



Utilização de drone com máquina fotográfica digital embarcada para a determinação de cobertura foliar

Roger Nabeyama Michels¹

Janksyn Bertozzi²

Tatiane Cristina Dal Bosco³

Marcelo Augusto de Aguiar e Silva⁴

Estor Gnoatto⁵

Cinthia Harumi Endo Soares⁶

Resumo

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtido via radiômetro apresenta importância para determinar o estado fisiológico de planta, sendo uma ferramenta promissora para a tomada de decisão quanto ao melhor momento para aplicação de defensivos agrícolas, analisar o limiar de dano econômico. A utilização de drones com máquina fotográfica digital embarcada na agricultura está em ampla expansão. Por meio das imagens digitais analisadas em programas computacionais e correlacionadas com o NDVI é possível determinar a cobertura foliar em plantas. O objetivo deste trabalho foi confirmar a utilização de imagens digitais a 30 m de altura para determinação da cobertura foliar correlacionando-as com os valores de NDVI obtidos em terra. Para isso, foram retiradas fotos digitais a 30 m de altura, com o auxílio de drone, em três estádios de desenvolvimento do milho (N4, N8 e R1), os quais foram considerados tratamentos; posteriormente, as imagens foram analisadas em software para levantamento da cobertura foliar. Os dados de NDVI foram obtidos nas mesmas áreas a uma altura de 0,5 m do dossel da cultura, foram submetidos ao teste de comparação de médias Scott Knott a 5 % de significância e de correlação de Pearson. Não houve diferença estatística entre os métodos, o valor de correlação de Pearson apresentou coeficiente de 0,952, o que confirma uma forte evidência à correlação entre os dois métodos. Assim, pode-se concluir que o uso de drones com câmera digital incorporado tem uso promissor para a determinação da cobertura foliar em milho.

Palavras-chave: Refletância. Imagem digital. Milho. NDVI.

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, professor. rogernmichels@utfpr.edu.br. Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica. Av. dos Pioneiros, 3131, Londrina (PR), Brasil, CEP: 86036-370.

2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, Departamento Acadêmico de Química, professor. janksynbertozzi@utfpr.edu.br.

3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental, professora. tatiangebosco@utfpr.edu.br.

4 Universidade Estadual de Londrina, professor. Centro de Ciências Agrárias. aguiarsilva@uel.br.

5 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica, professor. gnoatto@utfpr.edu.br.

6 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, graduanda. cinthia.endo16@gmail.com.

Introdução

Entende-se por sensoriamento remoto um conjunto de técnicas que capturam informações espectrais dos pigmentos das plantas, mensurando a refletância da cultura, porém, sem ter contato entre o dispositivo de medição e o objeto (SILVA JÚNIOR et al., 2008). Desta forma pode-se avaliar a saúde e o vigor das plantas, por meio de várias leituras, de forma não evasiva e sem danos (NILSSON, 1995). Ao observar as mudanças no ângulo das folhas ao longo do tempo em uma planta, pode-se detectar o estresse hídrico; a cor das folhas pode informar limitações e desequilíbrios nutricionais; além da possibilidade de relacionar com o ataque de pragas e doenças (BARTON, 2012). Segundo MALENOVSKÝ et al. (2009), os dados adquiridos podem ser utilizados para estimar, por exemplo, o teor de clorofila, teor de água ou o índice de área foliar.

Vários sensores multiespectrais são capazes de medir a radiação eletromagnética refletida ou emitida a partir de vegetação (MALENOVSKÝ et al., 2009). O equipamento utilizado para a obtenção do valor de refletância é o radiômetro e sua aplicação na agricultura só foi possível por meio do desenvolvimento de sensores proximais como o GreenSeeker®, N-Sensor e o Crop Circle (BREDEMEIER, et al., 2013).

O comportamento das medidas de refletância em diferentes situações de cultivo são informações relevantes para serem usadas na elaboração de modelos de estimativa de danos baseados em medidas de refletância (HIKISHIMA et al., 2010), para previsão de produtividade (ALI et al., 2014; CAO et al., 2015) na agricultura de precisão para aplicação de fertilizantes (CHANG et al., 2014) e para a detecção precoce de lesões na cultura da soja a partir de herbicidas (YAO et al., 2012).

O GreenSeeker® é um instrumento que fornece o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) via medidas de refletância, cuja interpretação pode fornecer informações de forma rápida e direcionada sobre as condições nutricionais, estado fisiológico, estresse e rendimento potencial das culturas (GROHS et al., 2009; GUTIÉRREZ-SOTO et al., 2011).

Atualmente, câmeras digitais são equipamentos promissores para medição de área foliar em campo (ADAMI et al., 2008), uma vez que são portáteis, obtendo imagens com boa resolução, de modo rápido e simples (GODOY et al., 2007). ZABOT et al. (2008) afirmam que a utilização de imagens digitais é uma ferramenta de fácil aplicação, sendo possível a captação de várias imagens em tempo relativamente reduzido, para posterior processamento com o auxílio de programas específicos de leitura de imagens. Estes programas específicos podem detectar, quantificar e classificar as doenças de plantas a partir de imagens digitais no espectro visível (BARBEDO, 2013). Outra vantagem é que as análises por imagens digitais apresentam baixo custo, podendo chegar a custar menos de um décimo do valor de um equipamento de medição de área foliar (GONG et al., 2013).

A manipulação das imagens digitais, por meio de programas editores de imagem, fornece índices que expressam a cor verde da planta. A utilização de técnicas rápidas, como a análise da imagem digital, que permita uma avaliação diretamente no campo, pode otimizar a tomada de decisões (BACKES et al., 2010).

Vants e Drones apresentam uma ampla variedade de tarefas agrícolas reconhecidas (FREEMAN; FREELAND, 2014), destacando-se o monitoramento de recursos naturais, meio ambiente, atmosfera, imageamento hiperespectral, observações de rios e lagos, bem como o imageamento de práticas agrícolas e uso do solo (JORGE et al., 2011).

O processamento de imagens digitais obtidas por meio de Drones e Vants e processadas em softwares avaliaria de forma dinâmica maiores áreas de plantio se comparado aos sensores portáteis, como é o caso do GreenSeeker®.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi correlacionar os dados de imagens digitais obtidas por drone e processadas em software com os dados de NDVI coletados em terra para a determinação da cobertura foliar.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada no município de Londrina, Paraná, Brasil, a 23°19'40,92" de latitude Sul e 51°12'19,20" de longitude Oeste e 560 m de altitude, na safra 2013/14.

As imagens digitais, bem como os valores de NDVI foram obtidos em 3 estádios diferentes na cultura do milho: V4, V8 e R1, os quais foram usados como tratamentos.

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é o índice normalizado da vegetação, definido como:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

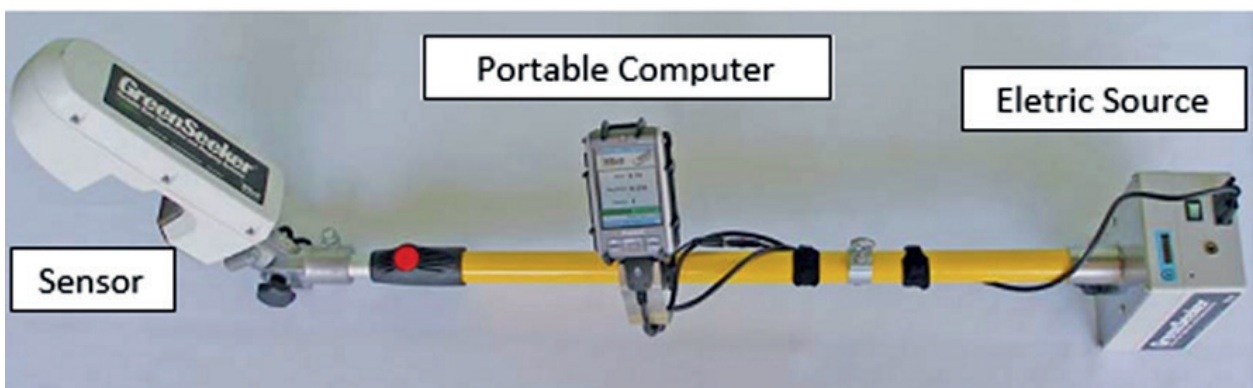
Em que:

RED é a radiação na faixa do vermelho (650 nm) incidente sobre a superfície vegetal.

NIR é a radiação infravermelha próxima (770 nm) refletida por ela.

As leituras de refletância (NDVI) foram realizadas a uma distância de 0,5 m do dossel da cultura, nas linhas centrais da área, em intervalos de 5 metros, totalizando 14 leituras, com três repetições. O equipamento utilizado para a medição da refletância foi o GreenSeeker®, modelo RT100, da NTech que é constituído por um sensor ajustável em incrementos de 15°, montado em um braço, também ajustável, que permite mantê-lo paralelo à superfície vegetação; alimentação para prover energia ao sensor óptico e ao computador portátil; computador portátil com programas para a obtenção e armazenamento de dados, os quais são gravados em cartão SD (FIGURA 1).

Figura 1. Componentes do GreenSeeker®, modelo RT100.



Fonte: Adaptado de GUTIÉRREZ-SOTO et al. (2011).

As fotos digitais foram retiradas com uma máquina fotográfica digital, Go Pro® de 8 MP, instalada em um drone Phantom 2 Vision Quadcopter® (Figura 2) a 30 metros de altura. As imagens digitais foram divididas em 14 partes, ou seja, com as mesmas dimensões das leituras de refletância, foram utilizadas as partes centrais da imagem para diminuir o efeito “olho de peixe” da câmera e posteriormente processadas em software analisador de cobertura foliar (LCAS).

Figura 2. Drone Phantom 2 Vision Quadcopter com a máquina fotográfica Go Pro®



Fonte: PHANTOM 2 (2015).

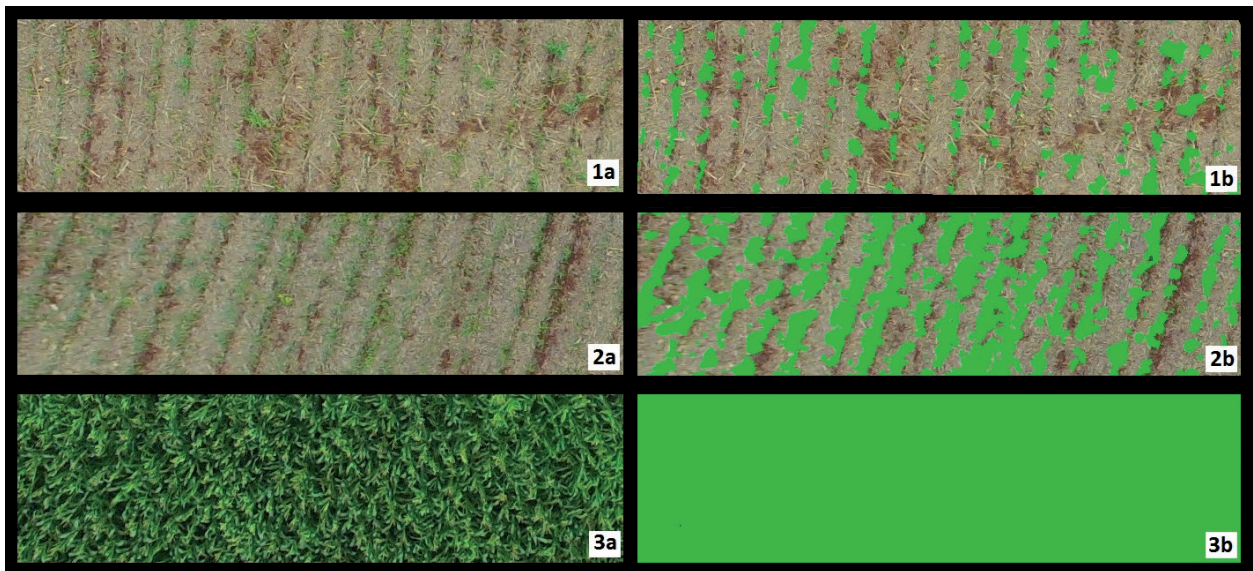
O LCAS foi utilizado para quantificar a cobertura foliar por meio da contabilidade dos pixels verdes em uma foto digital. O LCAS, responsável pelas determinações de grau de recobrimento por meio da análise dos componentes RGB das imagens digitais, foi desenvolvido em linguagem de programação Borland C++ Builder 6.0, compatível com a plataforma Windows 32 bits.

O software estatístico utilizado para a comparação de média por Scott Knott foi o SASM-Agri (CANTERI et al., 2001).

Resultados e discussão

As imagens digitais obtidas a 30 m de altura foram analisada via LCAS, a Figura 3 exemplifica a determinação da cobertura foliar em cada um dos tratamentos por meio do software.

Figura 3. Amostra das imagens digitais obtidas a 30 m de altura (1a, 2a e 3a) e analisadas em *software* para a obtenção da cobertura foliar em milho (1b, 2b e 3b).



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A comparação de média por Scott Knott a 5% de significância foi realizada com os dados de NDVI nos três estádios do milho estudado, ou seja, N4, N8 e R1 e observou-se diferença estatística entre os três tratamentos (TABELA 1). O mesmo foi realizado com os dados de cobertura foliar obtida por meio de análise em *software* (LCAS) em imagem digital retirada a 30 m de altura com auxílio de drone e obteve-se diferença estatística entre os três tratamentos (TABELA 1).

Os dois parâmetros, NDVI e cobertura foliar, apresentaram igualdade em termos de diferença estatística, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação de médias, a 5% de significância, entre os tratamentos N4, N8 e R1 para o NDVI e para a Cobertura Foliar obtido por meio de máquina fotográfica digital embarcado em drone e analisado em *software* analisador de imagens.

Treatamento	NDVI	Leaf cover (%)
N4	340,57 a	15,53 a
N8	413,44 b	17,86 b
R1	665,19 c	99,44 c

* Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo Teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$)

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Ao realizar a correlação de Pearson entre os dados de cobertura foliar e do NDVI, obteve-se o valor de 95,5%, ou seja, os dados apresentam forte correlação. MICHELIS (2014) obteve 96,1% de correlação entre o NDVI e cobertura foliar obtidos via análise de imagens digitais em *software* em soja a uma altura de 2 m, ou seja, valores próximos aos encontrados neste trabalho. Estes resultados demonstram que, mesmo com o aumento significativo da distância de coleta das imagens, com con-

sequente aumento da área avaliada e em culturas de arquiteturas distintas, a capacidade de verificar diferenças na cobertura foliar não foi afetada. Como os resultados corroboram os valores obtidos por MICHELS (2014), pode-se averiguar uma transportabilidade da cobertura foliar analisada via LCAS para culturas de estruturas diferenciadas, no caso da soja e do milho.

Conclusões

Os valores de cobertura foliar nas diferentes situações de campo avaliadas por meio de processamento de imagens digitalizadas obtidas a 30 m de altura e analisadas via LCAS apresentaram forte correlação por com os valores obtidos com os dados de NDVI. Conclui-se que a utilização de drone é promissora para tomadas de decisão quando relacionada à cobertura foliar.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Nomade do Ar, que cedeu o drone para a obtenção das imagens digitais.

Use of drone with digital photographic machine embedded for determination of leaf cover

Abstract

The normalized difference vegetation index (NDVI) obtained via radiometer is important to determine the physiological state of plant, being a promising tool for decision making as to the best time for the application of agricultural pesticides, to analyze the threshold of economic damage. The use of drones with digital camera embedded in agriculture is in broad expansion. Through digital images analyzed in computer programs and correlated with NDVI it is possible to determine the leaf cover in plants. The aim of this study was to confirm the use of digital images at 30 m in height to determine the leaf cover, correlating them with NDVI values obtained on the ground. Therefore, 30 m height photos were taken with the help of a drone and three stages of maize development (N4, N8 and R1), which were considered as treatments; afterwards, the images were analyzed in software to survey the leaf cover. The NDVI data were obtained in the same areas at a height of 0.5 m from the crop canopy, and it were submitted to the Scott Knott Test at 5 % significance and Pearson correlation. There was no statistical difference between methods and the Pearson correlation coefficient value (0,952) confirms strong evidence for correlation between the two methods. Thus, it can be concluded that the use of drone with embedded digital camera has promising use for the determination of leaf cover in maize.

Keywords: Refletance. Digital image. Maize. NDVI.

Referências

- ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. de. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 1053-1058, out. 2008. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052008000400030&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 12 mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000400030>.
- ALI, A. M.; THIND, H. S.; SHARMA, S.; SINGH, V. Prediction of dry direct-seeded rice yields using chlorophyll meter, leaf color chart and GreenSeeker optical sensor in northwestern India. **Field Crops Research**, v. 161, p. 11-15, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260995473_Prediction_of_dry_direct-seeded_rice_yields_using_chlorophyll_meter_leaf_color_chart_and_GreenSeeker_optical_sensor_in_northwestern_India. Acesso em: 25 mar. 2019.
- BACKES, C.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, C. P. de; GODOY, L. J. G. de; BÜLL, L. T.; SANTOS, A. J. M. Estado nutricional em nitrogênio da grama esmeralda avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, em área adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 661-668, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052010000300018&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000300018>.
- BARBEDO, J. G. A. Digital image processing techniques for detecting, qualifying and classifying plant disease, **SpringerPlus**, Heidelberg, v. 2, p. 660-672, dez., 2013. Disponível em: <https://springer-plus.springeropen.com/articles/10.1186/2193-1801-2-660>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A. T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, jul. 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782013000700002&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 25 mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000080>.
- BARTON, C. V. M. Advances in remote sensing of plant stress. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1-2, p. 41-44, May 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-011-1051-0>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTE, E. A.; GODOY, C. V. SASM-Agri: Sistema para Análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p. 18-24. 2001. Disponível em http://www.agrocomputacao.deinfo.uepg.br/dezembro_2001/Arquivos/RBAC_Artigo_03.pdf. Acesso em: 25 mar. 2019.
- CAO, Q.; MIAO, Y.; FENG, G.; GAO, X.; LI, F.; LIU, B.; YUE, S.; CHENG, S.; USTIN, S. L. KHOSLA, R. Active canopy sensing of winter wheat nitrogen status: An evaluation of two sensor systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 112, p. 54-67, mar. 2015. Disponível: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2782532>. Acesso em: 25 mar. 2019.

- CHANG D.; ZHANG, J.; ZHU, L.; GE, S.; LI, P.; LIU, G. Delineation of management zones using an active canopy sensor for tobacco field. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 109, p. 172-178, nov. 2014. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/267099810_Delineation_of_management_zones_using_an_active_canopy_sensor_for_a_tobacco_field. Acesso em: 25 mar. 2019.
- FREEMAN, P. K.; FREELAND, R. S. Politics & technology: U.S. polices restricting unmanned aerial systems in agriculture. **Food Policy**, v. 49, n. 1, p. 302-311, dez. 2014. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919214001390>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- GODOY, L. J. G. de; YANAGIWARA, R. S.; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; LIMA, C. P. de. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “Pêra”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 420-424, dez. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452007000300004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452007000300004>.
- GONG, A.; WU, X.; QIU, Z.; HE, Y. A handhelp device for leaf area measurement. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 98, p. 74-80, out. 2013. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169913001634>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1 p. 101-112. mar. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162009000100011&lng=en&nrm=iso. Acessado em 25 de março de 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000100011>.
- GUTIERREZ-SOTO, M. V.; CADET-PIEDRA, E.; RODRIGUEZ-MONTERO, W.; ARAYA-ALFARO, J. M. El GreenSeeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. **Agronomía Mesoamericana**, San Pedro, v. 22, n. 2, p. 397-403, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262653342_El_GreenSeeker_TM_y_el_diagnostico_del_estado_de_salud_de_los_cultivos. Acesso em: 25 mar. 2019.
- HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G.; GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; SILVA, A. J. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 96 – 103, mar. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-56762010000200004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 21 mar. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762010000200004>.
- JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y.; CARMO, R. B. de. Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em Agricultura de Precisão no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba, 2011.
- MALENOVSKÝ, Z.; MISHRA, K. B.; ZEMEK, F.; RASCHER, U.; NEDBAL, L. Scientific and technical challenges in remote sensing of plant canopy reflectance and fluorescence. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 11, p. 2987-3004, May. 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/60/11/2987/533160>. Acesso em: 21 mar. 2019.

MICHELS, R. N. **Utilização do índice de vegetação por diferença normalizada e de imagens digitais no estudo de doenças de plantas**. 2014. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

NILSON, H. E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 33, p. 489-528, set. 1995. Disponível: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.py.33.090195.002421>. Acesso em: 21 mar. 2019.

PHANTOM 2. Quick start guide. China, 2015.

SILVA JÚNIOR, M. C. da; PINTO, F. A. C.; FONSECA, D. M. da; QUEIROZ, D. M. de; MACIEL, B. F. Detecção do efeito da adubação nitrogenada em *Brachiaria decumbens* Stapf utilizando um sistema de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 411-419, mar. 2008. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982008000300005&lng=en&nrm=iso. Acessado em 21 março de 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000300005>.

ZABOT, L.; DUTRA, L. M. C.; MENEZES, N. L. de; GARCIA, D. C.; LUDWIG, M. P.; SANTOS, V. J. dos. Uso de imagens digitais para avaliação de plântulas de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 184-192, 2008. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31222008000200023&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 21 mar. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222008000200023>.

Histórico editorial:

Submetido em: 16/03/2017

Aceito em: 12/12/2017