:** É possível gerar mapas de produtividade para a cultura da cenoura em sistema de colheita semi-mecanizada georeferenciando as caixas após o seu enchimento e submetendo os dados ao pós processamento. Para este conjunto de dados, o método de interpolação interferiu no resultado final do mapa de produtividade, com melhor desempenho da interpolação pelo inverso da distância em relação à krigagem ordinária para a área e cenário avaliado.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, F. M., GONÇALVES, M. F., NICK, C. **A cultura**. In: NICK, C., BOREM, A. (Ed.). *Cenoura: do plantio à colheita*. Viçosa: Ed. UFV, cap. 1, p. 9-17, 2016.
- CAMBARDELLA, C. A., MOORMAN, T. B., PARKIN, T. B., KARLEN, D. L., NOVAK, J. M., TURCO, R. F., KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, v.58, n.5, p. 1501-1511, (1994).
- COLAÇO, A. F., TREVISAN, R. G., KARP, F. H. S., & MOLIN, J. P. Yield mapping methods for manually harvested crops. In *Precision agriculture'15* (pp. 39-44). Wageningen Academic Publishers, 2015.
- INAMASU, R. Y, BERNARDI A, C. DE C. **Agricultura de Precisão**. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, p. 21-33, 2014.
- MELO, P. C. T, SILVA, A. P. G., ARAÚJO, T. H. Colheita e pós-colheita. In: NICK, C., BOREM, A. **Cenoura: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, cap. 10, p. 162-179, 2016.
- MOLIN, J.P., AMARAL, L.R., COLAÇO, A.F. **Agricultura de Precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238p.

MOLIN, J.P., FONTANA, G., GUIMARÃES, R.V., CABRERA, F.R., COSTA, M.B. Elaboração de mapas de produtividade de cana-de-açúcar em corte manual com queima prévia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. Anais..., Piracicaba: ESALQ, 2004. 1 CD-ROM.

RABELLO, L. M.; BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Condutividade elétrica aparente do solo. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, p. 48-57, 2014.

SPEKKEN, M.; ANSELMI, A.A.; MOLIN, J.P. A simple method for filtering spatial data. In: EUROPEAN CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 9. 2013. Lleida, Spain. Proceedings..., Lleida, 2013.