

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DAS IMAGENS SENTINEL-1 PARA O MONITORAMENTO DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

Paulo Roberto da Silva Ruiz¹, Fábio Furlan Gama¹, Ieda Del'Arco Sanches¹, Cláudia Maria de Almeida¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Caixa Postal 515 – 12227-010 – São José dos Campos – SP – Brasil, paulo.ruiz@inpe.br; fabio.furlan@inpe.br; ieda.sanches@inpe.br; almeida@dsr.inpe.br

RESUMO

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos do agronegócio brasileiro. Por esse motivo, seu monitoramento é muito importante por possibilitar o aumento da produtividade do cultivo. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo analisar o potencial das imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR - *Synthetic Aperture Real*) banda C da missão Sentinel-1 para o monitoramento da produtividade da cana-de-açúcar em uma área no município de Rancharia, interior oeste do estado de São Paulo. Foram selecionadas e processadas 11 imagens no período de 2015 a 2017, obtendo-se os coeficientes de retroespalhamento σ^0 , visando à aplicação de regressão estatística aos dados de produtividade da área. Os resultados revelam que há uma alta correlação entre σ^0 e os dados de produtividade.

Palavras-chave — SAR, banda C, produtividade, cana-de-açúcar.

ABSTRACT

Sugarcane is one of the main products of Brazilian agribusiness. For this reason, the monitoring of plantations is of extreme importance in order to achieve an increase in their productivity. In this sense, this work aims to analyze the potential of the Sentinel-1 mission C-SAR images in the monitoring of sugarcane productivity in an area in the municipality of Rancharia, in the western inland of São Paulo state. We selected and processed 11 SAR images in the period from 2015 to 2017, obtaining backscatter coefficients σ^0 to apply statistical regression using the productivity data of the area. The results show that there is a high correlation between σ^0 and the productivity data.

Key words — SAR, C band, productivity, sugarcane

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos do agronegócio brasileiro, caracterizando o país como o maior produtor mundial dessa commodity. O estado de São Paulo possui a liderança em termos de área plantada e de cana moída, perfazendo respectivamente 55% e 56% do total

nacional na safra 2016/2017, segundo dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA [1].

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene com uma duração de ciclo de quatro a cinco cortes. Ao longo dos cortes, a tendência é a perda gradativa em sua produtividade [2]. Devido a essas características, é imprescindível o acompanhamento de seu crescimento vegetativo, a fim de estimar a produtividade entre os sucessivos cortes.

Um dos grandes problemas do imageamento a partir de sensores ópticos é a cobertura de nuvens, que é mais intensa nas estações chuvosas, prejudicando o acompanhamento do desenvolvimento de diversas culturas agrícolas, inclusive da cana-de-açúcar. Assim, o uso de dados provenientes de sensores de radar de abertura sintética (SAR – *Synthetic Aperture Real*) para o monitoramento agrícola se intensifica, devido a sua capacidade de obter imagens independentemente das condições de tempo e de iluminação [3]. Associada a essa característica, está a recente disponibilidade de imagens oferecidas gratuitamente pela Agência Espacial Européia (ESA) das missões Sentinel-1, o que contribui enormemente para difundir o uso de dados SAR em diversas aplicações. Nesse sentido, especificamente no tocante à cana-de-açúcar, destacam-se trabalhos para discriminar as fases fenológicas da mesma a partir de imagens multipolarizadas do sensor ALOS/PALSAR [4] e estudos de estimativa de produtividade agrícola da cana-de-açúcar, como o trabalho que utilizou como entrada do modelo de produtividade dados ALOS/PALSAR [5].

Um dos aspectos mais interessantes da interação da energia em imagens SAR é o seu poder de penetração nos alvos, obtendo dados de suas estruturas internas. Por essa razão, através do retroespalhamento dos alvos, é possível estimar seus parâmetros biofísicos, como altura, volume e biomassa. Trabalhos como os de [6] e [7] demonstram a eficiência dos dados SAR em monitorar e estimar a biomassa de áreas florestadas.

Assim, o objetivo do presente trabalho reside em realizar o monitoramento da produtividade de uma área de cultivo de cana-de-açúcar utilizando dados SAR da missão Sentinel-1 entre os anos de 2015 e 2017.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreendeu uma plantação de cana-de-açúcar de 300 ha pertencente à Fazenda Bartira, no município de Rancharia, interior do estado de São Paulo,

delimitada pelas coordenadas 22°10'05''S e 22°11'19''S e 50°58'40''O e 50°58'11''O. A região apresenta clima tropical, com estações secas e úmidas bem definidas ao longo do ano. O verão é longo, quente, abafado e de céu quase encoberto. Em contrapartida, o inverno é curto e de céu quase sem nuvens. A temperatura média é de 21,1° C, variando ao longo do ano entre 15° C e 31° C e raramente é inferior a 10° C e superior a 35° C. Fevereiro é o mês mais quente, e junho, o mais frio. A pluviosidade média é de 1.235 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso e julho o mais seco. A estação mais chuvosa dura 5,1 meses, de 21 de outubro a 24 de março, ao passo que a estação mais seca dura 6,9 meses, de 24 de março a 21 de outubro.

Os dados de campo e o mapa de localização dos talhões (Figura 1), bem como os dados de produtividade foram cedidos pela Fazenda Bartira. Até 2011, a fazenda possuía pastagem nessa área. No final desse ano, foi plantado amendoim, o qual foi colhido em março de 2012 e sucedido pela cana-de-açúcar. O cultivo foi colhido anualmente nos meses de setembro entre 2013 e 2017. A produtividade da cana apresentou uma acentuada queda ao longo dos anos, iniciando com 113 t/ha em 2013 e terminando com 55 t/ha em 2017 (Figura 2).

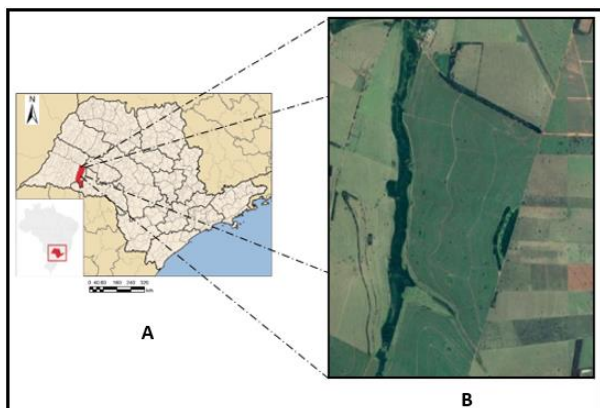


Figura 1. (a) Localização do município de Rancharia no estado de São Paulo e (b) imagem de satélite da área de estudo obtida no Google Maps.

Foram utilizadas 11 imagens SAR do modo de aquisição *Interferometric Wide (IW)* da missão Sentinel 1, com dupla polarização (VV/VH), disponibilizadas gratuitamente pela Agência Espacial Européia (ESA) [8]. A escolha dessas imagens foi pautada em sua disponibilidade no período de maior crescimento vegetativo da plantação. A Tabela 1 apresenta as principais características das imagens utilizadas neste trabalho.

O processamento das imagens foi realizado por meio das ferramentas do aplicativo da *Sentinels Application Platform (SNAP)* fornecido pela ESA. Primeiramente, realizou-se o recorte da imagem contendo a região de interesse, a fim de minimizar o esforço computacional nos processamentos. Como as imagens são formadas por *bursts*, ou seja, faixas, foi preciso juntá-las em um único arquivo

fazendo uso da ferramenta *Deburst*. A seguir, para tornar o espaçamento do pixel regular e reduzir o ruído *speckle*, foi aplicada a rotina de *multilooking*, definindo-se o número de *looks* como 4. A seguir, realizou-se a calibração radiométrica para obter os coeficientes de retroespalhamento σ^0 para as polarizações VV e VH. Para tratar efetivamente o ruído *speckle*, foi realizada a filtragem por meio do filtro *Lee* com uma janela 5x5. Por fim, foi aplicada uma correção do terreno *Range-Doppler* para geocodificar as imagens, utilizando o modelo de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Nesta etapa, os dados foram georreferenciados relativamente ao sistema de coordenadas WGS84 e reamostrados para uma resolução de 14 m através de uma interpolação por vizinho mais próximo [8]. Por fim, os coeficientes de retroespalhamento foram relacionados com os dados de produtividade e comparados estatisticamente por meio da correlação de Pearson.

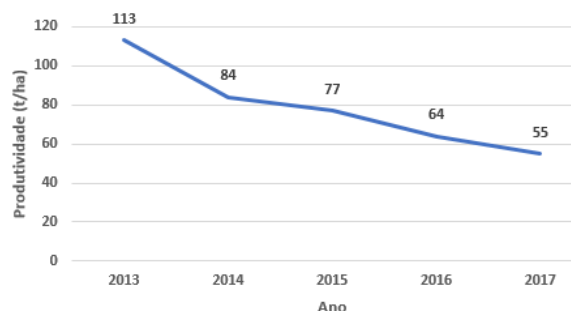


Figura 2. Produtividade da cana-de-açúcar da área de estudo entre 2013 e 2017.

Datas		Características	
29/04/2015	15/06/2016	Banda	C
20/05/2015	30/01/2017	Res. Espacial	5 x 20 m
28/06/2015	28/02/2017	Largura de Faixa	250 km
16/02/2016	11/05/2017	Polarização	VV/VH
23/03/2016	28/06/2017	Ângulo incidência	20° - 45°
10/05/2016		Revisita	6 dias (A e B)

Tabela 1. Principais características das imagens SAR/Sentinel-1 utilizadas no trabalho.

3. RESULTADOS

O processamento das imagens gerou uma série temporal de 11 cenas entre os anos de 2015 e 2017. A Figura 3 apresenta a imagem do dia 29/04/2015.

Os valores de retroespalhamento σ^0 , em decibéis, da área de estudo foram extraídos do processamento no SNAP; em seguida, foi realizada a análise estatística dos dados. A Figura 4 apresenta a média dos valores de retroespalhamento nas polarizações VH e VV (dB), obtidos em cada imagem processada. É possível observar que os valores na polarização VV estão entre -15 e -12 dB, sendo maiores que aqueles apresentados pela polarização VH, os quais estão entre -21 e -18 dB. Observa-se também um

comportamento típico de oscilação de valores entre os meses do mesmo ano. E, no geral, uma ligeira queda ao longo dos três anos observados.



Figura 3. Composição colorida da imagem do dia 29/04/2015. $R(\sigma^0_{VH});G(\sigma^0_{VV});B(\sigma^0_{VH-VV})$.

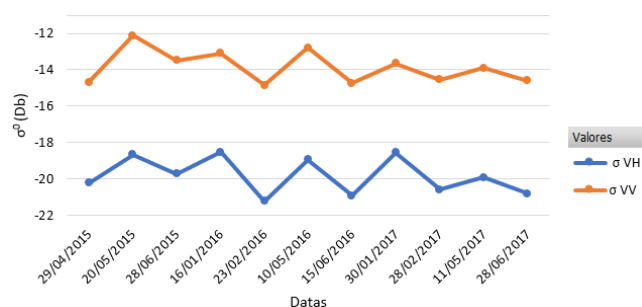


Figura 4. Retroespalhamento σ^0 médio da cana da área de estudo, nas 11 imagens, adquiridas entre os anos de 2015 e 2017.

Como os meses de maio e junho são os únicos a possuírem imagens em todos os anos, foi possível observar seu comportamento temporal, o qual é apresentado na Figura 5. Verifica-se uma forte queda mensal do σ^2 . A queda verificada no mês de maio foi de 12,69% em VV e 6,28% em VH, já em junho a queda foi de 7,68% e 5,13% respectivamente. Portanto, a polarização VV apresentou maior queda ao longo dos anos, quando considerado o comportamento mensal do σ^0 .

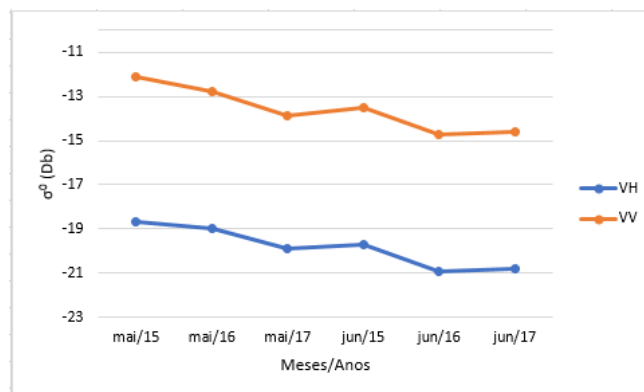


Figura 5. Retroespalhamento σ^0 médio da cana da área de estudo apresentados nos meses de maio e junho de 2015 a 2017.

Os resultados da correlação de Pearson entre as médias de σ^0 em VV, de σ^0 em VH e de σ^0 da razão VV/VH com dados de produtividade de cana-de-açúcar nos anos de 2015, 2016 e 2017 são apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, respectivamente. Nelas, podem ser observadas as curvas de tendência, o coeficiente de correlação R^2 e a equação do gráfico correspondente. Verifica-se que a polarização VV apresentou maior correlação com a produtividade, possuindo um coeficiente de correlação $R^2=0,999962$, aproximado para 1, $p\text{-value}=0,00053$ e erro padrão de 0,00321. Já para a polarização VH, foi encontrada uma relação polinomial de ordem 2, com R^2 aproximado para 1. Por fim, a razão VV/VH apresentou um coeficiente de correlação de $R^2=0,973211$, $p\text{-value}=0,012$ e erro padrão de 0,0967.

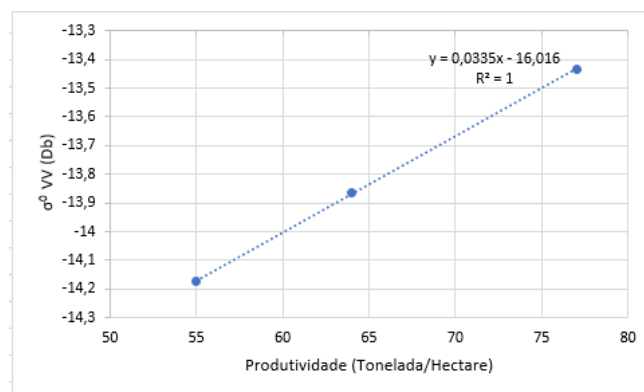


Figura 6. Relação entre os valores médios de σ^0 na polarização VV e a produtividade.

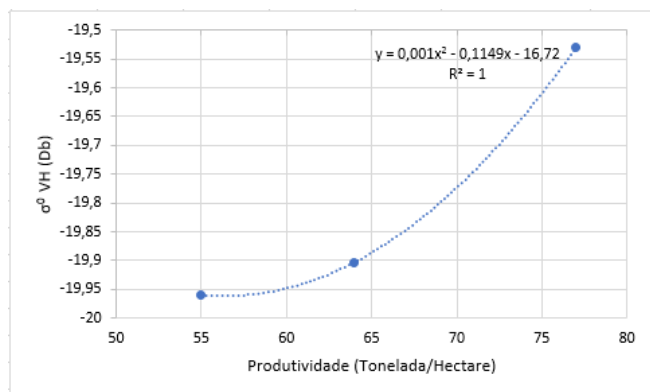


Figura 7. Relação entre os valores médios de σ^0 na polarização VH e a produtividade.

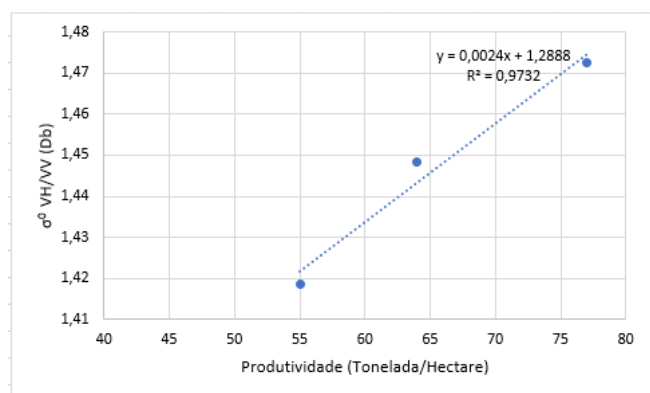


Figura 8. Relação entre a razão de σ^0 nas polarizações VH e VV e a produtividade.

4. DISCUSSÃO

Os resultados demonstram a tendência de diminuição do retroespalhamento σ^0 entre os anos de 2015 e 2017, período que foi verificada a queda da produtividade da cana no campo. Esse comportamento foi verificado em ambas as polarizações, VH e VV, bem como na razão entre as polarizações. Quando esses dados foram relacionados com a produtividade, foi evidenciada grande correlação entre os dados.

Estes resultados corroboram o que [4] afirmam sobre as significativas variações entre as fases de crescimento da cana-de-açúcar verificadas pelos valores do retroespalhamento nas imagens SAR. Por outro lado, os resultados lançam luz sobre a viabilidade da banda C dos satélites da missão Sentinel em prol do monitoramento e da estimativa de produtividade para o cultivo de cana-de-açúcar. Esta possibilidade já foi amplamente discutida e comprovada em relação às imagens SAR na banda L pelos trabalhos de [4] e [5].

Por se tratar de um estudo preliminar, este trabalho apresenta um possível potencial dos dados SAR de banda C para estudos de produtividade de cana. Todavia, o presente trabalho teve a limitação de ter poucas amostras, sendo

relativa somente uma área de cana com apenas três anos de dados de produtividade, comparada com as imagens.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou explorar as potencialidades das imagens SAR dos satélites da missão Sentinel no monitoramento da produtividade da cana-de-açúcar. Nesse sentido, foram processadas 11 imagens entre os anos de 2015 e 2017, para se extrair o retroespalhamento σ^0 nas polarizações VH e VV para uma área de cultivo de cana-de-açúcar no interior paulista, a fim de serem relacionados a sua produtividade.

Embora a área de estudo seja restrita a uma única plantação de cana, e apenas três anos de produtividade tenham sido avaliados, esse estudo preliminar indica o potencial de dados SAR da banda C para serem utilizados com fins à obtenção de informações sobre produtividade.

6. REFERÊNCIAS

- [1] ÚNICA. *Relatório final da safra 2017/2018* – região Centro-Sul. <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=102>>. Acessado em 29/08/2018.
- [2] Segato, S. V.; Mattiuz, C. F. M.; Mozambani, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; Pinto, A. S.; Jendiroba, E. Nóbrega, J. C. M. (org.) *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.
- [3] Paradella, W. R.; Mura, J. C.; Gama, F. F.; Santos, A. R.; Silva, G. G. Radares imageadores (SAR) orbitais: tendências em sistemas e aplicações. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa, PB. INPE, 2015.
- [4] Picoli, M. C. A.; Lamparelli, R. A.; Sano, E.E.; Rocha, J. V. Imagens multipolarizadas do sensor Palsar/Alos na discriminação das fases fenológicas da cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 47, n. 9, p. 1307-1316, 2012.
- [5] Picoli, M. C. A.; Lamparelli, R. A.; Sano, E.E.; Rocha, J. V. The use of ALOS/PALSAR data for estimating sugarcane productivity. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1245-1255, 2014.
- [6] Gama, F. F.; Dos Santos, F. R.; Mura, J. C. Continuous monitoring of biophysical Eucalyptus sp. parameters using interferometric synthetic aperture radar data in P and X bands. Journal of Applied Remote Sensing. v. 10, p. 026002, 2016.
- [7] Narvaes, I. S. Avaliação de dados SAR polarimétricos para a estimativa de biomassa em diferentes fitofisionomias de florestas tropicais. Thesis (Remote Sensing) – INPE – MCT, 2010.
- [8] ESA. Sentinel-1 User Handbook. <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook/06fa0b55-9eca-47ff-a45f242012951564>. Acessado em 29/08/2018