

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARCO ANTÔNIO VRECH DE SOUZA

**SENSOR ÓPTICO ATIVO NA ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA  
CULTURA DO MILHO POR USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

CHAPADÃO DO SUL – MS  
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARCO ANTÔNIO VRECH DE SOUZA

**SENSOR ÓPTICO ATIVO NA ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA  
CULTURA DO MILHO POR USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Mato  
Grosso do Sul, para obtenção do  
título de Mestre em Agronomia, área  
de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS  
2017



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Campus de Chapadão do Sul



## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**DISCENTE: Marco Antônio Vrech de Souza**

**ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Fabio Henrique Rojo Baio**

**SENSOR ÓPTICO ATIVO NA ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA  
CULTURA DO MILHO POR USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

Prof.(a) Dr.(a) Presidente Fabio Henrique Rojo Baio

Prof.(a) Dr.(a) Sebastião Ferreira de Lima

Prof.(a) Dr.(a) Jefferson Luis Anselmo

Chapadão do Sul, 05 de Abril de 2017.

*Aos meus pais José Antônio e Dilene,  
minha irmã Nathália, meus tios Edi e Adenir  
e meus avós João Antônio e Aparecida,  
Deval e Maria.*

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, a Deus, em primeiro lugar, por me dar forças para superar todos os desafios e direcionar o meu caminho.

A minha mãe Sra. Dilene Vrech de Souza e ao meu pai Sr. José Antônio de Souza, meus avós Sr. João Antônio Filho e Sra. Aparecida Maria de Souza e ao meu tio Sr. Edi Souza por me apoiarem nos momentos mais difíceis e por incentivarem a busca pelo crescimento profissional através dos estudos.

A minha irmã, Nathália Evelin Vrech de Souza, que estive sempre presente na minha caminhada.

Ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio pela oportunidade oferecida e pela ajuda oferecida durante o desenvolvimento da pesquisa, por compartilhar com muita dedicação seu conhecimento e experiência profissional, e também por sempre auxiliar nas tomadas de decisões.

Ao amigo, Prof. Dr. Cid Campos, pelos anos de amizade e republica que nossa amizade seja sempre verdadeira e duradoura.

Aos amigos da Pós-Graduação, em especial Michele Botelho Ronqui, Cátia Simon e pela companhia durante estes dois da Pós-Graduação, aprendi muito com todos vocês.

Aos amigos graduandos Alex Zanin e Eder Eujácio, pela ajuda durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao servidor Sinomar Moreira Andrade, obrigado por sempre contribuir para meu crescimento profissional, saiba que tenho grande admiração pela pessoa e pelo profissional que você representa.

A Rhayra Zanol Pereira amiga, companheira e namorada, sempre me auxiliando em todos os aspectos.

Agradeço com todo prestígio os amigos Lúcio Xavier Machado, Cesar de Brito Junior, por sempre me receberem de braços abertos em sua casa.

A UFMS, Campus Chapadão do Sul e CAPES pelo apoio à condução do estudo.

## EPÍGRAFE

“O SENHOR é meu pastor e nada me faltará. Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranquilas. Refrigerera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do Seu nome. Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam. Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a minha cabeça com óleo, o meu cálice transborda. Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida; e habitarei na casa do Senhor por longos dias. ”

**Salmos 23:1-6**

## RESUMO

Souza, Marco Antônio Vrech de. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. SENSOR ÓPTICO ATIVO NA ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO MILHO POR USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.

Professor Orientador: Fábio Henrique Rojo Baio.

Há uma tendência de redução dos volumes de calda, a fim de diminuir os custos de produção e elevar a capacidade operacional das aplicações. Não existe ferramenta prática para diagnóstico da massa vegetal, indicando uma taxa de aplicação que garanta determinada deposição da calda nos estratos inferiores da cultura. O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma equação que recomende a taxa de aplicação adequada segundo o indicativo de um índice de vegetação para a cultura do milho. O sensor utilizado para calcular os índices de vegetação 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 GPS integrado. A análise da deposição das taxas de aplicação foi realizada por meio da técnica de balanço de massas aplicando soluções de calda contendo concentrações do corante amarelo de tartrazina FDC 5 (6.200, 4.133, 3.100, 2.480 mg L<sup>-1</sup> para as taxas de aplicação de 40, 60, 80 e 100 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente). A deposição de calda no terço médio da planta de 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

**PALAVRAS-CHAVE:** agricultura de precisão. tecnologia de aplicação. *Zea mays*

**ABSTRACT**

SOUZA, Marco Antônio Vrech de. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

ACTIVE OPTICAL SENSOR IN THE ESTIMATION OF SYRUP DEPOSITION IN MAIZE CROP BY USING VEGETATION INDEXES

Author: Marco Antônio Vrech de Souza.

Adviser: Fábio Henrique Rojo Baio.

There is a tendency of reduction of the volumes of syrup, in order to reduce the costs of production and to increase the operational capacity of the applications. There is no practical tool to diagnose the vegetable mass, indicating an application rate that guarantees a certain deposition of the syrup in the lower strata of the crop. The objective of this work was to develop an equation that recommends the appropriate rate of application according to the indicative of a vegetation index for the maize crop. The sensor used to calculate vegetation indices was the Crop Circle model ACS-470 (Holland Scientific, Lincoln, USA), which has three channels of optical reflectance measurement, associated to the integrated GPS positioning. The analysis of deposition of application rates was carried out using the mass balance technique by applying solutions of tartrate containing concentrations of the tartrazine yellow dye FDC 5 (6,200, 4,133, 3,100 and 2,480 mg L<sup>-1</sup> for application rates of 40, 60, 80 and 100 L ha<sup>-1</sup>, respectively). The deposition of syrup in the middle third of corn has a positive quadratic function when related to IV and the rate of application. With the increase of 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.

**KEY WORDS:** precision agriculture. application technology. Zea mays



## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	1
RESUMO .....	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 O milho no Brasil.....	7
2.2 Agricultura de Precisão.....	7
2.3. Sensores Ativos no Sensoriamento Remoto .....	8
2.4. Tecnologia de Aplicação.....	9
REFERÊNCIAS .....	10
CAPÍTULO 1 - ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO MILHO POR USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO. ....	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4. CONCLUSÕES.....	25
5. REFERÊNCIAS .....	26

## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) está entre quatro produtos agrícolas mais importantes mundialmente, é cultivado praticamente em todo país, sendo o principal cereal consumido no Brasil. É plantado mais de 15 milhões de hectares de milho no Brasil, com uma produção de 66.530 milhões de toneladas na safra de 2015/16, mesmo sendo uma cultura de evolução favorável, a estimativa é de alta na produção total de milho, impulsionada pela redução na área plantada (CONAB, 2016).

Esse cereal é empregado na razão social do país devido a sua capacidade de produção em pequena e/ou grande escala, além de ser à base de inúmeras cadeias agroindustriais. Também faz parte da razão econômica do país, pois o milho é um produto onde seu valor nutricional é alto e seu uso é intenso na alimentação humana e animal, além de ser utilizado como matéria-prima para a indústria, favorecendo assim a economia (GALVÃO et al. 2014).

Tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários consiste no uso de todos os conhecimentos científicos para colocar o ingrediente ativo no alvo, na menor quantidade possível, de forma econômica. Para a pulverização, essa definição trata da utilização de gotas de tamanho adequado, sendo depositadas em quantidade suficiente na superfície do alvo para o controle do problema fitossanitário. Sabendo-se dessas características, torna-se clara a necessidade de estratégias diferenciadas para cada tipo de aplicação, havendo ainda muito a se desenvolver sobre deposição das gotas, a fim de conseguir a correta colocação do produto no alvo (FERREIRA et al., 2007).

A busca pela maior capacidade operacional enfrenta problemas relacionados à menor uniformidade na deposição dos produtos fitossanitários e no aumento de deriva, sendo essas umas das causas da ineficiência no controle do alvo, principalmente aqueles que permanecem em locais de menor exposição direta à ação dos produtos fitossanitários. Por isso, torna-se necessário a realização de um trabalho que auxilie na identificação da combinação dos recursos utilizados em uma pulverização, de forma a obter maior eficiência e uniformidade de distribuição das gotas sobre o dossel da cultura.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 O milho no Brasil**

Atualmente, a cultura do milho se consolida como a segunda cultura mais importante para agricultura brasileira, com a produção na safra 2015/16 de 66.530 milhões de toneladas (CONAB, 2016). Entre os maiores produtores, encontramos Estados Unidos, China e Brasil, que sozinhos representam 65,62% da produção mundial, que fornecem produtos para a alimentação humana e animal, além de matérias-primas para a indústria (IMEA, 2015).

As temperaturas ideais para o crescimento do milho se encontram na faixa de 25 e 30°C, e se a temperatura do solo alcançar o limite inferior a 10°C e/ou superior a 42°C a germinação é afetada negativamente (FANCELLI, 2001).

A cultura do milho no Brasil obteve um ganho expressivo na produtividade durante as últimas décadas, devido às pesquisas no desenvolvimento de novos genótipos e de práticas de manejo da cultura. Através do Centro de Milho e Sorgo, ocorre uma das pesquisas mais importantes para seleção de novos genótipos de milho para as diversas regiões do Brasil, cujos testes são chamados de Ensaio Nacionais e Regionais de Milho (EMBRAPA, 2001).

### **2.2 Agricultura de Precisão**

Agricultura de precisão (AP) compreende um conjunto de técnicas que visam otimizar o manejo de cultivos e o uso de insumos agrícolas, aumentando sua eficiência agronômica (MOLIN, 2009). A AP é classificada como sendo um conjunto de tecnologias que melhoram o manejo agrícola das culturas, considerando que o potencial produtivo das áreas pode variar significativamente a curtas distâncias (BRAMLEY, 2009).

AP é, acima de tudo, um sistema de gerenciamento da produção agrícola, contando com procedimentos e equipamentos focados na otimização das lavouras e sistemas produtivos, tendo como elemento principal o manejo da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados (MOLIN, 2001).

Medidas indiretas e não destrutivas da cultura são uma alternativa para as tomadas de decisão sobre o manejo. Nesta direção, existem atualmente no mercado, equipamentos com a capacidade de estimar indiretamente a nutrição das culturas por N e

a sua capacidade de resposta em determinada condição de clima e solo, possibilitando a relação de N com altura de plantas é possível manutenção na taxa de aplicação em mesmo talhão (MOGES ET AL., 2004).

### **2.3. Sensores Ativos no Sensoriamento Remoto**

Segundo estudos com a cultura do milho, a utilização de clorofilômetros pode quantificar a concentração de N (SOLARI, 2006). No entanto, afirma não se tratar de uma estratégia exequível em campo quando se quer mensurar extensas áreas, por demandar muito tempo nas mensurações e no processamento das informações.

Propriedades espectrais, refletância e transmitância das folhas das plantas são afetadas pela concentração de N, em função do N ser integrante essencial da clorofila, pigmento que é o primeiro a absorver a energia luminosa necessária para a fotossíntese (BLACKMER et al., 1996; TARPLEY et al., 2000). Sendo assim, equipamentos que quantifiquem estas alterações podem ser utilizados para estimar a deficiência das plantas por N, possibilitando a recomendação de N de acordo com sua demanda durante a safra (ARGENTA, 2001).

Os sensores atualmente utilizados para esse fim são chamados de sensores óticos ativos terrestres (SOAT), acoplados a máquinas agrícolas. Estes sensores são denominados “ativos”, pois possuem fonte própria de luz, podendo trabalhar dia e noite, captando a radiação refletida pelo alvo (POVH, 2008). A refletância das culturas mensurada por estes equipamentos pode ser definida, segundo Schröder et al. (2000), como a intensidade da radiação refletida pela vegetação, partindo-se do princípio que a radiação emitida é conhecida.

Dessa forma, a adoção de técnicas de agricultura de precisão e utilização de sensores óticos que possibilitam a estimativa da demanda da taxa de aplicação na cultura. Além disso, tais técnicas oferecem a capacidade de recomendar e aplicar volumes de calda em taxa variável e em tempo real, evitando aplicações excessivas ou deficitárias dentro de um mesmo talhão, sempre tomando como base sua variabilidade espacial.

Um dos índices de vegetação mais estudados, tanto para a estimativa da nutrição por N (RAUN et al., 2002; EITEL et al., 2008), como teor de clorofila nas folhas (WU et al., 2008), dentre outras aplicações e fatores de estresse é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*).

Com o uso do NDVI e/ou outros índices de vegetação, mensurados com SOAT, torna-se possível, a partir de diferentes metodologias, a recomendação em taxa de aplicação variável, seja com aplicações em tempo real, seja regida por mapa de recomendação.

#### **2.4. Tecnologia de Aplicação**

O objetivo da tecnologia de aplicação de agrotóxicos é colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, afetando, o mínimo possível, o meio ambiente (MATTHEWS, 2002).

Não raro, o elevado número de aplicações ocorre devido a falhas na tecnologia de aplicação utilizada. Esses problemas ocorrem, sobretudo, porque muitos técnicos e produtores preocupam-se apenas com o produto a ser utilizado, dispensando pouca atenção à tecnologia de aplicação (CUNHA; CARVALHO, 2005). A eficácia de fitossanitários modernos é diminuída durante o processo de aplicação (HALL, 1993). Sabe-se que o uso da pulverização na agricultura depende não somente de produtos de ação comprovada, mas também da adequada tecnologia desenvolvida para sua aplicação (BALAN et al., 2005).

BAIO et al (2015) 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.

Cada cultura apresenta uma arquitetura foliar característica, que interfere na penetração das gotas no dossel vegetativo (BERNI et al., 1999). Assim sendo, é necessário realizar estudos específicos para determinar quais são as melhores características técnicas das pontas hidráulicas que permitem uma melhor deposição da calda em cada estrato da planta (inferior, médio e superior), uma vez que o alvo biológico pode estar próximo ao solo, no dossel ou no estrato médio das plantas.

As avaliações da deposição de calda são empregadas nas pesquisas de tecnologia de aplicação, como instrumento para desenvolver e melhorar técnicas de aplicação de defensivos (PALLADINI, 2000). Dois fatores que afetam sobremaneira essa deposição são o tamanho e a anatomia das plantas (NORDBY, 1989). De maneira geral, a deposição é menor nas partes mais baixas e internas do dossel das culturas, sobretudo, devido ao efeito “guarda-chuva” proporcionado pelas partes mais altas de algumas espécies de plantas.

**REFERÊNCIAS**

- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C.G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.4, p. 519-527, 2001.
- BAIO, F.H.R.; ANTUNIASSI U.R Pulverização automática. *Cultivar Máquinas*. n.8 v.1 p.16-18, 2015.
- BALAN, M.G.; ABI SAAB, O.J.G.; FONSECA, I.C.B.; SILVA, C.G.; SASAKI, E.H. Pulverização em alvos artificiais: avaliação com o uso do software conta-gotas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.4, p.916-919, 2005.
- BERNI, R.F.; MACHADO, V.O.F.; COSTA, G.R.; BARATA, G.; PAULA, R.S. Avaliação da cobertura de gotas provocada por diferentes bicos de pulverização na cultura do milho e do feijão. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.29, n.1, p.49-52, 1999.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v.8, n.1, p. 56-60, 1995.
- BRAMLEY, R.G.V. Lessons from 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. *Crop & Pasture Science*, Collingwood, v.60, n.2, p. 197-217, 2009.
- CONAB. *Monitoramento agrícola – Cultivos de inverno (safra 2015) e de verão (safra 2015/16)*, v. 3, n. 4, 2016
- CUNHA, J.P.A.; CARVALHO, W.P.A. Distribuição volumétrica de aplicações aéreas de agrotóxicos utilizando adjuvantes. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.13, n.2, p.130-135, 2005.
- EITEL, J.U.H.; LONG, D.S.; GESSLER, P.E.; HUNT, E.R. Combined spectral index to improve ground-based estimates of nitrogen status in dryland wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v.100, n.6, p. 1694-1702, 2008.
- EMBRAPA. *Tecnologia de produção de soja*. Londrina, p. 281, 2001.
- FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: CARLESSO, R. (Ed.). *Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul*. Santa Maria: Reimar Carlesso, 2001. p. 59- 73.
- FERREIRA, M. C.; COSTA, G. M.; SILVA, A. R.; TAGLIARI, S. R. A. Fatores qualitativos da ponta de energia hidráulica ADGA 110015 para pulverização agrícola. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 27, n. 2, p. 471-478, 2007.
- GALVÃO, J.C.C.; MIRANDO, G.V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas

de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. *Revista Ceres*, v. 61, Suplemento, p. 819-828, 2014.

HALL, F.R. Application to plantation crops. In: MATTHEWS, G.A.; HISLOP, E.C. *Application technology for crop protection*. Wallingford: CAB, 1993. p.187-213.

IMEA. *Entendendo o Mercado do Milho*. 2015. Disponível em [http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Paper\\_jornalistas\\_Milho\\_AO.pdf](http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/Paper_jornalistas_Milho_AO.pdf) Acesso: 22 de março de 2017.

MOGES, S.M.; RAUN, W.R.; MULLEN, R.W.; FREEMAN, K.W.; JOHNSON, G.V.; SOLIE, J.B. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.27, n.8, p. 1431- 1441, 2004.

MATTHEWS, G.A. The application of chemicals for plant disease control. In: WALLER, J.M.; DEPOSIÇÃO DA CALDA DE PULVERIZAÇÃO APLICADA COM PONTAS DE JATO PLANO EM DIFERENTES... 24 REVENG *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.22 n.1, 2014.

MOLIN, J.P. *Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade*. Piracicaba: O Autor, p.83, 2001.

NORDBY, A. Application and control of the distribution of plant nutrients and pesticides. IN: DODD & GRACE (ed.) *Land and water use*. Rotterdam: Balkema, p.273-279, 1989.

PALLADINI, L.A. *Metodologia para avaliação da deposição em pulverizações*. 2000. 111p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

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*, Brasília, v.23, n.8, 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*, Madison, v.94, n.1, p. 815-820, 2002.

SOLARI, F. *Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields*. 2006. 157 p. Thesis (PhD) - University of Nebraska, Lincoln, 2006.

TARPLEY, L.; REDDY, K.R.; SASSENATH-COLE, G.F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. *Crop Science*, Madison, v.1, n.40, p. 1814-1819, 2000.

SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.66, n.2, p. 277-278, 2000.



1 **CAPÍTULO 1 - ESTIMATIVA DA TAXA DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO MILHO**  
2 **POR USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.**

3  
4 **RESUMO:** Há uma tendência de redução dos volumes de calda, a fim de diminuir os custos de  
5 produção e elevar a capacidade operacional das aplicações. Não existe ferramenta prática para  
6 diagnóstico da massa vegetal, indicando uma taxa de aplicação que garanta determinada  
7 deposição da calda nos estratos inferiores da cultura. O objetivo desse trabalho foi desenvolver  
8 uma equação que recomende a taxa de aplicação adequada segundo o indicativo de um índice de  
9 vegetação para a cultura do milho. O sensor utilizado para calcular os índices de vegetação foi o  
10 Crop Circle modelo ACS-470 (Holland Scientific, Lincoln, EUA), o qual possui três canais de  
11 medição óptica da reflectância, associado ao posicionamento de GPS integrado. A análise da  
12 deposição das taxas de aplicação foi realizada por meio da técnica de balanço de massas  
13 aplicando soluções de calda contendo concentrações do corante amarelo de tartrazina FDC 5  
14 (6.200, 4.133, 3.100, 2.480 mg L<sup>-1</sup> para as taxas de aplicação de 40, 60, 80 e 100 L ha<sup>-1</sup>,  
15 respectivamente). A deposição de calda no estrato médio da planta de milho possui uma função  
16 quadrática positiva quando relacionada ao índice de Vegetação (IV) e a taxa de aplicação. Com o  
17 crescimento em altura da planta de milho o índice de vegetação tende a aumentar, relacionando  
18 positivamente com altura de plantas, a deposição de calda no estrato médio do milho possui  
19 relação com o índice de vegetação e a taxa de aplicação, com o aumento do IV há a necessidade  
20 do aumento da taxa de aplicação para a manutenção da mesma deposição de calda no estrato  
21 médio da planta.

22 **PALAVRAS CHAVE:** agricultura de precisão, tecnologia de aplicação, *Zea mays*.

23

24

25 **CHAPTER 1 – ESTIMATION OF CALDER DEPOSITION IN CORN CULTURE BY**  
26 **USE OF VEGETATION INDEXES.**

27

28 **ABSTRACT:** Currently there is a tendency to reduce the volume of the syrup in order to reduce  
29 production costs and increase the operational capacity of the applications. The objective of this  
30 work was to develop an equation that indicates the appropriate application rate according to the  
31 indicative of an index of vegetation for the corn crop. The sensor used to calculate vegetation  
32 indices was the Crop Circle model ACS-470 (Holland Scientific, Lincoln-NE / USA), which has  
33 three channels of optical reflectance measurement associated with the positioning of its  
34 integrated GPS. The deposition of syrup in the middle third of corn has a positive quadratic  
35 function when related to IV and the rate of application. With the increase of the IV, there is a  
36 need to increase the rate of application for the maintenance of the same deposit in the middle  
37 stratum of the plant. The use of VI *RedEdge* provided the best fit of the developed mathematical  
38 model than the NDVI.

39 **KEY WORDS:** application technology, precision agriculture, *Zea mays*.

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

## 51 1. INTRODUÇÃO

52

53 O volume de calda utilizado nas pulverizações agrícolas é uma variável importante na  
54 aplicação de produtos fitossanitários. Existe tendência de redução na taxa de aplicação, visando  
55 a diminuir os custos e aumentar a capacidade operacional dos pulverizadores, sem comprometer  
56 a eficiência de controle e a segurança da aplicação (FARINHA et al., 2009; FERREIRA et al.,  
57 2010).

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

63 O uso de menor taxa de aplicação aumenta a autonomia e a capacidade de campo  
64 operacional dos pulverizadores e diminui o risco de perdas por escorrimento (BUENO et al.,  
65 2013), não se tem uma ferramenta prática para diagnóstico da massa vegetal, que por sua vez,  
66 possa ser utilizada para indicar uma taxa de aplicação que garanta certa deposição da calda nos  
67 estratos inferiores da cultura.

68 Existem dois comprimentos de onda que apresentam relação direta com variáveis na  
69 planta, indicadores do potencial produtivo: ondas do espectro do vermelho, cuja reflectância é  
70 menor em condições de maior quantidade de clorofila; e ondas do espectro do infravermelho,  
71 cuja reflectância é maior quanto maior for o acúmulo de massa de matéria seca (MS) da planta  
72 (TUCKER, 1979).

73 Entretanto, existem outros índices de vegetação (IV's) os quais também possuem uma  
74 correlação elevada com a massa vegetal, como reportam (RAPER & VARCO, 2015). Segundo  
75 esses autores, os IV's NDVI e *Green* NDVI (GNDVI) possuem maior correlação com a altura de

76 planta do que os índices de vegetação baseados na borda do vermelho (*RedEdge*). Porém, o IV  
77 *RedEdge* é altamente correlacionado com o conteúdo de N foliar. Neste sentido, como  
78 afirmaram (PONZONI & SHIMABUKURO, 2009), quanto maior o índice foliar, menor a  
79 reflectância no visível e maior no infravermelho próximo.

80         Devido à correlação forte e positiva entre IV e massa vegetal, e como há uma  
81 necessidade de aumento da taxa de aplicação em relação ao aumento da massa vegetal, existe a  
82 possibilidade do uso de sensores multiespectrais para estimativa da massa da cultura e  
83 determinação da taxa de aplicação na pulverização agrícola em culturas anuais. Assim o sensor  
84 de dossel é um dispositivo útil na identificação da variabilidade de N nas áreas de produção, o  
85 que possibilita a aplicação do nutriente a taxas variáveis (AMARAL & MOLIN, 2014).

86         O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma equação que recomende a taxa de  
87 aplicação adequada segundo o indicativo de um índice de vegetação para a cultura do milho.

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

## 100 2. MATERIAL E MÉTODOS

101

102 O experimento foi conduzido na área experimental na Universidade Federal de Mato  
103 Grosso do Sul, com as coordenadas 18°46'17,9" S 52°37'25,0" O, e altitude de 810 m durante a  
104 primeira safra 2015/16, no município de Chapadão do Sul – MS. O delineamento experimental  
105 foi em parcelas subdivididas no esquema fatorial 4x4 com quatro taxas de aplicação de corante  
106 amarelo de tartrazina quatro doses de ureia, com quatro repetições.

107 A análise química do solo foi realizada na camada de 0,0-0,2 m, para determinar a  
108 quantidade necessária de corretivo e fertilizantes a serem utilizados para adequação química do  
109 solo, oferecendo condições para desenvolvimento da cultura do milho.

110 As parcelas experimentais foram constituídas por 2,7 x 5,0 m com cinco linhas,  
111 totalizando 64 parcelas. A cultivar utilizada foi DKB 310, na semeadura foram aplicados 30 kg  
112 ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (ureia, 43% N), 120 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (Super simples, 20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 60 kg ha<sup>-1</sup>  
113 de potássio (Cloreto de potássio, 58% K<sub>2</sub>O). A semeadura foi realizada em 15 de novembro de  
114 2015, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e população de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A avaliação  
115 foi realizada nas linhas centrais.

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

120 Quando o milho atingiu o estágio V4, aos 22 dias após emergência (DAE) foi aplicado o  
121 fertilizante nitrogenado ureia (43% N) nas doses de (0, 80, 160, 240 kg ha<sup>-1</sup>). Esse insumo foi  
122 utilizado para estimular diferenças vegetativas no milho nos diferentes tratamentos, de modo a  
123 proporcionar diferenças nos índices vegetativos mensurados pelo sensor multiespectral. Assim,

124 foi possível em uma mesma aplicação obter diferentes recuperações de calda depositada no  
125 estrato médio da cultura.

126 Foram utilizadas quatro taxas de aplicação (40, 60, 80 e 100 L ha<sup>-1</sup>) por meio do  
127 pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub> da Herbicat (Herbicat, Catanduva, Brasil), com 3 m de  
128 barra e seis pontas distanciadas a 0,5 m entre si.

129 A distância entre as pontas de pulverização e o dossel da cultura foi mantida constante  
130 em 0,5 m. O padrão do tamanho de gotas planejado foi de gotas médias, com 250 µm de  
131 diâmetro mediano volumétrico (DMV).

132 Foram realizadas quatro aplicações em diferentes estádios fenológicos do milho (V4, V6,  
133 V8 e V10). As pontas utilizadas nas aplicações de caldas foram do tipo leque TT 110015 e TT  
134 11001 do fabricante Teejet (Springfield, EUA). Para as taxas de aplicação de 40 e 60 (L ha<sup>-1</sup>)  
135 foram utilizadas a ponta TT 11001 e para as taxas de aplicação de 80 e 100 (L ha<sup>-1</sup>) a ponta  
136 utilizada foi TT 110015. As velocidades de deslocamento foram 5,0 6,0 e 7,0 km h<sup>-1</sup> (1,4, 1,7 e  
137 1,9 m s<sup>-1</sup>).

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

143 O espectro de gotas gerado pelas pontas foi avaliado utilizando o medidor de partículas  
144 por difração laser modelo Spraytec (Malvern, Inglaterra). Foram mensurados os DMV  
145 (Diâmetro Mediano Volumétrico), índice SPAN (amplitude relativa do espectro de gotas) e a  
146 percentagem de gotas menores do que 100 µm, as quais apresentam maior propensão à deriva  
147 (Tabela 2).

148 TABELA 2. Taxa de aplicação, modelo de ponta, vazão, pressão do sistema, velocidade de  
149 deslocamento, diâmetro mediano volumétrico (DMV), amplitude relativa (SPAN) e  
150 porcentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  utilizados no experimento.

	Taxa de Aplicação ( $\text{L ha}^{-1}$ )			
	40	60	80	100
Ponta	TT 11001	TT 11001	TT 110015	TT 110015
Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ )	1,95	1,40	1,70	1,40
Pressão (kPa)	100	100	210	210
Vazão ( $\text{L min}^{-1}$ )	0,28	0,28	0,5	0,5
DMV ( $\mu\text{m}$ )	279,3	279,3	236,8	236,8
SPAN	1,42	1,42	1,24	1,24
% gotas > 100 $\mu\text{m}$	8,17	8,17	3,32	3,32

151  
152 A análise da deposição das diferentes taxas de aplicação foi realizada por meio da técnica  
153 de balanço de massas (BAIO et al., 2016), aplicando soluções de calda contendo quatro  
154 concentrações do corante industrial amarelo de tartrazina FDC 5 (6.200, 4.133, 3.100, 2.480 mg  
155  $\text{L}^{-1}$  para as taxas de aplicação de 40, 60, 80 e 100  $\text{L ha}^{-1}$ , respectivamente), de modo a  
156 proporcionar a mesma deposição por área aplicada.

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

160 Após a aplicação do corante amarelo de tartrazina, realizou-se a coleta de três folhas  
161 amostrais do estrato médio da planta, para cada avaliação. As folhas foram levadas ao  
162 laboratório em sacos plásticos e cada amostra recebeu 30 mL de água destilada. Os sacos

163 contendo as amostras e água destilada, foram levados à mesa agitadora orbital marca Tecnal,  
164 modelo TE – 145 (Piracicaba, Brasil) onde permaneceram por período de 15 minutos com 140  
165 rotações por minuto, após esse processo a água de cada amostra foi levada ao espectrofotômetro  
166 e as folhas escaneadas em escâner de mesa HP para, a determinação da área foliar em  
167 centímetros quadrados, pelo programa IMAGE J (2017).

168 A concentração final de cada amostra foi determinada pelo uso do espectrofotômetro  
169 modelo SP-22 da Bioespectro (Curitiba, Brasil), com absorvância em 427 nm do espectro.  
170 Foram analisadas as deposições de calda contendo o corante nas folhas do estrato médio da  
171 planta. Foram utilizados os IVs NDVI e IV RedEdge (Tabela 3).

172  
173 TABELA 3. Relação dos índices de vegetação calculados pelo uso do sensor multiespectral  
174 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 <i>RedEdge</i>	Índice de vegetação da borda do vermelho	$(\ln R_{760} - \ln R_{730}) * 100$	PORTZ et al. (2012)

175 Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de normalidade de  
176 Shapiro-wilk e os efeitos dos tratamentos foram avaliados pelo teste de regressão, pelo programa  
177 SigmaPlot versão 11.

179  
180  
181  
182



### 183 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

184

185 Pelas condições meteorológicas monitoradas em campo verificaram-se temperaturas  
186 adequadas nos momentos de aplicação, segundo a classificação reportada por RAETANO  
187 (2011).

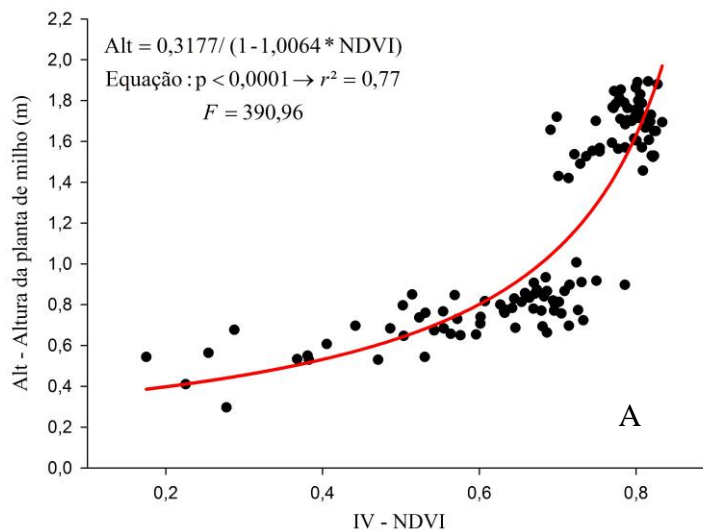
188 Durante as aplicações nos estádios de V4, V6, V8 E V10 aos 22, 42, 82 e 96 DAE, a  
189 temperatura variou entre 26,6 °C a 28,0 °C, velocidade do vento se manteve entre 0,66 e 1,38 m  
190 s<sup>-1</sup> (2,4 e 5,0 km h<sup>-1</sup>) e a umidade relativa do ar entre 74 e 87 % permitindo condições favoráveis  
191 de aplicação.

192 Houve incremento dos valores de índice de vegetação com o aumento da altura das  
193 plantas de milho aumentou (Figura 1). A equação gerada obteve o coeficiente de correlação (r<sup>2</sup>)  
194 de 0,77 (Figura 1A), concordando com resultados apresentados por (MOTOMIYA et al., 2009),  
195 que avaliando a relação entre o NDVI e a altura de plantas de algodão, encontraram o coeficiente  
196 de correlação de 0,74. Isso se explica pelo fato que plantas maiores tendem a maiores  
197 reflectâncias.

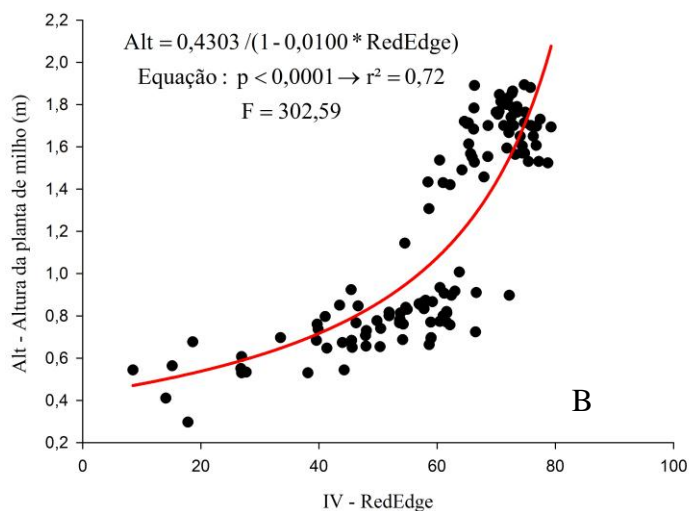
198 Na relação de altura de plantas e índices de vegetação foi utilizado também o IV  
199 RedEdge, para que dessa forma fosse possível verificar se o mesmo iria se comportar como o IV  
200 NDVI (Figura 1B).

201 Para IV *RedEdge*, os resultados estão diretamente ligados a altura das plantas, gerando  
202 uma equação que permite estimar a altura de plantas do dossel de acordo com o IV obtido.

203



204

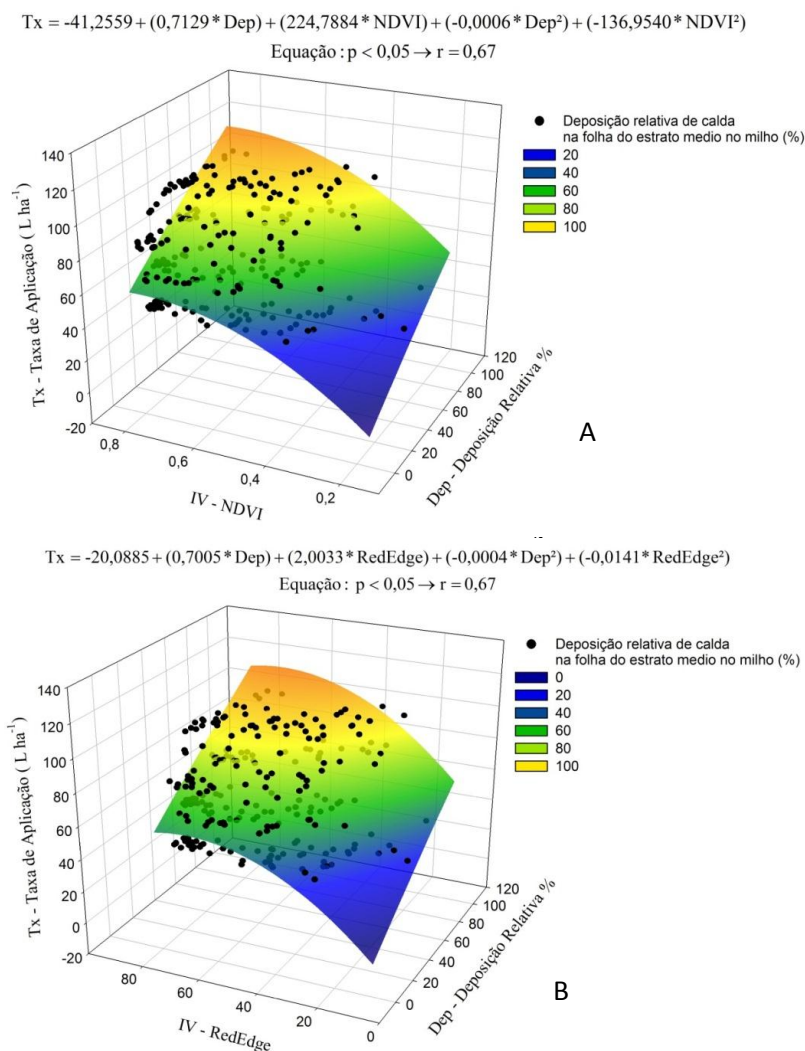


205

206 FIGURA 1. Relação entre a altura das plantas de milho versus IV NDVI (A) e IV RedEdge (B).

207 O aumento da taxa de aplicação relaciona ao aumento do IV, conforme a cultura cresce  
 208 em altura ocorre incremento da massa vegetal, havendo necessidade do aumento de taxa de  
 209 aplicação para a manutenção da mesma deposição de calda no estrato médio da planta de milho  
 210 (Figura 2A). Verifica-se que a taxa de aplicação (Tx) de calda nas folhas do estrato médio do  
 211 milho possui função quadrática quando relacionada ao NDVI e a taxa de aplicação. A deposição  
 212 relativa de calda nas plantas de milho, com diferentes taxas de aplicação é observada na Figura  
 213 2A, de acordo com aumento da taxa de aplicação, aumentou a deposição. Para obter maior

214 deposição de calda de pulverização varia-se a taxa de aplicação, tipo de ponta de pulverização,  
 215 ângulo do bico na barra de aplicação e, estes, são dependentes da arquitetura da planta. Quando  
 216 o índice NDVI eleva, a taxa de deposição é maior, isso ocorre pelo fato de que o índice de  
 217 vegetação está correlacionado positivamente com a biomassa presente na planta, quando maior  
 218 for à quantidade de biomassa menor será a perda de calda aplicada, e quanto menor for à taxa de  
 219 aplicação menor também será a deposição de calda sobre a superfície da folha do estrato médio  
 220 da planta.



221 FIGURA 2. Deposição relativa de calda em porcentagem relacionada à taxa de aplicação no  
 222 milho e aos índices de vegetação NDVI (A) e *IV RedEdge* (B).

223 O modelo matemático ajustado pelo uso do *IV RedEdge*, é apresentado na Figura 2B.  
224 Observa-se que a variação de deposição de calda no terço médio do milho também possui uma  
225 função quadrática positiva quando relacionada ao *IV RedEdge* e a taxa de aplicação.

226 O uso do sensor multiespectral Crop Circle mensurando o *IV RedEdge* proporcionou o  
227 ajuste estatístico, com coeficiente de determinação de 0,67 coincidindo com os 0,67 do NDVI.

228 Assim, a aplicação de agrotóxicos em taxa variável, pode ser realizada na cultura do  
229 milho variando-se a taxa de aplicação, conforme as leituras do IV, o qual pode ser mensurado  
230 em tempo real ou por mapeamento prévio. Quando o IV é menor, pode-se reduzir a taxa de  
231 aplicação, aumentando-se a capacidade de campo operacional do pulverizador, sem  
232 comprometer a deposição (Figura 1B).

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

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

245

246

247

#### 248 **4. CONCLUSÕES**

249

250 Com o crescimento em altura da planta de milho o índice de vegetação tende a aumentar,  
251 relacionando positivamente com altura de plantas.

252 A taxa de aplicação de calda no estrato médio do milho possui relação com o índice de  
253 vegetação e a taxa de aplicação.

254 Com o aumento do índice de vegetação (IV) há a necessidade do aumento da taxa de  
255 aplicação para a manutenção da mesma deposição de calda no estrato médio da planta.

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274 **5. REFERÊNCIAS**

275

276 Amaral LR, Molin, JP (2014) A eficácia de três índices de vegetação obtidos de um sensor de  
277 dossel para identificar a resposta da cana-de-açúcar ao nitrogênio. *Agronomy Journal*, 106(1):  
278 273-280. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2012.0504>.

279 Antuniassi UR, Baio FHR (2009) Tecnologia de aplicação de agrotóxicos. In: Vargas L, Roamn  
280 ES (Org). Manual de manejo e controle de plantas daninhas. 2 edição, Passo Fundo: Embrapa  
281 Trigo, 2009, p.173-212.

282 ASAE S572.1 (2009) - Spray nozzle classification by droplet spectra. In: ASAE Standards. Saint  
283 Joseph. 4p.

284 Baio FH, Pettenan AL, Camolese H, Francischetti GRR (2016) Evaluation of spray deposits  
285 with twin flat tip with air induction in two soybean stages. *Idesia*. 34(4): 43-48

286 Bueno MR, Alves GS, Paula ADM, Cunha JPAR (2013) Volumes de calda e adjuvante no  
287 controle de plantas daninhas com Glyphosate. *Planta Daninha*, 31(3): 705-713

288 Farinha JV, Martins D, Costa NV, Domingos VD (2009) Deposição da calda de pulverização em  
289 cultivares de soja no estádio R1. *Ciência Rural* 39(6): 1738-1744

290 Ferreira MC, Alandia RL, Carvalho GFG, Baggio MV (2010) Determinação de área foliar e  
291 retenção de líquido por folhas de café em pulverização a alto volume. *Nucleus* 7(1): 277 – 284

292 Image J (2017) disponível em: <https://imagej.nih.gov/ij/index.html>

293 Motomiya AVA, Molin JP, Chiavegato EJ (2009) Utilização de sensor óptico ativo para detectar  
294 deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola*  
295 *Ambiental* 13(2): 137-145.

296 Portz G, Molin JP, Jasper J (2012) Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and  
297 biomass on sugarcane fields. *Precision Agriculture* 13(1): 33-44

298 Ponzoni FJ, Shimabukuro YE (2009) Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José  
299 dos Campos, Parêntese. 33p.

300 Raetano CG Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In:  
301 Antuniassi UR, Boller W (Org.) Tecnologia de aplicação para culturas anuais. 1.ed. Passo  
302 Fundo: Aldeia Norte/FEPAF, 2011. p15-26.

303 Raper TB, Varco JJ (2015) Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton  
304 growth parameters and nitrogen status. Precision Agriculture 16(1): 62-76.  
305 DOI:10.1007/s11119-014-9383-4

306 Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1973) Monitoring vegetation systems in the great  
307 plains with ERTS. In: earth resources technology satellite 1(1): 309-317 DOI:  
308 <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.016>

309 Taylor WA, Shaw GB (1993) The effect of drop speed, size and surfactant on the deposition of  
310 spray on barley and radish or mustard. Pesticide Science 14(6): 659-65

311 Tucker CJ (1979) Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation.  
312 Remote Sensing of Environment 8(2): 127-150

