

SENSORIAMENTO PROXIMAL E ORBITAL PARA MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS
FÍSICO-QUÍMICOS DE SOLOS AGRÍCOLAS

JOÃO VÍTOR FIOLO POZZUTO¹, HENRIQUE OLDONI², LUCAS RIOS DO
AMARAL³

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, Feagri/Unicamp, Campinas-SP, jvpozzuto@gmail.com.

² Eng. Agrícola, Pós-doutorando, NIPE/Unicamp, Campinas-SP.

³ Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Feagri/Unicamp, Campinas-SP.

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: A densa amostragem de solos para satisfatório mapeamento das propriedades físico-químicas na agricultura de precisão (AP) apresenta custo elevado, cabendo estudos de novas técnicas auxiliares, como utilização de sensoriamento proximal e orbital, que consigam transcrever as características do solo. Para isso, objetivou-se relacionar informações de condutividade elétrica aparente (CEa), obtidas com os sensores EM38 e TSM, suscetibilidade magnética (SM), via sensor EM38, e as bandas SWIR1 e SWIR2 de solo exposto do satélite Sentinel-2. Foi utilizada uma área agrícola em Cosmópolis-SP, onde os dados de sensoriamento e amostragem de solos foram tomados para correlações e regressões. Observou-se que as melhores correlações ocorreram entre a capacidade de troca catiônica (CTC) e SM ($r=-0,70$) e entre CTC e CEa_{EM38} ($r=0,68$), além da areia e argila com a SM ($r, 0,69$ e $-0,64$). A CEa e SM foram as que mais traduziram informações de solo quando avaliados pelos modelos de regressão múltipla, porém sendo a SM mais confiável, por ser menos suscetível a fatores externos à coleta. Conclui-se que a CEa e SM são mais precisas que as variáveis orbitais (SWIR1 e 2) para o mapeamento de solo, mas devem ser utilizadas em conjunto para melhores modelos.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de Precisão, Fertilidade do solo, Suscetibilidade Magnética

**PROXIMAL AND ORBITAL SENSING TECHNIQUES FOR MAPPING THE
TEXTURE AND PHYSICOCHEMICAL ATTRIBUTES OF AGRICULTURAL SOILS**

ABSTRACT: Dense soil sampling for precise mapping of physicochemical properties in Precision Agriculture (PA) is costly. Therefore, new studies in techniques like proximal and orbital sensing should be made to capture soil characteristics. This study aimed to relate information on Apparent Electrical Conductivity (CEa) from EM38 and TSM sensors, Magnetic Susceptibility (SM) from the EM38, and SWIR1 and SWIR2 bands of bare soil. Data from an agricultural area in Cosmópolis-SP were used for correlations and regressions. The best correlations were found between soil CTC and SM ($r=-0.70$) and CTC and CEa_{EM38} ($r=0.68$), as well as between sand and clay content and SM ($r=0.69$ and -0.64). CEa and SM were the variables that most accurately represented soil information, with SM being more reliable due to less influence on external factors during data collection. In conclusion, CEa and SM are more precise than orbital variables (SWIR1 and SWIR2) for soil mapping but should be used together for better models.

KEYWORDS: Precision Agriculture, Soil Fertility, Magnetic Susceptibility

INTRODUÇÃO: O aumento da população global leva a uma crescente demanda por alimentos, o que se traduz na necessidade de aumentar as áreas agrícolas e/ou a produtividade nas áreas já instaladas, necessitando tratamentos mais assertivos. Molin, Amaral, Colaço (2015) recordam que as áreas utilizadas para fins agropecuários não são necessariamente uniformes, podendo necessitar de diferentes tratamentos, utilizando-se, portanto, dos preceitos da agricultura de precisão (AP), que, segundo a Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (ISPA, 2021), se trata de uma estratégia de gestão que utiliza dados temporais, individuais e espaciais para gerenciamento baseado na variabilidade. Assim, para aplicar os fundamentos de AP é necessário ter informações espacializadas e de qualidade sobre a lavoura. No caso de atributos físico-químicos de solo, para que seja possível uma boa representação da variabilidade, é necessária uma alta densidade amostral (Amaral; Justina, 2019; Cherubin et al., 2014), que, por seu elevado custo, pode ser impeditiva, levando à necessidade de métodos alternativos para o auxílio no mapeamento dos parâmetros. Algumas técnicas de sensoriamento são usadas para representar tal variabilidade físico-química, como condutividade elétrica aparente de solo (CEa) (CORWIN, LESCH, 2005; SANCHES et al., 2015), a suscetibilidade magnética do solo (SM) (CATELAN et al., 2022; RAMOS et al., 2021) e das bandas SWIR1 e 2 (PUSCH et al., 2021). Contudo, são escassos trabalhos que comparem as técnicas de sensoriamento e sua complementariedade. Com isso, objetivou-se, neste trabalho, explorar a relação entre as variáveis de sensoriamento proximal e orbital, mais especificamente a CEa, SM e bandas SWIR1 e SWIR2, com as propriedades físico-químicas do solo, comparando assim os tipos de informação e sensores.

MATERIAL E MÉTODOS: Para o estudo, foi adotada uma área de 106 ha, com cultivo de duas safras de grãos por ano, no município de Cosmópolis-SP (22°42' sul e 47°11' oeste); com altitude média de 560 m acima do nível do mar e Clima subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação climática de Köppen e Geinge (ALVARES et al., 2013). A área está situada majoritariamente em um Latossolo vermelho, com pequena parte de um Gleissolo Háptico. Foram coletadas 244 amostras de solo ao longo da área (Figura 1), na camada de 0-0,20 m, para determinação de parâmetros texturais (argila, silte e areia) e de fertilidade de solo (fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC), pH e saturação por bases (V%)). Então, para a avaliação da relação entre variáveis, nesses mesmos pontos, via software SIG, foram extraídos dados da CEa obtida por dois sensores diferentes: o sensor TSM da Geoprospectors, na camada de 0-0,5 m de profundidade e sensor EM38 MKII da Geonics, na camada de 0-0,37 m. Também provindo deste último, foi extraída a SM em mesma profundidade. Ainda, foram extraídas as bandas SWIR1 (1610 nm) e SWIR2 (2190 nm) de uma imagem sintética de solo (Synthetical Soil Image – SYSI) provinda do sensor MSI do Sentinel-2 (SILVERO et al., 2021). Também foram plotados mapas das informações destes sensores para entendimento da variabilidade espacial. Posteriormente, os dados foram tratados e foi realizada correlação de Spearman entre as variáveis de sensoriamento e as de solo, buscando assim variáveis que apresentem correlações significativas ($p < 0,05$) entre si. Não só, foram testados modelos de regressão múltipla para todas as variáveis físico-químicas de solo, de forma a entender quais informações de sensoriamento poderiam prever quais variáveis de solo. Para tal, diversas combinações foram testadas até que os modelos possuíssem somente variáveis significativas ($p < 0,05$), sendo possível inferir sobre a complementariedade dos dados de sensoriamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A partir dos mapas gerados por sensoriamento (Figura 1) foi possível verificar que a CEa_{EM38} apresentou uma zona de valores diferentes (verdes) na

porção esquerda inferior, provavelmente causado por influências no momento da coleta, entre a troca de talhões, ou aquecimento do solo e do sensor ao longo da coleta, podendo influenciar nos resultados. Tal fato não ocorreu nos mapas de SM, apesar da coleta ser realizada com o mesmo equipamento e de forma simultânea, fato possivelmente dado por ser um sinal menos suscetível à umidade e temperatura, por exemplo. Assim, a SM deve ser preferida ao usar o sensor EM38. Contudo, os dados de CEa_{TSM} não apresentaram esse efeito, talvez por ser um sensor menos suscetível ao problema de temperatura e/ou devido a medida ser realizada em uma camada mais profunda de solo.

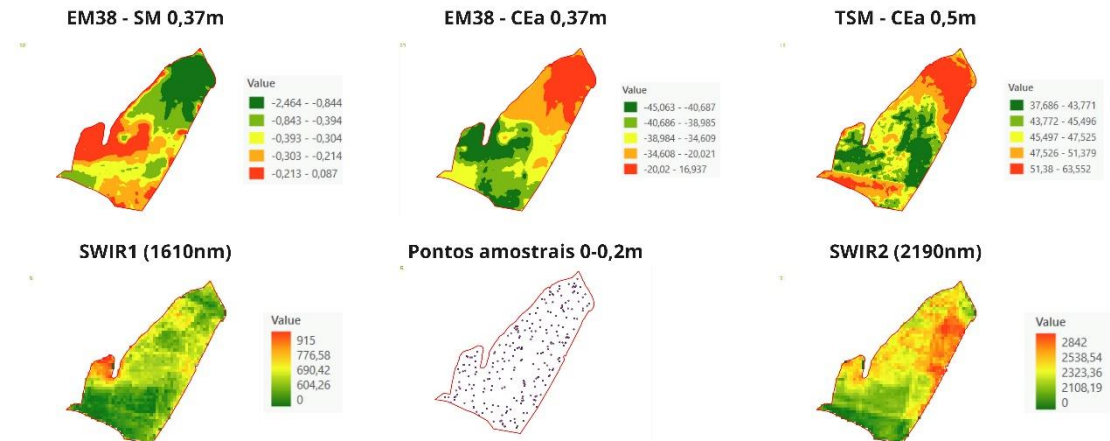


FIGURA 1. Mapas das informações provindas dos sensores proximais e orbitais e amostragens.

Dentre as correlações realizadas entre as covariáveis (sensores) e variáveis de solo (Tabela 1), destacam-se a CTC com SM e CEa_{EM38} ($r=-0,70$ e $0,68$), areia com SM ($r=0,69$) e argila com SM ($r=0,64$). Por sua vez, dentre os modelos de regressão, os que mais se destacaram foram a predição da CTC ($r^2=0,54$), da areia ($r^2=0,49$), do Mg ($r^2=0,45$) e argila ($r^2=0,44$). Realizando uma contagem de quais variáveis de sensoriamento foram significativas para cada modelo, obteve-se que as mais utilizadas, ou seja, que mais traduziram informações de solo, foram a CEa_{TSM}, a CEa_{EM38} e a SM, com, respectivamente, 8, 7 e 6 utilizações. Já as bandas vindas da SYSI, SWIR1 foi utilizada 4 vezes e SWIR2 apenas 2, mostrando que informações de sensoriamento proximal tendem a predizer melhor as propriedades de solo que as orbitais, possivelmente porque as imagens representam somente a superfície do solo (e não em profundidade), além da dificuldade de se ter uma única imagem de solo exposto que englobe a área toda (PUSCH et al., 2021), ficando suscetível à composições de imagens que podem apresentar algum tipo de distorção radiométrica.

TABELA 1. Correlações e significância entre os parâmetros de solo e os dados dos sensores.

	EM38 SM	EM38 CEa	TSM CEa	SWIR1	SWIR2
P	0,25***	-0,31***	-0,15*	-0,31***	-0,31***
K	-0,59***	0,61***	0,50***	0,13	0,15
Ca	-0,44***	0,42***	0,33***	-0,02	-0,02
Mg	-0,57***	0,60***	0,49***	0,19	0,20
MO	-0,39***	0,32***	0,31***	-0,15**	-0,14**
CTC	-0,70***	0,68***	0,57***	0,07	0,08
pH	0,14	-0,16	-0,16*	-0,18*	-0,18*
V%	-0,22***	0,23***	0,13*	0,02	0,03
Argila	-0,64***	0,57***	0,45***	-0,20***	-0,20***
Silte	-0,28***	0,31***	0,30***	0,23**	0,23**
Areia	0,69***	-0,65***	-0,51***	0,12**	0,12**

Grau de Significância: *** 0.001 ** 0.01 * 0.05.

CONCLUSÕES: O sensoriamento proximal e orbital desempenha um papel fundamental no mapeamento dos atributos físico-químicos dos solos agrícolas e pode servir para possíveis otimizações de amostragem de solos, diminuindo o elevado custo de uma grade densa de pontos. Dentre as técnicas utilizadas, a SM destaca-se ao apresentar maiores correlações com os atributos do solo e maior importância nas regressões. Porém, conclui-se que, idealmente, as técnicas de sensoriamento proximal e orbital devam ser utilizadas em conjunto para adequada predição de parâmetros de solo.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, processos nº 2022/03160-8, 2023/02532-1 e 2020/02223-0; à Dra. Maiara Pusch pela coleta e disponibilização de parte dos dados utilizados neste trabalho e ao professor José A. M. Demattê pela disponibilização da imagem SYSI.

REFERÊNCIAS:

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMARAL, L. R.; JUSTINA, D. D. Spatial dependence degree and sampling neighborhood influence on interpolation process for fertilizer prescription maps. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 85–95, 2019.

CATELAN, M. G. et al. Sugarcane yield and quality using soil magnetic susceptibility. **Scientia Agricola**, v. 79, n. 4, 2022.

CHERUBIN, M. R. *et al.* Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 425–432, 2014.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1- 3 SPEC. ISS., p. 11–43, 2005.

INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE (ISPA). Precision Ag Definition, 2021. Disponível em: <<https://www.ispag.org/about/definition>>. Acesso em: 02 Junho 2023.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

PUSCH, M. et al. SOIL PROPERTIES MAPPING USING PROXIMAL AND REMOTE SENSING AS COVARIATE. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 6, p. 634–642, 2021.

RAMOS, P. V. et al. Magnetic susceptibility in the prediction of soil attributes in southern Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 1, p. 102–116, 1 jan. 2021.

SANCHES, G. M. et al. **Amostragem Inteligente para Caracterização da Variabilidade Espacial do Solo por meio da Condutividade Elétrica Aparente**. VII Simpósio Tecnologia de Produção de Cana-de-açúcar. **Anais...**Piracicaba-SP: 10 jul. 2015.

SILVERO, N. E. Q. et al. Soil variability and quantification based on Sentinel-2 and Landsat-8 bare soil images: A comparison. **Remote Sensing of Environment**, v. 252, 1 jan. 2021.