

IDENTIFICAÇÃO DE RESPOSTA A DOSES DE NITROGÊNIO EM CANA-DE- AÇÚCAR MEDIDA PELO SENSOR GREENSEEKER

HUGO J. A. ROSA¹, LUCAS R. AMARAL², HELIO A. W. JORIS³, JOSÉ P. MOLIN⁴,
HEITOR CANTARELLA⁵

¹ Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Fitotecnia, ESALQ/USP-Piracicaba, SP. hugojar@usp.br

² Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Fitotecnia, ESALQ/USP-Piracicaba, SP.

³ Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Gestão de Recursos Agroambientais, IAC-Campinas, SP.

⁴ Eng.º Agrícola, Prof. Associado, Depto. de Eng. de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

⁵ Eng.º Agrônomo, Pesquisador Centro de Solos e Recursos Ambientais, IAC, Campinas, SP.

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2012
24 a 26 de setembro de 2012- Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: A complexidade na dinâmica do N no ambiente torna o manejo da adubação nitrogenada uma tarefa difícil, e por isso, qualquer ferramenta que auxilie na modelagem da resposta da cultura à adubação nitrogenada é de grande valia. No Brasil, sensores óticos ativos (SOAT) têm sido tratados como uma ferramenta com capacidade de auxiliar no manejo da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. Este trabalho teve como objetivo identificar a capacidade do SOAT GreenSeeker em identificar a resposta da cultura à adubação nitrogenada em diferentes níveis, por meio do NDVI, e compará-la a resposta medida por um clorofilômetro (SPAD-502). Foram utilizados três experimentos com doses de N e três diferentes variedades. Os experimentos variaram em condições de solo e variedades, porém os tratamentos (doses de N) foram os mesmos. Os resultados encontrados mostraram que o NDVI e o índice SPAD não foram influenciados por diferentes variedades e que de maneira geral ambos foram eficientes em determinar a resposta aos tratamentos aplicados, fornecendo boas equações de regressão.

PALAVRAS-CHAVE: NDVI, adubação nitrogenada, sensoriamento remoto.

SUGARCANE CROP RESPONSE TO NITROGEN EVALUATED BY A CROP CANOPY SENSOR

ABSTRACT: Nitrogen has a complex dynamics in the environment which makes the nitrogen management a difficult task. For specific crops with low nitrogen use efficiency such as sugarcane, managing nitrogen is even harder. Therefore, any tool capable of modeling crop response to applied N could be useful to N variable rate management. In Brazil, active canopy sensors have been used as a tool capable of contributing in nitrogen fertilization in sugarcane. The goal of this work was to identify the capabilities of a specific sensor (GreenSeeker) in identifying crop response to applied N using NDVI index and to compare it with the SPAD index measured by a portable chlorophyll meter (SPAD-502). Three nitrogen response trials with different varieties were used. The trials had different soil types and cane varieties but the treatment levels were kept the same. The results pointed that varieties had no effect up on NDVI and SPAD indices. In general, both indices were efficient in identifying crop response to N rates, providing good regression equations.

KEYWORDS: NDVI, nitrogen management, remote sensing.

INTRODUÇÃO

A complexidade da dinâmica do nitrogênio no ambiente torna o manejo da adubação nitrogenada uma tarefa das mais difíceis (Raij, 2011). Na cana-de-açúcar em especial, relatos sobre o aproveitamento do nutriente são bastante variáveis, embora exista um consenso que de forma geral é baixo, entre 10 e 15% do teor total de N nas plantas (Franco et al. 2011).

Se a falta de nitrogênio gera consequências conhecidas no desenvolvimento e produtividade, o excesso também pode ser prejudicial. Thorburn et al. (2005) citam que, diferentemente de cereais, que armazenam N em forma de proteína até estádios avançados, a cana-de-açúcar pode ter os seus teores de açúcares reduzidos e a maturação postergada se N em excesso for acumulado. Os mesmos autores, estudando a dinâmica do N em sistemas de produção de cana-de-açúcar, discutiram que uma ferramenta capaz de modelar a resposta das plantas às práticas de manejo e ao clima seria parte fundamental de sistemas de manejo da adubação nitrogenada.

Neste sentido, Lofton et al. (2012) demonstraram que a resposta à adubação nitrogenada, em termos de produtividade de colmos, pode ser estimada por meio de leituras de NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada) feitas por sensores ópticos ativos.

No Brasil, os sensores ópticos ativos também têm sido estudados como ferramentas capazes auxiliarem no manejo do N, atendendo às peculiaridades do nutriente e da cultura em questão. Resultados promissores já foram e continuam sendo obtidos com o uso destes sensores em cana-de-açúcar no Brasil (AMARAL e MOLIN, 2011; MOLIN *et al.*, 2010; PORTZ *et al.*, 2011).

Sabendo da complexidade do N e considerando a variabilidade existente na demanda e nos aportes de N ao sistema e a existência de diferentes soluções de mercado em sensores ópticos ativos, surge a necessidade de estudo detalhado destes equipamentos visando estimar as capacidade dos mesmos em estimar doses de N a serem aplicadas. Desta forma, este trabalho teve como objetivo estudar o sensor GreenSeeker como ferramenta capaz de identificar a resposta da cana-de-açúcar as diferentes doses de N aplicadas através do índice da diferença normalizada ou (NDVI).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados três experimentos com doses de nitrogênio em cana-de-açúcar da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, onde as parcelas foram constituídas por três variedades de cana-de-açúcar e nas sub-parcelas foram aplicados os tratamentos.

Os tratamentos se constituíam por quatro doses de fertilizante nitrogenado (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) aplicados na forma de ureia sobre a palhada remanescente do ciclo anterior.

Detalhes sobre os experimentos podem ser observados na tabela 1. Os outros macronutrientes assim como o manejo cultural praticado foram baseados conforme recomendado para a cultura na região.

TABELA 1: Localização dos experimentos, tipo de solo de cada área, variedades de cana-de-açúcar utilizadas, doses e fonte de N usados como tratamento e área total das parcelas.

	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
Local	APTA Polo Centro Sul Piracicaba-SP	APTA Polo Centro Oeste Jaú-SP	Faz. Itauna- Barra Bonita-SP
Classificação de solos ¹	Argissolo Vermelho	Latossolo Vermelho	N. Quartzarênico
Variedades	SP 81-3250 IAC 87-3396 CTC 14	SP 81-3250 IACSP 95-5000 RB 85-5536	SP 81-3250 IACSP 94-2094 RB 86-7515
Área da Parcela (m ²)	75	60	75

¹ classificação de solos segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS, 2006).

As avaliações da resposta aos tratamentos aplicados foram medidas por meio do NDVI médio das parcelas, obtidos com o uso do sensor ótico ativo GreenSeeker™ (Trimble Navigation, Ltd., Sunnyvale, CA), que utiliza bandas da região do vermelho (660±15nm) e do infravermelho próximo (770±15nm) para cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada ou NDVI, assim como demonstrado na equação 1.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (1)$$

em que,

ρ_{IVP} = refletância no infravermelho próximo;
 ρ_V = refletância no vermelho.

As leituras foram realizadas quando as plantas apresentavam aproximadamente 0,4 m (altura de palmito), assim como sugerido por (Amaral e Molin, 2011), de forma manual, na frequência de 1Hz, dinamicamente e mantendo o sensor 1,0 m acima do dossel em cada parcela.

O índice SPAD, medido com o clorofilômetro SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, Inc., Sakai, Osaka, Japão) foi amostrado no centro do limbo foliar de 30 folhas +1, coletadas aleatoriamente em cada parcela.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância realizada indicou que o fator variedade não apresentou efeito significativo em nenhum experimento avaliado para nenhum dos índices utilizados. Por isso os resultados foram discutidos de forma independente das variedades. Este fato é desejável e favorável ao desenvolvimento de algoritmos de aplicação, porém, especificamente para o índice SPAD o comportamento foi diferente do que geralmente encontra-se na literatura, assim como relatado por Samborski et al. (2009) ao afirmarem que os clorofilômetros tendem a ter desempenho influenciado por características genotípicas específicas.

Com o objetivo de estudar a relação entre as doses de N e o NDVI e entre as doses e o índice SPAD, foram realizadas análises de regressão entre os mesmos. Os parâmetros resultantes das análises de regressão podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados médios por tratamento para as variáveis NDVI e SPAD, para cada experimento; quadrado médio e significância dos fatores doses, variedades e interação doses x variedades; coeficientes de determinação (R^2) e significância das equações de regressão linear e quadrática determinadas para cada variável e experimento.

Dose N (kg/ha)	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	NDVI	SPAD	NDVI	SPAD	NDVI	SPAD
0	0,738	45,72	0,743	42,65	0,638	36,97
50	0,762	44,89	0,766	44,68	0,692	38,90
100	0,778	46,09	0,768	45,53	0,724	40,10
150	0,792	45,42	0,753	45,97	0,719	41,34
Doses ¹	0,0063**	3,0825 ^{ns}	0,0016**	25,9525**	0,01890**	41,6396**
Variedades ¹	0,0012 ^{ns}	9,3915 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,22146 ^{ns}	0,00006 ^{ns}	8,54080 ^{ns}
Doses x Variedades ¹	0,0007 ^{ns}	2,3406 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	1,16229 ^{ns}	0,00058 ^{ns}	1,44861 ^{ns}
Regressão						
Linear	98,55**	-	99,92 ^{ns}	89,89**	81,26**	98,56**
Quadrática	99,89 ^{ns}	-	99,92**	99,55**	99,74**	99,71 ^{ns}
CV (%)	4,38	3,31	3,01	2,53	4,51	4,59

^{ns} diferença não significativa. * e **, respectivamente diferenças significativas aos níveis de 5 e 1 % pelo teste F de Snedecor

¹ Quadrado médios obtidos a partir de análise de variância individual

Como pode ser observado na tabela 2, com exceção do Experimento 1, tanto o índice NDVI quanto o SPAD foram eficientes em diferenciar a resposta aos tratamentos aplicados com boa precisão medida pelo CV%, apresentando também regressões significativas de alto coeficiente de determinação. Mesmo os resultados de cada índice sendo comparáveis, é importante salientar, assim como relatado por Amaral et al. (2010), que os clorofilômetros apresentam desvantagens práticas quando comparados aos SOAT, relativas à densidade amostral e tempo de coleta.

Especificamente sobre as equações de regressão entre doses de N e o NDVI Figura 1, no experimento 1 (regressão linear), o nível mais alto do tratamento não foi suficiente para que fosse observado efeito prejudicial no NDVI por possível excesso de nitrogênio. Este comportamento não se repetiu nos outros dois experimentos (regressões quadráticas) e as doses de maior resposta foram diferentes para cada um deles, 78 e 122 kg N ha⁻¹ respectivamente para os experimentos 2 e 3.

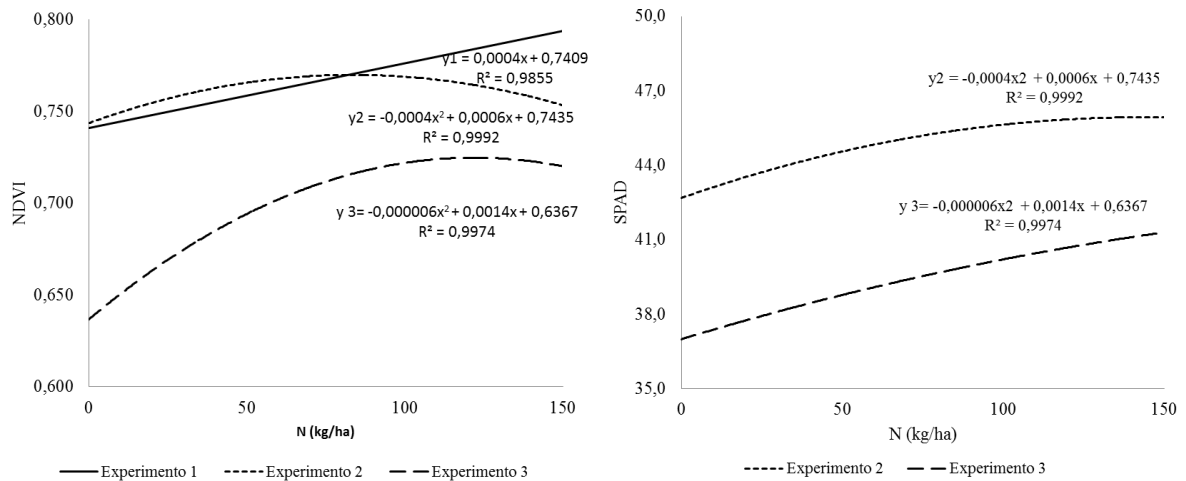


Figura 1. Curvas de Regressão entre doses de N (kg/ha) e os valores de NDVI e entre as doses de N (kg/ha) e o índice SPAD

Este resultado possivelmente pode ser explicado pela característica de cada solo, e por isso no experimento 3 (Neossolo quartzarênico) a cultura respondeu a doses mais altas do que no experimento 2 (Latosolo vermelho).

Sobre as regressões entre os valores do índice SPAD e as doses de N, pode-se observar que, exceto para o experimento 1, o comportamento de resposta da cultura à adubação nitrogenada medida pelo índice SPAD foi similar à resposta medida pelo NDVI, ou seja, a cultura respondeu a doses mais altas de N no experimento 2 (150 kg/ha) do que no experimento 3 (113 kg N / ha).

Assim como esperado, as correlações entre os índices NDVI e SPAD foram altas, $r = 0.63$ no experimento 2 e 0.94 no experimento 3. No experimento 1, o SPAD não foi capaz de identificar diferença entre as doses e por isso teve correlação fraca com os dados de NDVI ($r=0,03$). A figura 2 mostra a correlação entre todos os dados de NDVI e SPAD em todos os experimentos.

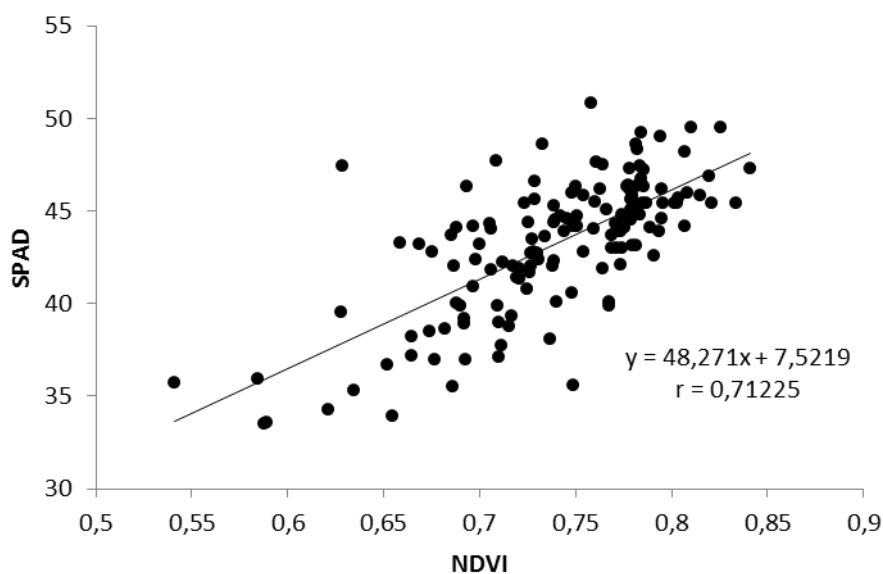


Figura 2: Correlação entre leituras de NDVI e SPAD para todos os experimentos e tratamentos.

Observa-se na figura 2 que a correlação geral entre NDVI e SPAD foi alta ($r=0,71$) corroborando Amaral, (2010), o qual determinou $r=0,75$, em cana-de-açúcar com o mesmo clorofilômetro e o sensor Crop Circle ACS-210.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, nem as leituras de NDVI nem o índice SPAD foram influenciados por diferentes variedades. Além disso, ambos foram eficientes em diferenciar a resposta às diferentes doses de N aplicadas, produzindo boas equações de regressão, importantes para desenvolvimento de algoritmos de aplicação de N em taxas variáveis. As doses de N utilizadas no experimento 1, não foram suficientes para que se obtivesse resposta máxima medida por meio do NDVI, diferentemente dos experimentos 2 e 3 onde foram observadas respostas até as doses altas de nitrogênio, o experimento 3 o mais responsivo, assim como esperado devido ao tipo de solo presente na área experimental. Respostas medidas através do índice SPAD foram semelhantes às medidas pelo NDVI e as correlações entre NDVI e SPAD foram altas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida ao primeiro autor, à APTA pela colaboração com os experimentos e à GeoAgri/Trimble pela disponibilização do conjunto de sensores GreenSeeker.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. R. DO. Sensor ótico no auxílio à recomendação de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar. Dissertação mestrado. Esalq-USP, 2010.
- AMARAL, L. R. DO, & MOLIN, J. P. (2011). Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana de açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(12), 1633-1642.
- AMARAL, L. R. DO, PORTZ, G., FARIA, T. F., & MOLIN, J. P. (2010). Comparação de Clorofilômetros Como Indicadores De Suficiência De Nitrogênio Em Cana-De-Açúcar. *Anais do 4 CONBAP* (p. 7).
- CANTARELLA, H. (2007). Nitrogênio. In R. F. Novais, V. H. Alvarez, N. F. de Barros, R. L. F. Fontes, R. B. Cantarutti, & J. C. L. Neves (Eds.), *FERTILIDADE DO SOLO* (p. 1017). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- FRANCO, H. C. J., OTTO, R., FARONI, C. E., VITTI, A. C., ALMEIDA DE OLIVEIRA, E. C., & TRIVELIN, P. C. O. (2011). Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. *Field Crops Research*, 121(1), 29-41. doi:10.1016/j.fcr.2010.11.011
- LOFTON, J., TUBANA, B. S., KANKE, Y., TEBOH, J., & VIATOR, H. (2012). Predicting Sugarcane Response to Nitrogen Using a Canopy Reflectance-Based Response Index Value. *Agronomy Journal*, 104(1), 106. doi:10.2134/agronj2011.0254
- MOLIN, J. P., FRASSON, F. R., AMARAL, L. R., POVH, F. P., & SALVI, J. V. (2010). Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio Capability of an optical sensor in verifying the sugarcane response to nitrogen rates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(12), 1345-1349.

PORTZ, G., MOLIN, J. P., & JASPER, J. (2011). Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. *Precision Agriculture*, 13(1), 33-44. doi:10.1007/s11119-011-9243-4

RAIJ, B. V. (2011). *Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes* (p. 420). Piracicaba: IPNI.

SAMBORSKI, S. M., TREMBLAY, N., & FALLON, E. (2009). Strategies to Make Use of Plant Sensors-Based Diagnostic Information for Nitrogen Recommendations. *Agronomy Journal*, 101(4), 800. doi:10.2134/agronj2008.0162Rx

THORBURN, P. J., MEIER, E. A., & PROBERT, M. E. (2005). Modelling nitrogen dynamics in sugarcane systems: Recent advances and applications. *Field Crops Research*, 92(2-3), 337-351. doi:10.1016/j.fcr.2005.01.016

SiBCS. *SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS*. (2006) 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. (p. 306).