

## SENSORIAMENTO TERRESTRE PARA FINS DE DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMATIZADA (NDVI) DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Marcelo Boamorte Raveli<sup>1</sup>

Henrique Vinícius de Holanda<sup>2</sup>

Evaldo Ferezin<sup>3</sup>

José Eduardo Pitelli Turco<sup>4</sup>

David Luciano Rosalen<sup>5</sup>

- <sup>1, 2, 3</sup>: Pós-graduando pela Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal – SP, Brasil.
- <sup>4</sup>: Prof. Adjunto III pela Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal – SP, Brasil.
- <sup>5</sup>: Prof. Assistente Doutor I pela Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal – SP, Brasil.

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil.

### RESUMO

O sensoriamento remoto utilizado na agricultura de precisão pode ser realizado por sensores terrestres, sendo estes capazes de realizar um grande número de amostragens não destrutivas e rápidas através de radiação eletromagnética. O conhecimento sobre o comportamento espectral da cana-de-açúcar com o uso de sensores óticos ativos que utilizam comprimentos de ondas ainda é insuficiente, neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi verificar a capacidade de um sensor ótico ativo terrestre comercial em identificar o comportamento da cana-de-açúcar sobre diferentes exposições solares e declividades. O sensor ótico ativo conseguiu captar respostas das plantas de cana-de-açúcar a partir de mensurações realizadas em diferentes exposições, sendo a melhor encosta encontrada neste trabalho a de sentido para face Norte com declives elevados, apresentando os maiores valores de NDVI. Diferentes exposições solares podem influenciar no microclima existente entre as plantas, sugerindo melhora nos manejos de culturas e espécies utilizadas e adaptadas em diferentes regiões.

**Palavras-chave:** NDVI, *Saccharum officinarum*, sensores terrestres.

# REMOTE LAND SENSING TECHNIQUE FOR THE PURPOSE OF DETERMINING THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) OF SUGARCANE CROPS

## ABSTRACT

Remote sensing used in precision farming may be performed by land sensors which are able to perform a large number of quick and non-destructive sampling through electromagnetic radiation. The knowledge about the spectral behavior of cane sugar plants using active optical sensors that use wavelengths is still insufficient, thereby; the objective of this research was to determine the ability of an active commercial land optical sensor to identify the behavior of sugarcane crops over different solar exposures and slopes. The active optical sensor was able to capture responses from sugarcane plants measurements taken at different land and sun exposures; the best slope found in this study was the north direction with steep slopes, recording the highest values of NDVI. Different sun exposures can influence the microclimate between the existing plants, suggesting improvement in the management of crops and species used and adapted in different regions.

**Keywords:** NDVI, *Saccharum officinarum*, land sensors.

## INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar ocupa lugar de destaque na economia Brasileira, em especial na Paulista. Trata-se de uma cultura evidenciada por intensas mudanças e avanços tecnológicos, impulsionada pela demanda de seus subprodutos.

Tal evolução requer a aplicação de processos mais eficientes e o conhecimento detalhado das características edafoclimáticas, entre elas a radiação solar incidente sobre superfícies inclinadas em relação à superfície horizontal.

A implantação, manutenção e colheita dos canaviais exigem cuidados especiais para se alcançar o sucesso e garantir boas safras subsequentes, pois são plantas semiperenes podendo manter até seis safras.

Uma das técnicas de se avaliar indiretamente o estresse causado nas plantas é mensurar a quantidade de clorofila nas folhas utilizando-se medidores de clorofila (Piekielek et al., 1995).

A agricultura de precisão idealiza a automatização dos processos e controle da lavoura como ferramenta para melhorar a produtividade das culturas, desta maneira, Campo (2000) define esta ciência como sendo o conjunto de técnicas e procedimentos que permite conhecer, localizar geograficamente e delimitar áreas de diferentes produtividades, pelo emprego de softwares específicos, sensores, controladores de máquinas e sistemas de navegação globais por satélites (GNSS).

O sensoriamento remoto utilizado na agricultura de precisão pode ser realizado por satélites, aviões, aeromodelos ou sensores terrestres.

A principal vantagem dos equipamentos de sensoriamento remoto terrestre é a possibilidade de realizar um grande número de amostragens não destrutivas e rápidas, pela leitura em tempo real e em diversos pontos da lavoura que permite registrar a variabilidade espacial (VILLALBA, 2012).

Entre os equipamentos de sensoriamento remoto utilizados estão os sensores terrestres ativos que possuem fonte própria de radiação eletromagnética, ou seja, os fotodiodos detectores captam informações em uma frequência duas vezes maior que os emissores, estimando e anulando o efeito da reflectância oriunda da luz solar e de outras fontes, possibilitando ser operado mesmo durante o período noturno. Os alvos a serem avaliados, podem absorver e/ou refletir parte desta radiação. A reflectância é captada por sensores óticos e sua leitura é calculada por microprocessadores internos do equipamento gerando informações que podem ser interpretadas e processadas na forma de gráficos, tabelas ou mapas (MENESES et al., 2012 e CORTINOVE, L. et. al., 2012).

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) para a quantificação do crescimento da vegetação, calculado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)}$$

em que:

NDVI – índice de vegetação por diferença normalizada

IVP – reflectância do infravermelho próximo

V – reflectância do vermelho

Os valores de NDVI negativos representam as nuvens, próximos de zero indicam presença de solo sem cobertura vegetal e quando positivos indicam o aumento do vigor da vegetação (LIU, 2006).

O NDVI é o índice de vegetação de maior correlação entre as variáveis agronômicas (produtividade, teor de N, massa verde, matéria seca e, proteína de grãos) da planta (RAUN et al., 2005).

Outros autores relatam que a aquisição de dados com sensores terrestres é menos dependente do clima, a coleta pode ser feita aproveitando outras operações e os dados são disponibilizados em tempo real ou após sua coleta (MOLIN, J.P. et al., 2010).

Supõe-se que a exposição ao sol e a inclinação do terreno cause mudanças no comportamento espectral da radiação refletida pelas folhas das plantas, em virtude das alterações sofridas pela variação de condições do terreno, sendo possível através da mensuração dessas alterações, realizar o correto planejamento e manejo da atividade agrícola praticada.

Sendo assim, a utilização de sensores óticos ativos terrestres no mercado possibilita avanços na determinação de NDVI das culturas, podendo ser um método alternativo indireto para estimar o estado nutricional de plantas, como é o caso da cana-de-açúcar, com a perspectiva de se automatizar decisões de planejamento e manejo a partir dessas mensurações e intervenções em tempo real.

O conhecimento sobre o comportamento espectral da cana-de-açúcar com o uso de sensores óticos ativos que utilizam comprimentos de ondas ainda é insuficiente, neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi verificar a capacidade de um sensor ótico ativo terrestre comercial em identificar o comportamento da cana-de-açúcar sobre diferentes exposições solares e declividades.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi conduzida em área experimental do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal – SP,

em parceria com os grupos NGAP – Núcleo de Geomática e Agricultura de Precisão e LAMMA – Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola. A área experimental está localizada nas coordenadas aproximadas de 21° 14' 05" S e 48° 17' 09" W e altitude 575 metros, em uma estrutura chamada "Bacia Experimental", descrito em detalhe por Turco (1998). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). O clima segundo Köppen é Cwa, ou seja, inverno seco subtropical, com temperatura média anual em torno de 22,6°C.

A amplitude térmica anual apresenta temperatura média no mês mais frio em torno de 18°C e a temperatura mais quente em torno de 32°C. Essa região apresenta precipitação pluviométrica média anual de 1735 mm, sendo que durante o período do experimento apresentou 706 mm, e temperatura média de 23,8°C.

Foram utilizados 12 boxes construídos de alvenaria medindo 3,0 x 3,5 metros cada, perfazendo uma área de 10,5 m<sup>2</sup> por box com cultivo de cana-de-açúcar. O experimento foi realizado em 11 de dezembro de 2013.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a SP81-3250, cultivada manualmente em todo seu processo, com 3 cortes realizados, deixando-se sobre o solo os resíduos da colheita. A variedade possui bom fechamento entrelinhas, porte ereto, exigente quanto à fertilidade de solo e com precocidade média em maturação.

Os dados foram coletados através de avaliações realizadas manualmente com o leitor óptico ativo de sensoriamento terrestre GreenSeeker Hand Held™ (NTech Industries, Inc., Ukiah, CA) (Figura 1), que utiliza LEDs (light emitting diodes) para emitir luz em 660 nm ( $\pm 10$  nm, vermelho) e 770 nm ( $\pm 15$  nm, infravermelho próximo), capta a reflectância dos alvos por um fotodiodo detector e calcula automaticamente o NDVI.

Realizou-se a passagem do equipamento paralelamente ao dossel das plantas na altura de 1,00 metro da base das mesmas, no período de pleno desenvolvimento da cultura, que foi conduzida de acordo com as boas práticas agrícolas.

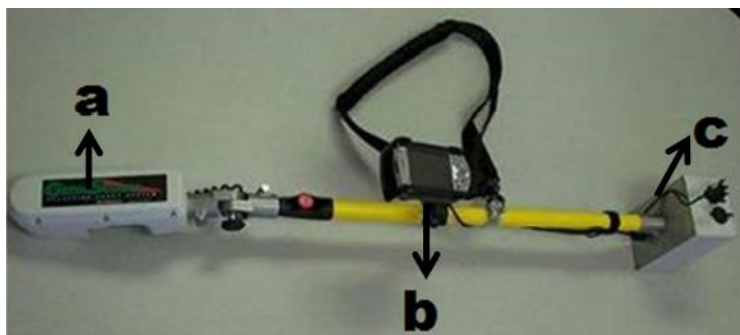


Figura 1: Sensor óptico ativo utilizado – GreenSeeker Hand Held™. Sensor com emissor e receptor de luz (a), coletor de dados/receptor GNSS Nomad Trimble (b) e bateria portátil (c).

As leituras foram realizadas na área útil das parcelas para cada avaliação e, considerou-se o valor de NDVI representativo a média dos valores obtidos.

Foram realizadas quatro repetições no experimento, perfazendo um esquema 4 x 5 x 4. Sendo 4 faces de exposição ao sol (Norte - N, Sul - S, Leste - E, Oeste - W), 5 declividades no terreno (0°, 10°, 20°, 30° e 40°) e 4 repetições, com um total de 80 pontos amostrais. Previamente a cada repetição foram feitas calibrações com o equipamento em áreas de solo nu, livre de plantas.

Os tratamentos foram caracterizados como: H (superfície horizontal de solo nu - testemunha), 0° N, 10° N, 20° N, 30° N, 40° N, 0° S, 10° S, 20° S, 30° S, 40° S, 0° E, 10° E, 20° E, 30° E, 40° E, 0° W, 10° W, 20° W, 30° W e 40° W, cuja simulação é representativa de terrenos com declives e exposições solares comumente utilizados para o plantio de cana-de-açúcar.

Os dados foram submetidos à análise de variância, verificando-se a significância pelo teste F de Snedecor e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios entre os tratamentos e a resposta da cultura através do NDVI mensurado e seus respectivos coeficientes de variação (CV), são apresentadas na Tabela 1. Na análise estatística, constatou-se que houve efeito significativo dos tratamentos nos valores de NDVI mensurados para declividades assim como para exposições/orientações solares, ocorrendo a interação entre os fatores, apresentados no desdobramento pela Tabela 2.

Tabela 1. Médias do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) mensurado em diferentes declividades e exposições solares do terreno.

| Declividade (D) | NDVI     |
|-----------------|----------|
| 0%              | 0,769 ab |
| 10%             | 0,779 ab |
| 20%             | 0,765 b  |
| 30%             | 0,769 ab |
| 40%             | 0,784 a  |
| DMS             | 0.016    |
| Orientação (O)  |          |
| Norte           | 0,782 a  |
| Sul             | 0,774 ab |
| Leste           | 0,770 ab |
| Oeste           | 0,768 b  |
| DMS             | 0.014    |
| Teste F         |          |
| D               | 3,569**  |
| O               | 2,956*   |
| D*O             | 2,082*   |
| CV (%)          | 2.18     |
| Média geral     | 0.773    |

CV: coeficiente de variação; ns e \*: respectivamente, não significativo e significativo ao nível de 0,05 de probabilidade; médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 2. Desdobramento da interação entre os fatores declividade e exposição/orientação solar do terreno

|       | 0         | 10       | 20       | 30        | 40        |
|-------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Norte | 0,789 aA  | 0,786 aA | 0,773 aA | 0,771 aAB | 0,793 aAB |
| Sul   | 0,760 aA  | 0,784 aA | 0,763 aA | 0,784 aA  | 0,778 aAB |
| Leste | 0,771 abA | 0,764 bA | 0,761 bA | 0,751 bB  | 0,802 aA  |
| Oeste | 0,758 aA  | 0,783 aA | 0,765 aA | 0,768 aAB | 0,764 aB  |

Minuscula na linha e maiuscula na coluna

O valor do CV para o NDVI foi baixo, com valor médio de 2,18, podendo indicar que a quantidade de biomassa homogênea do dossel das plantas de cana diminui a variabilidade das leituras, fazendo com que o valor do NDVI mantenha-se numa zona ou faixa constante de saturação.

A produção de matéria verde e seca da biomassa permite a avaliação do crescimento de uma planta, de acordo com Felfili et al. (1999), podendo ser utilizado para avaliar as condições requeridas pela espécie.

Chang (1968) observou em sua pesquisa que a quantidade total de radiação recebida na superfície do terreno varia de acordo com a exposição e de inclinação, sendo o seu componente diretamente influenciado por ambos, e o seu componente difuso apenas pela inclinação, de modo que em dias nublados o efeito de exposição é minimizado.

Nota-se nessa pesquisa, entretanto, que com o aumento da declividade do terreno houve aumento nos valores do NDVI, com valor médio de 0,784 para declividade 40%. E os menores valores médios do NDVI para a declividade 20%, com 0,765.

De acordo com a exposição/orientação solar do terreno, o valor médio máximo de 0,782 do NDVI foi mensurado na face de exposição Norte, enquanto as faces Sul e Leste se equiparam com valores médios do NDVI e, a face Oeste com menor valor médio do NDVI de 0,768.

Lopes (1986) estudando os efeitos da topografia na variação da radiação solar incidente e produção de espécies forrageiras, concluiu que a inclinação, em cada exposição/orientação, foi menos eficaz em alterar a produção de massa verde e matéria seca do que as exposições/orientações do terreno.

Bennet et al. (1972) citado por Turco (1998), estudou o efeito da exposição do terreno Norte e Sul no desenvolvimento de espécie gramínea típica de clima temperado com diferentes níveis de nitrogênio e, observaram que a produção na rampa exposta ao Norte foi duas vezes maior que a rampa com exposição Sul. Neste sentido, Coan et al. (2012) corroboram com pesquisa relatando que no desenvolvimento de espécie gramínea em diferentes terrenos, a exposição do terreno para a face Norte produziu duas vezes o valor de matéria seca do que observado pela face Sul.

Molin et al. (2010) pesquisando a capacidade de um sensor ótico terrestre em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio, observou que o sensor ótico conseguiu captar as respostas das plantas a partir de mensurações realizadas 90 dias após o corte da cana.

Com estudos mais aprofundados e específicos para cada situação vislumbra-se melhorar as práticas agrônômicas de uso e manejo da terra com auxílio de equipamentos modernos. Seguem-se assim, os preceitos da aplicação de agricultura de precisão em diferentes locais e terrenos, proporcionando melhor utilização de sensores óticos terrestres e consequentes benefícios para a atividade canavieira e meio ambiente.

## CONCLUSÕES

O sensor ótico conseguiu captar respostas das plantas de cana-de-açúcar a partir de mensurações realizadas em diferentes terrenos/encostas.

A melhor exposição/encosta encontrada neste trabalho foi a face Norte com declives elevados, apresentando os maiores valores de NDVI.

Diferentes exposições/encostas podem influenciar no microclima existente entre as plantas, sugerindo melhora nos manejos de espécies utilizadas e adaptadas em diferentes regiões.

## REFERÊNCIAS

BENNETT, O.L.; MATHIAS, E.L.; HENDERLONG, P.R. Effects of north and south - facing slopes on yield of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) with variable rate and time of nitrogen application. *Agronomy Journal*, v.65, n.5, p.630-635, 1972.

CAMPO, P. do. Agricultura de precisão. Inovações do campo. Piracicaba. 2000. Disponível em: [http://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric\\_precisao03.htm](http://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao03.htm) Acesso em 20 janeiro 2014.

CHANG, J.H. *Climate and agriculture: an ecological survey*. Chicago: Aldine Publishing Company, 1968. p.87-99.

COAN, R.M.C.; TURCO, J.E.P.; PIVETTA, K.F.L.; COSTA, M.; MATEUS, C.M.D'A. Emerald zoyzia grass development regarding photosynthetically active radiation in different slopes. *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.32, n.3, p.501-509, maio/jun. 2012.

CORTINOVE, L.; TAUBINGER, L.; AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P. Densidade de coleta de dados com sensor ótico ativo para adubação nitrogenada em cana-de-açúcar, milho e trigo. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2012, Londrina – PR.

FELFILI, J.M.; HILGBERT, L.F.; FRANCO, A.C.; SILVA, J.C.S.; RESENDE, A.V.; NOGUEIRA, M.V.P. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. Var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento em viveiro. *Revista Brasileira de Botânica, São Paulo*, v.22, n.2, p.297-301, 1999 (Suplemento).

LIU, W.T.H. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

LOPES, L.R. Efeitos da topografia sobre a variação da radiação solar incidente, temperatura do solo e produção de *Cynodon dactylon* (L.) Pers cv. Coastcross I. 1986. 103 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1986.

MENESES, P. R., ALMEIDA, DE T., ROSA, A. N. C. S., SANO, E. E., SOUZA, E. B., BAPTISTA, G. M. M., BRITES, R. S. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UnB, 2012. 266 p. Disponível em : <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 20 janeiro 2014.

MOLIN, J.P.; FRASSOM, F.R.; AMARAL, L.R.; POVH, F.P.; SALVI, J.V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. *Agriambi – Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n.12, p. 1345-1349, 2010.

PIEKIELEK, W. P.; FOZ, R. H.; TOTH, J. D.; MACNEAL, K. E. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*, v.87, p.403-408, 1995.

RAUN, W.R.; SOLIE, J.B.; STONE, M.L.; MARTIN, K.L.; FREEMAN, K.W.; MULLEN, R.W.; ZHANG, H.; SCHEPERS, J.S.; JOHNSON, G.V. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Monticello, v.36, n.19-20, p.2.759-2.781, 2005. Disponível em: [http://www.nue.okstate.edu/Index\\_Publications/NFOA\\_2003.pdf](http://www.nue.okstate.edu/Index_Publications/NFOA_2003.pdf). Acesso em: 20 janeiro 2014.

ROUSE, J. W.; JR., HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium*. Washington, DC.: NASA. v.1, p.309–317. Dez. 1973.

TURCO, J.E.P.; PINOTTI JUNIOR, M.; FERNANDES, E J.; RODRIGUES, T.J.D. Adequação de um modelo de crescimento da cultura de soja para terrenos com diferentes exposições e declividades. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.17, n.4, p.25-34, 1998.

VILLALBA, E. O. H. Estado nutricional do milho avaliado por espectroscopia óptica no Paraguai. 2012. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, 2012.