

Identificação de fechamento de dossel de cana-de-açúcar através de imagens de VANT

Daniel Garbellini Duft¹
Guilherme Martinelli Sanches¹
Ana Cláudia Santos Luciano¹
Bruno Montibeller²
Hilton Luis Ferraz da Silveira^{2,3}
Ieda Del'Arco Sanches²
Oriél Tiago Kölln¹

¹ Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol - CTBE
Caixa Postal 6192 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
{daniel.duft, guilherme.sanches, ana.luciano, oriel.kolln}@bioetanol.org.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bruno.montibeller, ieda.sanches}@inpe.br

³ Embrapa Solos (UEP)
Antonio Falcão, 402 – CEP 51020-240 - Recife - PE, Brazil
hilton.ferraz@embrapa.br

Abstract. Traditionally, planting sugarcane is due to the imposition of the width of the gauge of agricultural machines, which are limited to some already established technologies that require innovation. The use of wider spacing facilitates mechanization, avoids damages caused by trampling and conditioning the culture to the machines characteristics. However, the reduction in the distance between the lines and between plants increases the population of sugarcane plants by area, and probably, the crop yield. Several factors contribute to yield increase, such as greater leaf area, greater use of nutrients and soil water by roots, better control of weeds by greater soil shading, greater soil protection against erosion due to the impact of raindrops, more tillers per hectare, among others. The easiest way of measuring canopy closure is through leaf area index (LAI). To indirectly obtain the LAI, new instruments and techniques have been developed, presenting speed and facility for the data collection. Unmanned aerial vehicles (UAVs) can be used as a low-cost tool for obtaining high resolution remote data. In order to measure leaf area or canopy closure, several studies have used some methodologies using UAV, but none of them for sugarcane. In this context, the objective of this paper was to explore UAV images to detect canopy closure at different spacing of sugarcane planting, in an experimental area. The results showed that sugarcane canopy closure could be detected using the Green-Red Vegetation Index (GRVI).

Palavras-chave: remote sensing, image processing, canopy, sensoriamento remoto, processamento de imagens, dossel.

1. Introdução

Tradicionalmente o plantio da cana-de-açúcar dá-se pela imposição da largura da bitola das máquinas agrícolas, sendo estas limitadas a algumas tecnologias já estabelecidas. Atualmente, a maior parte das colhedoras de cana-de-açúcar possui bitola de 1,8 m, limitando assim, plantios com espaçamentos alternativos e também um possível aumento na produtividade da cultura em espaçamentos mais reduzidos em relação ao atual 1,5 m entre linhas.

A utilização de espaçamentos maiores entre fileiras facilita a mecanização, além de evitar danos causados pelo pisoteio e condiciona a cultura às características das máquinas. Entretanto, a redução na distância das entrelinhas e entre plantas aumenta a população de plantas de cana-de-açúcar por área, e provavelmente, a produtividade da cultura (Garside e

Bell, 2009). Diversos são os fatores que contribuem para esse aumento na produtividade tais como, maior área foliar (Galvani et al., 1997), maior aproveitamento dos nutrientes e água do solo pelas raízes, melhor controle de plantas daninhas pelo maior sombreamento do solo, maior proteção do solo contra erosão devido ao impacto das gotas de chuva, maior número de perfilhos por hectare, dentre outros.

O aumento da produtividade da cana-de-açúcar com a redução do espaçamento entrelinhas foi evidenciado por Galvani et al. (1997) os quais constataram um acréscimo de 9% na produtividade agrícola reduzindo o espaçamento de 1,80 m para 0,90 m. Muraro et al. (2011), avaliando o rendimento do cultivar RB72454, encontraram um aumento na produtividade reduzindo o espaçamento de 1,30 m para 0,90 m. Segundo El-Shafai et al. (2010) ao avaliarem o efeito dos espaçamentos 0,80 m, 1,0 m e 1,2 m na produção de cana-de-açúcar, durante duas safras agrícolas (2007/2008 e 2008/2009), verificaram também maior produção de biomassa nos espaçamentos de 0,80 e 1,00 m. Para Singh (2000), diferentes modelos de espaçamentos entrelinhas apresentaram influencia na produtividade, sendo que o espaçamento de 0,75m apresentou um efetivo aumento na produtividade.

De acordo com Lynch (1995), o espaçamento entrelinhas de plantas e a densidade de plantas na linha, juntamente com a sua arquitetura radicular, está entre os principais fatores ligados à produtividade e a taxa de fechamento de dossel é o principal indicador de maior produtividade.

Marafon (2012) afirma que um IAF igual a 4 já é suficiente para que a cana-de-açúcar intercepte 95% da radiação solar incidente e, ocorre o fechamento quase completo do dossel em IAF maiores que 4. Desta forma, um meio de medir o fechamento de dossel é através do índice de área foliar (IAF). Para a obtenção indireta do índice de área foliar, novos instrumentos e técnicas têm sido desenvolvidos, apresentando rapidez e facilidade para a coleta dos dados. Os analisadores de dossel obtêm o IAF por comparação diferencial entre a radiação abaixo e acima do dossel (Jonckheere et al., 2004). Apesar de ser um meio mais rápido do que a retirada de folhas e contagem de área das mesmas, ainda assim é um processo lento, pois é necessário visitar todas as áreas para medir.

Veículos aéreos não tripulados (VANTs) podem ser utilizados como uma ferramenta de baixo custo para obtenção de dados remotos de alta resolução (Magalhães et al., 2013). Para medir área foliar ou fechamento de dossel, diversos trabalhos têm utilizado algumas metodologias com dados obtidos com VANT como, por exemplo, Rasmussen et al. (2016), porém nenhum desses trabalhos foi realizado para a cultura da cana-de-açúcar.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é utilizar imagens de VANT para detectar o fechamento de dossel em diferentes espaçamentos de plantio de cana-de-açúcar em blocos experimentais.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo do trabalho compreende um experimento de blocos instalado em uma área da Usina Iracema, localizada na cidade de Itirapina – SP. As coordenadas do ponto médio são $-47,71^{\circ}$ e $-22,37^{\circ}$ (Figura 1).

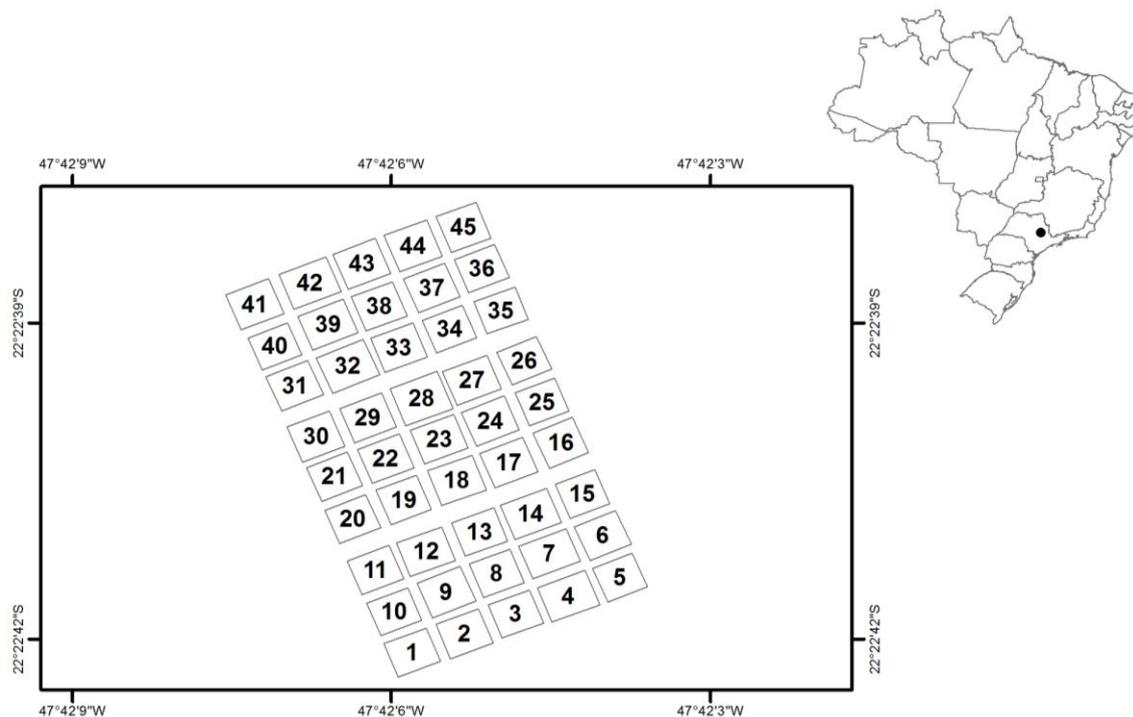


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (experimento).

O experimento foi desenvolvido com o objetivo de testar qual combinação entre espaçamento e plantio torna o canavial mais produtivo. Para isso foram analisados cinco diferentes espaçamentos e três formas de plantio (convencional, toletes de 2 gemas e 1 muda a cada 0,75cm) em um delineamento fatorial de 5x3 (15 tratamentos), conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Tratamentos e plantios do experimento.

Espaçamento	Descrição
E1	Esp. Conv. 1,5m
E2	Esp. Duplo 0,9x1,5m
E3	Esp. Triplo 0,75x0,75x0,75x1,5m
E4	Esp. Precisão 1x0,75m
E5	Esp. Precisão 0,75x0,75m
Plantio	Descrição
Conv.	Convencional
To.	Toletes de 2 gemas
MPB	1 muda a cada 0,75m

O experimento foi desenvolvido em blocos ao acaso com três repetições. Desta forma, para contemplar todos os espaçamentos e tipos de plantio foram necessárias três parcelas de quinze blocos cada um. A primeira parcela contém os blocos de 1 a 15, a segunda os blocos de 16 a 30 e a terceira os blocos de 31 a 45 (Figura 1).

Dentre as medições realizadas, foi obtido o índice de área foliar, no local, com auxílio de um ceptômetro. Isso foi feito para se obter a taxa de fechamento do dossel em cada bloco.

2.2. Imagens VANT

Para imagear o experimento foi utilizado um VANT do modelo quadricóptero da empresa DJI, modelo Phantom 3 Professional. Este veículo aéreo é equipado com um sensor 1/2,3"CMOS RGB (red, green and blue) de 12,4 megapixels. A imagem foi obtida no dia 12 de setembro de 2016 voando-se a uma altitude de 25m. O plano de voo foi feito através da plataforma Drone Deploy e no total foram obtidas 179 imagens, com um recobrimento lateral de 60% e frontal de 70%. As imagens foram mosaicadas na plataforma e o mosaico foi exportado em GeoTiff com um pixel de 5 cm (Figura 2).

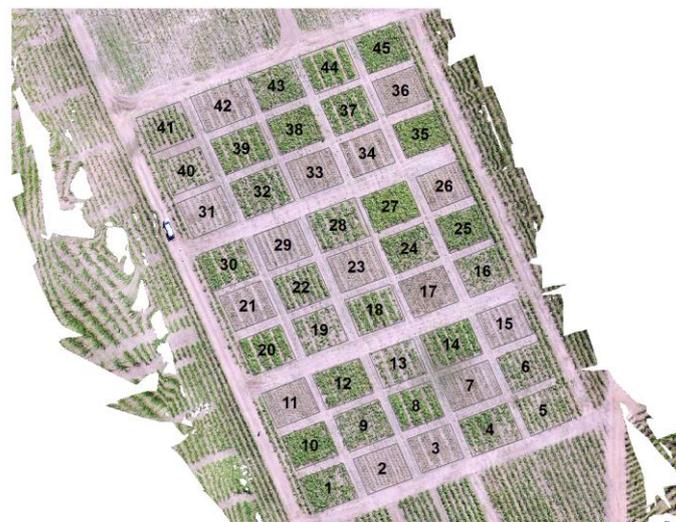


Figura 2: Ortomosaico das imagens coletadas com o VANT sobre a área do experimento de cana-de-açúcar.

2.3. Índice Espectral

Para analisar a diferença entre os fechamentos de dossel foi utilizado um índice de vegetação. Como o sensor utilizado possui apenas as bandas do vermelho, verde e azul, foi escolhido um índice que utilizasse essas bandas e tivesse capacidade de diferenciar o que é planta e o que é solo. Desta forma, o Green-Red Vegetation Index (GRVI) proposto por Motohka et al. (2010) foi selecionado para as análises. O GRVI é calculado de acordo com a Equação 1.

$$GRVI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{Red}}{\rho_{Green} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

As bandas espectrais utilizadas no cálculo do índice fazem uma relação entre a maior absorção da energia eletromagnética pela vegetação fotossinteticamente ativa na faixa espectral do vermelho, e a maior reflexão na região do verde. O índice varia de -1 a +1 sendo que os valores negativos estão associados à maior presença de solo e os valores positivos à maior presença de vegetação.

Como não havia informações disponíveis a respeito do sensor do VANT Phantom 3 Professional, não foi possível transformar o número digital em refletância. Porém o índice foi calculado diretamente. A Figura 3 mostra o índice GRVI obtido para a área do experimento.

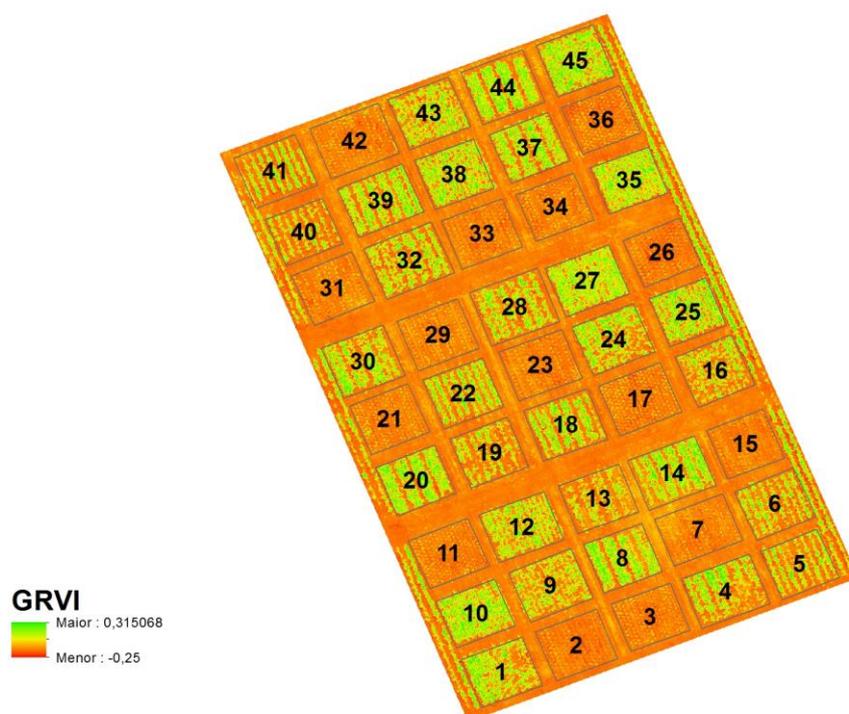


Figura 3: Índice GRVI calculado para os três blocos de cana-de-açúcar estudados.

2.4. Análise Estatística

Para analisar os dados de GRVI, foram calculados os parâmetros estatísticos média, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão, de cada um dos blocos individualmente. Para analisar se há diferença estatística entre tratamentos, os valores de GRVI de cada bloco foram submetidos ao teste de variância (ANOVA). Para avaliar quais tratamentos deferiram entre si, foi utilizado o teste *Least Significant Difference* (LSD).

3. Resultados e Discussão

Os valores médios de GRVI para cada tipo de plantio e espaçamento são mostrados na Figura 4. É possível observar que as médias do índice GRVI variou consideravelmente entre tipos de plantios. O plantio MPB apresentou valores médios de GRVI mais baixos e similares em todos os espaçamentos testados (em torno de -0,06) evidenciando que, neste caso, a mudança nos espaçamentos não produziu efeitos no fechamento do dossel.

Entretanto, nos plantios convencional e To, notamos uma variação dos valores médios de GRVI em função da mudança dos espaçamentos. No plantio convencional, o espaçamento 5 (precisão 0,75x0,75m) produziu um maior fechamento do dossel (GRVI médio em torno de 0,01).

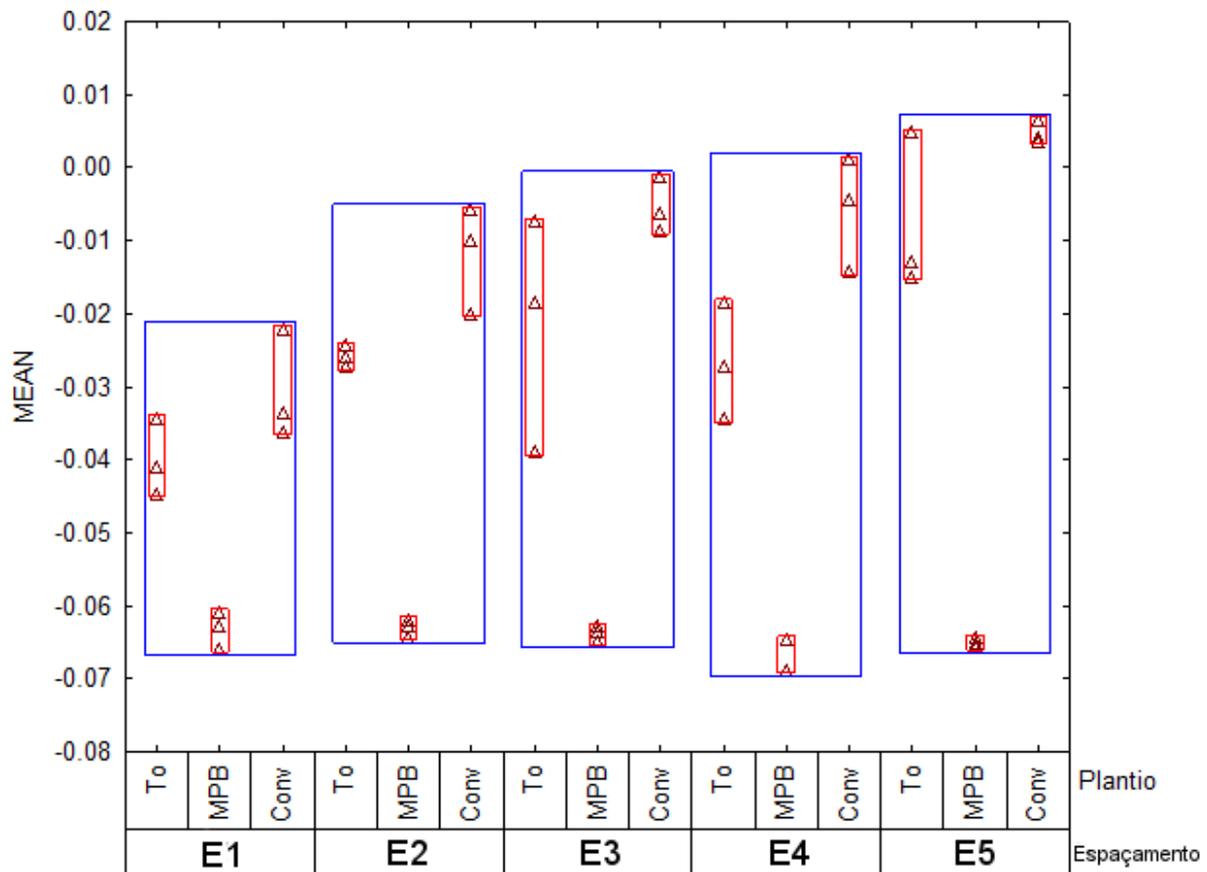


Figura 4: Valores médios de GRVI para os diferentes tipos de plantio (convencional – Conv, toletes de 2 gemas – To, 1 muda a cada 0,75m – MPB) e espaçamentos (E1 a E5).

Analisando os resultados do teste ANOVA (Tabela 2), foi possível identificar que não houve efeito de blocos no experimento. Ao analisar o espaçamento e o plantio juntos, observa-se que existe uma diferenciação dos tratamentos, a qual pode ser atribuída ao fechamento do dossel. Um gráfico dos valores médios de GRVI mostrando se houve ou não diferença significativa entre os tratamentos, é mostrado na Figura 5. Observa-se claramente que existe diferenciação entre espaçamentos e tipos de plantio. Para o espaçamento 1 não houve diferença entre os plantios convencional e To. Para todos os demais espaçamentos houve diferença entre os três tipos de plantio. Ao fazer-se o teste LSD (*Least Significant Difference*) (Figura 5) foi possível verificar a diferença estatística entre espaçamentos e plantios, assim ao analisar as letras (minúsculas comparam espaçamentos e as letras maiúsculas plantios) observa-se que a letra “a” designa a maior diferença estatística e a letra “c” a menor. Quando as letras são iguais não existe diferença estatística e quando são diferentes existe e variam como descrito anteriormente. Essa análise evidenciou que o plantio de MPB foi o que possuiu menor diferença entre espaçamentos enquanto o plantio de toletes e convencional apresentou diferença estatística ao analisar-se a média do GRVI para os diferentes espaçamentos, evidenciando as análises anteriores.

Tabela 2: Resultado do teste estatístico ANOVA.

Efeito	SS	GL	MS	F	p
Bloco	0,000110	2	0,000055	1,252	0,301469
Tratamento	0,002234	4	0,000558	12,670	0,000005
Plantio	0,024034	2	0,012017	272,665	0,000000
Tratamento*Plantio	0,001460	8	0,000183	4,141	0,002300
Erro	0,001234	28	0,000044		

SS: variação entre grupos, GL: graus de liberdade, MS: quadrados médios, F: estatística F, p: p-valor
 Valores em vermelho indicam significância para $\alpha=0,05$

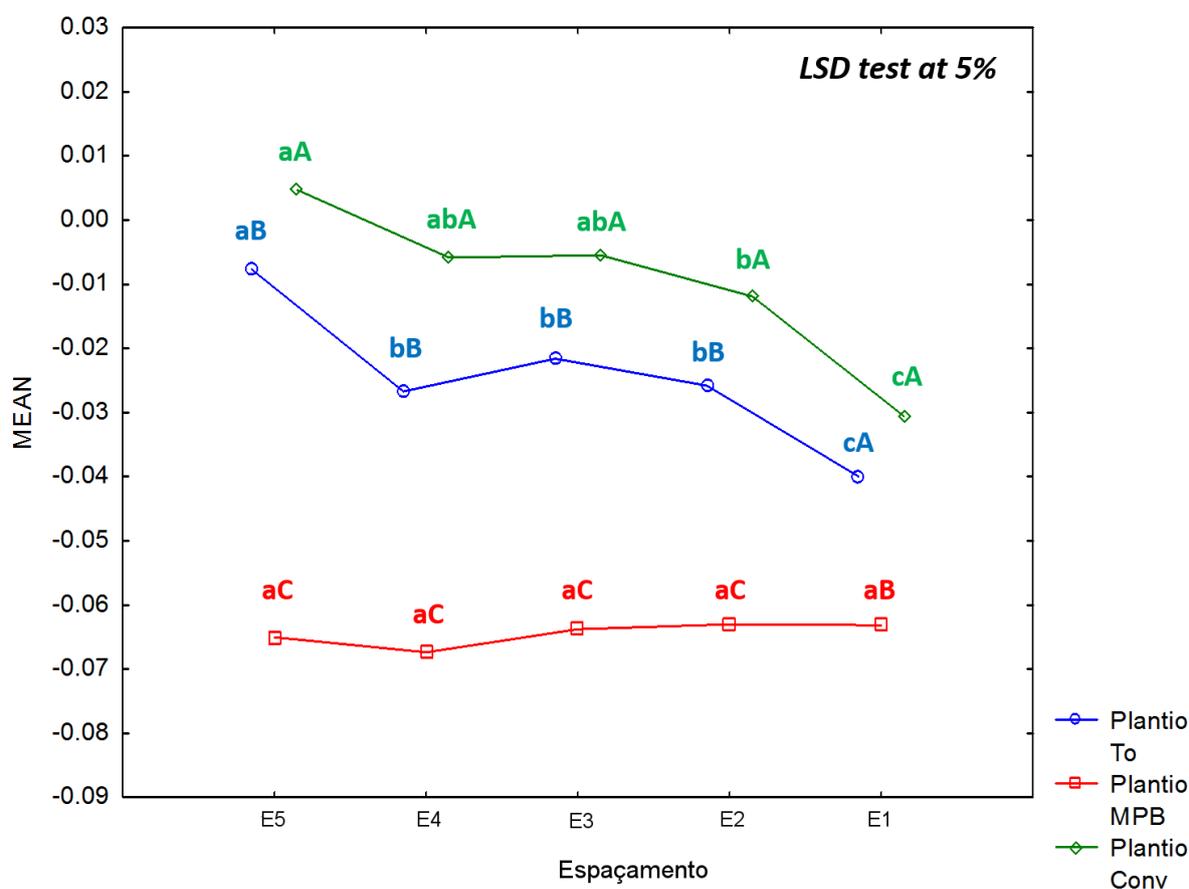


Figura 5: Gráfico dos valores médios de GRVI para os diferentes tipos de plantio (convencional – Conv, toletes de 2 gemas – To, 1 muda a cada 0,75m – MPB) e espaçamentos (E1 a E5), mostrando se houve ou não diferença significativa entre os tratamentos com base no teste LSD (*Least Significant Difference*) (letras minúsculas e maiúsculas comparam espaçamentos e tipos de plantio, respectivamente).

4. Conclusão

Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que o VANT é uma ferramenta eficaz na detecção de fechamento de dossel em plantios de cana-de-açúcar. Além disso, o índice GRVI mostrou-se bastante eficiente em separar solo e planta, uma vez que há uma

grande diferença entre os valores de reflexão nas bandas do vermelho e verde para o solo exposto e o dossel vegetal.

Considerando a média dos valores de GRVI, observou-se diferenças significativas entre os espaçamentos e os plantios analisados, indicando que a aplicação da metodologia proposta foi eficiente para separar e quantificar quais tratamentos possuíam um melhor fechamento de dossel.

Referências

- El-Shafai, A.M.A.; Fakkar, A.A.O.; Bekheet, M.A. Effect of row spacing and some weed control treatments on growth, quality and yield sugarcane. **International Journal of Academic Research**, v. 2, n. 4, p. 297-306, 2010.
- Galvani, E.; Barbieri, V.; Pereira, A.B.; Villa Nova, N.A.; Efeitos de diferentes espaçamentos entre sulcos na produtividade agrícola da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Scientia Agricola**, v. 54, n. 1-2, p. 62-68, 1997.
- Garside, A.L.; Bell, M.J.; Row spacing and planting density effects on the growth and yield of sugarcane. 1. Responses in fumigated and non-fumigated soil. **Crop Pasture Science**, v. 60, n. 6, p. 532-543, 2009.
- Lynch, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, v. 109, n. 1, p. 7-13, 1995.
- Magalhães, P. S. G.; Sanches, G. M; Molin, J. P.; Portz, G.; Amaral, L. R.; Kolln, O. T.; Duft, D. G. Potential solution to contribute for sugar cane spatial variability management. In: EFITA 2013, 2013, Torino. **Anais... Proceedings of EFITA 2013**, 2013. v. 1. p. 1-8.
- Marafon, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. **Série Documentos**, Vol 168, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. Disponível em: < http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf > Acesso em 11 nov 2016.
- Motohka, T.; Nasahara, K.N.; Oguma, H.; Tsuchida, S. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. **Remote Sensing**, v. 2, n. 10, p. 2369-2387, 2010.
- Muraro GB, Junior PR, Schogor ALB. Produção de biomassa de cana-de-açúcar em dois espaçamentos e duas frequências de cortes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.1, p.131-136, 2011.
- Jonckheere, I.; Fleck, S.; Nackaerts, K.; Muys, B.; Coppin, P.; Weiss, M.; Baret, F. Review of methods for in situ leaf area index determination – Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.121, p.19-35, 2004.
- Rasmussen, J., Ntakos, G., Nielsen, J., Svensgaard, J., Poulsen, R. N. E Christensen, S. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots?. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 75-92, 2016.
- Singh, R.K. Evaluation of early sugarcane varieties for sustaining high sugar recovery in Uttar Pradesh. **Cooperative Sugar**, v. 31, p. 797-804, 2000.