

## CORRELAÇÃO DE IMAGENS SAR COM TEXTURA E MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLOS AGRÍCOLAS

ISABELLA ALVES DA CUNHA<sup>1</sup>, CENNEYA LOPES MARTINS<sup>2</sup>, DERLEI DIAS MELO<sup>3</sup>, LUCAS RIOS DO AMARAL<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng. Cartógrafa. Mestranda em Engenharia Agrícola, Depto. de Eng. Agrícola/UNICAMP - SP, i217204@dac.unicamp.br

<sup>2</sup> Eng. Agrônoma. Doutoranda em Engenharia Agrícola, Depto. de Eng. Agrícola /UNICAMP - SP

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo. Mestrando em Engenharia Agrícola, Departamento de Eng. Agrícola/UNICAMP - SP

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo. Prof. Doutor, Depto. de Eng. Agrícola /UNICAMP - SP

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

**RESUMO:** O objetivo desta pesquisa foi avaliar qual tipo de processamento de imagem SAR (*Synthetic Aperture Radar*) apresenta melhor correlação com a textura e matéria orgânica de solos agrícolas. Para isso, obtivemos uma imagem SAR provindo da missão Sentinel-1, de uma área de produção comercial de cana-de-açúcar com aproximadamente 90 ha, localizada em Descalvado, SP. A imagem SAR foi processada a fim de obter dados de coeficientes de retroespalhamento, entropia e ângulo  $\alpha$  em período de solo exposto. Após o processamento, tais dados foram correlacionados com a textura e a matéria orgânica do solo. Como resultado, o retroespalhamento na polarização VV gerou as maiores correlações ( $r = 0,29$ ). Além disso, houve correlação negativa do coeficiente de retroespalhamento com teor de areia e positiva com argila, silte e matéria orgânica. A tecnologia SAR mostrou-se relevante para a avaliação da variabilidade de solos agrícolas, embora sejam necessárias mais pesquisas para aprimorar e explorar seu potencial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento Remoto; Fertilidade do solo; Agricultura de Precisão

## CORRELATION OF SAR IMAGES WITH TEXTURE AND ORGANIC MATTER OF AGRICULTURAL SOILS

**ABSTRACT:** The objective of this research was to evaluate which type of Synthetic Aperture Radar (SAR) image processing presents a better correlation with the texture and organic matter of agricultural soils. For this purpose, we obtained a SAR image from the Sentinel-1 mission, from a commercial sugarcane production area of approximately 90 ha, located in Descalvado, SP, Brazil. The SAR image was processed to obtain backscattering coefficient, entropy, and  $\alpha$  angle data during the bare soil period. After processing, these data were correlated with the soil texture and organic matter. As a result, backscattering in the VV polarization showed the highest correlations ( $r = 0,29$ ). Furthermore, there was a negative correlation between backscattering coefficient and sand content, and a positive correlation with clay, silt, and organic matter. SAR imagery proved to be relevant for the assessment of agricultural soil variability, although further research is needed to enhance and explore its potential.

**KEYWORDS:** Remote Sensing; Soil Fertility; Precision Agriculture

**INTRODUÇÃO:** Sistemas sensores de Radar de Abertura Sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*) tem despertado interesse para uso em áreas agrícolas devido a sua capacidade de obter informações sobre a superfície independente das condições climáticas e da iluminação solar (MULDER et al., 2011). As imagens SAR possuem capacidades únicas em termos de penetração em objetos e sensibilidade às propriedades de superfície, além de permitirem controle de polarização da radiação eletromagnética. A resposta da interação entre as ondas de radar e a superfície solo resulta em uma resposta que varia de acordo com a textura, rugosidade da imagem, umidade do solo, permitindo a distinção entre diferentes tipos de uso e cobertura do solo em extensas áreas (ZHANG et al, 2015), sendo que quando o solo está seco, as ondas de banda C podem penetrar até 2,5 centímetros no solo (SCHMUGGE, 1983). Embora as imagens ópticas ofereçam maior facilidade de manipulação e interpretação, elas podem ter limitações em termos de condições climáticas e disponibilidade temporal em épocas com maior incidência de nuvens, além da limitação da presença de solo completamente livre de restos culturais.

A imagem SAR traz a possibilidade de diferentes tipos de processamentos onde permite explorar as imagens a partir de várias perspectivas. Com um dado processamento de imagem SAR é possível extrair os coeficientes de retroespalhamento, o qual possui relação com o volume do alvo e apresenta alta sensibilidade à água (NASIRZADEHDIZAJI et al., 2021). Além disso, com um processamento diferente do anterior, pode-se obter a entropia, que representa a maneira como os dados se dispersam, e o ângulo  $\alpha$ , o qual pode ser usado para identificar o mecanismo de espalhamento da energia ao interagir com o alvo (YIN et al., 2009). Contudo, os dados SAR podem ser processados de diferentes maneiras, o que pode gerar comportamentos bem distintos nas imagens. Tal processamento é função de como o sinal interage com o alvo e do objetivo do levantamento, sendo que se carece de informações sobre a melhor forma para avaliação de solos agrícolas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar qual forma de processamento de dados SAR é mais adequada para fins de correlação com os atributos do solo, podendo, assim, contribuir como uma variável auxiliar adicional nos mapeamentos realizados na agricultura de precisão (AP). Com isso, busca-se identificar a melhor abordagem para aproveitar o potencial das imagens SAR como ferramenta de suporte para estudos de mapeamento digital de solos e práticas agrícolas de maior precisão.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A pesquisa foi conduzida em uma área de 90 ha com produção comercial de cana-de-açúcar, localizada no município de Descalvado - SP. Dados de análise de solo foram coletados em 96 pontos georreferenciados antes do plantio da cana de açúcar, distribuídos de forma regular com distância de 100m de forma que abrangesse toda a área (Figura 1). Devido às características do sinal SAR, há potencial para alterações em função da textura e matéria orgânica, sendo as propriedades do solo analisadas neste trabalho. A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi obtida com o sensor EM38 (Figura 2) ao longo de toda a área de estudo. A CEa é um dado que reconhecidamente tem relação com textura do solo (Molin e Rabello, 2011) e coletada em alta densidade, sendo usada neste trabalho como uma referência para comparação dos dados SAR.



FIGURA 1. Mapa da localização da área de estudo, com os pontos amostrais e mapa dos dados de condutividade elétrica coletado com o sensor EM38.

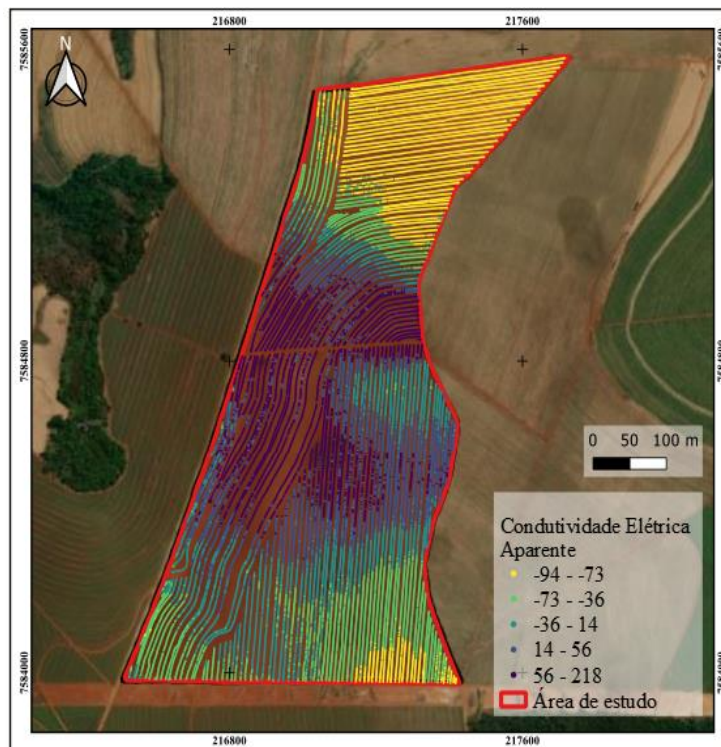


FIGURA 2. Mapa dos dados de condutividade elétrica coletado com o sensor EM38.

Foi obtida uma imagem SAR da missão Sentinel-1 referente à data de 20 junho de 2020, momento em que houve a reforma do canal, ficando o solo exposto. Esse sensor opera na banda C das micro-ondas com comprimento de onda de 5.54 cm, possuindo dupla polarização (VH, na qual emite o sinal na vertical e recebe horizontalmente e VV, onde emite o sinal na vertical e recebe também verticalmente) no nível SLC (*Single Look Complex*) no modo de

aquisição IW (*Interferometric Wide*). A imagem tem resolução espacial de 14,78m após passar pelos pré-processamentos (Figura 3). Por ser obtido como um dado SLC/IW foi possível obter os coeficientes de retroespalhamento ( $\sigma_{VV}^0$  e  $\sigma_{VH}^0$ ) e realizar a decomposição polarimétrica de Cloude-Pottier para duas polarizações, na qual gera, para dados dual pol, a entropia (H) e o ângulo  $\alpha$  (Cloude, 2007). Em seguida, foram extraídos os valores dos pixels das imagens geradas e da condutividade elétrica aparente do solo, que foi interpolada por krigagem ordinária, em relação aos pontos de solo. Após as análises de distribuição dos dados, foi realizada a análise de correlação de Spearman entre os dados obtidos a partir das imagens, o mapa de condutividade elétrica aparente do solo e as propriedades do solo em estudo.

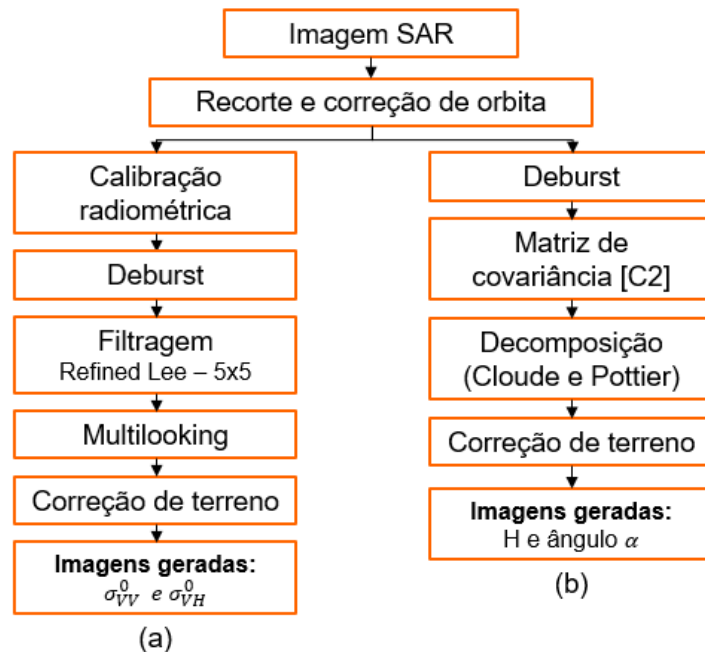


FIGURA 3. (a) Processamento para obtenção dos coeficientes de retroespalhamento e (b) processamento para obter a entropia e o ângulo  $\alpha$ .

Após a aplicação dos processamentos na imagem SAR, foram geradas imagens contendo os valores dos coeficientes de retroespalhamento, entropia e ângulo alfa (Figura 4). Na visualização das imagens, é notável que diferentes modos de processamento das imagens SAR produzem resultados distintos. Cada método de processamento ressalta diferentes características e aspectos da superfície terrestre, proporcionando uma visão variada das informações capturadas pelo sensor SAR.

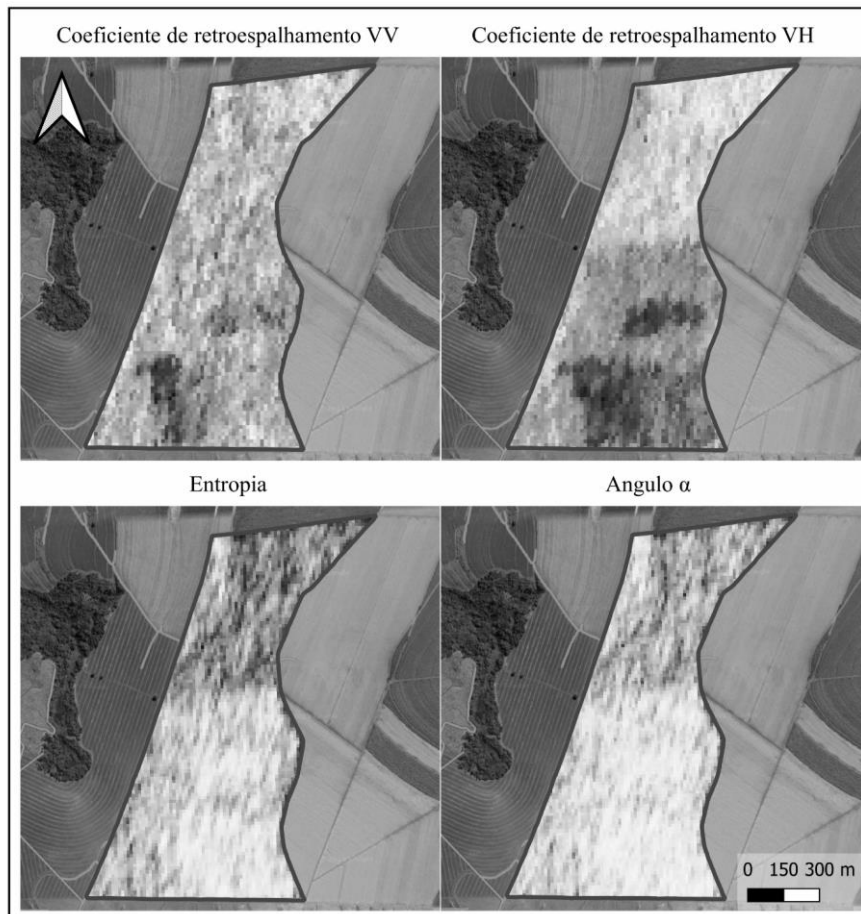


FIGURA 4. Imagens resultantes do pré-processamento da imagem SAR

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Após calcular as correlações, constatou-se que os dados de coeficiente de retroespalhamento apresentaram os melhores resultados em relação aos atributos do solo (conforme Tabela 1). Especificamente, a polarização VV foi a que demonstrou as correlações maiores e mais significativas entre as variáveis analisadas. Essa polarização é sensível à textura da superfície do solo e retroespalha mais energia em superfícies úmidas (LI et al., 2021). A polarização VH apresentou correlações menores em comparação com a polarização VV, devido à sua maior sensibilidade à componente vertical do retroespalhamento e a estruturas com maior altura. No contexto deste estudo, que analisa solo exposto, as variações verticais não estão presentes, o que pode explicar a diferença nos resultados entre as polarizações. Valores positivos de entropia indicaram complexidade e desorganização nos mecanismos de espalhamento do alvo, correlacionados com a umidade e o ângulo  $\alpha$ , sugerindo heterogeneidades na superfície do solo.

Solos com maior teor de argila apresentam maior capacidade de retenção de matéria orgânica do solo (MOS), o que contribui para a fertilidade e estrutura do solo. A textura do solo está diretamente relacionada à retenção e transporte de água, explicando a correlação positiva com argila e matéria orgânica, e a correlação negativa com areia nos dados de retroespalhamento, indicando menor teor de umidade em solos arenosos, corroborado pela mesma direção das correlações com os dados de CEa. As imagens SAR, com menor densidade de dados, mostraram limitações nessa captura. Esse resultado destaca a importância da densidade de dados e resolução espacial na interpretação das relações entre as variáveis.

Apesar de analisadas apenas textura do solo e matéria orgânica do solo que existe relação direta, foi analisada outras propriedades do solo. O fósforo apresentou correlação de  $-0,53^{***}$  para o retroespalhamento na polarização VV, enquanto para a polarização VH foi apenas de  $-0,19^*$ . É

importante ressaltar que essa relação não é direta e pode variar dependendo de diferentes fatores. A textura do solo, que se refere à proporção de partículas de diferentes tamanhos, pode influenciar a disponibilidade e a retenção de nutrientes no solo, incluindo o fósforo. No entanto, ela não é o único fator determinante para a concentração de fósforo no solo, apesar de ter dado boa correlação, não significa que podemos utilizá-las através de dados SAR.

Apesar de serem baixas, as correlações entre as variáveis são significativas. Isso mostra que a informação presente em dados SAR pode explicar parte da variabilidade dos solos agrícolas, além de se mostrarem promissoras como uma ferramenta útil para complementar a compreensão das propriedades do solo em estudos agrícolas e de mapeamento digital de solos. Logo, as imagens SAR podem ser informações úteis em estudos que visem o mapeamento digital de solos como covariáveis (PUSCH et al., 2022), além de que podem ser utilizados como dados paliativos quando há limitações de recursos e restrições financeiras para estudos diretos do solo. Pesquisas anteriores, como as de Nasirzadehdizaji et. al. (2021) e Bhogapurapu et. al. (2022) mostraram que a utilização dessas imagens pode contribuir para a agricultura de precisão. No entanto, é necessário realizar estudos com outros modos de processamento de imagens SAR para explorar seu potencial nesse contexto.

TABELA 1. Correlação entre os resultados dos processamentos da imagem SAR, CEa e textura e matéria orgânica do solo.

FATOR	Retroespalhamento VV	Retroespalhamento VH	Entropia (H)	ângulo $\alpha$	CEa
Areia	-0,25*	-0,18*	0,23*	0,22*	-0,93***
Silte	0,20*	0,19*	-0,13 <sup>NS</sup>	-0,16 <sup>NS</sup>	0,88***
Argila	0,26*	0,17*	-0,26*	-0,24*	0,92***
MOS	0,29**	0,30**	-0,20*	-0,19*	0,69***
CEa	0,19***	0,25***	0,20***	0,25***	

<sup>NS</sup>: correlação não significativa; \*: significativa a 5%, \*\*: 1% e \*\*\*: 0,1%.

**CONCLUSÕES:** O retroespalhamento na polarização VV é o método de processamento mais promissor para estudos que buscam utilizar imagens SAR para avaliação da variabilidade de solos agrícolas. Embora as correlações encontradas foram baixas, essas imagens possuem o potencial de fornecer informações adicionais para a compreensão dos solos agrícolas.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos o apoio do Prof. Dr. do Departamento de Geografia/UnB, Gustavo Macedo de Mello Baptista pelas considerações relevantes neste trabalho, ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), projeto FAPESP n° 2022/03160-8, ao Igor Valente pela coleta das amostras de solo e à Usina Ipiranga pela disponibilização da área de estudo.

## REFERÊNCIAS:

- BHOGAPURAPU, N. ET AL. Soil moisture retrieval over croplands using dual-pol L-band GRD SAR data. **Remote Sensing of Environment**, v. 271, p. 112900, 2022.
- CLOUDE, S. R. The dual polarization entropy/alpha decomposition: a PALSAR case study. In: POLINSAR WORKSHOP, 2007, Frascati, Italy. Abstracts... Frascati: ESA, 2007. p.19.
- LI, Z. L., LENG, P., ZHOU, C., CHEN, K. S., ZHOU, F. C., & SHANG, G. F. Soil moisture retrieval from remote sensing measurements: Current knowledge and directions for the future. **Earth-Science Reviews**, 218, 2021

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 90-101, 2011.

MULDER, V. L. et al. The use of remote sensing in soil and terrain mapping—A review. **Geoderma**, v. 162, n. 1-2, p. 1-19, 2011.

NASIRZADEHDIZAJI, R. et al. Sentinel-1 interferometric coherence and backscattering analysis for crop monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 185, p. 106-118, 2021.

PUSCH, M., SAMUEL-ROSA, A., OLIVEIRA, A. L. G.; MAGALHÃES, P. S. G.; DO AMARAL, L. R. Improving soil property maps for precision agriculture in the presence of outliers using covariates. **Precision Agriculture**, v. Online, p. 1-29, 2022.

SCHMUGGE, T. J. Remote sensing of soil moisture: Recent advances. **Geoscience and Remote Sensing**, (3), 336-344, 1983.

YIN, J. J.; YANG, J.; YAMAGUCHI, Y. A new method for polarimetric SAR image classification. **2nd Asian-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar**, Xi'an, China. p. 733-737, 2009

ZHANG, H., LIN, H. Y. LI, "Impacts of Resource Normalization on Optical and SAR Data Fusion for Land Use/Land Cover Classification ", **Geoscience and Remote Sensing Letters**, vol. 12, pp. 1061-1065, 2015