

# COMPARAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR SENSOR DE REFLECTÂNCIA DE DOSEL SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO

Lucas Cortinove<sup>1</sup>, Lucas Rios do Amara<sup>2</sup>, José Paulo Molin<sup>3</sup>

Universidade de São Paulo /Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"  
Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Agrônoma, ESALQ/USP, e-mail: lucas.cortinove@usp.br

<sup>2</sup>Doutorando em Fitotecnia, ESALQ/USP, e-mail: lucasamaral@agronomo.com.br

<sup>3</sup>Professor Associado, ESALQ/USP, e-mail: jpmolin@usp.br

**RESUMO:** Uma alternativa para considerar a ausência do teor no solo de nitrogênio (N) é o uso de sensores de reflectância de dossel que, através de índices de vegetação (IV), avaliam a condição nutricional de N das plantas. O IV mais utilizado para esse fim é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), mas outros índices abordados na literatura internacional podem trazer resultados mais interessantes para a identificação do status nutricional do milho em diferentes estádios de desenvolvimento. Desta forma, esse trabalho tem o objetivo de comparar dez IV's na identificação da nutrição da cultura do milho por N em diferentes estádios fenológicos (V4 até V14). Para isso, foi implantado um experimento em blocos casualizados com quatro repetições com cinco doses de nitrogênio (40 até 200 kg ha<sup>-1</sup>), mais uma parcela controle sem aplicação de N. As avaliações foram realizadas com dois sensores de dossel (Crop Circle ACS-210 e Crop Circle ACS-470), um clorofilômetro (SPAD-502), mensurações de altura, além de avaliações de N foliar em dois estádios fenológicos (V8 e V14). Entre os IV's testados, o IV CCCI apresentou melhores resultados, identificando doses de N desde V4. Independente do IV utilizado, os melhores resultados dos coeficientes de determinação das análises de regressão (R<sup>2</sup>) foram em V10. Os IV's MCARI e MTVI2 apresentaram os piores resultados de R<sup>2</sup>, enquanto os IV's CI e NDVI foram os que apresentaram maior tendência de saturação do sinal.

## INTRODUÇÃO

As quantidades de N disponível no solo, especialmente nos tropicais, não são obtidas a partir de análise de solo de rotina. Dessa forma, a sua recomendação é baseada apenas na extração e exportação das culturas, sem levar em consideração o seu teor no solo e sua variabilidade espacial. Amaral e Molin (2011) conseguiram identificar variabilidade espacial de N em condições de campo, tendo como base informações de biomassa da cana-de-açúcar medida por um sensor de reflectância do dossel.

A recomendação da aplicação da adubação nitrogenada de cobertura, embora possa ser parcelada em duas ou mais aplicações, é realizada usualmente em V4 no milho, já que é neste estágio que se iniciam a diferenciação floral e a formação do potencial produtivo da planta (Fancelli e Dourado Neto, 2004). Entretanto, Povh (2011), trabalhando o IV NDVI<sub>âmbar</sub> (Crop Circle ACS-210), verificou que em V4 as leituras ainda sofrem influência da população e espaçamentos entre fileiras da cultura, o que prejudica a utilização de sensores de dossel nesse estágio. Correlações altas das doses de N com NDVI<sub>âmbar</sub> foram encontradas em períodos mais tardios (V10 em diante) (Povh, 2011). Dessa forma, seria viável utilizar essa ferramenta apenas quando a fertilização com N em cobertura fosse parcelada.

Uma solução para esse problema pode ser a utilização de outros IVs, uma vez que alguns estudos vêm apontando que outros IV's calculados a partir de outros comprimentos de onda podem expressar de maneira mais precisa a nutrição das plantas por N para a cultura do milho, assim como minimizar a interferência do solo e de fatores causadores de estresse que venham a influenciar a quantidade de biomassa acumulada pela cultura (Shiratsuchi, 2011; Solari, 2008).

Entretanto, estudos com esses IV's em condições tropicais ainda carecem de informações e resultados. Logo, espera-se que outros IV's obtidos por sensor de reflectância permitam avaliação mais precoce com sensores, possibilitando aplicação de N em taxa variável mais cedo, assim como demonstrem maior relação com a resposta da cultura ao N aplicado. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi comparar diferentes índices de vegetação na identificação da nutrição da cultura do milho por nitrogênio em diferentes estádios fenológicos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi implantado um experimento de delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, com parcelas de 5 m de comprimento e com cinco fileiras de milho. Os tratamentos constaram de cinco doses de N (40, 80, 120, 160 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e um tratamento controle sem

aplicação de N. Na semeadura as parcelas receberam 40 kg ha<sup>-1</sup> e as parcelas com doses de N receberam a diferença para a dose total em cobertura, quando o milho estava no estágio fenológico V4, usando o fertilizante nitrato de amônio (30% de N).

As avaliações para obtenção dos IV's foram realizadas com dois sensores de reflectância de dossel, Crop Circle ACS-210 e Crop Circle ACS-470 (*Holland Scientific*, Inc. Lincoln, NE). Com os dados obtidos pelo sensor Crop Circle ACS-210 foram calculados dois índices de vegetação (NDVI<sub>âmbar</sub> e Cl<sub>âmbar</sub>). Os IV's calculados pelo sensor ACS-470 foram: NDVI, CI, NDRE, MTCl, MCARI, OSAVI, MTVI2 e CCCl.

As avaliações com os sensores de dossel foram feitas quando a cultura atingiu diferentes estádios de desenvolvimento (V4, V6, V8, V10, V12 e V14). Avaliações adicionais foram feitas com um clorofilômetro portátil (SPAD-502, Konica Minolta Sensing, Inc., Sakai, Osaka, Japão), além da mensuração da altura de 15 plantas por parcela a partir de V6. Para avaliar o estado nutricional das plantas em relação ao N, foram realizadas análises foliares em dois estádios fenológicos (V8 e V14).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de significância. Quando significativa, procedeu-se análise de contrastes ortogonais (apenas em V4) ou análises de regressão, testando os componentes linear e quadrático (demais estádios fenológicos). Como critério para a escolha dos modelos de regressão, selecionaram-se os modelos que apresentaram maior significância dos parâmetros de regressão até 5% de significância pelo teste t. Para as variáveis clorofilômetro, altura e N foliar, foram realizadas correlações de Pearson para cada IV. Foram aceitas correlações significativas até 5% de probabilidade pelo teste t. Todas as análises foram feitas no software SISVAR (Ferreira, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No momento das leituras em V4, ainda não havia sido aplicada a dose total de N, sendo que apenas os IV's NDVI<sub>âmbar</sub>, Cl<sub>âmbar</sub> e CCCl e o SPAD (clorofilômetro) foram capazes de identificar diferença entre os tratamentos com dose de N e o controle. Isso pode ter ocorrido porque NDVI<sub>âmbar</sub> e Cl<sub>âmbar</sub> são os IV's calculados pelo sensor ACS-210. Logo, a avaliação com esse sensor pode ter sofrido algum tipo de interferência indesejada, já que na avaliação seguinte (V6), essa diferença deixou de existir. Como o CCCl, à exemplo do SPAD, foi capaz de identificar diferença quando da aplicação de N, isso mostra que esse IV merece destaque em avaliações precoces.

No estágio V6 apenas os IV's MTCl e CCCl identificaram as doses de N. Contudo, os valores dos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) da análise de regressão entre as doses de N e os IV's obtidos neste estágio foram bem inferiores aos valores obtidos nos demais estádios fenológicos. Esses mesmos IV's foram os que apresentaram as maiores correlações com SPAD e os únicos que apresentaram correlação significativa com altura de plantas. Isso mostra que esses índices foram capazes de identificar a resposta do milho à doses de N, uma vez que a altura foi diferente entre os tratamentos. Para os demais IV's, as avaliações realizadas neste estágio fenológico ainda são demasiadamente precoces. Logo, as alterações em teor de clorofila (SPAD) e/ou acúmulo de biomassa (altura) causado pelas diferentes doses de N não foram perceptíveis por esses IV's.

No estágio V8, os IV's possuíram capacidade semelhante em identificar as doses de N, evidenciado pelos valores próximos de R<sup>2</sup>. Essa tendência só não se repete para os IV's NDVI, MCARI e MTVI2. O valor de R<sup>2</sup> referente a esses IV's a partir deste estágio fenológico decresce, sendo que uma explicação para isso é o efeito de saturação do sinal do sensor na reflectância do vermelho, assim como observado por Povh (2008). Isso mostra sua baixa eficiência em identificar a nutrição do milho por N.

As correlações entre os IV's e SPAD atingem valores máximos neste estágio para os IV's NDVI, NDVI<sub>âmbar</sub>, CI, NDRE, MCARI e OSAVI. As correlações entre o N foliar e cada IV foi significativa para todos os IV's. Isso mostra que a cultura está respondendo as doses de N em termos de acúmulo de clorofila e de N, assim como propiciando um maior desenvolvimento das plantas (alta correlação entre altura de plantas e os IV's), e que os IV's estão sendo capazes de identificar isso. Esse estágio fenológico (V8) seria o ideal para aplicação de N em taxa variável regida pelos IV's, porque não está tão distante do estágio recomendado para aplicação de N em cobertura e os valores de R<sup>2</sup> e correlações foram altos.

Em V10, o maior número de IV's apresentou o valor máximo de R<sup>2</sup> (CI, Cl<sub>âmbar</sub>, NDRE, MTCl e CCCl). Nesse estágio a demanda de N pela planta está alta e a planta apresenta boa biomassa para avaliação. As correlações com o SPAD foram significativas para todos os IV's.

Os maiores valores de correlação dos IV's com a altura foram encontrados neste estágio fenológico. Pelo uso dos IV's, esse estágio fenológico foi o ideal para o uso dos IV's, porque os maiores valores de R<sup>2</sup> foram encontrados, contudo uma aplicação nesse estágio pode acarretar deficiências de N irreversíveis para a planta.

Em V12 os valores de R<sup>2</sup> apresentam queda para aqueles IV's que apresentaram o valor máximo em V10. As correlações com o SPAD sofreram queda em relação aos dois estádios anteriores, mesmo assim os IV's Cl<sub>âmbar</sub>, MTCl e CCCI apresentaram altos valores de correlação. As correlações com altura sofreram queda em relação ao estágio anterior. Isso ocorre porque o acúmulo de diferentes camadas de folhas faz com que o sensor capte apenas a refletância das camadas superiores do dossel, reduzindo a relação com altura (Ciganda et al., 2012).

Em V14 os valores de R<sup>2</sup> continuaram a decrescer para os IV's NDVI, CI, NDRE, MTCl e CCCI. No entanto, para os IV's, NDVI<sub>âmbar</sub> e OSAVI os valores aumentaram em relação ao estágio anterior. Esses últimos dois IV's foram aumentando os valores de R<sup>2</sup> desde a avaliação em V8, indicando que o solo pode ter interferido de forma negativa e quanto maior a cobertura vegetal sobre o solo, maior foi o valor de R<sup>2</sup> encontrado. Entretanto, isso também pode ser indicativo de uma baixa sensibilidade às alterações no dossel das plantas, porque os valores de correlação com o SPAD, altura e N foliar foram decrescendo até esse estágio.

## CONCLUSÃO

Os IV's que melhor identificaram as doses de N e o estado nutricional das plantas foram os IV's CCCI e MTCl. Os piores IV's foram o MCARI e MTVI2. Os IV's apresentaram dificuldade em identificar as doses de N em estádios iniciais (V4 e V6), mas os IV's CCCI e MTCl mostraram potencial para serem usados nesses estádios, assim como em todo o ciclo da cultura. Em estádios vegetativos tardios (V10 e V12), os IV's identificaram melhor as doses de N, mas a aplicação de N apenas nestes estádios pode causar danos à cultura e implicar numa deficiência de N.

Os IV's NDVI<sub>âmbar</sub> e OSAVI apresentaram melhores resultados em estádios mais tardios (V14), embora esse comportamento possa ser um indicativo de menor sensibilidade de alterações no dossel das plantas ou que esses IV's são mais suscetíveis à interferência do solo. Os IV's NDVI e CI, que trabalham com o comprimento de onda de 670 nm, foram os que apresentaram maior facilidade de saturação.

A comparação entre os IV's no Brasil apresentou resultados semelhantes aos obtidos em experimentos conduzidos em clima temperado.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p. 1633-1642, 2011.
- CIGANDA, V. S.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. How deep does a remote sensor sense? Expression of chlorophyll content in a maize canopy. **Remote Sensing of Environment**, v. 126, p. 240-247, 2012.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; **Produção de milho**. 2ª Ed. Piracicaba: Os autores. 360p. 2004.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- POVH, F.P.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J.V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1075-1083, 2008.
- POVH, F.P.; **Gestão da adubação nitrogenada em milho utilizando sensoriamento remoto**. 107 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2011.
- SHIRATSUCHI, L. S.; FERGUSON, R. B.; SHANAHAN, J. F.; ADAMCHUK, V. I.; SLATER, G. P. Water and nitrogen effects on active canopy sensor vegetation indices. **Agronomy journal**, v. 103, n. 6, p. 1815-1826, 2011
- SOLARI, F.; SHANAHAN, J.; FERGUSON, R.B.; SCHEPERS, J.S.; GITELSON, A.A. Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3, p. 571-579, 2008