

## Quantificação de falhas de plantio em cana-de-açúcar utilizando um sensor ótico ativo

Flávia Roncato Frasson<sup>1</sup>  
José Vitor Salvi<sup>1</sup>  
Fabrício Pinheiro Povh<sup>1</sup>  
José Paulo Molin<sup>1</sup>  
Anamari Viegas de Araújo Motomiya<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq/USP  
Av. Pádua Dias, 11 – 13.418-900 – Piracicaba – SP, Brasil  
flafrasson@yahoo.com.br, fppovh@gmail.com, {jvsalvi, jpmolin}@esalq.usp.br,

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Rod. MS 306 km 6 – 79540-000 – Cassilândia – MS, Brasil  
Bolsista Fundect/MS  
anamari.v@uol.com.br

**Abstract.** Remote sensing provides a summarized vision of areas agricultural, also making possible monitoring crop development in large areas. Although with great potential of use in the sugarcane, only a few works have been conducted studying the sugarcane spectral using active optic sensors. The objective of this work was to correlate the NDVI generated from active optic sensor and crop failure made under conventional measurement. Observations indicate that the NDVI generated from the sensor is sufficiently precise presenting high correlations with the percentage of crop failure.

**Palavras Chave:** NDVI, crop failure, sugarcane, NDVI, falhas de plantio, cana-de-açúcar.

## 1. Introdução

O desenvolvimento do setor canavieiro é muito importante para economia brasileira, visto que a cana-de-açúcar está entre as três culturas mais importantes do país, tornando-se necessário o aumento da produção para atender ao mercado consumidor. A produção de cana-de-açúcar na safra 2005/2006 foi de 336 milhões de toneladas, um crescimento de apenas 2,2% em relação ao ano anterior e uma queda de 2,6% em relação à estimativa inicial, de 345 milhões de toneladas. Este cenário foi devido à queda de produtividade em 4,2%, principalmente pelo envelhecimento do canavial e pela seca que atingiu as áreas produtoras mais ao sul do país (Unica, 2006).

Somente com a aplicação de processos mais eficientes para melhoria da produtividade e da qualidade dos produtos, juntamente com a redução dos custos de produção, será possível para o setor a atuação em mercados cada vez mais competitivos, (Ometto, 1997). Buscando tal competitividade o setor conta com a contribuição tecnológica da mecanização, principalmente na colheita da cana-de-açúcar, a qual tem se mostrado em constante evolução, sendo indispensável para atender toda a demanda de abastecimento do setor sucroalcooleiro.

Para que a colheita, principalmente a mecanizada, seja bem sucedida, é preciso atentar-se ao plantio uma vez que a longevidade do canavial depende da interação entre estas duas operações. Muitos são os fatores que interferem na qualidade do plantio, desde sua densidade, preparo do solo, época de plantio, escolha da variedade, qualidade e idade da muda.

Acompanhar o desenvolvimento de uma cultura tem sido cada vez mais imprescindível para a tomada de decisões. Ajustes em tratos culturais, irrigação e mesmo replantios podem ser executados pela detecção de falhas nos talhões da cultura ou diferenças no desenvolvimento. Imagens de alta resolução podem fornecer tais dados e auxiliar o acompanhamento do desenvolvimento de um campo de cultivo, uma vez que as falhas e as diferenças de padrões são claramente percebidas (Jorge e Trindade Junior, 2002).

O uso correto das tecnologias de geoprocessamento e de sensoriamento remoto pode tornar o monitoramento do calendário agrícola e previsão de safras mais eficientes e dinâmico nas escalas regional e nacional. Estas tecnologias, segundo Motta, et al. (2001), permitem a obtenção de informações precisas, em tempo real, das condições de desenvolvimento e do potencial de produção das culturas. Podem, também, servir como importante apoio na análise de consistência dos dados levantados pela metodologia convencional.

Muitos pesquisadores usaram o sensoriamento remoto para estimar parâmetros das culturas como radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar (Baret et al., 1991), conteúdo de clorofila nas folhas (Tumbo et al., 2002), cobertura do solo (Boissard et al., 1992), acumulação total de matéria seca (Tucker et al., 1981), conteúdo de água (Waheed et al., 2006), produtividade (Fischer et al., 1993), conteúdo de nitrogênio (Solie et al., 2002), e muitas outras propriedades químicas da vegetação.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) surgiu com o trabalho de Rouse et al. (1973), que encontraram uma relação entre medidas espectrais de duas bandas que melhor resolvia o problema das interferências do solo na resposta da vegetação e, também, diminuía as influências da atmosfera e das variações sazonais do ângulo do Sol.

Conforme apontado por Fontana et al. (1998), as mudanças estruturais da vegetação no decorrer da estação de crescimento resultam em uma diferenciação da sua reflectância, o que permite empregar o NDVI para o monitoramento da vegetação, bem como distinguir diferentes tipos de vegetação e detectar possíveis problemas de crescimento.

O sensoriamento remoto proporciona uma visão sinóptica de áreas agrícolas, além de possibilitar um monitoramento temporal dos estágios de desenvolvimento da cultura em grandes áreas. Embora com grande potencial de utilização na cana-de-açúcar, apenas alguns

trabalhos foram desenvolvidos estudando-a (Rudorff e Batista, 1990, Joaquim, 1998, Pellegrino, 2000) permanecendo uma carência em estudos do comportamento espectral da cana-de-açúcar utilizando sensores óticos ativos.

Inamasu et al., (2006), testou um sensor ativo de refletância (ACS- 210 Crop Circle da Holland Scientific) em cana-de-açúcar com o objetivo de mensurar os teores de nitrogênio e potássio. O sensor não foi capaz de detectar diferença de potássio, entretanto os índices da leitura de refletância foram crescentes de acordo com o tratamento de nitrogênio, sugerindo que há possibilidade do sensor ser aplicado na identificação de deficiência de nitrogênio.

Dentro deste enfoque o presente trabalho, busca fazer um levantamento em canaviais comerciais, da porcentagem de falhas, correlacionando o NDVI gerado por um sensor ótico ativo comercial com a mensuração convencional de falhas, e assim verificar a possibilidade de utilizar este tipo de equipamento para diagnosticar a qualidade do plantio assim como o dano causado pelo arranquio de soqueiras na colheita mecanizada.

## 2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em áreas comerciais, sem acompanhamento do plantio, na Usina Santa Luiza (área 1), no município de Matão, SP e na Usina Iracema (área 2), localizada em Iracemápolis, SP.

Na primeira área as variedades que foram submetidas à avaliação foram CTC 3, com 120 dias após o plantio (DAP) e a variedade SP81-3280, com 130 DAP. O experimento foi conduzido em três parcelas de quatro linhas de cana de 100 m cada, sendo descartadas 10 linhas e 50 m do início da linha de cana como bordadura.

Já na segunda área as variedades analisadas foram SP89-1115 e SP91-1049, ambas com aproximadamente 150 DAP. Já o delineamento experimental foi o de sorteio aleatório de dois pontos dentro de cada talhão, onde foram mensuradas 10 linhas de 30 m em cada ponto.

Em ambas as áreas foi realizado um levantamento manual das falhas, seguindo o método proposto por Stolf (1986), que consiste em uma metodologia extremamente simples, bastando contar e computar a somatória dos metros de falha acima de 0,5 m, em cada linha, tendo um índice, em porcentagem, da área com falhas maiores que 0,5 m. Para tal, basta uma trena e um gabarito de 0,5 m para definir se a falha é maior ou menor que este valor (**Figura 1**).



**Figura 1:** Medida de falhas com gabarito e trena.

Em seguida realizaram-se as leituras destas linhas utilizando um sensor ótico ativo comercial (GreenSeeker Hand Held™, NTech Industries, Inc., Ukiah, CA). Este sensor emite radiação ativa em dois comprimentos de onda, vermelho (660 nm) e infravermelho próximo (780 nm) e coleta a reflectância dos alvos independente das condições de luminosidade. Os

dados de saída incluem dois índices de vegetação, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o RVI (*Ratio Vegetation Index*). Entretanto para este trabalho foram utilizados apenas os dados de NDVI. O sensor era passado, em média a um metro de distância do alvo, como recomendado pelo fabricante (**Figura 2**).



**Figura 2:** Leitura de NDVI com o sensor ativo.

Posteriormente foi realizada uma análise estatística descritiva dos dados. O teste t de Student foi realizado para avaliar a correlação entre as leituras de NDVI e a porcentagem de falhas. A análise de regressão foi avaliada por meio de variância, verificando-se a significância pelo teste F de Snedecor, assim definindo os melhores parâmetros para a geração de gráficos de regressão linear entre as variáveis NDVI gerado pelo sensor e o índice de área falhada (%).

### 3. Resultados e Discussão

Os dados de leituras de NDVI, geradas pelo sensor, e a porcentagem de área falhada nas parcelas analisadas, são apresentados na Tabela 1. Segundo a metodologia proposta por Stolf (1986), às áreas comerciais plantadas com as variedades CTC 3, SP81-3280 e a SP 91 1049 apresentam qualidade de plantio normal, sendo este o tipo mais comum encontrado em áreas comerciais (porcentagem de falhas entre 10-20%) e a área cultivada com a variedade SP89 1115 encontra-se com uma qualidade do plantio subnormal (porcentagem de falhas entre 20-35%). Vale ressaltar que não foi investigado o porquê das falhas nestas áreas.

**Tabela 1:** Análise estatística do NDVI e porcentagem de falhas para as quatro variedades estudadas.

	CTC 3		SP81-3280		SP91-1049		SP89-1115	
	NDVI	% falha	NDVI	% falha	NDVI	% falha	NDVI	% falha
Média	0,40	12,91	0,33	13,34	0,57	11,85	0,47	27,38
Desvio padrão	0,04	4,65	0,03	4,63	0,09	12,18	0,14	14,30
CV (%)	10,27	36,03	9,83	34,73	15,67	102,83	29,46	52,23
Curtose	1,17	-0,67	-1,05	-0,65	2,07	6,74	-0,89	-1,16
Assimetria	0,10	0,18	-0,37	-0,11	-1,31	2,49	-0,32	0,40
Intervalo	0,16	15,39	0,09	15,39	0,36	52,67	0,47	43,13
Mínimo	0,32	6,02	0,28	6,02	0,32	0,00	0,20	8,53
Máximo	0,49	21,41	0,37	21,41	0,68	52,67	0,67	51,67
Contagem	12	12	12	12	20	20	20	20

Em relação às médias de NDVI apresentadas nota-se que são diferentes entre as variedades e condições da cultura. Estudos mostraram a sua alta correlação com parâmetros associados ao desenvolvimento e produtividade das plantas, tais como densidade de vegetação e cobertura (Ormsby et al., 1987).

Feita a análise de correlação entre as leituras de NDVI e a porcentagem de falhas nos ambientes estudados, comprovou-se que há correlação significativa entre estas variáveis, quando testadas pelo teste t a 95 e a 99 %, como pode ser visto na **Tabela 2**. O valor de t observado em todos os casos apresentou-se maior que o t tabulado, assim sendo, pode-se dizer que há uma correlação estatisticamente significativa entre as variáveis analisadas. A variedade SP81-3280 apresentou a maior correlação, sendo de 96 %, enquanto a variedade CTC 3 apresentou a menor de 78 %. O valor de r mostra-se negativo, pois à medida que se aumenta a porcentagem de falhas diminui a média do NDVI lido pelo sensor ativo (correlação negativa).

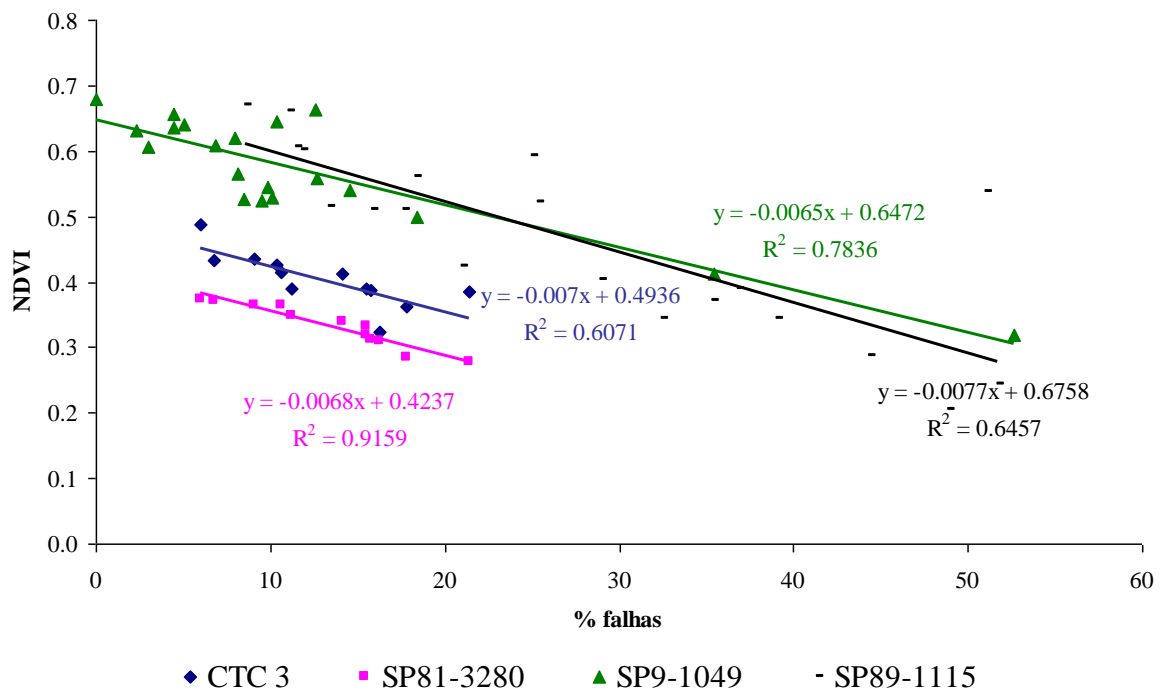
O NDVI apresenta boa relação com o índice de área foliar (Jackson e Huete, 1991), assim sendo espera-se que áreas com maior porcentagem de falha apresentem menores valores de NDVI devido à interferência do solo, entretanto isto não é observado entre as variedades por apresentarem comportamento espectral diferenciado. Entretanto, pesquisas relativas à utilização de sensores óticos ativos para a discriminação de variedades de cana-de-açúcar são praticamente inexistentes na literatura.

**Tabela 2:** Análise de correlação (r) entre as leituras de NDVI e a porcentagem de falhas maior que 0,5 m.

	CTC 3	SP81-3280	SP91-1049	SP89-1115
r	-0,78	-0,96	-0,89	-0,80
t (obs)	4,31	11,43	8,51	6,04
t (tab 5%)	2,18	2,18	2,09	2,09
t (tab 1%)	3,05	3,05	2,85	2,85

Na **Figura 3**, é apresentada a análise da regressão linear das porcentagens de falhas nas áreas das quatro variedades estudadas com o valor médio do NDVI. A variedade SP81-3280 apresentou o maior  $R^2$  (0,91) enquanto a variedade CTC 3 apresentou o menor  $R^2$  (0,6). As funções  $y = ax + b$  foram definidas para todas as variedades, sendo que nestas áreas e condições, pode-se estimar a porcentagem de falhas quando tiver as leituras de NDVI obtidas pelo sensor ativo.

Nota-se um comportamento descendente das retas geradas em função das equações, isto ocorre pois áreas com maior porcentagem de falha apresentam menores valores médios de NDVI devido à interferência do solo (**Figura 3**), ou seja, quanto maior forem às falhas, maior é a parcela de solo exposto, mais fácil é para o sensor identificá-las. Uma situação onde podem ocorrer problemas é no caso no canavial estar maior e as folhas das canas vizinhas encobrirem as falhas, assim estas passaram despercebidas pelo sensor, circunstância esta que pode ser vista na **Figura 1**.



**Figura 3:** Gráfico de regressão linear das variáveis NDVI e porcentagem de falhas nas lavouras de cana.

Nota-se um comportamento diferente para cada variedade e este resultado pode ocorrer em outras situações devido às condições da cultura, solo ou ambiente. Isto indica que para que as leituras do sensor possam ser utilizadas como um indicador de falhas deve-se realizar uma calibração prévia na área. Assim, para cada situação, deve-se montar uma função para que quando a lavoura tenha suas linhas lidas pelo sensor possa estimar a porcentagem de falhas maiores que 0,5m.

Após o plantio, quando a planta da cana já se encontra bem desenvolvida, normalmente perto dos 120 DAP, realiza-se a operação de “quebra lombo” para aumentar área de suporte ao tráfego e evitar pisoteios dos sulcos pelos veículos de transporte, assim o solo fica plano facilitando a colheita mecanizada. O sensor poderia ser adaptado ao trator que realiza esta operação, de modo a ter a lavoura “escaneada” pelo sensor para monitorar a qualidade do plantio realizado.

#### 4. Conclusões

O NDVI gerado pelo sensor é uma ferramenta que mostrou resultados bastante satisfatórios, apresentando altas correlações com a porcentagem de falhas de plantio encontradas nas áreas comerciais avaliadas, fazendo-se necessária uma calibração prévia para adequar o sensor às condições da cultura.

Nota-se a necessidade de novos trabalhos, em diferentes áreas e condições de campo para um melhor ajuste do sensor, além de testá-lo acoplado a um trator, para que se possa realizar a leitura de todas as linhas de um talhão.



## 5. Referências Bibliográficas

- Baret, F.; Guyot, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, p.161-173, 1991.
- Boissard, P.; Pointel, J.G.; Tranchefort, J. Estimation of the Ground Cover Ratio of a Wheat Canopy Using Radiometry. **International Journal Remote Sensing**, v.13, n.9, p.1681-1692, 1992.
- Fisher, R.A.; Howe, G.N.; Ibrahim, Z. Irrigated Spring Wheat and Timing and Amount of Nitrogen Fertilizer. I. Grain Yield and Protein Content. **Field Crops Research**, v.33 p.37-56, 1993.
- Fontana, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. Relação entre o Índice de Vegetação Global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n. 8, 1399-1405, 1998.
- Inamasu, R. Y.; Sousa, R. V.; Porto, A. J. V.; Fortes, C. Luchiari, A.; Schepers, J. S.; Shanahan, J. F.; Francis, D. D. Acesso ao estado nutricional da cana-de-açúcar por meio de sensor ativo de refletância. In 2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, **Anais...**, São Pedro, SP, 2006.
- Jackson, R.D.; Huete, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v.11, n.3-4, p.185-200, Dec. 1991.
- Joaquim, A. C. **Identificação de variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos, na região de Araraquara – SP, através de análise de nível de cinza em imagens LANDSAT/TM**. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 1998. 118p.
- Jorge, L.A. De C.; Trindade Junior, O. Metodologia para Utilização de Aeromodelos em Monitoramento Aéreo. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Circular Técnica nº 15, São Carlos, SP, outubro, 2002.
- Motta, J.L.G.; Fontana, D.C.; Weber, E. Verificação da acurácia da estimativa de área cultivada com soja através de classificação digital em imagens Landsat. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...**, SELPER / INPE, 2001. v. 1, p. 1-6.
- Ometto, J. G. S., **VII Seminário Copersucar de Tecnologia Agrônômica**, Piracicaba, SP, p. 452.
- Ormsby, J.P.; Choudhury, B.J.; Owe, M. Vegetation spatial variability and its effects on vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 1301-1306, 1987.
- Pellegrino, G.Q. **Utilização de dados espectrais do satélite NOAA14/AVHRR como fonte de dados para modelos matemáticos de estimativa da fitomassa da cana-de-açúcar**. Campinas/SP: UNICAMP, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, D. C., Proceedings. NASA, **Goddard Space Flight Center**, 1973. v.1, p.09-317, (NASA SP-351), 1973.
- Rudorff, B. F. T.; Batista, G. T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v.33, n. 3, p. 183-192, 1990.
- Solie, J.B.; Stone, M.L.; Raun, W.R.; Johnson, G.V.; Freeman, K.; Mullen, R.; Needham, D.E.; Reed, S.; Washmon, C.N. Real-time sensing and N fertilization with a field scale GreenSeeker applicator. In: 7<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, **Anais**, Minneapolis, MN, 2002.
- Stolf, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.4, n.6, p.22-36, jul./ago.1986.
- TUCKER, C.J.; HOLBEN, B.N.; ELGIN Jr., J.H.; McMurtrey, J.E. Remote Sensing of Total Dry-Matter Accumulation in Winter Wheat. **Remote Sensing of Environment**, v.11, p.171-189, 1981.
- Tumbo, S.D.; Wagner, D.G.; Heinemann, P.H. Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. **Transactions of the ASAE**. v.45, n.3, p. 815-823, 2002.
- ÚNICA, União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. Disponível em <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 01 nov. 2006.
- Waheed, T.; Bonnell, R.B.; Prascher, S.O.; Paulet, E. Measuring performance in precision agriculture: CART – A decision tree approach. **Agricultural Water Management**. Paper No. 2209, 13p. 2006.