

DELINEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO EM CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DE ATRIBUTOS DO SOLO E DA CULTURA E IMAGENS GEORREFERENCIADAS

E. A. Speranza¹, C. R. Grego¹, L.A.C. Jorge², C.A.G. Rodrigues³, A. Luchiari Jr. ¹, C.C. Ronquim³, G.M. Sanches⁴

¹ Embrapa Informática Agropecuária, Av. André Tosello, 209, 13083-886, Campinas, SP

² Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, 13560-970, São Carlos, SP

³ Embrapa Territorial, Av. Soldado Passarinho, 303, 13070-115, Campinas, SP

⁴ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz (ESALQ/USP), Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP

* Autor correspondente, e-mail: eduardo.speranza@embrapa.br

Resumo: Os mapas de zonas de manejo, obtidos a partir de diferentes atributos do solo e da cultura, podem ser utilizados em diferentes atividades realizadas no contexto da agricultura de precisão, tais como aplicação de fertilizantes e corretivos, irrigação e plantio. Este trabalho descreveu o delineamento de zonas de manejo para uma área experimental de cana-de-açúcar, a partir da utilização de dados de atributos do solo e da cultura obtidos por sensoriamento proximal e suborbital em conjunto com algoritmos de agrupamento de dados. Os resultados obtidos mostraram que zonas de manejo delineadas a partir desses atributos são capazes de auxiliar o produtor no tratamento de áreas espacialmente diferenciadas com relação à produtividade.

Palavras-chave: agricultura de precisão, aeronave remotamente pilotada, sensoriamento proximal, agrupamento de dados, produtividade da cultura.

DELINEATION OF SUGARCANE MANAGEMENT ZONES BASED ON SOIL AND CROP ATTRIBUTES AND GEORREFERENCED IMAGES

Abstract: Management zone maps, derived from different soil and crop attributes, can be used for different tasks performed within the precision agriculture context, such as fertilizer and corrective application, irrigation and planting. This work described the delineation of management zones for a sugarcane experimental area, based on the use of soil and crop attribute data obtained by proximal and sub orbital sensing with data clustering algorithms. The results showed that management zones delineated from these attributes are able to assist the farmer in the treatment of spatially differentiated areas regarding yield.

Keywords: precision agriculture, remotely piloted aircraft, proximal sensing, data clustering, crop yield.

1. Introdução

O manejo agrícola utilizando conceitos de agricultura de precisão (AP) tem sido impulsionado pela utilização de tecnologias de informação e comunicação (TIC) emergentes na era da agricultura digital (QUEIRÓS et al., 2014; MASSHURÁ e LEITE, 2015). Dentre essas tecnologias, além dos já amplamente utilizados sensores orbitais e proximais, que permitem a identificação da variabilidade espacial tanto do solo quanto da cultura, é notável o aumento da utilização de sensores sub orbitais a bordo de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), popularmente conhecidas como *drones* (JORGE et al., 2014). As câmeras a bordo das ARPs são capazes de obter imagens multiespectrais com resoluções espaciais submétricas que permitem a identificação semiautomática de plantas daninhas e doenças na cultura, bem como a sua variabilidade espacial por meio de índices de vegetação que podem ser correlacionados com a produtividade, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o NDRE (*Red-Edge*

NDVI) (AMARAL et al., 2015). Em comparação com imagens obtidas por meio de sensoriamento remoto, o sensoriamento suborbital, além de possibilitar a obtenção de imagens com maior resolução espacial, também evita o problema recorrente de presença de nuvens.

No contexto da AP, atividades como plantio, intervenções com aplicação de fertilizantes e corretivos, irrigação, dentre outras, podem ser geridas de maneira uniforme em sub-regiões com variabilidade espacial reduzida com relação aos atributos do solo e da cultura, conhecidas como zonas de manejo (ZM). Segundo Luchiari Junior et al. (2000), uma ZM pode ser definida como uma porção de terreno interna a um talhão onde o potencial de produção, a eficiência do uso de insumos e o risco de impacto ambiental são uniformes. Conceitualmente, as ZM devem ser estáveis no tempo. Desse modo, devem ser definidas com base em atributos não antrópicos, como é o caso da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo e dos índices vegetativos NDVI e NDRE.

Este trabalho teve como objetivo delinear zonas de manejo em uma área experimental de cultivo de cana-de-açúcar, considerando dados de CEa do solo, obtidos a partir de sensor proximal; e NDVI e NDRE, a partir de imagens capturadas por câmeras a bordo de ARPs. Foram utilizadas diferentes combinações entre esses atributos para identificar melhores correlações entre as ZMs e valores médios de produtividade, obtidos por meio de biometria realizada em campo.

2. Materiais e Métodos

O estudo foi realizado em um talhão de cana-de-açúcar da Fazenda Santa Helena, localizada em Ibaté-SP, com área de aproximadamente 15 hectares (ha), pertencente a Usina Santa Cruz. O sistema de plantio mecanizado atualmente adotado é do tipo meiosi (método interrotacional ocorrendo simultaneamente). Os dados obtidos para este estudo são da safra de cana-planta 2018/2019. Os dados de CEa do solo nas profundidades de 0,375 m e 0,75 m foram obtidos antes do plantio, em fevereiro de 2018, por meio de coleta de dados realizada com o sensor de indução eletromagnética EM38-MK2[®], na posição dipolo horizontal com espaçamento entre as bobinas receptoras do equipamento de 0,5 m e 1 m, respectivamente (SPERANZA et al., 2018). Também foram obtidas imagens multiespectrais com resolução espacial de aproximadamente 18 cm, a partir de câmeras a bordo de ARP em duas datas, entre os meses de outubro e dezembro de 2018, período de maior crescimento vegetativo da cultura e com a maior cobertura sobre o solo. A partir desses dados, foram gerados mapas de NDVI e NDRE para essas duas datas (Figura 1), além de imagens no espectro visível.

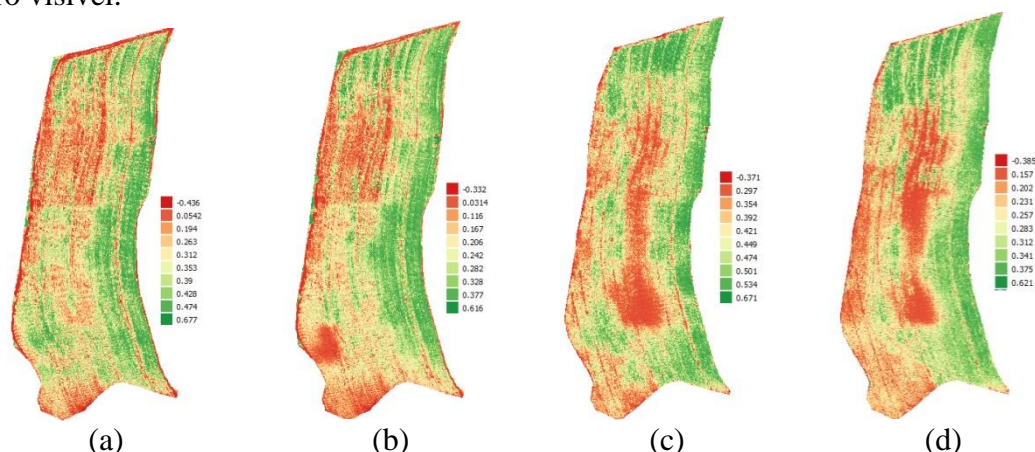


Figura 1. Mapas de índices de vegetação obtidos a partir de imagens multiespectrais capturadas por câmeras a bordo de ARP: (a) NDVI e (b) NDRE em outubro de 2018; (c) NDVI e (d) NDRE em dezembro de 2018. A escala de 10 cores para todos os mapas representa classes para os valores do índice correspondente, que vão desde o vermelho (menores valores) até o verde (maiores valores).

O delineamento de ZM foi realizado com a utilização de algoritmos de agrupamento de dados (XU e WUNSCH, 2005). Como o estudo foi realizado em uma área de produção relativamente pequena, e conforme as indicações de variabilidade do solo já verificadas no trabalho

desenvolvido em Speranza et al. (2018), foi fixada a quantidade de duas ZM para todas as combinações de atributos utilizadas. Os mapas de NDVI e NDRE foram extrapolados para a grade espacial utilizada originalmente para os dados de CEa (pixel de 5 m²), a partir do cálculo de valores médios de pixels das imagens originais contidos em cada pixel da nova grade. Com isso, pixels referentes à bordadura da área, que correspondem a valores negativos de NDVI e NDRE (Figura 1), acabaram sendo eliminados. Como entrada para os algoritmos de agrupamento foram utilizadas as seguintes combinações de atributos: (I) CEa do solo (0,375 m e 0,75 m de profundidade); (II) NDVI em ambas as datas; (III) NDRE em ambas as datas; (IV) NDVI e NDRE (outubro de 2018); (V) NDVI e NDRE (dezembro de 2018); (VI) NDVI e NDRE em ambas as datas; (VII) NDVI e NDRE (outubro de 2018) e CEa do solo (0,5m e 1m); (VIII) NDVI e NDRE (dezembro de 2018) e CEa do solo (0,375 m e 0,75 m de profundidade); (IX) todos os atributos.

A avaliação de biometria para estimativa de produtividade foi realizada em junho de 2019, considerando 31 pontos amostrais definidos por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e com base nas imagens do espectro visível (Figura 2a). Os colmos de cana-de-açúcar foram pesados em campo (Figura 2b), seguindo a metodologia descrita por GHILLER et al. (1999). Essa metodologia estima o peso total da parcela considerando o número de colmos pelo peso médio de colmos da área amostrada, permitindo a obtenção de estimativas pontuais de produtividade em toneladas por hectare. Para esse trabalho, foi utilizado o equipamento portátil GRS-1 (*Topcon Positioning Systems, Inc.*) para localização dos pontos planejados previamente para a área de amostragem. Esse equipamento possui sensor GNSS interno de alta precisão, capaz de obter sinais de satélites GPS e GLONASS das portadoras L1 e L2, e o software de navegação *TopSurv*, versão 8. Com a utilização desse equipamento, o erro médio de posicionamento dos pontos planejados com relação aos pontos executados foi de 50 cm. Desse modo, foram evitados maiores erros de localização considerando que a cultura estava com alto acamamento devido ao grande crescimento vegetativo característico da variedade (Sweet 9005HP, HP = hiperprecocidade).

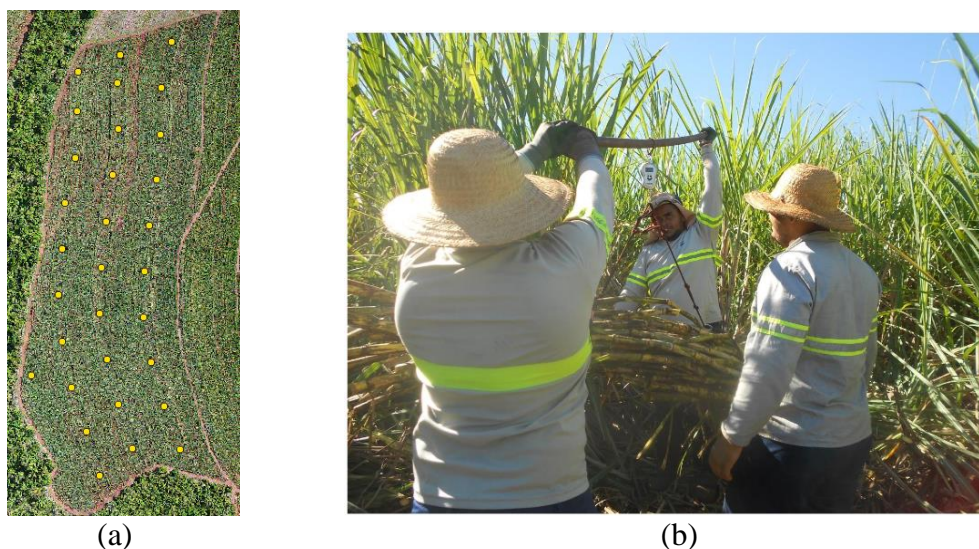


Figura 2. Planejamento e execução de biometria em campo: (a) imagem no espectro visível da área de estudo (créditos: Lucio A. C. Jorge) e pontos georreferenciados com a utilização de SIG; e (b) pesagem de colmos durante operação de biometria (créditos: Cristina A. G. Rodrigues).

3. Resultados e Discussão

A partir da metodologia descrita na Seção 2, foram gerados mapas contendo duas ZM, considerando as diferentes combinações de atributos propostas (I a IX). Os valores médios de produtividade, a área (em ha) e a área relativa com relação à área total de cada ZM gerada foram calculados, como forma de verificar quais mapas de ZM evidenciam mais as diferenças de produtividade da área de estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Produtividade estimada média (em ton/ha), área (em ha), área relativa à área total (em %) e diferença de produtividade nas diferentes ZM dos mapas obtidos a partir de diferentes configurações de atributos. CA: combinação de atributos; PM: produtividade média; ZM: zona de manejo; DP: diferença de produtividade.

CA	PM (ZM1)	PM (ZM2)	Área ZM1 (ha)	ZM1 (%)	Área ZM2 (ha)	ZM2 (%)	DP (ton/ha)
I	94,47	107,1	8,9	56,7	6,8	43,3	12,6
II	102,6	91,9	12,6	80,2	3,1	19,8	10,8
III	102,3	95,9	9,5	60,9	6,2	39,1	5,4
IV	99,2	100,9	6,8	43,1	8,9	56,9	1,8
V	101,4	83,1	14,8	94,5	0,9	5,5	18,3
VI	98,8	105,9	11,8	75,2	3,9	24,8	7,0
VII	94,0	109,9	8,7	55,5	7,0	45,5	15,8
VIII	96,6	102,1	5,5	35,0	10,2	65,0	5,6
IX	103,2	92,7	11,8	75,5	3,9	24,5	10,5

Os resultados da Tabela 1 mostram que a utilização dos índices NDVI e NDRE de outubro de 2018 (IV) proporcionaram ZM com diferença mínima de produtividade. Nesse caso, a dificuldade em separar ZM com produtividades distintas pode estar ligada ao fato de que, nesse período, a cultura ainda não havia atingido um nível de maturidade capaz de realizar uma diferenciação a partir desses índices. Por outro lado, essa diferença é bastante acentuada (~18 ton/ha) quando são utilizados os mesmos índices, coletados em dezembro de 2018 (V). Entretanto, esse resultado pode ter sido enviesado pela grande diferença de área entre as ZM, fazendo com que apenas 2 amostras fossem utilizadas para compor a média de produtividade da ZM 2 (Figura 3b). A configuração VII apresenta o segundo melhor nível de diferenciação de produtividade (~16 ton/ha) em duas ZM com área similar (Figura 3c). Esse fato também pode ser observado na configuração I (Figura 2a), porém como uma diferenciação menor com relação à produtividade (~13 ton/ha). Em resumo, os resultados mostram que a configuração VII aparenta ser a mais adequada para a área em questão, pois inclui atributos da cultura não utilizados pela configuração I que causaram pequenas modificações na distribuição geográfica das ZM, porém proporcionando uma distribuição mais robusta com relação à observação de diferenças na produtividade.

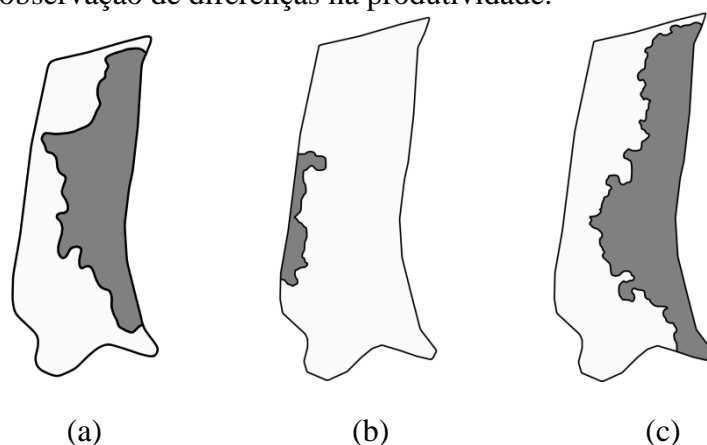


Figura 3. Mapas de ZM (identificadas por diferentes tons de cinza) a partir de diferentes combinações de atributos de entrada: (a) CEa do solo (0,375 m e 0,75 m de profundidade); (b) NDVI e NDRE (dezembro de 2018); (c) NDVI e NDRE (outubro de 2018) e CEa do solo (0,375 m e 0,75 m de profundidade).

4. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados mapas de ZM para uma área experimental de cultivo de cana-de-açúcar obtidos a partir de atributos do solo e da cultura. Os resultados mostraram que tanto os dados de CEa do solo, quanto os índices vegetativos, em uma resolução espacial aceitável, podem proporcionar a obtenção de mapas de ZM capazes de expressar a variabilidade espacial de uma área de cultivo e serem úteis para posteriores intervenções espacialmente diferenciadas.

Agradecimentos

Agradecemos à Usina Santa Cruz, pela disponibilização da área experimental e equipe de campo para auxiliar nos trabalhos.

Referências

- AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P.; PORTZ, G.; FINAZZI, F. B.; CORTINOVE, L. Comparison of crop canopy reflectance sensors used to identify sugarcane biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, v. 16, n. 1, p. 15-28, 2015.
- GHELLER, A.C.A.; MENEZES, L.L.; MATSUOKA, S.; MASUDA, Y.; HOFFMANN, H.P.; ARIZONO, H.; GARCIA, A.A.F. Manual de método alternativo para medição da produção de cana-de-açúcar. Araras: UFSCAR/CCA/DBV, 1999. 7p.
- JORGE, L.A.C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A.C.C. et al. (Ed). *Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014, p. 109-134.
- LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; LIEBIG, M.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; PAYTON, S. Strategies for Establishing Management Zones for Site Specific Nutrient Management. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE*, 5, 2000, Minneapolis. Proceedings.. Minneapolis: University of Minnesota, 2000.
- MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A. Agricultura digital. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, v. 2, n. 1, p. 72-88, 2016.
- QUEIRÓS, L. R.; LUCHIARI JUNIOR, A.; CAMARGO NETO, J., MASSHURÁ, S. M. F. S.; INAMASU, R. Y.; SPERANZA, E. A.; EVANGELISTA, S. R. M. Análise das possibilidades e tendências do uso das tecnologias da informação e comunicação em Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A.C.C. et al. (Ed). *Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014, p. 97-108.
- SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; SANCHES, G. M.; LUCHIARI JUNIOR, A. Caracterização da variabilidade espacial do solo a partir de medidas de condutividade elétrica. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO*, 2018, Curitiba. *Construção dos dados na era da digitalização agrícola: anais*. [S.l.]: AsBraAP, [2018]. p. 329-334. ConBAP 2018.
- XU, Rui; WUNSCH, Donald C. Survey of clustering algorithms. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v. 16, n.3, p. 645-678, 2005.