

## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA DA BORDA DO VERMELHO (NDRE) EM MILHO COM E SEM IRRIGAÇÃO E SOB DIFERENTES FORMAS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA

FELIPE G. LEITE<sup>1</sup>, GABRIELA M. A. BACKES<sup>2</sup>, MARCUS H. ALBERTO<sup>3</sup>, LÚCIO DE P. AMARAL<sup>4</sup>, TELMO J. C. AMADO<sup>5</sup>, LUCIANO Z. PES<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Tecnólogo em Geoprocessamento, Mestrando em Engenharia Agrícola, Depto. Engenharia Rural, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola/UFSM, Santa Maria - RS, felipegl98@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Eng. Agrônoma, Mestranda em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico, Programa de Pós Graduação em Agricultura de Precisão/UFSM, Santa Maria - RS.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico, PPGAP/UFSM, Santa Maria - RS.

<sup>4</sup> Eng. Florestal, Prof. Doutor, Depto. Engenharia Rural, PPGAP; PPGEF/UFSM, Santa Maria - RS.

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. Ciência do Solo, PPGEA; PPGAP/UFSM, Santa Maria - RS.

<sup>6</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Colégio Politécnico, PPGAP/UFSM, Santa Maria - RS.

Apresentado no  
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022  
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

**RESUMO:** A cultura do milho é uma das mais importantes para a economia brasileira, seja para produção de alimentos (consumo humano e ração para criação de animais/produção de proteínas), uso de recursos naturais (solo e água) e insumos (corretivos, fertilizantes, defensivos, outros), dentre outros aspectos. A Agricultura de Precisão, com uso de suas tecnologias podem auxiliar na otimização dos sistemas de produção de milho, a exemplo dos índices de vegetação empregados na gestão de nitrogênio e água. Avaliou-se o desempenho do índice de vegetação por diferença normalizada da borda do vermelho para esta cultura no estágio fenológico V12, obtido de imagens multiespectrais geradas por sensor embarcado em aeronaves remotamente pilotadas. Foram utilizados dois blocos (irrigado e não irrigado) e diferentes formas de adubação nitrogenada com NPK + ureia (30, 122, 147, 180 [incorporada e fracionada], 210, 250 kg N/ha). Os dados foram obtidos por geração de ortomosaico/índice e análises de geoprocessamento. O índice de diferença normalizada da borda do vermelho apresentou maior média na área irrigada. A aplicação de 180 kg N/ha (NPK 30 kg N + Ureia 150 kg N) incorporada ao solo na semeadura foi a que proporcionou o maior valor médio deste índice de vegetação. Houve maior aproveitamento de N com a irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ureia Incorporada; Agricultura de Precisão; Sensoriamento Remoto

## VEGETATION INDEX BY NORMALIZED RED EDGE DIFFERENCE (NDRE) IN CORN WITH AND WITHOUT IRRIGATION AND UNDER DIFFERENT FORMS OF NITROGEN FERTILIZATION

**ABSTRACT:** The corn crop is one of the most important for the Brazilian economy, whether for food production (human consumption and animal feed/protein production), use of natural resources (soil and water) and inputs (correctives, fertilizers, defensive, others), among others aspects. Precision Agriculture, with the use of its technologies, can help to optimize corn production

systems, such as the vegetation indices used in nitrogen and water management. The performance of the vegetation index by normalized difference from the red edge was evaluated for this crop at the V12 phenological stage, obtained from multispectral images generated by a sensor embedded in remotely piloted aircraft. Two blocks were used (irrigated and non-irrigated) and different forms of nitrogen fertilization with NPK + urea (30, 122, 147, 180 [incorporated and fractionated], 210, 250 kg N/ha). The data were obtained by orthomosaic/index generation and geoprocessing analyses. The normalized difference index of the red edge showed the highest average in the irrigated area. The application of 180 kg N/ha (NPK 30 kg N + Urea 150 kg N) incorporated into the soil at seeding provided the highest average value of this vegetation index. There was greater use of N with irrigation.

**KEYWORDS:** Urea Incorporated; Precision Agriculture; Remote Sensing

**INTRODUÇÃO:** O uso de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho (*Zea mays* L.) é imprescindível para sua produção (BESEN et al., 2020). Danos ocasionados por fatores abióticos são responsáveis por impactos sobre o crescimento e produtividade das plantas, além de serem considerados os mais limitantes às atividades agrícolas (JUNIOR et al., 2019). As geotecnologias/tecnologias de Agricultura de Precisão (AP) são cada vez mais utilizadas, e auxiliam no entendimento da variabilidade das ocorrências e danos causados por pragas, doenças, déficit nutricional e estresse hídrico, que alteram, por exemplo, a resposta espectral e produtividade das plantas. Uma aplicação possível é o uso de índices de vegetação (IV) obtidos de imagens multiespectrais geradas por sensores embarcados em aeronaves remotamente pilotadas (RPA), a exemplo do Índice da Diferença Normalizada da Borda do Vermelho (NDRE). O NDRE foi um dos IV mais correlacionados ao rendimento de grãos e doses de N aplicadas na cultura do milho (BAIO et al., 2019; CARVALHO, 2019). As RPA possuem estação de controle, são integradas com sistemas de estabilização, Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), baterias inteligentes, sensores de imageamento (instrumento para coleta de dados em área total), e com programas de processamento torna-se viável o mapeamento de extensas áreas de lavouras. Com estas tecnologias, se possibilita a geração de informações para a tomada de decisão, deste que se estabeleçam relações entre os IV com a produtividade ou com os fatores que a influenciem. Este trabalho objetivou avaliar o comportamento do IV NDRE, obtidos por sensor multiespectral embarcado em RPA, na cultura do milho, com e sem irrigação e sob diferentes formas de adubação nitrogenada.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado na área experimental do Colégio Politécnico da UFSM, localizado a 29° 43' S e 53° 44' W, 112 m de altitude, safra 2021/2022. O clima da região é do tipo “Cfa”, com média de temperaturas anuais de 19,3° C e chuvas com mais de 1700 mm (ALVARES et al., 2014). O solo na área é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico ou típico (STRECK et al., 2008). Dois blocos de 25 x 40,5 m foram implantados, sendo um irrigado com pivô central (BIR) e outro não irrigado (BNIR). Ambos continham sete tratamentos, em delineamento em blocos ao acaso bifatorial e desbalanceado, com repetições de 5x4,5 m (10 linhas de plantas), tendo área de colheita manual de 2x2,7 m (6 linhas de plantas). O fator 1 foi ausência e presença de irrigação, o fator 2 foram as formas diferenciadas de adubação nitrogenada, sendo utilizadas as doses de 30, 122, 147, 180 [fracionada], 180 [incorporada], 210 e 250 kg N/ha (NPK + Ureia), ambos os fatores configuram os tratamentos. Na semeadura foi utilizado 30 kg N/ha (NPK) junto com as sementes para todos os tratamentos, no tratamento com ureia incorporada foi acrescido 150 kg N/ha com este fertilizante, sendo nos demais tratamentos variados o fracionamento em V4, V7 e V12, sendo a ureia (45% N) aplicada a lanço manualmente. O experimento teve início em 06 de outubro de 2021 e término em 21 de março de 2022, perfazendo o ciclo da cultura do milho. Utilizou-se o híbrido da Brevant B2688PWU, semeado com

0,45 m entre linhas e uma população de 80.000 plantas/ha. O manejo fitossanitário (aplicação de herbicida, inseticida e controle biológico) foi realizado com pulverizações de produtos com uma RPA modelo Agras T16, conforme as recomendações técnicas do fabricante daqueles produtos. Os voos com RPA e sensor multiespectral foram realizados com os equipamentos RPA *Phantom 4 Pro DJI* e sensor *RedEdge-Mx MicaSense*, com 5 bandas espectrais: Blue 475 ±20 nm (Azul), Green 560 ±20 nm (Verde), Red 668 ±10 nm (vermelho), Near Infrared ±40 nm (infravermelho próximo) e Red Edge 717 ±10 nm (borda do vermelho). Possui painel de calibração de reflectância, que funciona como uma superfície lambertiana, e sensor de luminosidade DSL para captura de variabilidade de radiação no momento da geração das imagens, ambos foram utilizados na calibração radiométrica das imagens durante o processamento. No plano de voo fotogramétrico foram utilizados recobrimentos longitudinais e laterais de 70%, e demais configurações para permitir um GSD inferior a 10 cm. O voo ocorreu entre 10:30 e 11:00 h AM, posteriormente as imagens foram exportadas e realizou-se o processamento aerofotogramétrico, com o software *Agisoft Metashape Professional*. Após as calibrações, foram inseridos e marcados todos os pontos de controle coletados em solo utilizando o receptor GNSS GTR-G2 (GPS L1), com pós-processamento pelo método de posicionamento por ponto preciso (PPP), processado pelo portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 10 dias após a coleta, e confeccionou-se o ortomosaico georreferenciado. Através do mosaico, gerou-se os IV NDVI e NDRE, utilizando a calculadora raster, exportado em formato GEOTIFF, com os valores do índice em cada *pixel*. A seguir, no sistema de informação geográfica *ArcMap* versão 10.8, realizou-se a conversão dos valores da imagem para pontos, criados no centroide do *pixel*, tendo como atributo o valor do índice. Posteriormente, filtrou-se os *pixels* somente da área interna de cada repetição dos tratamentos, descartando 1,5 metros de cada lado no sentido longitudinal e 2 linhas de plantas laterais (área de colheita manual), para obtenção de valores médios de NDRE referentes às mesmas plantas que foram colhidas para determinação de componentes de rendimento e produção. Através da tabela de atributos do arquivo de pontos das áreas internas de colheita nas repetições dos tratamentos, excluiu-se os valores do NDVI menores que 0,45 para remover *pixels* que não representam plantas da cultura. Com as localizações destes *pixels* removidos foi realizada a filtragem dos valores do NDRE, e com os *pixels* restantes separados em cada repetição, foram obtidos os valores médios, no estádio fenológico V12, para estabelecer seu comportamento em relação aos fatores 1 e 2 do experimento. Índices de vegetação em estudo foram obtidos pelas respectivas equações abaixo:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

$$\text{NDRE} = (\text{NIR} - \text{REDEGDE}) / (\text{NIR} + \text{REDEGDE})$$

em que, NIR - Reflectância na banda do infravermelho próximo; RED - Reflectância na banda do vermelho; REDEGDE - Reflectância na banda da borda do vermelho.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Destaca-se que se trata de uma apresentação de resultados parciais. Utilizou-se o estádio fenológico V12, pois segundo Carvalho et al. (2020), no V12 a cultura do milho apresentou maiores valores de correlações com o teor de N na parte aérea da planta. Observou-se que no geral, os maiores valores de NDRE foram observados com a dose de 180 kg N/ha (Figura 1.a), com ureia incorporada ao solo no momento da semeadura, e que com irrigação os valores médios do NDRE foram superiores em relação a área sem irrigação em todas as formas de aplicação de nitrogênio (Figura 1.b). Em função de não ser uma região com ambientes para altos tetos produtivos utiliza-se como dose de referência 180 kg N/ha, sendo este o manejo de N um dos utilizados pelos agricultores da região de Santa Maria. O maior valor de NDRE obtido com esta dosagem de N incorporada ao solo se destacou, e indica maior absorção de N pela cultura neste tratamento, e possivelmente presente as maiores produtividades. Para Baio et al. (2019) e Carvalho et al. (2020) o NDRE foi um dos IVs mais correlacionados ao rendimento de grãos e doses de N aplicadas ao milho em suas pesquisas.

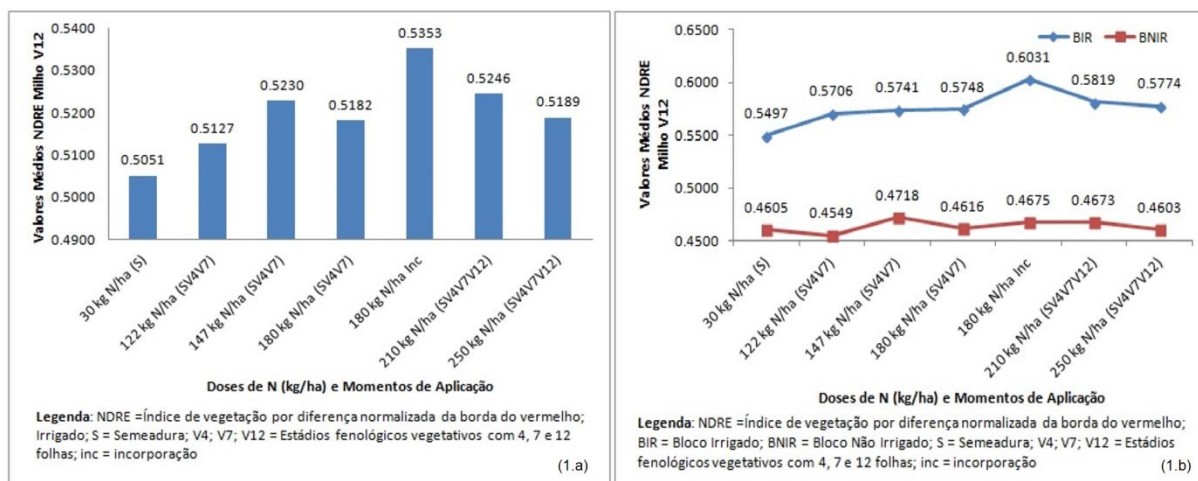


FIGURA 1. Valores médios NDRE no experimento com a cultura do milho no estágio fenológico V12 (1.a), com e sem irrigação e sob diferentes formas de adubação nitrogenada (1.b), em Santa Maria, RS, Brasil – Safra 2021-2022.

Em doses acima de 180 kg N/ha pode ter ocorrido maior desenvolvimento das plantas em área foliar, até meados de dezembro de 2021, enquanto havia água para irrigação. A partir desta data, ocorreu acentuada restrição hídrica, mesmo no BIR, podendo ter ocorrido maior estresse das plantas e menores valores médios de NDRE para as doses de 210 e 250 kg N/ha. Neste sentido, sensores embarcados em plataformas remotas para avaliar a reflectância e os IVs são ferramentas importantes para detectar a variabilidade espacial do estado nutricional das culturas e monitorar a sua evolução durante estádios fenológicos críticos (CARVALHO et al., 2020).

**CONCLUSÕES:** O NDRE, na cultura do milho, apresentou valores superiores em área irrigada (BIR), independentemente da forma de aplicação de nitrogênio. Quanto a este fator, no estágio fenológico V12 desta cultura, foram obtidos os maiores valores médios de NDRE no tratamento com ureia incorporada ao solo na semeadura, tanto na área irrigada quanto no experimento como um todo (médias gerais). Já na área não irrigada (BNIR), o maior valor médio de NDRE foi obtido com a aplicação de ureia fracionada (147 kg N/ha – SV4V7). Os dados de NDRE sugerem maior aproveitamento do nitrogênio em área irrigada, onde a incorporação de ureia foi superior.

#### REFERÊNCIAS:

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- BAIO, F. H. R. et al. Nitrogen doses in topdressing affect vegetation indices and corn yield. *Bioscience Journal*, v.35, n.5, p.1432-1437, 2019.
- BESEN, M. R. et al. Produtividade de milho e retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.19, n. 1, p.94-103, 2020.
- CARVALHO, L. F. D. **Índices de vegetação obtidos por sensor proximal e embarcado em aeronave remotamente pilotada e sua relação com a produtividade do milho**. 2019, 91p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
- CARVALHO, L. F. D. et al. Nutritional status of corn plants estimated through different vegetation Indices in the growth stages. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.28, p.255-264, 2020.
- JUNIOR, G. N. A. et al., Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. *Pubvet*, v.13, n.1, a241, p.1-10, 2019.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed, Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.