

SENSOR ÓPTICO ATIVO NA ESTIMATIVA DA DEPOSIÇÃO DE CALDA DA CULTURA DO MILHO POR USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

EDER EUJÁCIO DA SILVA¹, FABIO HENRIQUE ROJO BAIO², FERNANDO HENRIQUE QUEIROZ SOUZA³, MARCO ANTÔNIO VRECH DE SOUZA⁴

¹ Discente de Agronomia, Universidade

Federal de Mato Grosso do Sul, (67) 99642-4588, e.eujacio@gmail.com

² Professor do Departamento de Máquinas, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

³ Mestrando em Produção Vegetal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

⁴ Mestre em Produção Vegetal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: A determinação da taxa de aplicação em uma determinada cultura ainda é subjetiva em campo. O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma equação que indique deposição adequada segundo o indicativo de um índice de vegetação (IV) e de uma taxa de aplicação para a cultura do milho. A cultura foi implantada em espaçamento de 0,45 m e população de 60 mil plantas ha⁻¹ em sistema de semeadura direta. Foi utilizado o sensor multiespectral ativo Crop Circle ACS-470 da Holland Scientific. O delineamento experimental aplicado foi em parcelas subdivididas no esquema fatorial 4x4 (4 taxas de aplicação e em 4 estádios fenológicos), com quatro repetições para cada tratamento. A deposição foi mensurada por balanço de massas. A deposição de calda no estrato médio do milho possui uma função quadrática positiva quando relacionada ao IV e a taxa de aplicação. Com o aumento do IV há a necessidade do aumento da taxa de aplicação para a manutenção da mesma deposição de calda no estrato médio da planta. O uso do NDVI proporcionou o melhor ajuste do modelo matemático ($r=0,80$) dentre os índices testados.

PALAVRAS-CHAVE: Taxa de Aplicação, NDVI, Crop Circle

ACTIVE OPTICAL SENSOR IN ESTIMATION OF CORN DEPOSITION OF CORN CULTURE BY USING VEGETATION INDEXES

ABSTRACT: In order to control weeds, pests and diseases, as well as the application of micronutrients, agricultural spraying is present. The objective of this work was to develop an equation that indicates the adequate application rate according to the indicative of a vegetation index (IV) for the maize crop. The culture was implanted at spacing of 0.45 m and population of 60 thousand plants ha⁻¹ in a no-tillage system. The Holland Scientific Crop Circle ACS-470 active multispectral sensor was used. The experimental design was subdivided into the 4x4 factorial scheme (4 application rates and 4 phenological stages), with four replications for each treatment. The deposition was measured by mass balance. The deposition of syrup in the maize middle stratum has a positive quadratic function when related to IV and the rate of application. With the increase of the IV, there is a need to increase the rate of application for the maintenance of the same deposit in the middle stratum of the plant. The use of NDVI provided the best fit of the mathematical model ($r = 0.80$) among the indexes tested.

KEYWORDS: Application rate, NDVI, Crop Circle

INTRODUÇÃO

O volume de calda utilizado nas pulverizações agrícolas é uma variável importante na aplicação de produtos fitossanitários. Existe tendência de redução na taxa de aplicação, visando

a diminuir os custos e aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores, sem comprometer a eficiência de controle e a segurança da aplicação (FARINHA et al., 2009; FERREIRA et al., 2010).

O êxito da tecnologia de aplicação de agrotóxicos no controle de um alvo depende da recomendação de uma taxa de aplicação adequada. Muitos pulverizadores agrícolas são capazes de aplicar agrotóxicos em doses diferenciadas (*Variable Rate Technology*, ou VRT), todavia, a recomendação acertada desse parâmetro em campo é subjetiva e dependente da experiência do técnico responsável (ANTUNIASSI & BAIO, 2009).

Não se tem uma ferramenta prática para diagnóstico da massa vegetal, que por sua vez, possa ser utilizada para indicar uma taxa de aplicação que garanta certa deposição da calda nos estratos inferiores da cultura. Todavia, índices de vegetação podem indicar a massa vegetal de uma cultura. Existem dois comprimentos de onda que apresentam relação direta com variáveis na planta, indicadores do potencial produtivo: ondas do espectro do vermelho, cuja reflectância é menor em condições de maior quantidade de clorofila; e ondas do espectro do infravermelho, cuja reflectância é maior quanto maior for o acúmulo de massa de matéria seca (MS) da planta (TUCKER, 1979).

Existem outros índices de vegetação (IV's) os quais também possuem uma correlação elevada com a massa vegetal, como reportam RAPER & VARCO (2015). Segundo esses autores, os IV's NDVI e *Green NDVI* (GNDVI) possuem maior correlação com a altura de planta do que os índices de vegetação baseados na borda do vermelho (*RedEdge*). Porém, o IV *RedEdge* é altamente correlacionado com o conteúdo de N foliar. Neste sentido, como afirmaram Ponzoni & Shimabukuro (2009), quanto maior o índice foliar, menor a reflectância no visível e maior no infravermelho próximo.

O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma equação que estime a deposição baseada em uma taxa de aplicação utilizada segundo o indicativo de um índice de vegetação para a cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em na área experimental na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, no município de Chapadão do Sul – MS, com as coordenadas 18°46'17.9" S 52°37'25.0" O, e altitude de 810 m durante a primeira safra 2016/17.

O delineamento experimental aplicado foi em parcelas subdividas no esquema fatorial 4x4 (quatro taxas de aplicação de corante amarelo de tartrazina; quatro estádios fenológicos), com quatro repetições para cada tratamento.

As parcelas experimentais possuíram dimensões de 4 x 6 m com nove linhas semeadas, com total de 64 parcelas. Cada parcela foi cultivada com milho (*Zea mays*) híbrido DKB 310, no plantio foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (Uréia 43% N), 120 kg ha⁻¹ de Fósforo (Superfosfato simples 20% P₂O₅) e 60 kg ha⁻¹ de Potássio (Cloreto de Potássio 58% KCl). A semeadura foi realizada em novembro de 2016, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e população de 60.000 plantas ha⁻¹, para as análises foram utilizadas as fileiras centrais e desprezados um metro de cada extremidade, evitando a contaminação por outros tratamentos.

O sensor utilizado para calcular os IV's foi o Crop Circle modelo ACS-470 (Holland Scientific, Lincoln, EUA), o qual possui três canais de medição óptica da reflectância, associado ao posicionamento de seu GPS integrado. O sensor mede simultaneamente a reflectância da cultura em três comprimentos de onda: 670 nm; 730 nm; e 760 nm.

Foi aplicado em cobertura quando o milho atingiu o estágio fenológico V4 o fertilizante

nitrogenado Ureia (45% N) nas doses de (0, 80, 160, 240 Kg ha⁻¹). Esse insumo foi utilizado para estimular diferenças vegetativas no milho nos diferentes tratamentos, de modo a proporcionar diferenças nos índices vegetativos mensurados pelo sensor multiespectral. Assim, foi possível em uma mesma aplicação obter diferentes recuperações de calda depositada no estrato médio da cultura.

Foram pulverizadas quatro taxas de aplicação (40, 60, 80 e 100 L ha⁻¹) por meio do pulverizador costal pressurizado por CO₂ da Herbicat (Herbicat, Catanduva, Brasil), com 3 m de barra e seis pontas distanciadas a 0,6 m. A distância entre as pontas de pulverização e o dossel da cultura foi mantida constante em 0,5 m. O padrão do tamanho de gotas planejado foi de gotas médias, com 250 µm de diâmetro mediano volumétrico (DMV).

As pontas utilizadas nas aplicações de caldas foram do tipo leque TT 11001 e TT 110015 do fabricante Teejet (Springfield, EUA). Para as taxas de aplicação de 40 e 60 (L ha⁻¹) foram utilizadas a ponta TT 11001 e para as taxas de aplicação de 80 e 100 (L ha⁻¹) a ponta utilizada foi TT 110015, permitindo manter as características do espectro de gotas e variando-se apenas a velocidade de deslocamento em 7, 5,6, 6 e 5 km h⁻¹ respectivamente (1,94, 1,56, 1,67 e 1,39 m s⁻¹), possibilitando assim alcançar taxas de aplicação planejadas.

Segundo a Norma Asae S572.1 (2009), o espectro de gotas deve ser mensurado para fins de classificação de referência por um instrumento baseado em tecnologia laser, seja ele por técnica de difração laser, imagem laser ou mensuração do efeito Doppler por laser. A caracterização do espectro de gotas de experimentos em tecnologia de aplicação é importante para possibilitar o comparativo de resultados de trabalhos semelhantes.

A análise da deposição das diferentes taxas de aplicação foi realizada por meio da técnica de balanço de massas (BAIO et al., 2016), aplicando soluções de calda contendo quatro concentrações do corante industrial amarelo de tartrazina FDC 5 (6.200, 4.133, 3.100, 2.480 mg L⁻¹ para as taxas de aplicação de 40, 60, 80 e 100 L ha⁻¹, respectivamente), de modo a proporcionar a mesma deposição por área aplicada.

As condições ambientais foram monitoradas, temperatura; umidade relativa do ar; e velocidade do vento. Utilizou-se de um anemômetro digital portátil da marca Instrutherm, modelo AD-250 e um termo-higrômetro da marca Instrutemp, modelo TH802A.

Após a aplicação do corante amarelo de tartrazina, realizou-se a coleta de três folhas amostrais do estrato médio da planta, de cada parcela, as quais foram armazenadas em sacos plásticos de 0,30 m x 0,20 m e devidamente identificadas. As folhas foram levadas ao laboratório e cada saco plástico contendo amostras recebeu 30 mL de água destilada, os sacos contendo as amostras e água destilada, foram levados à mesa agitadora orbital marca Tecnal, modelo TE – 145 (Piracicaba, Brasil) onde permaneceram por período de 10 minutos com 150 rotações por minuto, após esse processo a água de cada amostra foi levada ao espectrofotômetro e as folhas submetidas ao Medidor de área foliar portátil CI-203 (CID, Tecnal, Piracicaba, Brasil).

A concentração final de cada amostra foi determinada pelo uso do espectrofotômetro modelo SP-22 da Bioespectro (Curitiba, Brasil), com absorvância em 427 nm do espectro. Foram analisadas as deposições de calda contendo o corante nas folhas do estrato médio da planta.

Foram realizadas quatro aplicações em diferentes estádios fenológicos do milho (V4, V6, V8 e V10). Foram utilizados os IVs NDVI e IV *RedEdge* (Tabela 2).

TABELA 2. Relação dos índices de vegetação calculados pelo uso do sensor multiespectral Crop Circle ACS 470 (R= Reflectância no comprimento de onda).

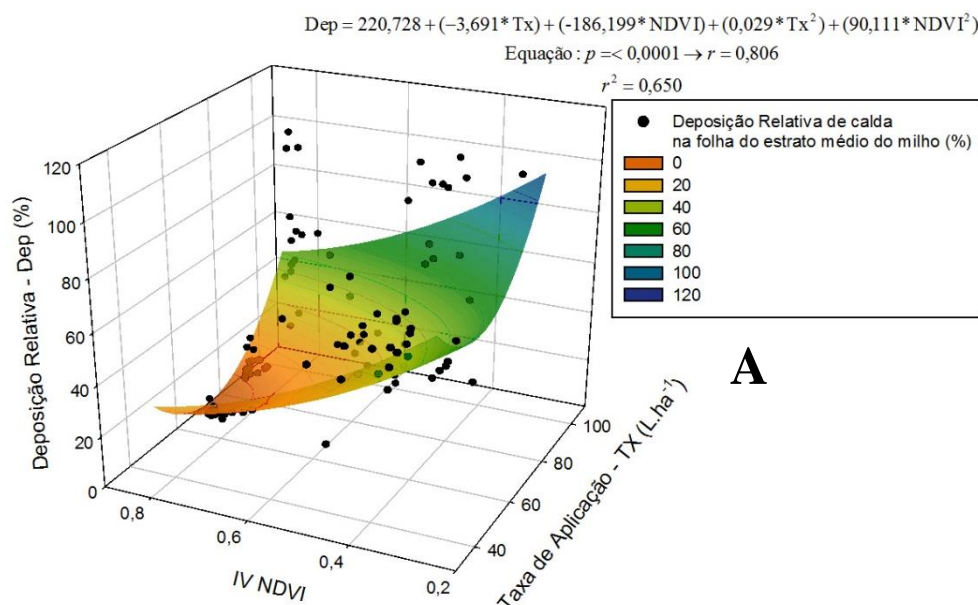
Sigla do Índice de Vegetação	Índice de Vegetação	Equação	Referências Bibliográficas
NDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada	$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$	ROUSE et al. (1973)
IV RedEdge	Índice de vegetação da borda do vermelho	$(\ln R760 - \ln R730) * 100$	PORTZ et al. (2012)

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de normalidade de Shapirowilk e os efeitos dos tratamentos foram avaliados pelo teste de regressão, pelo programa SigmaPlot.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas condições meteorológicas monitoradas em campo verificaram-se temperaturas adequadas nos momentos de aplicação, segundo a classificação reportada por RAETANO (2011). Durante as aplicações nos períodos de V6, V8, V10 e V12, as temperaturas variaram de 25,7 °C a 30,0 °C, a velocidade do vento se manteve entre 4,0 e 9,0 km h⁻¹ e a umidade relativa do ar permaneceram entre 70 e 83 %.

O aumento da deposição relativa está relacionado ao aumento do NDVI, conforme a cultura se desenvolve, ocorre o aumento da massa vegetal, havendo a necessidade do aumento da taxa de aplicação para a manutenção da mesma deposição de calda no estrato médio da planta de milho (Figura 1). O modelo matemático ajustado pelo uso do IV NDVI está na Figura 2A. A partir da equação modelada é possível verificar que a deposição de calda nas folhas do estrato médio do milho possui uma função quadrática positiva quando relacionada ao NDVI e a taxa de aplicação. O modelo matemático ajustado pelo uso do IV *RedEdge*, é apresentado na Figura 2B. Observa-se que a variação de deposição de calda no estrato médio do milho também possui uma função quadrática positiva quando relacionada ao IV *RedEdge* e a taxa de aplicação.



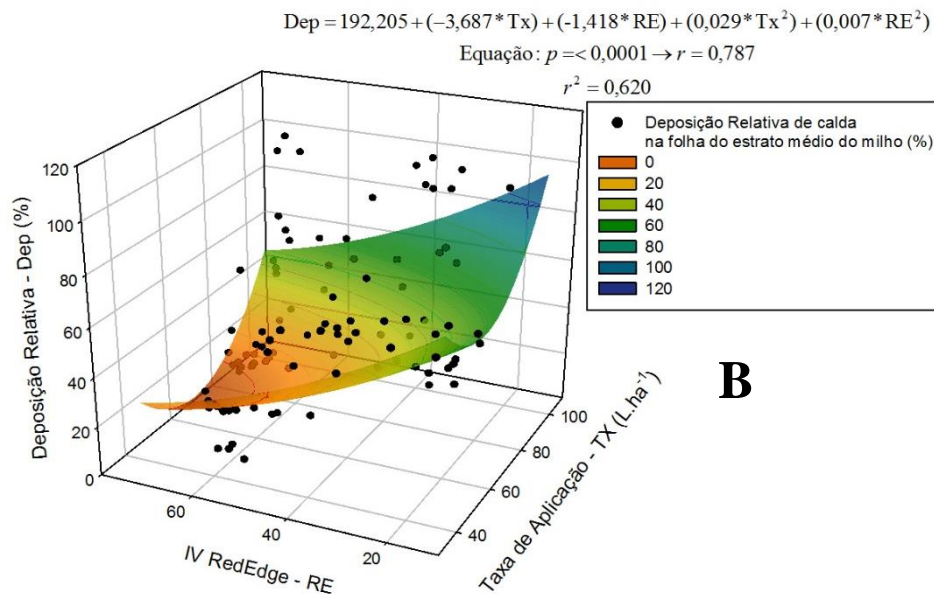


FIGURA 1. Deposição relativa de calda em porcentagem, com relação à taxa de aplicação no milho e aos índices de vegetação NDVI (A) e IV *RedEdge* (B).

A deposição relativa de calda nas plantas de milho, com diferentes taxas de aplicação, pode ser observada na Figura 2A, de acordo com aumento da taxa de aplicação aumentou também a deposição, Taylor & Shaw (1993), destacaram que para obter-se maior deposição de calda de pulverização pode-se variar a taxa de aplicação, tipo de ponta de pulverização, ângulo do bico na barra de aplicação e, estes, ainda estarão dependentes da arquitetura da planta.

Quando o índice NDVI eleva, a taxa de deposição passa a ser maior, isso se explica pelo fato de que o índice de vegetação está correlacionado positivamente à biomassa presente na planta, sendo assim quando maior for a quantidade de biomassa menor será a perda de calda aplicada, e quanto menor for a taxa de aplicação menor também será a deposição de calda sobre a superfície da folha do estrato médio da planta.

Assim, a aplicação de taxa variável em agrotóxicos pode ser realizada na cultura do milho variando-se a taxa de aplicação, conforme as leituras do IV, o qual pode ser mensurado em tempo real ou por mapeamento prévio. Quando o IV é menor, pode-se reduzir a taxa de aplicação, aumentando-se a capacidade de campo operacional do pulverizador, sem comprometer a deposição (Figura 1). Baio et al. (2016) reportam sobre o procedimento necessário para a obtenção do mapa de prescrição de regulador de crescimento em VRT no algodoeiro pelo uso de um IV. Baio & Antuniassi (2015) recomendam que essa variação da taxa de aplicação não seja superior a 20% ao redor da taxa média, para não comprometer o tamanho de gota em função da variação da pressão no circuito hidráulico do pulverizador.

Conforme os valores de IV *RedEdge* tiveram acréscimo devido ao crescimento da planta de milho e conseqüentemente acúmulo de biomassa, a deposição de calda no estrato médio das plantas também teve aumento, na medida em que a taxa de aplicação foi aumentada, uma vez que maiores taxas de aplicação, maior será a deposição de calda nas folhas da planta, porém, as maiores deposições de calda ocorreram quando os valores dos IV NDVI e *RedEdge* apresentaram-se menores, isso se explica pelo fato da planta estar com biomassa reduzida, dessa forma a quantidade de calda aplicada consegue chegar ao terço médio sem que fique retida na folhas do ponteiro.

O mesmo acontece quando se observa a deposição de calda independente da taxa de aplicação nos índices de vegetação maiores, devido ao grande volume de biomassa na planta, as gotas geradas têm maior dificuldade de atingirem o terço médio da planta de milho, ficando assim a maioria retida na região do ápice.

CONCLUSÕES

A deposição de calda no terço médio do milho possui uma função quadrática positiva quando relacionada ao IV e a taxa de aplicação.

Com o aumento do IV há a necessidade do aumento da taxa de aplicação para a manutenção da mesma deposição de calda no estrato médio da planta.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U.R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. In: Vargas L, Roamn ES (Org). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**.2.ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009, p.173-212.
- ASAE S572.1 (2009) - Spray nozzle classification by droplet spectra. In: ASAE Standards. Saint Joseph. 4p.
- BAILO, F. H. R.; ANTUNIASSI, U. R. Pulverização automática. **Cultivar Máquinas** 8(1): 16-18, 2015.
- BAILO F. H. R.; PETTENAN; A. L.; CAMOLESE H.; FRANCISCHETTI; G. R. R. Evaluation of spray deposits with twin flat tip with air induction in two soybean stages. **Idesia**. 34(4): 43-48, 2016.
- FARINHA J.V.; MARTINS D.; COSTA N. V.; DOMINGOS, V. D. Deposição da calda de pulverização em cultivares de soja no estádio R1. **Ciência Rural**, 39(6): 1738-1744, 2009.
- FERREIRA, M. C.; ALANDIA, R. L.; CARVALHO, G. F. G.; BAGGIO, M. V. Determinação de área foliar e retenção de líquido por folhas de café em pulverização a alto volume. **Nucleus** 7(1): 277 – 284, 2010.
- PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture** 13(1): 33-44, 2012.
- POZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, Parêntese. 33p., 2009.
- RAPER, T. B.; VARCO, J. J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agriculture** 16(1): 62-76. DOI:10.1007/s11119-014-9383-4, 2015.
- 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(1): 309-317, 1973.
- TAYLOR, W. A.; SHAW, G. B. The effect of drop speed, size and surfactant on the deposition of spray on barley and radish or mustard. **Pesticide Science** 14(6): 659-65, 1993.
- TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8(2): 127-150, 1979.