

Correlação entre índices de vegetação (IVs) e a resistência do solo à penetração (RSP) após safra de trigo

Leonardo Elvenios Sbaraini Leitzke^{1*}; Helton Aparecido Rosa¹

¹Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.

^{1*}leoleitzke30@gmail.com

Resumo: A busca de mais informações sobre a melhora dos cultivos e obtenção de resultados mais eficientes, aproximou o produtor rural ao uso de novas tecnologias. O sensoriamento remoto envolve o uso de imagens como de satélites, aviões ou drones. O objetivo do trabalho foi analisar a correlação de índices de vegetação obtidos com imagens de satélite, com resistência do solo à penetração do solo após cultura do trigo (*Triticum* spp). A pesquisa foi realizada na Fazenda Escola do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, localizada no município de Cascavel - PR, durante o ciclo da cultura do trigo semeado no dia 27 de abril de 2021. Foram avaliados os pontos de resistência do solo com o penetrômetro, elaborado um grid com 17 pontos espaçados de 90x90 m, com três perfurações por ponto, nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. As imagens orbitais obtidas com a utilização do sensor MSI instalado no satélite Sentinel-2 das bandas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo forneceram dados para o cálculo dos índices de vegetação: NDVI, GNDVI, VARI e GLI. No QGIS foi realizada interpolação dos dados de RSP para geração dos mapas temáticos nas 3 profundidades avaliadas. Após a obtenção de todos dados realizou-se correlação linear de Pearson (r) para verificar a correlação existente entre a RSP e os IVs. A camada 10-20 cm na maior parte da área foi a que apresentou maiores valores de RSP. A correlação dos índices de vegetação com a RSP não apresentou resultados elevados na área estudada, sendo a camada de 0-10 cm a que mais se correlacionou com os IVs.

Palavras-chave: NDVI; *Triticum* spp; Geoprocessamento.

Correlation between vegetation indices (VIs) and soil resistance to penetration (RSP) after wheat harvest

Abstract: The search for more information on improving crops and obtaining more efficient results brought rural producers closer to the use of new technologies. Remote sensing involves the use of images such as from satellites, planes or drones. The objective of this work was to analyze the correlation of vegetation indices obtained with satellite images, with soil resistance to post-crop penetration of wheat (*Triticum* spp). The research was carried out at the Escola Farm of the University Center of the Assis Gurgacz Foundation, located in the municipality of Cascavel - PR, during the wheat crop cycle sown on April 27, 2021. Soil resistance points were evaluated with a penetrometer, prepared a grid with 17 points spaced 90x90 m, with three perforations per point, in the layers of 0-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm. The orbital images obtained using the MSI sensor installed on the Sentinel-2 satellite of the blue, green, red and near infrared bands provided data for the calculation of vegetation indices: NDVI, GNDVI, VARI and GLI. In QGIS, interpolation of RSP data was performed to generate thematic maps in the 3 depths evaluated. After obtaining all data, Pearson's linear correlation (r) was performed to verify the correlation between the RSP and the IVs. The 10-20 cm layer over most of the area was the one with the highest RSP values. The correlation of vegetation indices with RSP did not show high results in the studied area, with the 0-10 cm layer being the one that most correlated with IVs.

Keywords: NDVI; *Triticum* spp; Geoprocessing.

Introdução

Na busca de mais informações sobre a melhora dos cultivos e obtenção de resultados mais eficientes, tem aproximado o produtor rural ao uso de novas tecnologias, uma dessas tecnologias é o sensoriamento remoto envolve a captura de imagens de satélites, aviões ou drones.

Como um conceito de gestão agrícola, a agricultura de precisão (AP), é uma prática essencial, considerando as diferentes atividades que podem ser realizadas em uma lavoura, permitindo uma utilização mais racional dos insumos como água, pesticidas, fertilizantes, energia, herbicidas, com maior qualidade e aumento da produtividade (EZENNE *et al.*, 2019). Buscando otimização da produção agrícola e visando sustentabilidade e segurança alimentar, é necessário a gestão dos cultivos com o menor consumo de insumo possíveis (MOLIN, AMARAL e COLAÇO, 2015; THORSTENSEN, MOTA e THOMAZELLA, 2019).

Na década de 1960 nos Estados Unidos, teve início o desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto orbital. O objetivo era auxiliar a pesquisa científica aplicada à agricultura, floresta, geologia e água (MARINO JUNIOR, 2006). Com o objetivo de capturar informações espaciais, foi desenvolvido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), o programa LANDSAT. Com dois tipos de sensores à bordo: o RBV (Return Beam Vidicon), para aplicações cartográficas e o MSS (Multispectral Scanner Subsystem) para análises espectrais de feições terrestres operaram nas plataformas LANDSAT 1, 2 e 3 (JENSEN, 2009). Em 2012, uma missão do Programa Global Monitoring for Environment and Security (GMES) com administração conjunta entre a Comunidade Europeia e a ESA, lançam em 2014, pares de satélites especializados chamados de Sentinel 2A e 2B para observação da Terra, realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos e umidade, rios e áreas costeiras, e dados para correção atmosférica (EMBRAPA TERRITORIAL, 2021).

Este satélite realiza a coleta de dados com uma resolução espacial de 10 m, resolução radiométrica de 12 bits por pixel e acrescido de 13 bandas espectrais, sendo 4 bandas no visível e do no infravermelho; 6 bandas no “red edge” e infravermelho de ondas curtas e 3 bandas para correção atmosférica (FEIO, 2017).

Sem ter o contato físico entre o sensor e o alvo, as imagens geradas pelos satélites proporcionam uma melhor visão da área, através do espectro eletromagnético, possibilitando desse modo um aproveitamento melhor do contexto espacial para medir os impactos naturais, como a vegetação (GAMEIRO *et al.*, 2016). Para Castro, Sartori e Moraes (2017) e Castro *et al.* (2018) a partir das imagens, pode-se extrair os valores das grades de amostragens nos

pixels e realizar a correlação dos valores dos índices de vegetação com os parâmetros de solo coletados em campo.

Os índices de vegetação são modelos matemáticos ou algoritmos baseados no sensoriamento remoto e buscam caracterizar e avaliar a cobertura verde (SANTORO, 2020).

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), é um índice de vegetação mais empregados na agricultura, utilizado para analisar a cobertura vegetal através do sensoriamento remoto corrigindo os efeitos de sombras oriundas da elevação topográfica sobre a imagem, além de fornecer um diagnóstico detalhado da fitomassa fotossinteticamente ativa (SOUZA, GONZALEZ e TEIXEIRA FILHO, 2019).

O Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (Visible Atmospherically Resistant Index - VARI), apresenta semelhanças com o NDVI, mas não é um substituto. Ele é baseado na variabilidade de vigor e do stress da planta, e é mensurado em cima do desenvolvimento ou não da planta (MAPPA, 2020). Fundamentado em faixas visíveis e no sensoriamento remoto baseado em satélite, o VARI, não é largamente usado, porque a resposta da vegetação no espectro é menor do que o infravermelho do espectro (BALLESTEROS *et al.*, 2021).

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada Verde (Green Normalized Difference Vegetation - GNDVI), é o índice mais sensível à variação da clorofila e é utilizado quando o desenvolvimento da planta está mais avançado, faz a saturação mais tarde que o NDVI e determina a absorção da água e nitrogênio da planta (MELLO *et al.*, 2020). O GNDVI é usado na fase intermediária e final do ciclo da cultura e os valores oscilam entre -1 e 0 e estão associados à presença de água ou solo descoberto (AURAVANT, 2021).

Índice de Folha Verde (Green leaf index – GLI), originalmente este índice foi projetado para uso com uma câmera RGB digital (LOUHAICHI, BORMAN e JOHNSON, 2001) e é utilizado para diferenciar plantas vivas e solo, plantas vivas e plantas mortas (FRANCO, 2018). Os valores de GLI podem variar entre -1,0 e 1,0. O solo sem cobertura e plantas mortas, representam os valores negativos (LOUHAICHI; BORMAN; JOHNSON, 2001).

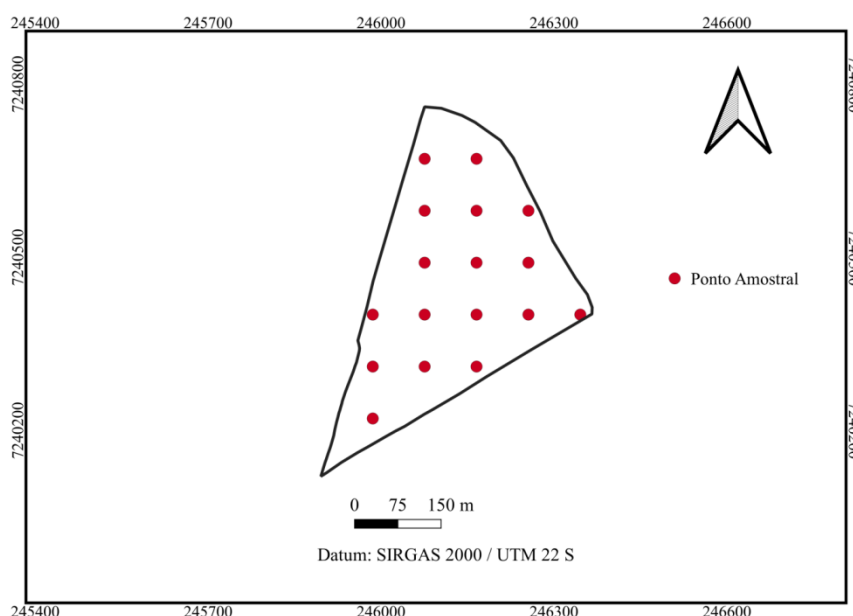
A Resistência do Solo a Penetração (RSP) limita o tamanho e o crescimento do sistema radicular, dificultando também a produtividade das culturas (CARVALHO *et al.*, 2012), sendo que o aumento de densidade do solo e a redução da sua porosidade elevam a compactação do solo, que é causada principalmente pelo tráfego de máquinas (ROSIM *et al.*, 2012). Portanto, o trabalho teve como objetivo analisar a correlação de índices de vegetação

(IV) obtidos através de imagens de satélite, com resistência do solo à penetração (RSP) após cultura do trigo.

Material e Métodos

A pesquisa foi realizada na Fazenda Escola, CEDETEC no Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, localizada no município de Cascavel -PR. O solo do local está classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico (SANTOS *et al.*, 2018), que segundo análise de solo foi possível obter o teor de areia 16,25%, de silte 18,75% e o de argila 65%. Sendo monitorada uma área de aproximadamente 14 ha, onde estava plantada a cultura do trigo (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização e GRID amostral da área do estudo.



Fonte: o Autor

Durante o ciclo da cultura do trigo, semeado no dia 27 de abril de 2021, fez-se uso de imagens baixadas do satélite Sentinel-2 e disponibilizados através do site Landviewer. Essas imagens foram processadas pelo software livre QGIS (3.12.3), que é uma plataforma de sistema de informação geográfica que permite visualizar e analisar dados. Após a obtenção dos dados, calculou-se os índices de NDVI (Equação 1), GNDVI (Equação 2), VARI (Equação 3) e GLI (Equação 4).

As bandas do satélite Sentinel -2, utilizadas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Faixas espectrais Sentinel-2 utilizadas.

Resolução	Número da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nm)
10 m	B02	Azul	490
	B03	Verde	560
	B04	Vermelho	665
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842

Fonte: ENGESAT, 2021.

$$NDVI = \frac{(B08 - B04)}{(B08 + B04)} \quad \text{Equação (1)}$$

Fonte: Crippen (1990). Adaptado pelo autor.

$$GNDVI = \frac{(B08 - B03)}{(B08 + B03)} \quad \text{Equação (2)}$$

Fonte: Gitelson e Merzlyak (1998). Adaptado pelo autor.

$$VARI = \frac{(B03 - B04)}{(B03 + B04 - B02)} \quad \text{Equação (3)}$$

Fonte: Gitelson *et al.* (2002). Adaptado pelo autor.

$$GLI = \frac{(2 \cdot B03 - B04 - B02)}{(2 \cdot B03 + B04 + B02)} \quad \text{Equação (4)}$$

Fonte: Louhaichi, Borman e Johnson (2001). Adaptado pelo autor.

Em que:

B02: refletância do comprimento de onda Azul

B03: refletância do comprimento de onda Verde

B04: refletância do comprimento de onda Vermelho

B08: refletância do comprimento de onda Infravermelho próximo

Após a colheita da cultura do trigo realizada no dia 24 de agosto de 2021, analisou-se a RSP, utilizando-se o penetrômetro de solo digital (Penetrologger) versão 6,08, e foi elaborado um grid amostral (Figura 1) com espaçamentos de 90x90 m, com três perfurações por ponto, nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, calculando-se a média dessas três perfurações. Posteriormente, foram coletadas cinco amostras de solo aleatoriamente nas mesmas camadas utilizadas na RSP para que seja feita a amostragem de solo para verificar a umidade e avaliada a correlação entre a RSP e o índice de vegetação na cultura do trigo.

Após essa etapa, realizou-se a interpolação dos dados de RSP, com o auxílio do interpolador Inverse Distance Weighted (IDW) do software QGIS (3.12.3), para a geração de mapas de RSP nas diferentes camadas.

Com os dados de RSP, NDVI, GNDVI, VARI e GLI, foram realizadas análises de estatística descritiva. Para desenvolver os cálculos de correlação entre as variáveis, por meio do cálculo do índice de correlação de Pearson (r), utilizou-se o software Excel. Esse índice indica a relação entre duas variáveis lineares, cujos valores sempre serão entre -1 que indica uma correlação negativa e +1 que indica uma correlação positiva.

Para avaliar as correlações utilizou-se a classificação de Callegari-Jacques (2003), onde o r pode ser avaliado qualitativamente pelos seguintes intervalos:

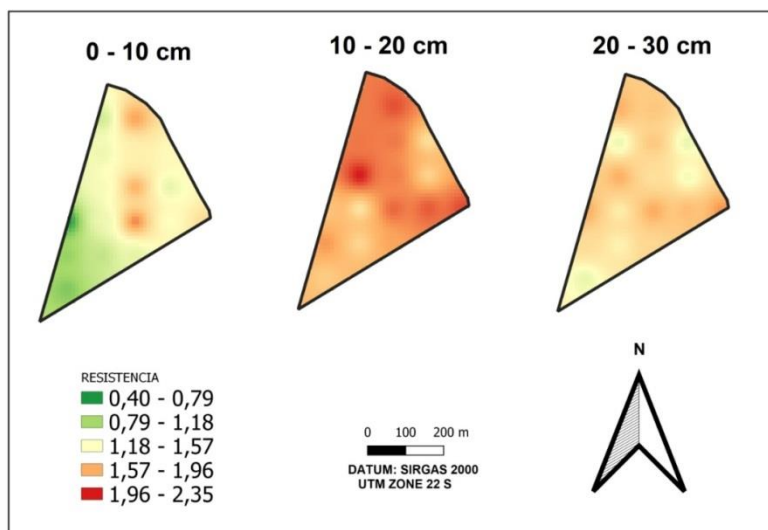
- $0,9 \leq |r| \leq 1,0$ significam correlação muito forte;
- $0,7 \leq |r| < 0,9$ representam correlação forte;
- $0,4 \leq |r| < 0,7$ representam correlação moderada;
- $0,2 \leq |r| < 0,4$ significam correlação fraca;
- $0,0 \leq |r| < 0,2$ representam correlação muito fraca.

Resultados e Discussão

Analisando os mapas da RSP (Figura 2), é possível observar que a camada 10-20 cm foi a que apresentou maiores valores de RSP na faixa de 1,96 a 2,35 MPa de resistência. Rosa *et al.* (2012), estudando diferentes tempos de adoção do SPD, constataram que na camada de 0,10-0,20 também ocorreram os maiores valores de RSP entre todos os períodos de implantação. Na camada de 0-10 cm a RSP variou de 0,40 a 1,57 MPa, e entre 20-30 cm estava entre 1,57 à 1,96 MPa.

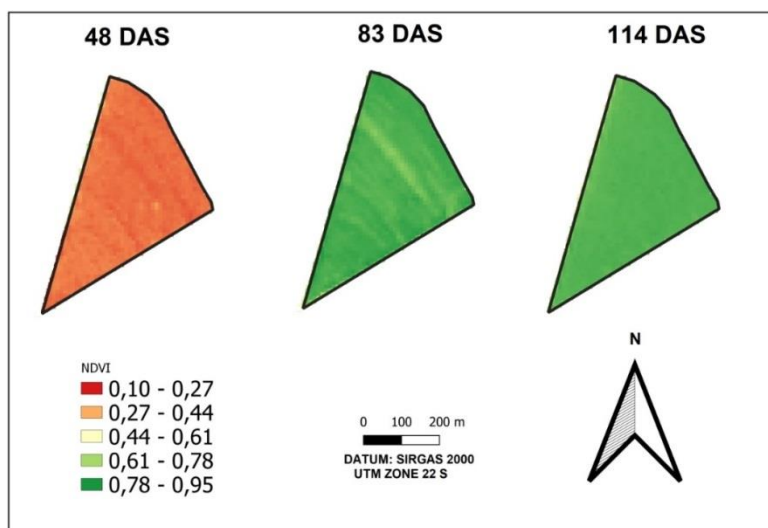
Alves *et al.* (2019) concluíram em seu trabalho sobre variabilidade espacial da RSP em solo argiloso sob pastagem degradada, que a camada que apresentaram os maiores valores de RSP foi a de 10-20 cm, corroborando com os valores encontrados no presente estudo. Segundo Secco *et al.* (2009), em Latossolo cultivado sob sistema plantio direto, a maior RSP não foi na primeira camada de solo (0-10 cm). Essa camada acaba sendo mobilizada pelos mecanismos sulcadores das semeadoras-adubadoras, responsáveis por abrir o sulco, mobilizar o solo e depositar o adubo em profundidade (BONATO, 2019).

Figura 2 – Mapa temático da RSP nas camadas de 0-10 cm com umidade gravimétrica média do solo no dia da coleta = 28%.



Nos mapas de NDVI (Figura 3), verifica-se que ao longo dos dias após a semeadura (DAS), os maiores valores encontrados foram com 83 DAS, com maior parte do mapa na faixa entre 0,78 à 0,95. Com 114 DAS, o índice apresentou a faixa entre 0,61 e 0,95. Nos primeiros 48 DAS apresentou menor valor, tendo em vista que era no início do ciclo.

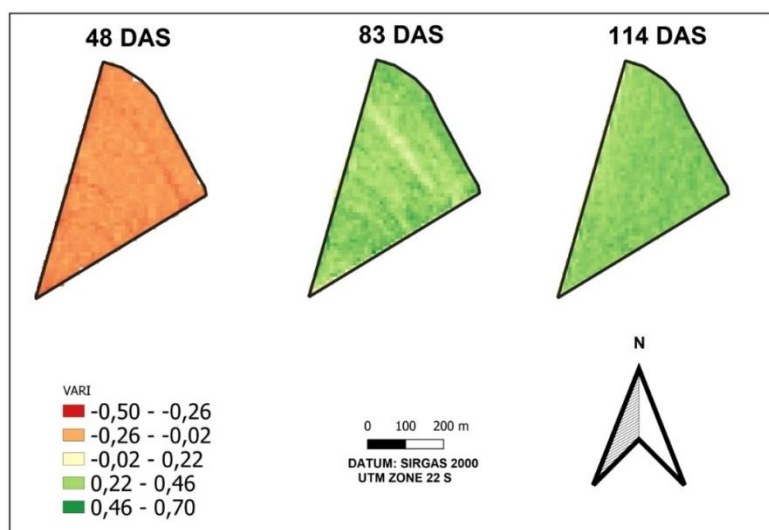
Figura 3 – Mapa temático do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).



Os resultados do NDVI podem variar de -1 a 1, sendo que os resultados mais próximos de 1 representam áreas com maiores quantidades de vegetação com a fotossíntese mais ativa, enquanto os valores mais próximos de 0 ou negativos indicam a não existência de atividade vegetativa (ROSA, 2021). Portanto, com 83 e 114 DAS a vegetação na área apresentava maior vigor, possivelmente próximo do seu pico vegetativo.

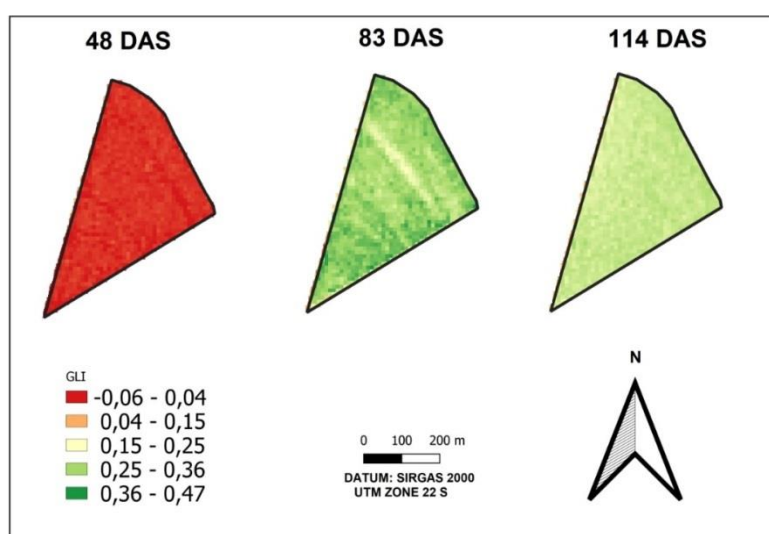
Ao longo dos DAS, verificou-se nos mapas de VARI, os maiores valores foram encontrados com 83 DAS, com maior parte do mapa com valores entre 0,46 a 0,70. Com 114 DAS, o índice apresentou valores entre 0,22 e 0,70 (Figura 4). O outro DAS apresentou menor valor, tendo em vista que era o início do ciclo.

Figura 4 – Mapa temático do Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI).



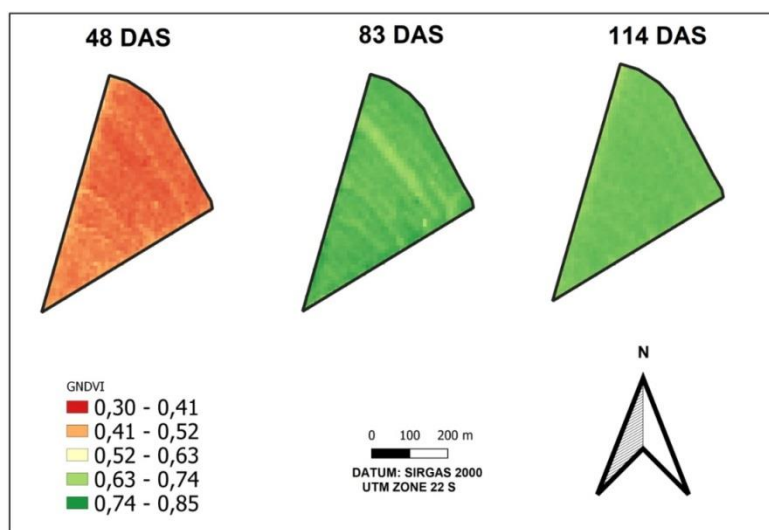
Nos mapas de GLI (Figura 5), nos dias após a colheita analisados verificou-se que os maiores valores foram encontrados a 83 DAS, com maior parte do mapa com valores entre 0,36 a 0,47. Com 114 DAS, o índice apresentou valores entre 0,25 e 0,47. A 48 DAS o mapa apresentou menor valor, considerando que era o início do ciclo da cultura.

Figura 5 – Mapa temático do Índice de Folha Verde (GLI).



Já na Figura 6, alusivo aos mapas de GNDVI, os maiores valores foram encontrados a 83 DAS, com maior parte do mapa com valores entre 0,74 a 0,85. Em 114 DAS, o índice apresentou valores entre 0,63 e 0,85. O outro mapa apresenta menor valor, tendo em vista que é após 48 DAS do início do ciclo.

Figura 6 – Mapa temático do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (GNDVI).



Os maiores valores de correlação (Tabela 2) entre a resistência do solo e os índices de vegetação foram encontrados na camada 0 – 10 cm, com o GNDVI com 48 DAS de -0,48, sendo considerada uma correlação moderada; o NDVI e o GLI a 114 DAS apresentaram os valores de 0,28 e 0,24 respectivamente, já o VARI a 48 DAS um valor de 0,31 representando uma correlação fraca, na profundidade.

Tabela 2 – Correlação de Pearson (r) entre os IVs e a RSP nas diferentes camadas de solo.

	RSP 0-10 cm	RSP 10-20 cm	RSP 20-30 cm
NDVI 48 DAS	-0,25	-0,04	0,07
NDVI 83 DAS	-0,01	-0,11	0,02
NDVI 114 DAS	0,28	-0,01	-0,04
GLI 48DAS	0,19	0,09	0,07
GLI 83 DAS	-0,08	-0,14	0,03
GLI 114 DAS	0,24	-0,05	-0,02
VARI 48 DAS	0,31	0,16	0,08
VARI 83 DAS	0,07	-0,06	0,05
VARI 114 DAS	0,29	-0,02	-0,03
GNDVI 48 DAS	-0,48	-0,20	-0,02
GNDVI 83 DAS	-0,27	-0,28	-0,11
GNDVI 114 DAS	0,25	-0,07	-0,13

Ao analisar-se todos os dados da Tabela 2, percebe-se que as camadas de 10-20 cm e de 20 – 30 cm apresentam uma correlação bem inferiores a camada 0-10cm.

Conclusões

A camada 10-20 cm no geral da área foi a que apresentou maiores valores de RSP.

A correlação dos índices de vegetação com a RSP não apresentou resultados elevados na área estudada, sendo a camada de 0-10 cm a que mais se correlacionou com os IVs, considerando que o sinal negativo é inversamente proporcional ao sinal positivo.

Referências

- ALVES, E.; SANTOS, A. B. S.; MEDEIROS, L. C. L.; ALBERTO, D.; GOMES, M. D. A.; SANTOS, M. A. L.; GOMES, C. Variabilidade espacial da resistência a penetração em solo argiloso sob pastagem degradada. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 26570-26577, 2019.
- AURAVANT. **Índices de vegetação e sua interpretação**. [2021]. Disponível em: <https://www.auravant.com/pt/blog/agricultura-de-precisao/indices-de-vegetacao-e-sua-interpretacao/#como-usar>. Acesso em: 23 nov. 2021.
- BALLESTEROS, R.; MORENO, M. A.; BARROSO, F.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, L.; ORTEGA, J. F. Assessment of Maize Growth and Development with High and Medium-Resolution Remote Sensing Products. **Agronomy**, v. 11, n. 940, p. 1-15, 2021.
- BONATO, G. P. **Eficiência da semeadura de soja com distribuição simultânea ou antecipada de adubo**. 2019. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
- CARVALHO, J.; MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; RODRIGUES, E. C. P. Avaliação da resistência do solo sob dois sistemas de manejo: plantio direto e convencional. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v.22, n.2, p. 1-11, 2012.
- CASTRO, B. O. S.; SARTORI, A. A. C.; MORAES, D. A. C. Índices de vegetação (IV's) correlacionados com parâmetros do solo em área de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais...** Santos: INPE, 2017.
- CASTRO, B. O. S.; SARTORI, A. A. C.; SOUZA, F. L. P.; BENITES, L. A. Correlação espacial dos índices de vegetação (NDVI, NDWI E EVI) de imagem LANDSAT-8 com atributos do solo. In: TULLIO, L. (Org.) **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2** [recurso eletrônico]. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. p. 105-116.
- CRIPPEN, R. Calculating the vegetation index faster. **Remote Sensing of Environment**, v. 34, p. 71-73, 1990.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Sentinel**: missão sentinela. Campinas, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>.

ENGESAT. **Sentinel-2**. 2021. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>. Acesso em: 04 set. 2021.

EZENNE, G. I.; JUPP, L.; MANTEL, S. K.; TANNER, J. L. Current and potential capabilities of UAS for crop water productivity in precision agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 218, p. 158-164, 2019.

FEIO, S. V. M. **Análise multitemporal de imagens do satélite Sentinel-2 como suporte à elegibilidade das ajudas comunitárias agrícolas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.

FRANCO, D. **Índice de vegetação para bandas visíveis – RGB**. 11 dez. 2018. Disponível em: <https://viverdoagro.com.br/indice-de-vegetacao-para-bandas-visiveis-rgb/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

GAMEIRO, S. TEIXEIRA, C. P. B.; SILVA NETO, T. A.; LOPES, M. F. L.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terrae**, v. 13, n. 1-2, p. 15-22, 2016.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N. Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. **Advances in Space Research**, v. 22, n. 5, p. 689-692, 1998.

GITELSON, A. A.; STARK, R.; GRITS, U.; RUNDQUIST, D.; KAUFMAN, Y.; DERRY, D. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 13, p. 2537-2562, 2002.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente: uma perspectiva de recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M.; JOHNSON, D. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001.

MAPPA. **Índices de Vegetação: IFV, VARI, NDVI e NDRE**. 23 out. 2020. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/indices-de-vegetacao-ifv-vari-ndvi-e-ndre/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

MARINO JUNIOR, E. O uso do sensoriamento remoto orbital na pesquisa socioeconômica. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 5, n. 10, p. 1-9, dez. 2006.

MELLO, D. C. M.; MEDEIROS NETO, L. G.; LANA, M. G.; FIORINO, P. Uso e ocupação do solo: comparação de índices NDVI e GNDVI e inferências sobre biomassa de dossel vegetal. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, p. 1-5, 2020.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 223p.

ROSA, H. A. **Sensoriamento remoto orbital e não orbital no delineamento de zonas de manejo para agricultura de precisão**. 2021. 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

ROSA, H. A.; VELOSO, G.; SECCO, D.; RUFFATO, G.G.; MARCONDES, L.C.; SANTOS, R.F. Efeitos do tempo de adoção do sistema plantio direto em atributos físicos de um Latossolo argiloso. **Cultivando o Saber**, v. 5, n. 2, p. 165-174, 2012

ROSIM, D. C.; DE MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; SILVA, A. P. Compactação de um Latossolo Vermelho Distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.502-508, 2012.

SANTORO, M. **índice de vegetação**: o que ele pode mostrar sobre a lavoura. 17 jan. 2020. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/indice-de-vegetacao/>. Acesso em: 05 dez. 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

SECCO, D., REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SOUZA, D. F.; GONZALEZ, G. D. D.; TEIXEIRA FILHO, J. Variação temporal do Índice De Vegetação Normalizada como ferramenta de identificação dos açudes na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Cabras. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 17, n. 1, p. 222-239, 2019.

THORSTENSEN, V.; MOTA, C. R.; THOMAZELLA, F. **OCDE e a nova demanda da agricultura**: produtividade e políticas agrícolas sustentáveis. São Paulo: FGV, 2019. (Working Paper 510 – CCGI n. 16).