

ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DE DADOS DE SENSOR DE REFLETÂNCIA DO DOSSEL

LUCAS R. AMARAL¹, GUSTAVO PORTZ², HUGO J.A. ROSA³, JOSÉ P. MOLIN⁴

¹ Engenheiro Agrônomo, doutorando em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 91083582, lucasamaral@agronomo.eng.br

² Engenheiro Agrônomo, doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Piracicaba – SP

³ Engenheiro Agrônomo, mestrando em Fitotecnia, ESALQ/USP, Piracicaba – SP

⁴ Engenheiro Agrícola, Prof^o Associado, Depto. de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba – SP

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

RESUMO: Sensores que mensuram a refletância do dossel das plantas focando a aplicação de nitrogênio em taxa variável são oferecidos no mercado nacional. Entre suas estratégias de uso merece destaque uma que leva em consideração o potencial produtivo da cultura e sua resposta ao nitrogênio (faixa rica em N). Devido às amplas condições de cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é difícil realizar experimentação para a criação de modelos locais. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver um modelo generalizado que, a partir de mensurações com um sensor de dossel, possa prever a produtividade de cana-de-açúcar. Para tanto, seis experimentos em parcelas sob diferentes condições foram avaliados com o sensor CropCircle ACS-210 em diferentes momentos (altura de colmos da cultura) e seus valores de NDVI foram comparados com a produtividade final de colmos obtidos. Em algumas situações não houve relação entre NDVI e produtividade em razão de alta presença de falhas de brotação, pouca biomassa ou saturação do sinal do sensor. Entretanto, com a cultura apresentando altura média de colmos em torno de 0,5 m, alta relação NDVI/produtividade foi verificada. Com esses dados foi possível gerar um modelo de estimativa de produtividade a partir de dados relativos que pode ser utilizado em diferentes condições de cultivo.

PALAVRAS-CHAVE: Sensor ótico, sensoriamento remoto, aplicação em taxas variáveis.

SUGARCANE YIELD ESTIMATION FROM CROP CANOPY REFLECTANCE SENSOR DATA

ABSTRACT: Sensors measuring canopy reflectance for nitrogen variable rate application are offered in the local market. Among strategies available one that takes into account the crop yield potential and its nitrogen response (N-rich strip) deserves attention. Due to the wide sugarcane growing conditions in Brazil is difficult to carry out experimentation for local models developments. Thus, the objective of this study was to develop a generalized model that predicts the sugarcane yield based on canopy sensor measurements. Six plot experiments in different conditions were evaluated with the canopy sensor CropCircle ACS-210 at

different grow moments (based on plant stem height) and its NDVI values were compared with cane yield. In some situations there was no relationship between NDVI and yield due to high presence of crop failures, low biomass or saturation of the sensor signal. However, when the crop was around 0.5 m average stems height, it was verified high relationship between NDVI and yield. With these data it was possible to develop a yield estimation model from normalized data that can be used in different growing conditions.

KEYWORDS: Optical sensor, remote sensing, variable rates.

INTRODUÇÃO

A fertilização com nitrogênio (N) é um dos gargalos quando se pensa em adubação em taxas variáveis, por não ser realizada, nas condições brasileiras, a análise de solo para verificar a disponibilidade de N para as culturas. Com essa finalidade, o uso de sensores óticos ativos terrestres (sensores de refletância do dossel) para a recomendação e aplicação de nitrogênio (N) em taxas variáveis e em tempo real é ferramenta já consolidada em culturas como trigo e milho na Europa e Estados Unidos (RAUN et al., 2005; KITCHEN et al., 2010). Como equipamentos dessa natureza estão entrando no mercado nacional, mais estudos são necessários para validar essa ferramenta nas condições brasileiras. No Brasil esta técnica é ainda incipiente mesmo em culturas altamente domesticadas (POVH et al., 2008), sendo que em cana-de-açúcar o desafio é ainda maior devido as características diferenciadas das plantas e do sistema de cultivo (período para adubação, ausência de estádios fenológicos bem definidos, tempo de cultivo, etc.).

Uma das estratégias de recomendação de N mais estudadas e que leva em consideração um maior número de variáveis, tem como informação básica a resposta da cultura ao N em determinada situação assim como seu potencial produtivo (RAUN et al., 2002, 2011), estimado a partir de uma equação previamente levantada para relacionar valores mensurados pelos sensores de dossel com a produtividade das culturas. Dessa forma, a obtenção de uma confiável estimativa de produtividade mediante avaliação com os sensores de dossel é essencial para a correta aplicação de N por essa tecnologia.

Molin et al. (2010) e Amaral e Molin (2011), trabalhando com diferentes sensores de NDVI verificaram boa eficiência desses equipamentos em determinar a produtividade final de colmos da cana-de-açúcar. Entretanto, os valores de NDVI podem variar conforme a biomassa apresentada pela cultura no momento da avaliação, assim como a produtividade final é alterada pelos diversos sistemas de cultivo encontrados no Brasil (tipo de solo, variedades, regime hídrico, etc.), dificultando a geração de um único modelo que atenda aos produtores de forma geral.

No entanto, para que possa ocorrer plena adoção dessa tecnologia nas condições brasileiras, onde um produtor pode produzir cana em diferentes ambientes de produção, é necessário se ter um modelo de fácil adoção e que não precise ser específico para cada situação. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo a construção e a validação de um modelo generalizado que estime a produtividade da cana-de-açúcar a partir de mensurações com um sensor de refletância do dossel.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho constou de seis experimentos em parcelas instalados em campo comercial na região de Ribeirão Preto, SP durante os anos de 2009 e 2011, em diferentes condições de cultivo (Tabela 1) para a construção do modelo para estimativa de produtividade. Cada parcela possuía seis fileiras de cana por 15 m de comprimento, com cinco tratamentos (doses de N - *não é o objetivo do presente trabalho*) e quatro repetições em blocos ao acaso.

Foram realizadas três avaliações com o sensor de dossel durante o período hábil para a realização da adubação da cultura da cana-de-açúcar por meio de veículo autopropelido, adotando-se como indicador a altura de colmos (altura até a primeira folha com aurícula visível – 0,2-0,3 m, 0,4-0,6 m e 0,7-0,8 m), devido ao fato de a cultura não apresentar estádios fenológicos bem definidos.

TABELA 1. Características das áreas de estudo e situação de cultivo.

Área	Variedade	Textura do solo	Safra ¹	Época ²	Corte ³
1	RB855453	argiloso	2010	meio	segundo
2	RB855453	argiloso	2010	meio	quarto
3	CTC2	arenoso	2010	final	segundo
4	CTC2	arenoso	2010	final	terceiro
5	RB855156	argiloso	2011	meio	terceiro
6	RB855453	argiloso	2011	meio	terceiro

¹ ano de colheita; ² época do ano em que a cana é cultivada: meio = seca, final = chuvosa; ³ número de cortes executados no canavial ao final do experimento

O sensor de dossel utilizado foi o CropCircle, modelo ACS-210 (*Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, EUA*), que emite luz modulada em 590 nm (âmbar) e 880 nm (Infravermelho próximo) e capta sua refletância, calculando o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Eq. 1)

$$NDVI = [(R_{NIR} - R_{âmbar}) / (R_{NIR} + R_{âmbar})] \quad (1)$$

em que,

R_{NIR} – refletância no infravermelho próximo;

$R_{âmbar}$ – refletância no visível (âmbar).

O conjunto de sensores foi acoplado a um Uniport 3000 NPK (Máquinas Agrícolas Jacto, Pompéia, SP), sendo os sensores mantidos a uma distância de 1,0 m acima do dossel com uma frequência de coleta de 10 dados por segundo, totalizando cerca de 600 pontos por parcela (Figura 1). No momento ideal de colheita as parcelas foram colhidas mecanicamente e pesadas de forma individualizada, a partir de balança embarcada em caminhão.



FIGURA 1. Sensores de dossel CropCircle ACS-210 acoplados na barra de aplicação do Uniport 3000 NPK (Máquinas Agrícolas Jacto).

Foi analisada a correlação entre os valores de NDVI e a produtividade final de colmos obtidas nas seis áreas e nas três avaliações separadamente. Para a construção do modelo de estimativa de produtividade foi calculado o valor médio de produtividade e NDVI para todas as áreas experimentais, sendo que para esses valores obtidos foi atribuído o valor 100%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando as relações entre NDVI e produtividade de cada área (Tabela 2), observou-se que a área 3 não apresentou correlação significativa em nenhuma das duas avaliações realizadas ($p > 0,05$), provavelmente devido a quantidade demasiada de falhas de brotação, o que causa interferência na refletância obtida pelo sensor, proporcionando grande influência do substrato.

Ao observar as avaliações separadamente verificou-se que duas áreas não apresentaram correlação significativa na primeira avaliação (áreas 1 e 5) e uma área na terceira avaliação (área 6). As possíveis explicações para isso são: na fase inicial de desenvolvimento da cultura (até 0,3 m de altura) ainda há pouca biomassa e conseqüentemente alta interferência do substrato; no final do período disponível para aplicação (mais de 0,7 m de altura) algumas touceiras podem estar mais desenvolvidas (próximas a 1,0 m de altura), chegando a saturar o sinal do sensor, ou seja, a biomassa aumenta, mas o NDVI não aumenta proporcionalmente.

Contudo, na segunda avaliação (plantas com 0,4-0,6 m de altura de colmos), com exceção da área 3, todas as áreas apresentaram alta correlação entre NDVI e produtividade ($p < 0,01$). Por essa razão esse período pode ser determinado como ideal para o uso de sensores de dossel, corroborando Amaral e Molin (2011) e Portz et al. (2012). Vale lembrar que após a avaliação com sensores óticos, a cultura da cana ainda fica em desenvolvimento no campo por pelo menos 200 dias, o que pode dificultar a obtenção de boas relações com a produtividade em função das variações climáticas que podem ocorrer ao longo do desenvolvimento da cultura.

Na Figura 2 é possível notar a dispersão maior entre os pontos quando utilizando de dados do sensor de dossel coletados na primeira e terceira avaliações, respectivamente plantas com altura de colmos de 0,2-0,3 e 0,7-0,8 m. Por outro lado, observa-se alta capacidade do modelo em estimar a produtividade relativa da cana-de-açúcar com plantas entre 0,4 e 0,6 m de altura de colmos, representado pelo baixo erro na estimativa de produtividade (RMSE - raiz quadrada do erro médio), indicando que o erro do modelo fica em torno de 3,25%, assim como o alto ajuste da equação (R^2). Nota-se também que na segunda avaliação há uma maior amplitude entre os valores de NDVI, mostrando que nessa avaliação o sensor de dossel é mais sensível para identificar as diferenças de biomassa da cultura.

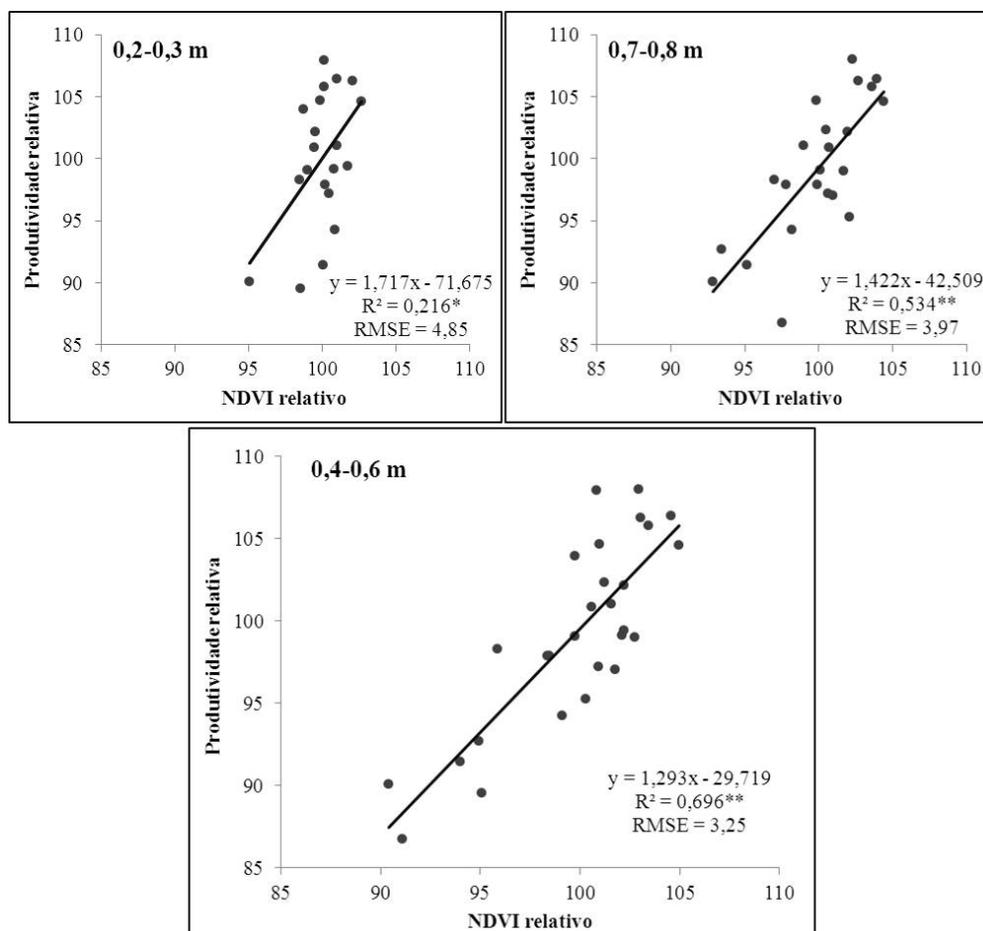


FIGURA 2. Gráficos de dispersão mostrando a relação entre produtividade relativa e valores de NDVI relativos obtidos em todas as áreas experimentais nas três avaliações (primeira e terceira avaliações – acima), com destaque para os dados da segunda avaliação (plantas com altura entre 0,4 e 0,6 m - abaixo), os quais apresentaram melhores resultados para prever a produtividade; valores do coeficiente de determinação (R^2) e a raiz quadrada do erro médio (RMSE).

Para se chegar então a um valor de produtividade em $Mg\ ha^{-1}$ ($t\ ha^{-1}$) se faz necessário a determinação de uma produtividade esperada para aquela área (produtividade relativa = 100%) arbitrada pelo usuário, que deve ser função do ambiente de produção, variedade, corte e condições climáticas durante a safra, podendo ou não levar em conta a colheita da safra

anterior. Quanto ao valor de NDVI, há algumas alternativas. A mais simples é adotar o valor médio de NDVI da área como sendo representativo do valor 100%, assim como foi adotado no presente trabalho.

Uma outra forma seria para aqueles produtores que visam realizar a aplicação de N em taxas variáveis a partir de mensurações com o sensor. Para essa finalidade também existem diversas estratégias (HOLLAND & SCHEPERS, 2011; AMARAL et al., 2012), mas uma das mais interessantes demanda a utilização de uma faixa rica em N que tem como objetivo estimar a resposta da cultura ao N em uma determinada situação edafoclimática (RAUN et al., 2002; KITCHEN et al., 2010; AMARAL & MOLIN, 2011). Com a avaliação prévia com o sensor nessa porção da lavoura seria obtido um valor médio de NDVI que representaria o valor 100%.

TABELA 2. Correlação linear entre produtividade final de colmos nas seis áreas experimentais e NDVI mensurado pelo sensor de dossel nas três avaliações realizadas de acordo com a altura de colmos da cana-de-açúcar.

Área	Primeira avaliação	Segunda avaliação	Terceira avaliação
	0,2-0,3 m	0,4-0,6 m	0,7-0,8 m
1	0,184 ^{ns}	0,763 ^{**}	0,687 ^{**}
2	0,759 ^{**}	0,648 ^{**}	0,714 ^{**}
3	-	0,474 ^{ns}	0,355 ^{ns}
4	0,680 ^{**}	0,628 ^{**}	0,558 [*]
5	0,171 ^{ns}	0,488 [*]	-
6	-	0,623 ^{**}	0,147 ^{ns}
Geral	0,553 ^{**}	0,603 ^{**}	0,434 ^{**}

^{ns}, * e ** indicam, respectivamente, correlação linear de Pearson não significativa e significativa a 5% e a 1%.

Sendo assim, acredita-se que realizando-se mensurações com o sensor em campo nesse período, seja possível identificar de forma satisfatória a variabilidade na produção. Dessa forma, com o uso de um sensor ótico acoplado a um maquinário agrícola que adentre a lavoura nesse período, torna-se possível estimar a produtividade de forma espacializada, o que pode direcionar não só a aplicação de N, como também de qualquer outro insumo que tenha produtividade ou biomassa como fator de decisão, bem como permitir projeções de produção com desdobramentos relacionados à sua espacialização, como a própria logística de colheita. Da mesma forma, pode possibilitar o direcionamento de amostragens que tenham como objetivo identificar os fatores que possam estar interferindo negativamente na produção, como compactação do solo, pragas, erosão, etc.

CONCLUSÕES

O sensor de dossel estudado é ferramenta útil para estimar a produtividade de cana-de-açúcar. Trabalhado com valores relativos de NDVI e de produtividade foi possível a obtenção de um modelo generalizado para estimar a produtividade da cultura. Mais estudos devem ser conduzidos para validar esse modelo.

AGRADECIMENTOS

À FINEP, projeto PROSENSAP, e ao CNPq, pelo apoio financeiro; à FAPESP, pela concessão de bolsa ao primeiro autor; à Usina São Martinho, ao Centro de Tecnologia Canavieira e à Jacto Máquinas Agrícolas, pela parceria.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L.R.; PORTZ, G.; ROSA, H.J.A.; MOLIN, J.P. Use of active crop canopy reflectance sensor for nitrogen sugarcane fertilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11., 2012, Indianápolis. **Anais...** Indianápolis, EUA: ICPA/ISPA, 2012.

AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p.1633-1642, 2011.

HOLLAND, K. H.; SCHEPERS, J. Active crop sensor calibration using the virtual-reference concept. In: CONFERENCE EUROPEAN ON PRECISION AGRICULTURE, 8, 2011, Praga, **Anais...** República Tcheca: ECPA, 2011.

KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. et al. Ground-Based Canopy Reflectance Sensing for Variable-Rate Nitrogen Corn Fertilization. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 71-84, 2010.

MOLIN, J.P.; FRASSON, 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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1345-1349, 2010.

PORTZ, G.; AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P.; JASPER, J. Optimum sugarcane growth stage for canopy reflectance sensor to predict biomass and nitrogen uptake. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11., 2012, Indianápolis. **Anais...** Indianápolis, EUA: ICPA/ISPA, 2012.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M. et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1075-1083, 2008.

RAUN, W.R.; SOLIE, J.B.; JOHNSON, G.V.; STONE, M.L.; MULLEN, R.W.; FREEMAN, K.W.; THOMASON, W.E.; LUKINA, E.V. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 815-820, 2002.

RAUN, W.; SOLIE, J.; STONE, M. et al. Optical Sensor-Based Algorithm for Crop Nitrogen Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, p. 2759-2781, 2005.

RAUN, W.R.; SOLIE, J.B.; STONE, M.L. Independence of yield potential and crop nitrogen response. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 508-518, 2011.