

Influência do direcionamento das linhas de plantio da cana-de-açúcar na resposta espectral dos dados PALSAR/ALOS

Michelle Cristina Araujo Picoli¹
Rubens Augusto Camargo Lamparelli²
Jefferson Rodrigo Batista de Mello³
Edson Eyji Sano⁴
Jansle Vieira Rocha¹

¹ Universidade Estadual de Campinas - Unicamp/FEAGRI
Av. Candido Rondon, 501 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil
{michelle.picoli, jansle.rocha}@feagri.unicamp.br

² Universidade Estadual de Campinas - Unicamp/CEPAGRI
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
rubens@cpa.unicamp.br

³ COSAN S/A Indústria e Comércio
Bairro Costa Pinto, s/nº - 13411-900 - Piracicaba - SP, Brasil
Jefferson.Mello@cosan.com.br

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Cerrados
BR-020, km 18 - 73301-970 - Planaltina - DF, Brasil
sano@cpac.embrapa.br

Abstract. Few studies have been carried out to understand the spectral response of agricultural areas in the microwave region, particularly for sugarcane. This study aimed at investigating the magnitude of influence of planting row direction in the L-band ALOS PALSAR imagery ($\lambda \sim 23$ cm). First of all, sugarcane plots in the study area were grouped according to their cutting stage and varieties. Then, they were classified as parallel or perpendicular to the range of the satellite. This was done using contour lines identified in high-resolution images of the study area. The digital values of the amplitude images, along the crop cycle, were transformed into backscattering coefficients (σ^0) and the images were georeferenced using control points obtained from Landsat geocover image. The results showed an average variation of dB over sugarcane plantation rows varying from parallel to perpendicular to the range direction. Therefore, an effective image processing technique needs to be developed to correct row direction effects in PALSAR images in order to obtain improved maps of sugarcane plantation areas and biomass.

Palavras-chave: L-band, HH polarization, row direction, sugarcane, Banda L, polarização HH, direção da linha de plantio, cana-de-açúcar.

1. Introdução

O uso de dados provenientes de sensores de radar de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*) para estudos relacionados à agricultura, no que diz respeito à produtividade e monitoramento de área plantada, pode vir a tornar-se uma boa opção, principalmente pela capacidade de obtenção de dados remotos independentemente das condições do tempo. Os sensores SAR podem coletar dados em áreas com freqüente cobertura de nuvens e névoa, podendo operar inclusive à noite (Paradella et al., 2005). Sensores de radar possuem outra vantagem que é o uso de pulsos de radiação em polarizações horizontal (H) e vertical (V), e com a combinação dessas polarizações, é possível obter até quatro imagens multi-polarizadas (HH, VV, HV e VV), permitindo uma melhor discriminação e reconhecimento de objetos na superfície e maior capacidade de classificação das imagens (Yun et al., 1995; McNairn et al., 2004; McNairn e Brisco, 2004).

Poucas pesquisas foram realizadas até o momento para compreender o comportamento espectral em áreas agrícolas, com especial atenção à cana-de-açúcar, na região das microondas. Uma das exceções é o trabalho de Baghdadi et al. (2009), que concluíram que dados de radar das Ilhas Reunidas, obtidos na banda L, comprimento de onda (λ) de ~ 23 cm e polarizações HH e HV, apresentaram alta correlação com a altura da cana-de-açúcar. Os autores ainda obtiveram forte correlação entre σ°_{HH} (coeficiente de retroespalhamento, polarização HH) e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), derivados de diferentes estágios de crescimento, maturação e corte. Na fase de maturação, os valores de σ° apresentaram uma forte queda, fruto da diminuição no conteúdo de água nas plantas. Lin et al. (2009), estudando a cultura da cana-de-açúcar na Província de Guangdong, China, observaram que, na banda C, houve alta correlação entre o IAF (Índice de Área Foliar) e o retroespalhamento correspondente à razão de polarização HV/HH. Os autores frisaram a importância em analisar imagens nas fases de plantio com mudas e maturação. Nessas fases, o retroespalhamento da cultura da cana-de-açúcar mostrou ser bem distinta do retroespalhamento dos demais alvos adjacentes.

Outros estudos têm enfatizado a utilização da banda L, por causa da sua elevada relação com a biomassa da planta (Brisco et al., 1992; Pampaloni et al., 1997; Baghdadi et al., 2009). Paloscia (1998), ao comparar valores de σ° das bandas C (λ de ~ 5 cm), L (λ de ~ 23 cm) e P (λ de ~ 70 cm) para estimar IAF de trigo, milho e alfafa, concluiu que, na banda L, houve maior quantidade de informação, principalmente na polarização HV. Porém, ainda pouco se sabe o que influi na resposta espectral da cana-de-açúcar na região das microondas, além da altura da planta e NDVI (banda L) e IAF (banda C). Desta forma, este trabalho tem como objetivo investigar a magnitude da influência da direção das linhas de plantio dos talhões de cana-de-açúcar na resposta espectral da banda L, sensor PALSAR/ALOS, haja vista os estudos para soja e milho (Paris, 1983), algodão (Moran et al., 1998) e café (Silva et al., 2009), onde houve diferença significativa ao considerar direções distintas de linhas de plantio.

2. Materiais e Método

A área de estudo abrange as lavouras de cana-de-açúcar localizadas na região nordeste do Estado de São Paulo e é delimitada pelas coordenadas 20°28' e 21°38' de latitude sul e 48°13' e 48°22' de longitude oeste, abrangendo os municípios de Dobrada e Matão. A região possui clima tipicamente tropical, onde os meses de dezembro a março são os mais chuvosos e quentes (média de 30 anos: 607 mm) e os meses de julho a setembro são mais frios e secos (média de 30 anos: 118,2); a altitude do local varia de 500 m a 800 m, enquanto a declividade varia de 0 a 8% (plano a suave-plano) (Oliveira et al., 1999). Na região, predominam os Latossolos Roxo, seguido do Vermelho-Escuro (Martorano et al., 1999).

Os valores de retroespalhamento, referentes aos talhões de cana-de-açúcar da área de estudo foram analisadas de acordo com as suas variedades e estágio de corte. Para isso, foram selecionadas duas variedades: RB86-7515 e RB92-5345. A variedade RB86-7515 apresenta alta velocidade de crescimento, porte alto, hábito de crescimento ereto, alta densidade de colmo, cor verde arroxeadado que se acentua quando expostos e fácil despalha. Ela é tolerante à seca, possui boa brotação de soqueira, mesmo colhida crua, alto teor de sacarose, crescimento rápido e alta produtividade (Hoffmann et al., 2008). A variedade RB92-5345 caracteriza-se pelo desenvolvimento rápido, hábito de crescimento ereto, difícil despalha, diâmetro de colmo médio, coloração roxo-amarelada, quando expostos ao Sol, e presença destacada de cera e gema ovalada. Possui ainda alto teor de sacarose, alta produtividade e alto teor de fibra no início de safra (Hoffmann et al., 2008).

Tabela 1: Características agrônômicas das variedades RB86-7515 e RB92-5345 consideradas nesse estudo.

Variedade	RB86-7515	RB92-5345
Produção	alta	alta
Brotação soca	boa	boa
Velocidade de crescimento	rápido	rápido
Maturação	média	precoce
Ambiente	C, D e E	A, B e C
Fechamento entre linhas	bom	bom
Tombamento	eventual	freqüente
Densidade do colmo	alta	média
Estágios de corte *	4° corte	4° corte
Colheita **	21/11/2008 a 13/12/2008	12/06/2008 a 05/08/2008

Fonte: Hoffmann et al. (2008).

* As variedades estudadas estavam no quarto estágio de corte.

** A colheita é especificada em período, pois os talhões estudados não foram todos colhidos no mesmo dia.

2.2 Base de dados

Primeiramente os talhões das duas variedades foram classificados como sendo paralelos ou perpendiculares em relação à linha de imageamento do satélite. Para esta classificação, foram utilizadas as curvas de nível da área de estudo, fornecida pela Usina, pois os talhões de cana-de-açúcar, em sua maioria, são plantados seguindo essas curvas nível; uma imagem AVNIR-2/ALOS de 08/02/2008 cuja resolução espacial é de 10 metros; e, para tirar eventuais dúvidas, utilizou-se o programa Google Earth™, cuja imagem disponível da área de estudo era de julho de 2007. Essa data não chegou a causar problema, pois os talhões haviam sido plantados em 2004. A classificação foi baseada em uma figura semelhante à utilizada por Silva et al. (2009) (Figura 1).

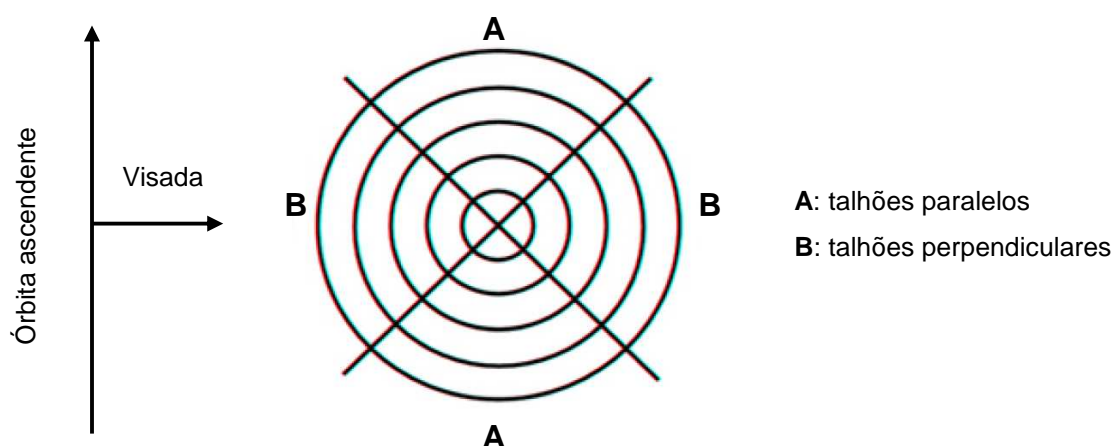


Figura 1. Diagrama usado para classificar os talhões como sendo paralelos ou perpendiculares à passagem do sensor.

As imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas pelo satélite ALOS PALSAR, nos modos de imageamento FBD (Fine Beam Dual mode, polarizações HH e HV e resolução espacial de 12,5 metros) e FBS (Fine Beam Single mode, polarização HH e resolução espacial de 6,25 metros), com órbita ascendente, ângulo de inclinação de 38° e resolução radiométrica

de 16 bits. Neste trabalho, optou por utilizar apenas as imagens com polarização HH para que fosse possível comparar as imagens FBD com as imagens FBS. As imagens do sensor PALSAR foram adquiridas nas datas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Datas de aquisição das imagens dos sensores PALSAR.

Data da imagem	Sensor	Ângulo de incidência	Número de visadas
22/02/2008	PALSAR	38°	2
24/05/2008	PALSAR	38°	4
24/08/2008	PALSAR	38°	4
09/10/2008	PALSAR	38°	4

As imagens PALSAR foram pré-processadas para correção dos efeitos radiométricos e geométricos. A correção radiométrica envolveu a conversão dos níveis digitais da imagem amplitude em σ° , dada pela equação encontrada em Shimada et al. (2009) (Equação 1). Segundo Amaral e Shimabukuro (1997), esta calibração permite compreender melhor o processo de retroespalhamento dos alvos e, conseqüentemente, comparar imagens de datas e passagens distintas.

$$\sigma^\circ = 10 * \log(\text{DN}^2) + \text{CF} \quad (1)$$

onde:

DN é o valor referente ao nível digital da imagem amplitude;

CF é o fator de correção, cujos valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Fatores de correção (CF) das imagens PALSAR para o ano de 2009.

Data de processamento	Antes de 06 de janeiro (dB)	Depois de 07 de janeiro (dB)
FBS HH	-83,40	-83,0
FBD HH	-83,20	-83,0
FBD HV	-80,20	-83,0

Fonte: Shimada et al. (2009).

A correção geométrica das imagens PALSAR foi realizada com base na imagem ortorretificada (Geocover) do satélite Landsat ETM+ de 23 de março de 2001, disponível no endereço eletrônico da Universidade de Maryland, Estados Unidos (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). As imagens foram ainda projetadas para o sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator), datum WGS84 e fuso 23S.

Com a finalidade de verificar diferenças estatísticas entre os valores médios de σ° provenientes de talhões que estavam plantados em direções perpendicular e paralela em relação à linha de imageamento do satélite, foi feita análise descritiva dos dados e aplicado o teste de Mann-Whitney (Mann e Whitney, 1947). O aspecto temporal da resposta da cultura em termos de retroespalhamento ao longo do ciclo vegetativo também foi analisado.

3. Resultados e Discussão

Para a variedade RB86-7515 dos 19 talhões estudados, 11 foram classificados com linhas de plantio paralelas à passagem do sensor e nove como sendo perpendiculares. Para a variedade RB92-5345, nove talhões foram classificados como paralelos e seis como perpendiculares.

É importante salientar que, na área de estudo, a distância entre as linhas de plantio é de 1,4 metros no início da safra, ou seja, essa é a distância entre as plantas quando a visada do sensor é perpendicular aos talhões. A distância entre as plantas de cana-de-açúcar dentro de uma mesma linha é de aproximadamente 0,2 metros no início da safra (distância observada pelo sensor quando a linha de plantio é paralela a sua visada) (Figura 2). Essas distâncias tendem a diminuir à medida em que a cana-de-açúcar se desenvolve e a touceira aumenta, porém, isso varia de acordo com a variedade da planta. Há plantas que produzem mais perfilhos, que tem folhas mais decumbentes, que tomba com mais frequência, e são essas características que fazem um talhão ser considerado mais “fechado”.

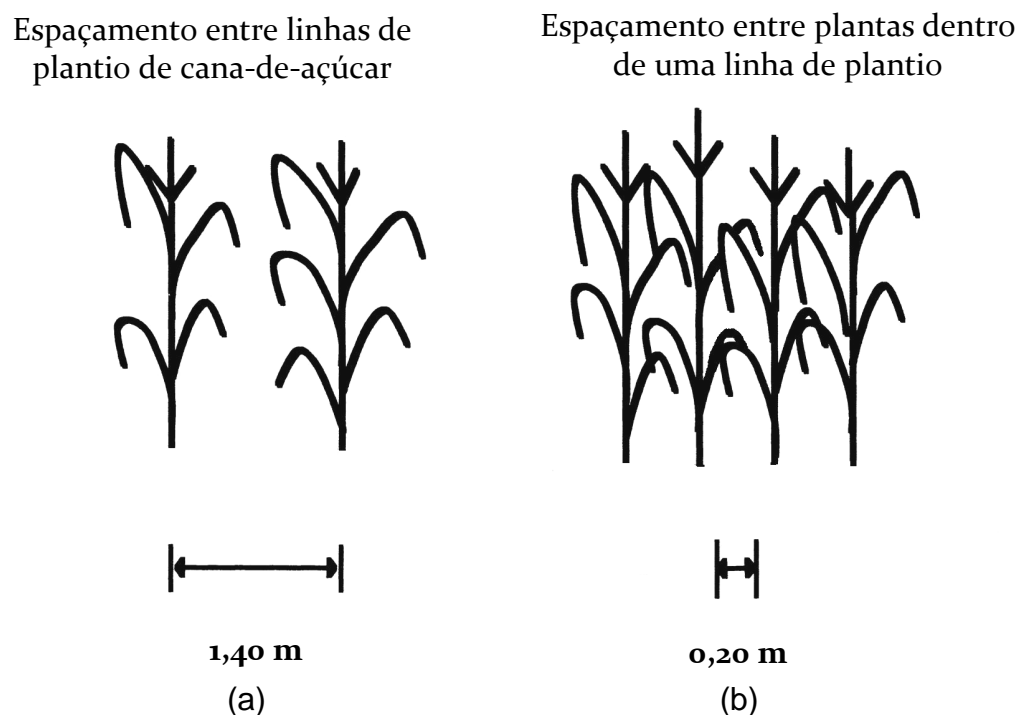


Figura 2. Representação da distância entre as linhas de plantio de cana-de-açúcar (a) e a distância entre as plantas dentro de uma única linha de plantio (b).

As médias e os desvios-padrões foram calculados para os dois tipos de posicionamento dos talhões e para as duas variedades (Figura 3). Observa-se que, para as duas variedades, os valores dos talhões cuja linha de plantio é perpendicular à passagem do sensor possuem resposta espectral mais alta, isso se deve a alta rugosidade dos talhões.

Ainda na Figura 3, é possível verificar que os valores de σ^0 na variedade RB92-5345 sofrem uma forte queda entre maio e agosto devido ao fato desses talhões serem colhidos entre 12 de junho e 05 de agosto de 2008. Porém, mesmo depois do corte, é possível distinguir as linhas de plantio que são paralelas das perpendiculares. Isso ocorre devido ao fato de após a colheita feita mecanicamente o solo fica coberto pela palha da cana-de-açúcar (cerca de 10 cm) e depois de aproximadamente sete dias é passada uma máquina que retira a palha da linha de plantio e a dispõe em leiras bem aeradas no sentido da linha de plantio. Esta operação provoca uma sucessão de pequenos morros de aproximadamente 15 a 20 cm, ao lado das linhas de plantio, gerando um aumento da rugosidade do terreno. Se a colheita fosse feita manualmente, o solo ficaria exposto e, em seguida, seria passada uma grade niveladora que, ao mesmo tempo em que nivela o terreno, provoca destorroamento do solo, diminuindo a rugosidade e a resposta espectral. Porém, os talhões estudados foram todos colhidos mecanicamente. Segundo Brisco et al. (1991), devido a esses sulcos serem profundos, acaba

provocando um efeito *double bounce* (que geralmente ocorre em áreas com alta rugosidade). Isso também foi observado por Formaggio et al. (2001), ambos os trabalhos utilizaram imagens na banda C. No gráfico da variedade RB86-7515, Figura 3 (b), nota-se que há uma queda nos valores de σ^0 devido à seca que ocorreu entre os meses de junho a agosto, e depois um aumento devido as chuvas que ocorreram no mês de setembro, o que fez com que a constante dielétrica da planta diminuísse e depois aumentasse.

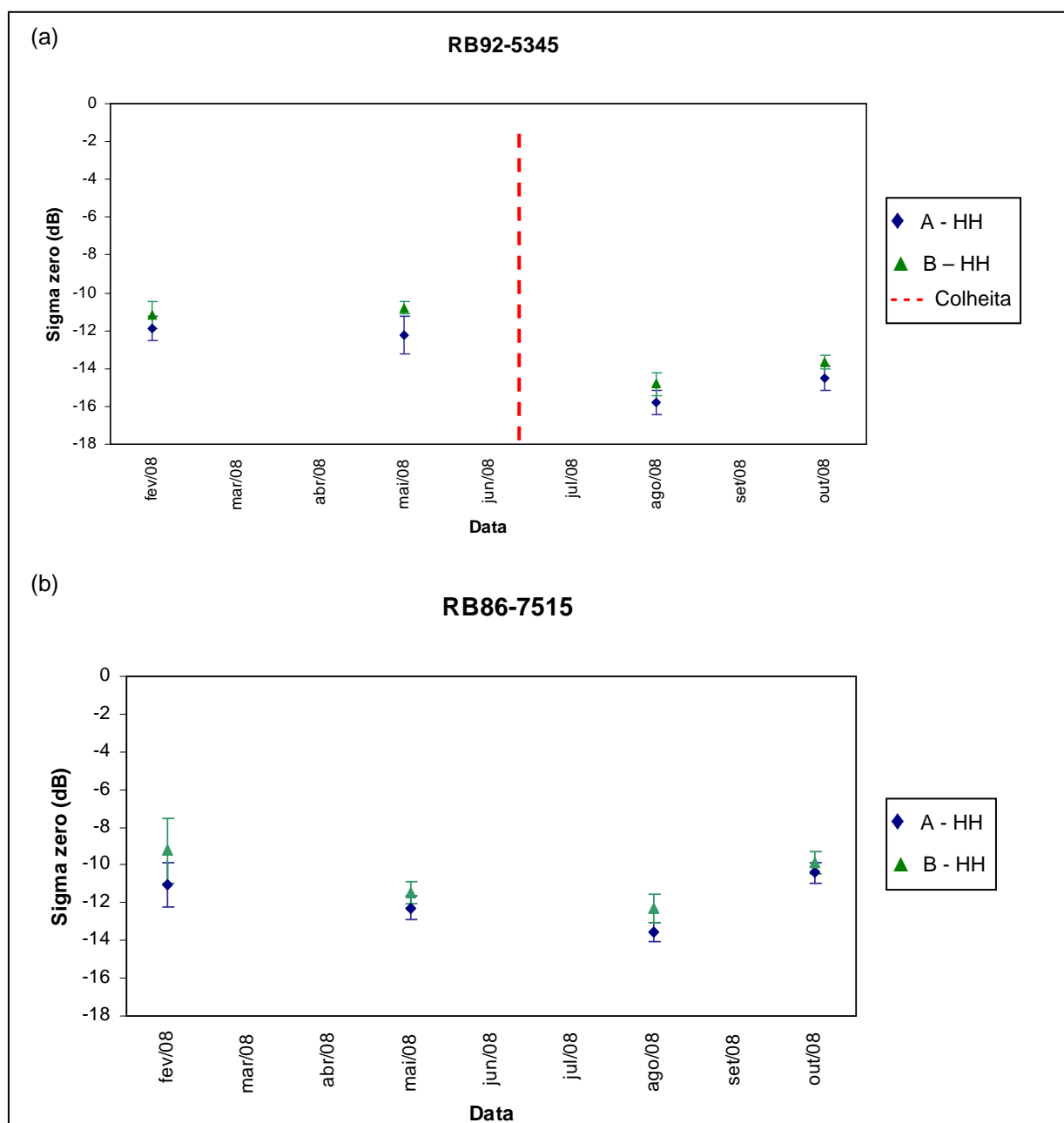


Figura 3. Médias e desvios padrão dos talhões de cana-de-açúcar das variedades RB92-5345 (a) e RB86-7515 (b) para os dois tipos de posições (A: paralela e B: perpendicular).

A fim de averiguar a diferença entre as direções das linhas de plantio, foi calculado o teste de Mann-Whitney para as duas variedades. Os p-valores podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: P-valores referente ao teste de Mann Whitney aplicado para verificar a diferença entre direções de linha de plantio dos talhões de cana-de-açúcar.

	22/02/2008	24/05/2008	24/08/2008	09/10/2008
RB92-5345	0,0292	0,008	0,0132	0,0132
RB86-7515	0,0098	0,0334	0,03	0,0682*

*Não significativo ao nível de 5%.

De acordo com a Tabela 4, é possível distinguir os talhões de cana-de-açúcar que possuem linha de plantio perpendicular a passagem do sensor dos que possuem linha de plantio paralela, pois possuem maior rugosidade e portanto maior valor de σ^0 , com exceção dos talhões da variedade RB86-7515 na data 09/10/2008. Uma das causas para isso ter ocorrido pode ser um possível atraso na colheita e por isso essa cana-de-açúcar tenha tido um fechamento entre linhas tão grande devido ao surgimento de novos brotos, mais folhas e, portanto, mais palha que acabou ficando semelhante às canas-de-açúcar da linha de plantio (com curto espaçamento entre as plantas). Outra hipótese é de que possa ter ocorrido um grande tombamento das plantas fazendo com que a resposta espectral dos dois tipos de linha de plantio ficasse parecida.

4. Conclusões

Os resultados apresentados mostraram que entre as linhas de plantio, paralelas e perpendiculares a linha de imageamento do satélite, há variação na média do valor de σ^0 dos talhões de cana-de-açúcar. Portanto, é necessário o desenvolvimento de uma técnica de processamento de imagem efetiva para corrigir os efeitos das linhas de plantio nas imagens PALSAR, a fim de obter melhores mapas de áreas plantadas e biomassa da cana-de-açúcar.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer as agências Fapesp (Projeto 2008/06043-5) e CNPq pelo apoio financeiro. À Dra. Laura Hess, pela gentileza em ter fornecido as imagens PALSAR/ALOS. E ao Engenheiro Fernando Benvenuti (COSAN S/A Indústria e Comércio) pelas sugestões e apoio de campo.

Referências Bibliográficas

- Amaral, S.; Shimabukuro, Y. E. Sensoriamento Remoto por Radar (SAR): pré-processamento de imagens RADARSAT ("Fine Mode") na região da Floresta Nacional do Tapajós. In: Proceedings of the Latino-American Seminar On Radar Remote Sensing: Image Processing Techniques, 1. 2-4 December 1996. Buenos Aires, Argentina. **Anais...** ESA Divisão de Publicações, Buenos Aires. Artigos, p. 37- 42, 1997. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/full/1997ESASP.407...37A>. Acesso em: 8 mar. 2010.
- Baghdadi, N.; Boyer, N.; Todoroff, P.; Hajj, M.; Bégué, A. Potential of SAR sensors TerraSAR-X, ASAR/ENVISAT and PALSAR/ALOS for monitoring sugarcane crops on Reunion Island. **Remote Sensing of Environment**. v. 113, n. 8, p. 1724-1738, 2009.
- Brisco, B.; Brown, R. J.; Snider, B.; Sofko, G. J.; Koehler, J. A; Wacker, A. G. Tillage effects on the radar backscattering coefficient of grain stubble fields. **International Journal of Remote Sensing**. v. 12, n. 11, p. 2283-2298, 1991.
- Brisco, B.; Brown, R. J.; Gairns, J. G.; Snider, B. Temporal ground-based scatterometer observations of crops in western Canada. **Canadian Journal of Remote Sensing**. v. 18, n. 1, p. 14-22, 1992.
- Formaggio, A. R.; Epiphanyo, J. C. N.; Simões, M. S. Radarsat backscattering from an agricultural scene. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 36, n. 5, p. 823-830, 2001.
- Hoffmann, H. P.; Santos, E. G. D.; Bassinello, A. I.; Vieira, M. A. S. **Variedades RB de Cana-de-Açúcar**. Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2008. 30p.

Lin, H.; Chen, J.; Pei, Z.; Zhang, S.; Hu, X. Monitoring sugarcane growth using ENVISAT ASAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 47, n. 8, p. 2572-2580, 2009.

Mann, H. B.; Whitney, D. R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the order. **The Annals of Mathematical Statistics**. v. 18, n. 1, p. 50-60, 1947.

Martorano, L. G.; Angelocci, L. R.; Vettorazzi, C. A.; Valente, R. O. A. Zoneamento agroecológico para a região de Ribeirão Preto utilizando um sistema de informações geográficas. **Scientia Agricola**. v. 56, n. 3, p. 739-747, 1999.

McNairn, H.; Brisco, B. The application of C-band polarimetric SAR for agriculture: a review. **Canadian Journal of Remote Sensing**. v. 30, n. 3, p. 525-542, 2004.

McNairn, H.; Hochheim, K.; Rabe, N. Applying polarimetric radar imagery for mapping the productivity of wheat crops. **Canadian Journal of Remote Sensing**. v. 30, n. 3, p. 517-524, 2004.

Moran M. S.; Vidal A.; Troufleau D.; Inoue Y.; Mitchell T. A. Ku- and C-band SAR for discriminating agricultural crop and soil conditions. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 36, n. 1, p. 265-272, 1998.

Oliveira, J. B.; Camargo, M. N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo – Legenda Expandida**. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 1999. 64 p.

Paloscia, S. An empirical approach to estimating leaf area index from multifrequency SAR data. **International Journal of Remote Sensing**. v. 19, n. 2, p. 359-364, 1998.

Pampaloni, P.; Macelloni, G.; Paloscia, S.; Sigismondi, S. The potential of C- and L-band SAR in assessing vegetation biomass: the ERS-1 and JERS-1 experiments. In: 3rd. ERS Symposium on Space at the service of our Environment, Março 1997. Florence, Itália. **Anais...** European Space Agency - ESA Publications Division, Noordwijk. v. 3, p. 1729-1733. Disponível em: <http://earth.esa.int/workshops/ers97/papers/pampaloni1/>. Acesso em: 15 junho de 2009.

Paradella, W. R.; Santos, A. R.; Veneziani, P.; Cunha, E. S. P. Radares imageadores nas Geociências: ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 57, n. 1, p. 56-62, 2005.

Paris, J. F. Radar backscattering properties of corn and soybeans at frequencies of 1.6, 4.75 and 13.3 GHz. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. GE-21, n. 3, p. 392-400, 1983.

Shimada, M.; Isoguchi, O.; Tadono, T.; Isono, K. PALSAR radiometric and geometric calibration. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 47, n. 12, p. 3915-3932, 2009.

Silva, W.; Rudorff, B.; Formaggio, A.; Paradella, W. R.; Mura, J. Discrimination of agricultural crops in a tropical semi-arid region of Brazil based on L-band polarimetric airborne SAR data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 64, n. 5, p. 458-463, 2009.

Yun, S.; Huadong, G.; Hao, L.; Junfei, L.; Xinqiao, L. Effect of polarization and frequency using GlobeSAR data vegetation discrimination. **Geocarto International**. v. 10, n. 3, p. 71-78, 1995.