

Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) irrigados

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a utilização de imagens ópticas para diagnosticar a atividade fotossintética através do uso de sensor multiespectral embarcado em um *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) aplicando os índices vegetativos *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Normalized Difference Red Edge* (NDRE) para as culturas da soja e do milho. O estudo foi realizado no *Campus* da Universidade de Cruz Alta, onde foram realizados voos utilizando uma RPAS modelo *Phantom 4 Standart*, equipado com um sensor RGB próprio e adaptada para embarcar concomitantemente uma câmera multiespectral *MicaSense Parrot Sequoia*. As imagens foram obtidas automaticamente pelo plano de voo com o programa computacional *Dronedeploy*, e posteriormente georreferenciadas, ortorretificadas e derivados os mapas dos índices de vegetação pelo programa computacional *Agisoft Metashape*. Constatamos que o índice de vegetação NDRE expressou melhor neste trabalho, podendo em determinadas regiões com dossel denso identificar áreas com algum estresse foliar não detectadas pelo NDVI. Assim, encontramos que o NDRE em estádios fenológicos mais avançados expressa melhor a biomassa fotossinteticamente ativa em relação ao NDVI.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto. Agricultura de precisão. Índices. Aeronave remotamente pilotada.

Marco Ivan Rodrigues Sampaio
marsampaio@unicruz.edu.br
orcid.org/0000-0002-2473-5269
Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ),
Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil.

Anderson Kunz
anderson_kunz@hotmail.com
orcid.org/0000-0003-0138-5427
Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ),
Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil.

Fernando Luis Hillebrand
fernando.hillebrand@rolante.ifrs.edu.br
orcid.org/0000-0002-0182-8526
Instituto Federal do Rio Grande do Sul
(IFRS), Rolante, Rio Grande do Sul,
Brasil.

João Fernando Zamberlan
jfzamberlan@unicruz.edu.br
orcid.org/0000-0003-1707-2580
Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ),
Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil.

Filipe Daros Idalino
filipe.daros.idalino@gmail.com
orcid.org/0000-0001-5587-5208
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande
do Sul, Brasil.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios na agricultura é a produção sustentável, seja no âmbito ambiental, social ou econômico. É necessário o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem a tomada de decisões dos agentes de mercado de modo preciso e ágil, demandando um conjunto de informações claras que retratem a realidade do ambiente agrícola, desde a semeadura até a colheita. Neste contexto, a Agricultura de Precisão (AP) constitui em uma destas novas tecnologias que permite o manejo de cultura em que produtos agroquímicos como defensivos agrícolas, fertilizantes e a água de irrigação são aplicados proporcionalmente com base nas necessidades específicas das culturas, uma vez que podem variar espacial e temporalmente (WHELAN e MCBRATNEY, 2000). No caso da região noroeste do estado do RS, a soja (ANTONINI et al., 2018) e o milho são as culturas onde mais se aplicam as tecnologias da AP.

A soja (*Glycine max*) é uma importante cultura oleaginosa cultivada no Brasil. A expansão comercial desta cultura no país iniciou-se na década de 1970 e continua em ascensão (APROSOJA, 2021). Na safra 2020/21, a soja apresentou acréscimo de 3,6% na área plantada, em relação à safra passada, resultando em 38 milhões de hectares no Brasil. A produção nacional atingiu 134 milhões de toneladas e uma produtividade média de 3.497 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

A cultura do milho (*Zea mays*) é a que possui uma relevância estratégica dentro do cenário da produção agropecuária no mundo, sendo a principal fonte de energia dentro do processo de nutrição animal, na indústria alimentícia e de bebidas, além de ser também uma importante matriz energética na produção de biocombustíveis como o etanol. Por estas razões, a produção deste cereal é importante na balança comercial de muitos países. Na safra 2020/21, o milho apresentou acréscimo de 3,1% na área plantada, em relação à safra passada, resultando em 19 milhões de hectares no Brasil. A produção nacional atingiu 105 milhões de toneladas e uma produtividade média de 5.525 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

As técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) são aplicadas na AP principalmente na obtenção de imagens em sensores acoplados em satélites ou em Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely Piloted Aircraft System - RPAS*), permitindo o monitoramento do desenvolvimento fenológico das culturas. Estes sensores possibilitam a aquisição de informações relacionadas à absorção e reflexão espectral da vegetação em diferentes bandas. Isto possibilita a avaliação de características físicas e biológicas da cultura, como por exemplo, a fitossanidade da vegetação constatada por meio da absorção da radiação visível na banda do vermelho pela clorofila e a reflexão do infravermelho próximo ao sensor (TSOUROS et al., 2019). Portanto, o sensoriamento remoto hiperespectral pode ser uma ferramenta valiosa para a detecção de mudanças bioquímicas ou metabólicas únicas nas plantas que podem não ser visíveis ao olho humano (MARTINELLI et al., 2015).

Os índices de vegetação (IV) são combinações algébricas de várias bandas espectrais, projetadas para destacar o vigor da vegetação e as propriedades da vegetação (GUTIERREZ-RODRIGUEZ et al., 2005). Este IVs são amplamente utilizados na AP, podendo ser aplicados para estimar a produtividade de culturas agrícolas, detecção de falhas de plantio e alterações no desenvolvimento das culturas e suas possíveis causas como: problemas fitossanitários, deficiência

nutricional, restrições químicas e físicas do solo, competição de plantas daninhas, dentre outros. (GUTIERREZ-RODRIGUEZ et al., 2005; PRIMICERIO et al., 2012; ZHOU et al., 2017; JORGE et al., 2019; TSOUROS et al., 2019).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização de imagens ópticas para diagnosticar a atividade fotossintética das culturas da soja e do milho através do uso de sensores multiespectrais embarcados em RPAS, comparando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*) e a Diferença Normalizada na Borda Vermelha (*Normalized Difference Red Edge - NDRE*) gerados a partir destas imagens.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado no *Campus* da Universidade de Cruz Alta, município de Cruz Alta, região noroeste do estado do RS, com coordenadas geográficas 28°36'S e 53°40'W no *Datum* Horizontal SIRGAS 2000, com uma altitude ortométrica média de 409 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen (1931) é o Cfa (clima subtropical úmido) apresentando uma temperatura média anual de 18,7°C, com uma amplitude térmica média variando de 9,2°C em julho a 30,8°C em janeiro. A precipitação média anual é de 1.600 mm, sendo as chuvas bem distribuídas ao longo do ano. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico (SANTOS et al., 2018) com predominância de caulinita e óxido de ferro, apresentando teor médio em 60% de argila. A Figura 1 ilustra a localização da área estudo.

Figura 1 – Localização das áreas de cultivo analisadas pela pesquisa



Fonte: Google Earth (2021).

As observações realizadas com o sensor multiespectral foram nos estádios fenológicos R3 para a soja e R8 para o milho. Dentro do manejo cultural destas culturas, destacamos que a soja possuía irrigação por aspersão onde era aplicada

uma lâmina de água de 11,3 mm (taxa de aplicação dos aspersores de 5 mm/h) com turno de rega a cada dois dias e o milho possuía irrigação por gotejamento ao longo da linha de cultivo onde era aplicada uma lâmina de água diária de 6 mm. Ambas as culturas receberam irrigação no decorrer de todo o ciclo vegetativo e reprodutivo até o início da senescência.

O RPAS utilizado para a realização do voo aerofotogramétrico foi o modelo *Phantom 4 Standart*, com um sensor RGB próprio e adaptado para embarcar concomitantemente a câmera multiespectral *MicaSense Parrot Sequoia*. Esse sensor possui a capacidade de coletar e registrar a reflectância nos comprimentos de onda na banda do verde (550 ± 5 nm), vermelho (660 ± 5 nm), borda do vermelho (735 ± 5 nm) e infravermelho próximo (790 ± 5 nm). As terminologias destas bandas em inglês correspondem a *Green* (G), *Red* (R), *Red Edge* (RE) e *Near Infrared* (NIR), respectivamente.

O voo ocorreu no dia 12/03/2020 com início às 11 hs e 45 min, sendo escolhido este horário a fim de minimizar as influências relacionadas ao efeito do sombreamento entre plantas devido a inclinação da luminosidade solar. O tempo de voo foi de 8 min, com dimensões de 250 x 250 m, recobrimento lateral e longitudinal de 75%, velocidade operacional de 13 m/s e altitude do voo de 120 m. A partir disto foram obtidas imagens nas bandas do R, RE e NIR, apresentando uma distância de amostragem na superfície (*Ground Sampling Distance* - GSD) de 4,3 cm. O plano de voo foi configurado com auxílio do programa computacional *Dronedeploy*, sendo projetado para que a câmera fosse orientada na mesma direção ao longo de cada voo, permitindo a construção de um ortomosaico para calcular os mapas de NDVI e NDRE através do programa computacional *Agisoft Metashape*.

Os valores de NDVI variam em uma escala de -1 a 1, sendo que quanto maior o seu valor, maiores são as diferenças entre a reflectância do NIR com o R (Equação 1), o que indica maior quantidade de clorofila e vigor de desenvolvimento e, conseqüentemente, maior o potencial produtivo das plantas (RISSINI et al., 2015; ROUSE et al., 1973). Este índice possibilita também a obtenção de informações sobre mudanças e dinâmicas de vegetação de diferentes tipologias, e estudos fenológicos da vegetação, sendo um dos mais utilizados na AP (GEERKEN et al., 2005; JORGE et al., 2019).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR}-\text{R}}{\text{NIR}+\text{R}} \quad (1)$$

Sendo, NIR refere-se à reflectância na banda do *Near Infrared*; e R refere-se à reflectância na banda do *Red*.

A banda espectral do NIR é muito sensível às mudanças nas propriedades da vegetação e tem grande potencial para pesquisas (JORGE et al., 2019). Com esta banda pode ser obtido também o NDRE, um índice que permite avaliar o teor de clorofila nas plantas, assim como o teor de N e a demanda de fertilizantes. Baseado nas transições das atividades fotossintéticas, o NDRE pode ser substituído pelo NDVI quando o mesmo apresenta o problema de saturação devido a elevação do dossel da vegetação, quando esta contém maior quantidade de biomassa abaixo deste, em estágios fenológicos mais avançados, não interagem com os estratos inferiores da estrutura vertical da vegetação (DUAN et al. 2017). Este índice é apresentado pela Equação 2 (BARNES et al., 2000):

$$\text{NDRE} = \frac{\text{NIR}-\text{RE}}{\text{NIR}+\text{RE}} \quad (2)$$

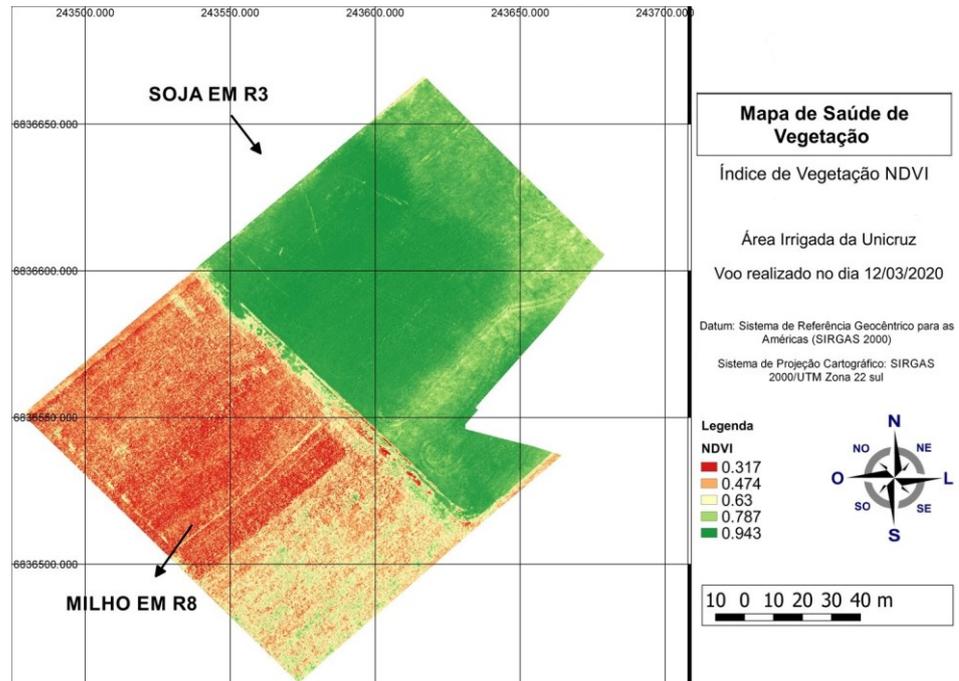
Sendo, NIR refere-se à reflectância na banda do *Near Infrared*; e RE refere-se à reflectância da banda localizada no *Red Edge*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é mostrado o resultado do mapeamento com o NDVI, na qual observa-se que na soja predomina a coloração verde escura com valores de NDVI em 0,943, encontrado principalmente nas regiões que receberam irrigação, indicando assim, uma atividade fotossintética ativa. Nesta mesma área encontramos regiões em que a soja apresentou NDVI entre 0,787 e 0,630, coincidindo com regiões em que os aspersores de irrigação não possuem uma cobertura completa. Também foram identificadas falhas na densidade populacional principalmente nos locais onde os equipamentos agrícolas realizam as manobras na lavoura para a semeadura e os tratamentos fitossanitários, apresentando NDVI entre 0,317 e 0,474, representadas pelas cores vermelha e amarela respectivamente. Estas alterações no ambiente de crescimento podem afetar na correlação do NDVI com a produtividade da soja Ma et al. (2001), limitando as estimativas produtivas por meio de análises estatísticas que considerem a composição da biomassa (MOURTZINIS et al., 2014).

Já na cultura milho (Figura 2) o NDVI predominante foi de 0,317 representado pela coloração vermelha escura, ocasionados pela ausência de clorofila, pois nesse estágio da fenologia (R8) o milho já havia perdido toda a sua biomassa devido ao processo natural de senescência estando próximo ao final de ciclo. Percebe-se, também, algumas pequenas regiões no mapa com NDVI variando entre 0,787 e 0,943, representados pela coloração que varia do verde claro ao verde escuro, ocasionado pela presença de plantas daninhas. O imageamento nesta área foi realizado em um estágio fenológico em que a cultura pouco responde ao NDVI, pois suas saturações ocorrem principalmente nos estádios fenológicos V8 a V10 (POVH, 2011) quando o índice de área foliar é maior do que 1,5 (TROTTER et al., 2008). Nestes estádios, a recomendação de fertilizantes nitrogenados baseados em coletas de NDVI é mais acurada para modelos estatísticos baseados somente em produtividade (CLAY et al., 2006).

Figura 2 – Mosaico ortorretificado do índice NDVI aplicado as culturas da soja e milho

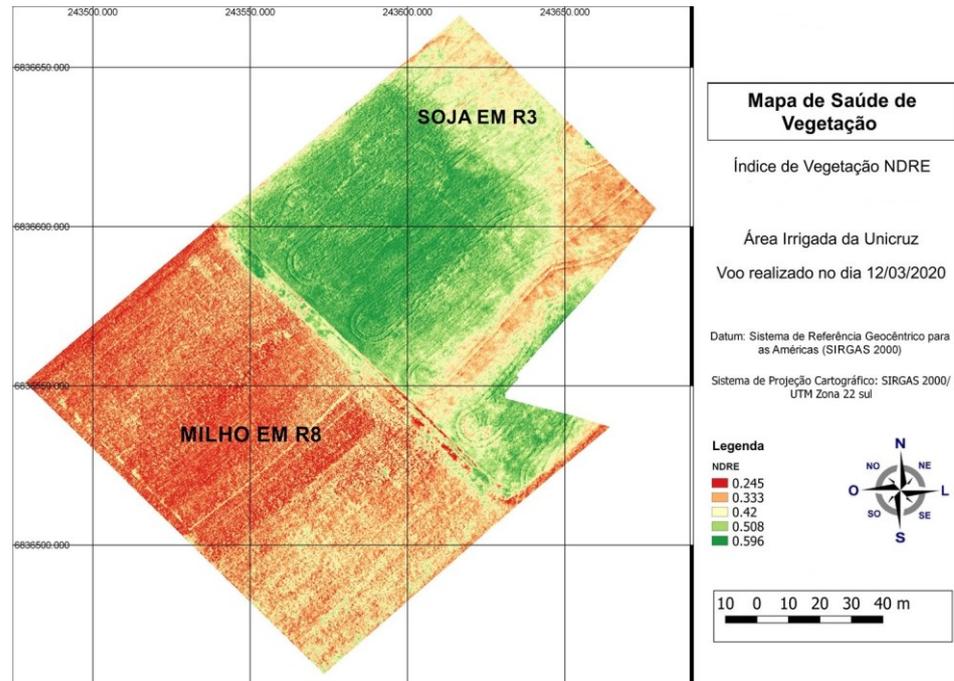


Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 3, no mapa gerado por meio do NDRE para a cultura da soja podemos observar que as plantas estão saudáveis (vegetação com atividade fotossintética), pois os valores de NDRE foram de 0,508 e 0,596 representados respectivamente pela coloração verde claro e o verde escuro. Já nas laterais localizadas a nordeste, leste e sudeste da área apresentam coloração amarela, representada pelo valor de NDRE em 0,420, coloração laranja representada pelo valor NDRE de 0,333 e uma coloração vermelha representada pelo valor de 0,245. Como no ano agrícola 2019/2020 a região foi afetada por uma estiagem, houve uma antecipação da fase reprodutiva da cultura, ocorrendo uma perda precoce das folhas e expondo o solo. Assim, os baixos valores estão localizados nas regiões em que os aspersores do sistema de irrigação não conseguiram manter adequadamente a umidade do solo neste período.

Além disso, a escala de valores de NDRE inferior ao NDVI encontrada em toda área de soja está relacionada a reflectância da banda RE, tendo uma melhor sensibilidade ao teor de clorofila localizado abaixo do dossel da cultura. Eitel et al. (2010) observaram que quando é utilizado a banda do RE ocorre aumento da habilidade em estimar as variações do teor de clorofila ($R^2 > 0,73$) em relação a banda do R ($R^2 = 0,57$). Isto permite que a banda RE discrimine locais onde há doenças na cultura, sendo indicado no período compreendido entre 105 e 120 DAE (Dias Após a Emergência), pois neste período há uma maior correlação entre reflectância foliar e índice de doença (BAJWA et al., 2017).

Figura 3 – Mosaico ortorretificado do índice NDRE aplicado as culturas da soja e milho



Fonte: Autoria própria (2021).

Já na área com a cultura do milho, observa-se que a cor vermelha escura predomina em quase toda a região cultivada com valores de NDRE em torno de 0,245. Este valor é reflexo do estágio fenológico da cultura do milho (R8), sendo caracterizado pela perda de clorofila nas folhas, resultando em uma alta absorção da radiação eletromagnética e baixa reflectância. Nos locais onde a cor laranja predomina, o valor de NDRE fica em torno de 0,333 onde a cultura apresenta um índice de área foliar inferior, tornando o solo mais exposto. Este comportamento diferenciado em relação ao restante da lavoura deve-se ao fato de o sistema de irrigação por gotejamento não ter sido instalada nestas linhas de cultivo, sendo assim as plantas submetidas a *stress* hídrico. Podemos ainda observar na Figura 3 que valores de NDRE 0,480, 0,508 e 0,596 foram encontrados pontualmente na cultura do milho, evidenciando uma determinada atividade fotossintética demonstrada nas cores amarela, verde e verde escuro, respectivamente, acusando a presença de plantas invasoras.

Assim, o NDRE possui uma melhor capacidade de representar a atividade fotossintética em toda biomassa da cultura. Eitel et al. (2010) e Li et al. (2014) também observaram em seus trabalhos que o NDRE permite expressar melhor a atividade fotossintética em estágios fenológicos mais avançados dos vegetais em relação ao NDVI, onde está possui a sua saturação nas fases finais do estágio vegetativo. Miller et al. (2018) avaliaram vários estágios de desenvolvimento da cultura da soja no período de 2015 e 2016, comparando o NDVI e o NDRE por meio de sensor de dossel, sendo constatado que o NDRE pode ser usado em condições com maior biomassa do dossel vegetativo pois são menos sensíveis a saturação, sendo esta resposta também encontrada por Taskos et al. (2015).

CONCLUSÕES

Constatamos que as bandas do NIR e RE melhoram a capacidade de detectar a vegetação verde e saudável dentro do dossel das culturas. Como o NDVI utiliza a banda R que constitui a luz no visível, este IV se torna mais sensível as propriedades do ambiente como atmosfera, iluminação, etc. Além disso, os IVs multiespectrais e hiperespectrais são menos sensíveis à saturação, mudanças na geometria de visualização e/ou iluminação, e contaminação atmosférica (TSOUROS et al., 2019).

Assim, os mapas gerados através do NDRE apresentaram melhor capacidade de expressar a atividade fotossintética do dossel nos estágios fenológicos mais avançados (fase reprodutiva) em ambas as culturas, possibilitando a indicação de locais que podem estar sendo atingidas pelo tráfego intenso de máquinas agrícolas, falhas populacionais, presença de doenças ou pragas em final de ciclo, ou encontrar locais em que os sistemas de irrigação não estejam fornecendo umidade adequada para o desenvolvimento final do ciclo da cultura. Além disso, nos locais em que há a senescência das folhas, o NDRE também permite localizar plantas invasoras devido a atividade fotossintética ainda presente.

Analysis of NDVI and NDRE vegetation indices in images obtained through a sensor embedded in a RPAS for irrigated soybean (*Glycine max*) and corn (*Zea mays*) crops

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the optical images use to diagnose photosynthetic activity through multispectral sensor embedded in a Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) applying Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Red Edge (NDRE) vegetative indices for soybean and corn crops. The study was carried out at University of Cruz Alta Campus, where flights were performed using an RPAS model Phantom 4 Standard, equipped with its own RGB sensor and adapted to simultaneously embark a multispectral camera MicaSense Parrot Sequoia. The images were obtained automatically by the flight plan with the computer program Dronedeploy, and later georeferenced, orthorectified and derived from the vegetation index maps by the computer program Agisoft Metashape. We found that the NDRE vegetation index expressed better in this work, being able in certain regions with dense canopy, to identify areas with some leaf stress not detected by the NDVI. Thus, we found that NDRE at more advanced phenological stages better expresses photosynthetically active biomass compared to NDVI.

KEYWORDS: Remote sensing. Precision agriculture. Indexes. Remotely piloted aircraft.

REFERÊNCIAS

ANTONINI, R. C., BORTOLOTTI, R. P., ZAMBERLAN, J. F., DALLA NORA, D., PASINI, M. P. B., FIORIN, J. E. Adoção e uso da agricultura de precisão na região das missões do Rio Grande do Sul. **Holos**, v. 34, n. 4, p. 106-121, 2018. <https://doi.org/10.15628/holos.2018.6297>.

APROSOJA - ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA E MILHO. A história da soja, 2021. Disponível em <http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/a-historia-da-soja>. Acesso em 01 agosto 2021.

BAJWA, S. G., RUPE, J. C., MASON, J. Soybean disease monitoring with leaf reflectance. **Remote Sensing**, v. 9, n. 2, p. 127, 2017. <https://doi.org/10.3390/rs9020127>.

BARNES, E. M., CLARKE, T. R., RICHARDS, S. E., COLAIZZI, P. D., HABERLAND, J., KOSTRZEWSKI, M., WALLER, P., CHOI, C., RILEY, E., THOMPSON, T., LASCANO, R. J., LI, H., MORAN, M. S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. *In* PROCEEDINGS 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. Bloomington, 2000. **Annals[...]** p. 1-15.

CLAY, D. E., KIM, K. I., CHANG, J., CLAY, S. A., DALSTED, K. Characterizing water and nitrogen stress in corn using remote sensing. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 3, p. 579-587, 2006. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0204>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Indicadores da Agropecuária. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2021. 95 p. Disponível em https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/36566_871e4d2210be5fcac5a6c7bfd2b400a5. Acesso em 01 agosto 2021.

DUAN, T., CHAPMAN, S. C., GUO, Y., ZHENG, B. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. **Field Crops Research**, v. 210, p. 71-80, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.025>.

EITEL, J. U., KEEFE, R. F., LONG, D. S., DAVIS, A. S., VIERTLING, L. A. Active ground optical remote sensing for improved monitoring of seedling stress in nurseries. **Sensors**, v. 10, n. 4, p. 2843-2850, 2010. <https://doi.org/10.3390/s100402843>.

GEERKEN, R., ZAITCHIK, B., EVANS, J. P. Classifying rangeland vegetation type and coverage from NDVI time series using Fourier filtered cycle similarity.

International Journal of Remote Sensing, v. 26, n. 24, p. 5535-5554, 2005.
<https://doi.org/10.1080/01431160500300297>.

GUTIERREZ-RODRIGUEZ, M., ESCALANTE-ESTRADA, J. A., RODRIGUEZ-GONZALEZ, M. T. Canopy reflectance, stomatal conductance, and yield of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus coccinues* L. under saline field conditions. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 7, n. 3, p. 491-494, 2005.

JORGE, J., VALLBÉ, M., SOLER, J. A. Detection of irrigation in homogeneities in an olive grove using the NDRE vegetation index obtained from UAV images. **European Journal of Remote Sensing**, v. 52, n. 1, p. 169-177, 2019.
<https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1572459>.

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388 p.

LI, F., MIAO, Y., FENG, G., YUAN, F., YUE, S., GAO, X., LIU, Y., LIU, B., USTIN, S. L., CHEN, X. Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. **Field Crops Research**, v. 157, p. 111-123, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.018>.

MA, B. L., DWYER, L. M., COSTA, C., COBER, E. R., MORRISON, M. J. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 6, p. 1227-1234, 2001.
<https://doi.org/10.2134/agronj2001.1227>.

MARTINELLI, F., SCALENGHE, R., DAVINO, S., PANNO, S., SCUDERI, G., RUISI, P., VILLA, P., STROPPIANA, D., BOSCHETTI, M., GOULART, L. R., DAVIS, C. E., DANDEKAR, A. M. Advanced methods of plant disease detection. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 1-25, 2015.
<https://doi.org/10.1007/s13593-014-0246-1>.

MILLER, J. J., SCHEPERS, J. S., SHAPIRO, C. A., ARNESON, N. J., ESKRIDGE, K. M., OLIVEIRA, M. C., GIESLER, L. J. Characterizing soybean vigor and productivity using multiple crop canopy sensor readings. **Field Crops Research**, v. 216, p. 22-31, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.006>.

MOURTZINIS, S.; ROWNTREE, S. C.; SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; WILSON, E. W.; DAVIS, V. M., NAEVE, S. L., CASTEEL, S. N., DIERS, B. W., ESKER, P. D., SPECHT, J. E., CONLEY, S. P. The use of reflectance data for in-season soybean yield prediction. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 4, p. 1159-1168, 2014.
<https://doi.org/10.2134/agronj13.0577>.

POVH, F. P. **Gestão da adubação nitrogenada em milho utilizando sensoriamento remoto**. 2011. 108f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

PRIMICERIO, J., DI GENNARO, S. F., FIORILLO, E., GENESIO, L., LUGATO, E., MATESE, A., VACCARI, F. P. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 517-523, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9257-6>.

RISSINI, A. L., KAWAKAMI, J., GENÚ, A. M. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140686>.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In* GODDARD SPACE FLIGHT CENTER 3D ERTS-1 SYMPOSIUM. Washington, 1973. **Annals[...]**.

SANTOS, H. G. dos, JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C. dos, OLIVEIRA, V. A. de, LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A. de, ARAUJO FILHO, J. C. de, OLIVEIRA, J. B. de, CUNHA, T. J. F. Brazilian Soil Classification System. 5 ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018.

TASKOS, D. G., KOUNDOURAS, S., STAMATIADIS, S., ZIOZIOU, E., NIKOLAOU, N., KARAKIOULAKIS, K., THEODOROU, N. Using active canopy sensors and chlorophyll meters to estimate grapevine nitrogen status and productivity. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 77-98, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9363-8>.

TROTTER, T. F., FRAZIER, P. S., TROTTER, M. G., LAMB, D. W. Objective Biomass Assessment Using an Active Plant Sensor (Crop Circle), Preliminary Experiences on a Variety of Agricultural Landscapes. *In* PROCEEDINGS OF THE NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. Denver, 2008. **Annals[...]** p. 1-9.

TSOUROS, D. C., BIBI, S., SARIGIANNIDIS, P. G. A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. **Information**, v. 10, n. 349, p. 1-26, 2019. <https://doi.org/10.3390/info10110349>.

WHELAN, B. M., MCBRATNEY, A. B. The “null hypothesis” of precision agriculture management. **Precision Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 265-279, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1011838806489>.

ZHOU, X., ZHENG, H. B., XU, X. Q., HE, J. Y., GE, X. K., YAO, X., CHENG, T., ZHU, Y., CAO, W. X., TIAN, Y. C. Predicting grain yield in Rice using multi-temporal vegetation indices from UAV based multispectral and digital imagery. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 130, p. 246-255, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.05.003>.

Recebido: 23 jun. 2021

Aprovado: 04 out. 2021

DOI: 10.3895/rbgeo.v9n4.14449

Como citar: SAMPAIO, M. I. R.; KUNZ, A.; HILLEBRAND, F. L.; ZAMBERLAN, J. F.; IDALINO, F. D. Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) irrigados. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 9, n. 4, p. 350-362, out./dez. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Marco Ivan Rodrigues Sampaio

Rodovia Municipal Jacob Della Méa, km 5,6, Parada Benito, CEP 98005-972, Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

