

Correlações de índices vegetativos e resistência do solo a penetração na cultura da soja

Cleber Vinicius de Oliveira¹; Helton Aparecido Rosa¹

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

¹Cvoliveira1@minha.fag.edu.br

Resumo: Diversas áreas profissionais agrícolas buscam aprimorar inovações de sistemas tecnológicos que buscam modernizar de modo sustentável e saudável a qualidade das lavouras uniformizando a produtividade em altas escalas de produções em toda a área, sabendo-se que plantas necessitam de ambientes com condições favoráveis para expressarem suas características genéticas a serem exploradas. Este estudo tem por finalidade comparar dados de resistência de solo em diferentes profundidades, índices vegetativos como NDVI, NDRE e clorofilômetro da cultura da soja. O experimento foi realizado em dezembro de 2020 a março de 2021, no município de Cascavel-PR nas dependências do Cedetec pertencente a Fazenda Escola da FAG. A área possui Latossolo vermelho distroférrico, utilizando-se plantio em nível e sobre a palhada tendo como finalidade de analisar a atividade fotossintética, inicializando as amostras na fase V6 do desenvolvimento fisiológico da soja, sendo utilizado satélites/sentinela para elaboração de imagens NDVI e NDRE, também foram gerados mapas de Resistência de solo coletadas por aparelho penetrômetro e mapas de atividades fotossintéticas oriundas de análises foliares geradas por aparelho clorofilômetro. Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de estatística descritiva, a fim de verificar possíveis correlações entre as variáveis sendo realizadas análises de correlação de Pearson, utilizando o software Excel. Esse índice indica a relação entre duas variáveis lineares, cujos valores sempre serão entre -1 e +1, sendo que quanto mais próximos de -1, maior correlação negativa entre as variáveis, e quanto mais próximo de 1, maior correlação positiva. A clorofila obteve maior correlação positiva em comparação a resistência de solo na profundidade de 0 a 10 na data 07/02/2021. Na correlação de imagens NDVI a data de 11/03/21 obteve maior valor de correlação de 0,64 em comparativo a clorofila na data 21/02/21. No comparativo de NDRE o maior valor foi de 0,44 na data de 19/02/21 em correlação com a clorofila da data de 07/02/21.

Palavras-chave: clorofila; saúde vegetal; sensoriamento remoto.

Correlations between vegetative indices and soil resistance in soybean crop

Abstract: Several professional agricultural areas seek to improve innovations in technological systems that seek to modernize the quality of crops in a sustainable and healthy way, standardizing productivity at high production scales throughout the area, knowing that plants need environments with favorable conditions to express their genetic characteristics to be explored. This study aims to compare soil resistance data at different depths, vegetative indices such as NDVI, NDRE and chlorophyllometer of the soybean crop. The experiment was carried out from December 2020 to March 2021, in the municipality of Cascavel-PR on the premises of Cedetec belonging to Fazenda Escola da FAG. The area has dystroferic red latosol, using planting at level and over straw in order to analyze the photosynthetic activity, initializing the samples in phase V6 of physiological development, using satellites/sentinel for the elaboration of NDVI and NDRE images, also Soil resistance maps were generated, collected by a penetrometer device and maps of photosynthetic activities from leaf analysis generated by a chlorophyll meter. All data obtained were submitted to descriptive statistical analysis, in order to verify possible correlations between variables, and Pearson correlation analyzes were performed using Excel software. This index indicates the relationship between two linear variables, whose values will always be between -1 and +1, the closer to -1, the greater the negative correlation between the variables, and the closer to 1, the greater the positive correlation. obtained higher positive correlation compared to soil resistance at depth from 0 to 10 on 02/07/2021. In the correlation of NDVI images the date 03/11 obtained a higher correlation value of 0.64 compared to chlorophyll on the date 02/21/21. In the comparison of NDRE, the highest value was 0.44 on 02/19/21 in correlation with chlorophyll on 02/07/21.

Keywords: chlorophyll; plant health; remote sensing.

Introdução

A agricultura moderna se modifica com velocidade acentuada, tendo como foco, produtividade de forma sustentável. Para isso é necessário que cada vez mais se aumente preocupações com a saúde das plantas tendo em vista que existe relação direta com a produtividade. A fitossanidade na cultura da soja é representada por danos abióticos (déficit/excesso de nutrientes, água, tratos culturais inadequados, entre outros), e bióticos (pragas, doenças e competição com plantas daninhas) (FONSECA e ARAÚJO, 2015).

O emprego de equipamentos tecnológicos facilita cada vez mais o monitoramento de áreas agrícolas, disponibilizando implementos sofisticados com interações entre diversos meios de manejos projetados para auxiliar nas exigências operacionais de cada cultura e região de atuação. Segundo Meira (1996) tecnologias implantadas em meios rurais facilitam a administração, tornando o planejamento das atividades mais efetivas, buscando melhores aplicações na prática dos conceitos desses sistemas.

Plataformas tecnológicas agrícolas, ganham espaço no mercado, trabalhando juntamente com indústrias de máquinas e equipamentos agrícolas criando alternativas baratas e eficientes no manejo. Desde o surgimento de georeferenciamentos por receptores em Satélites, ocorreram grandes avanços em termos de tecnologias de equipamentos e sensores para o mapeamento da variabilidade espacial, aplicação de insumos a taxa variável e outras tecnologias que contribuíram para a eficiência de plantio, pulverização, adubação, correção do solo e colheita. (BASSOI *et al*, 2019)

Atualmente sensores acoplados em satélites possibilitam a aquisição de dados das bandas eletromagnéticas gerando cálculos matemáticos baseados em interações entre ondas espectrais do comprimento infravermelho próximo e a luz visível, convertidos em imagens utilizadas como ferramenta de observações de índices vegetativos, com o propósito de se notar diferenciações fisiológicas entre plantas. Segundo Bariani (2016) NDVI (Índice de vegetação da diferença normalizada) e o NDRE são ferramentas úteis para a identificação de estádios fenológicos. Que se inicia com um rápido crescimento da vegetação identificado pela acentuada inclinação positiva, muda para uma inclinação rápida negativa com o início da senescência. Um

vegetal que esteja saudável absorve a luz vermelha e reflete em abundância muita luz verde e ondas de infravermelho próximo.

O NDVI é obtido através da equação em que a banda do infravermelho subtraída pela banda vermelha dividida pela soma da banda infravermelha com a banda vermelha, seus resultados são indicados para culturas com menor produção de biomassa e dossel vegetativo menor, como a cultura do feijão. Diferente do NDRE mais indicado para culturas com porte maior, pois ele é capaz de medir mais a fundo do dossel das plantas. NDRE (Normalized difference red edge - Diferença Normalizada na Banda de Borda Vermelha), que é um índice capaz de fornecer uma melhor análise de colheitas permanentes ou de estágio posterior, com a possibilidade de (diferentemente do NDVI) medir mais a fundo no dossel (TAIPALE, 2018)

Uma alternativa para fornecimento de dados da atividade fotossintética é o clorofilômetro, segundo Tschiedel (2002) a leitura realizada estima com boa precisão o teor de clorofila nas folhas proporcionando vantagens de maior rapidez, menor custo e de não implicar em destruição de folhas.

Esse equipamento é usado como alternativa para auxiliar nas tomadas de decisões, segundo Hurtado (2008) leituras de clorofilômetro na cultura do milho serve como indicador de áreas onde o nitrogênio estava sendo oferecido pelo solo em menores quantidades, evidenciando talhões onde haveria necessidade de se fazer adubação de cobertura, aumentando assim seu potencial de produtividade dos híbridos.

O clorofilômetro pode ser utilizado de maneira semelhante ao NDVI e NDRE pois faz leituras do índice de clorofila presentes na vegetação, responsáveis por fatores fisiológicos e acúmulo de reservas de energia, que por sua vez são responsáveis pela elaboração de compostos orgânicos diretamente relacionadas a produtividade, o uso do aparelho pode indicar a atividade fotossintética, como em imagens NDVI e NDRE que evidenciam diferenciações espectrais da luz visível e infravermelho segundo Silveira (2003) o uso de clorofilômetro é eficiente na indicação de adubação nitrogenada em cobertura.

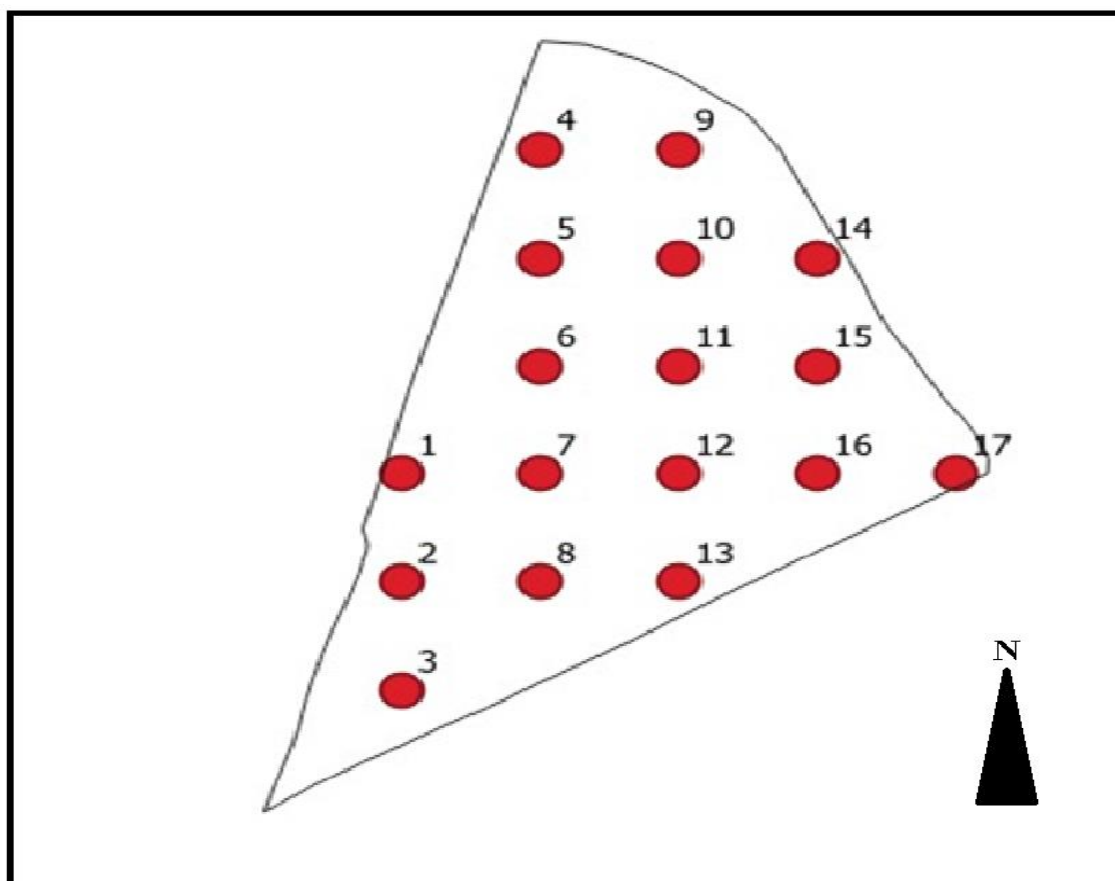
De acordo com o contexto, este estudo teve como objetivo correlacionar dados de índices de vegetação, clorofila e resistência do solo a penetração ao longo do ciclo da cultura da soja.

Material e métodos

O experimento foi realizado em dezembro de 2020 a março de 2021 no município de Cascavel-PR nas dependências do Cedetec Fazenda Escola da FAG, localizado nas coordenadas 24°56'17.10"S e 53°30'27.76"O.

O solo da região é um Latossolo vermelho distroférico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2018). A cultura acompanhada no experimento foi a da soja plantada em 23 de novembro de 2021. Na primeira etapa do estudo foi elaborado um grid de 90 x 90 m, totalizando 17 pontos na extensão da área.

Figura 1- Grid de coleta de dados.



Ao longo do ciclo da cultura foram realizadas amostragens de índice de clorofila, utilizando um clorofilômetro da marca Falker.

Após o final do ciclo da cultura, realizou-se coleta de amostras de resistência do solo a penetração obtidos, utilizando um penetrômetro eletrônico, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

No dia da coleta foram retiradas amostragens de solo, que foram pesadas e colocadas posteriormente na estufa para calcular a umidade do solo. O resultado indicou que o solo estava com 33% de umidade no momento das amostragens de resistência do solo a penetração.

Utilizou-se imagens do satélite Sentinel-2, para gerar os índices de vegetação NDVI e NDRE, para isso realizou-se o download das bandas eletromagnéticas, B04 (Vermelho), B05 (Red edge) e B08 (Infravermelho próximo).

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{Banda Infravermelho próximo} - \text{Banda Vermelho})}{(\text{Banda Infravermelho próximo} + \text{Banda Vermelho})} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{NDRE} = \frac{(\text{Banda Infravermelho próximo} - \text{Red edge})}{(\text{Banda Infravermelho próximo} + \text{Red edge})} \quad (\text{Equação 2})$$

Posteriormente, utilizando o software QGIS, realizou-se utilizando a ferramenta calculadora raster, o cálculo dos índices de vegetação para as datas utilizadas na pesquisa.

No mesmo software realizou-se interpolação dos dados de resistência do solo a penetração utilizando o interpolador IDW (Inverso da distância ponderada), para gerar os mapas utilizados na pesquisa.

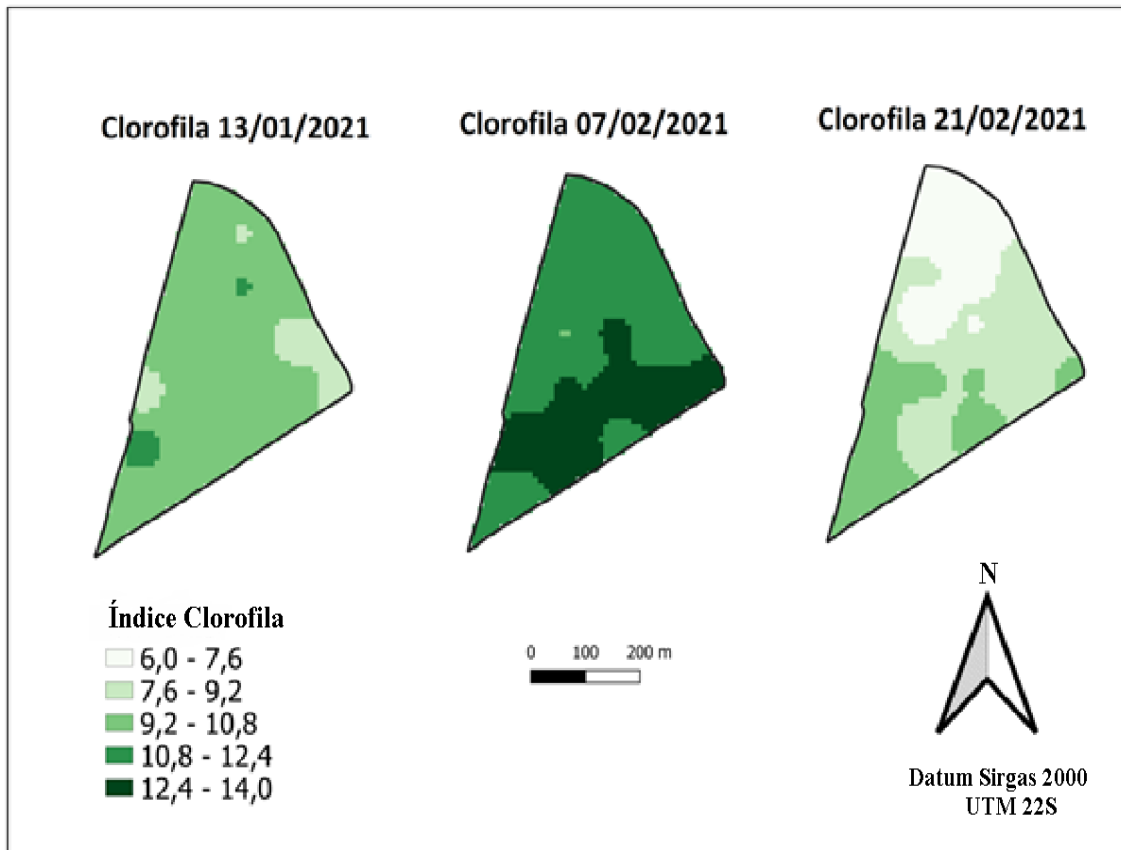
Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de estatística descritiva. A fim de verificar possíveis correlações entre as variáveis sendo realizadas análises de correlação de Pearson, utilizando o software Excel. Esse índice indica a relação entre duas variáveis lineares, cujos valores sempre serão entre -1 e +1, sendo que quanto mais próximos de -1, maior a correlação negativa entre as variáveis, e quanto mais próximo de 1, maior a correlação positiva.

Para avaliar as correlações utilizou-se a classificação de Callegari-Jacques (2003), onde o r_s pode ser avaliado qualitativamente pelos seguintes intervalos: $0,9 \leq |r_s| \leq 1,0$ significam correlação muito forte; $0,7 \leq |r_s| < 0,9$ representam correlação forte; $0,4 \leq |r_s| < 0,7$ representam correlação moderada; $0,2 \leq |r_s| < 0,4$ significam correlação fraca; $0,0 \leq |r_s| < 0,2$ representam correlação muito fraca.

Resultados e discussão

Os mapas de clorofila, referente as 3 datas ao longo do ciclo da cultura da soja estão apresentadas na Figura 2.

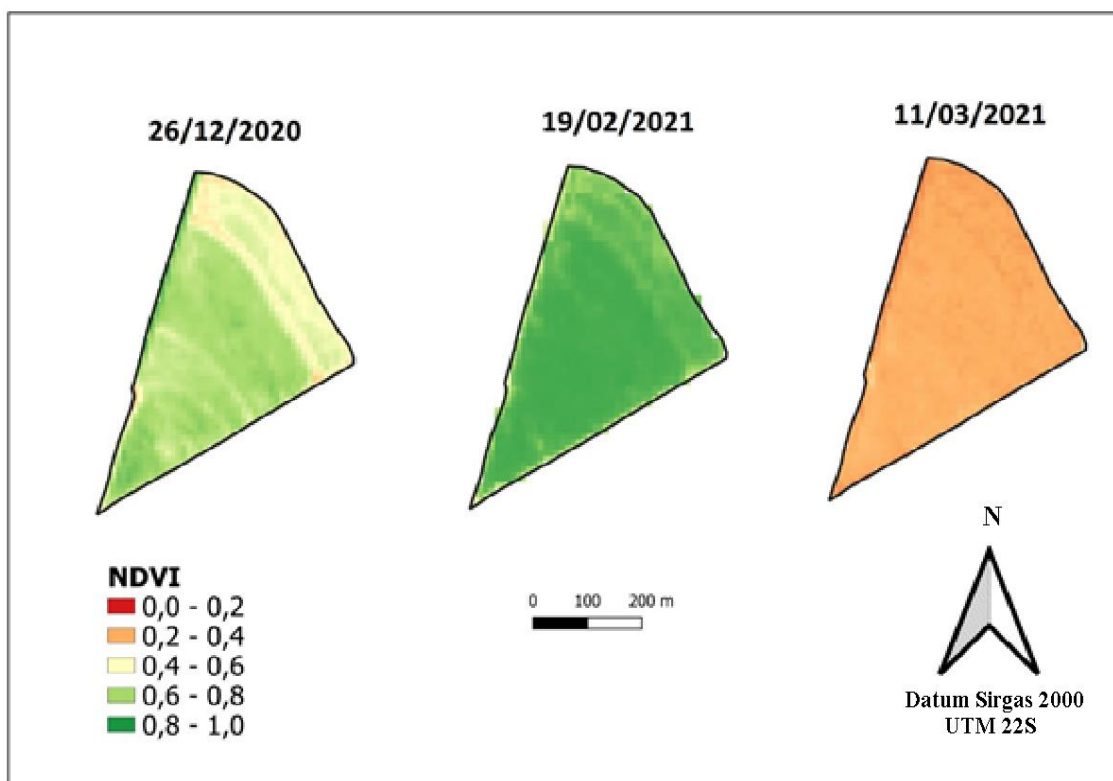
Figura 2 - Mapas de clorofila na cultura da soja.



Na segunda data de 07/02/2021 os valores de clorofila variaram de 9,2 a 14,0 com maior parte do mapa apresentando valores entre 10,8 e 12,4, nesse período a cultura constata-se em estágio fenológico R4 período em que a cultura está totalmente desenvolvida fisiologicamente e que teve um volume médio de 49,5 mm de chuvas 5 dias antes da análise ser coletada. Na terceira data de 21/02/2021 os valores de clorofila variaram de 6,0 a 10,8 com maior parte entre 7,6 e 9,2 em estágio fenológico R6 período em que os grãos estão cheios ou completos, apresentando algumas folhas iniciando estado de senescência.

Os Mapas de NDVI coletados em 3 datas diferentes ao longo do ciclo da cultura da soja estão apresentados na Figura 3 .

Figura 3 –Mapas Ndpi cultura da soja.

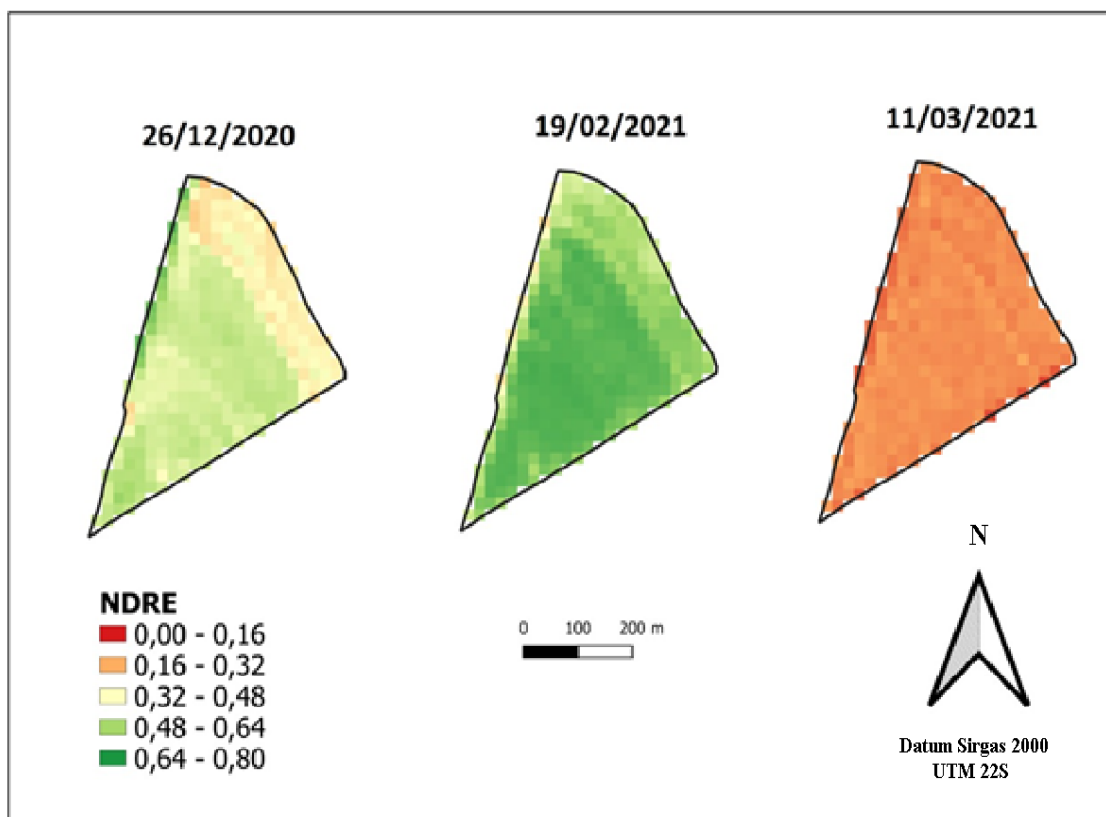


Pode-se observar na figura 2 que na data de 26/12/2020 o índice de NDVI variou entre 0,2 e 1,0 tendo maior parte área variando entre 0,4 e 0,6 pois nessa fase em que o satélite Sentinel captou a imagem a cultura ainda não havia alcançado o fechamento vegetativo entre as linhas tendo assim camadas expostas. sem cobertura verde sobre o solo.

Na data e 19/02/2021 pode-se perceber que os dados Ndpi variaram entre 0,4 e 1,0 tendo maior proporção de área entre 0,8 e 1,0 pelo fato da cultura estar em completo desenvolvimento vegetativo, pode-se notar algumas áreas com coloração amarelada com valores 0,4 e 0,6 situadas nas proximidades das bordas com padrões lineares caracterizando regiões aonde se encontram curvas de níveis e beira de uma estrada rural que contorna parte do talhão. Na data de 11/03/2021 os valores NDVI variaram entre 0,0 e 0,4 tendo maior área entre 0,2 e 0,4, pois nessa data já havia ocorrido aplicação de dessecante, com objetivo de facilitar a colheita mecanizada.

Os mapas de NDRE, referente as 3 datas ao longo do ciclo da cultura da soja, estão apresentados na Figura 4.

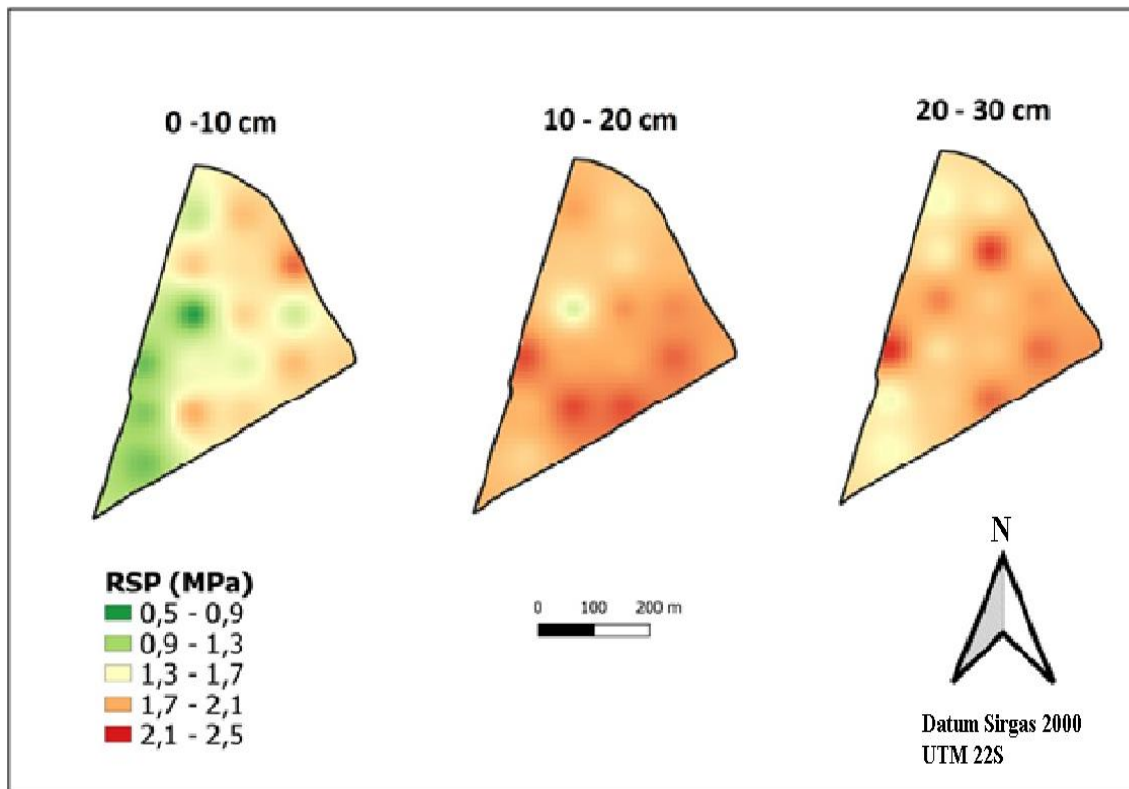
Figura 4 -Mapas Ndre cultura da soja.



Pode-se observar na figura 3 que na data de 26/12/2020 os valores de NDVI variaram entre 0,16 e 0,64 tendo maior área entre 0,32 e 0,48 pelo fato da cultura estar no início de seu desenvolvimento vegetativo tendo assim pouca área fotossintética na maioria da área analisada. Na data de 19/02/2021 os dados variaram entre 0,16 e 0,8 tendo uma maior área entre 0,64 e 0,8 nota-se que área analisada teve um aumento de área fotossintética em relação aos da dos da análise anterior, nesse ponto a cultura estava desenvolvendo suas primeiras flores segundo Neumaier (2000) O início do florescimento é descrito pelo estágio R1 que ocorre com o aparecimento da primeira flor aberta, em qualquer nó da haste principal. Na data de 11/03/2021 nota-se que os dados ficara entre 0,0 e 0,48 tendo maior parte entre 0,16 e 0,32 nesta data a área passou por dessecação para ser executada posteriormente a colheita mecanizada

Os mapas de resistência de solo, referente as 3 datas ao longo do ciclo da cultura da soja, estão apresentados na Figura 5.

Figura 5- Mapas do resistência de solo a penetração após a cultura da soja.



Pode ser observado que na profundidade de 0-10 cm a resistência de solo varia entre 0,5 e 2,5 Mpa com maior área apresentando valores entre 1,3 e 1,7 Mpa. Segundo A partir do decréscimo de 18% da densidade radicular, na resistência à penetração de 0,85 MPa, na camada de 0,05–0,15 m, ocorre redução na produtividade da soja (BEUTLER, 2002).

Na profundidade entre 10-20 cm nota-se que o valor de resistência de solo varia de 1,3 a 2,5 Mpa com maior área entre 1,7 e 2,1 Mpa. Na profundidade de 20-30 cm pode ser observado que os valores variam entre 1,3 e 2,5 tendo em maior área valores entre 1,3 e 1,7 Mpa. Segundo Torres e Saraiva (1999), as leituras com penetrômetros são importantes para a definição das áreas com maiores problemas de compactação.

A correlação de Pearson, refere-se aos valores de dados de clorofila correlacionados com NDVI, NDRE e resistência de solo na cultura da soja, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Correlação de Pearson entre os valores de índices clorofila, resistência do solo a penetração, e índices de vegetação NDVI e NDRE.

<i>Índice de clorofila</i>	<i>13/01</i>	<i>07/02</i>	<i>21/02</i>
RS 0-10 cm	-0,20	0,12	-0,23
RS 10-20 cm	-0,46	0,68	0,61
RS 20-30 cm	-0,44	0,05	0,16
NDVI 26/12	0,56	0,36	0,32
NDVI 19/02	0,48	0,28	0,14
NDVI 11/03	0,38	0,45	0,64
NDRE 26/12	0,43	0,37	0,36
NDRE 19/02	0,42	0,44	0,28
NDRE 11/03	0,74	0,10	-0,05

A correlação de clorofila analisada na data de 13/01/21 e a resistência de solo apresentam correlações negativas nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm. Já na data de 07/02/2021 a correlação é, na profundidade 0 a 10 cm é 0,12 caracterizando correlação muito fraca, na profundidade de 10 a 20 cm a correlação é de 0,68 se enquadrando como correlação moderada. Na profundidade de 20 a 30 cm a correlação foi de 0,05, muito fraca. Na análise de clorofila da data de 21/02/21 a profundidade de 0 a 10 cm é de 0,23 sendo negativa na profundidade de 10 a 20 cm é de 0,61 se enquadrando como correlação moderada na profundidade de 20 a 30 cm a correlação foi de 0,16, classifica como muito fraca.

O comparativo entre Clorofila na data 13/01/2021 e imagens NDVI na data de 26/12/2020 foi de 0,56 se caracterizando a correlação como moderada. No comparativo NDVI da data de 19/02/21 a correlação alcançou o número de 0,48 caracterizando a correlação como moderada. Nos comparativos NDVI das datas de 11/03/2021 a correlação foi de 0,38 retratando como fraca. E no mapa de Clorofila da data de 07/02/2021 o comparativo de mapa de NDVI da data de 26/12/2021 apresentou número de correlação em 0,36 qualificando como correlação fraca. Na data de 19/02/2021 a correlação foi de 0,28 caracterizando como fraca e na data de 11/03/2021 foi de 0,45 caracterizando como correlação moderada.

A correlação de Pearson, refere-se aos valores de NDVI e NDRE comparados a valores de resistência de solo na cultura da soja, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Correlação de Pearson entre os valores RSP nas diferentes camadas e os índices de vegetação NDVI e NDRE.

	<i>RS 0-10 cm</i>	<i>RS 10-20 cm</i>	<i>RS 20-30 cm</i>
--	-------------------	--------------------	--------------------

NDVI 26/12	-0,39	0,04	-0,06
NDVI 19/02	-0,24	-0,08	0,04
NDVI 11/03	-0,52	0,22	-0,01
	<i>RS 0-10 cm</i>	<i>RS 10-20 cm</i>	<i>RS 20-30 cm</i>
NDRE 26/12	-0,42	0,15	-0,01
NDRE 19/02	-0,19	0,03	0,09
NDRE 11/03	-0,23	-0,21	-0,50

Pode-se notar na Tabela 2 que o maior valor positivo é de 0,22 dia 11/03 na resistência de 10-2 e 0,15 para mesma camada em outra data. Apresentaram correlação negativas nas camadas de solo de 0 a 10 cm, porém nas camadas de 10 a 20 cm esses valores apresentaram números em evidencia de que as imagens NDVI e NDRE tem correlação positivas com a resistência de solo na camada de 20 a 30 cm a data de 19/02/2021 as apresentou correlação positiva tanto com mapas NDVI e NDRE.

Conclusão

A clorofila obteve maior correlação positiva em comparação a resistência de solo na profundidade de 0 a 10 na data 07/02/2021.

Na correlação de imagens NDVI a data de 11/03/obteve maior valor de correlação de 0,64 em comparativo a clorofila na data 21/02/21.

No comparativo de NDRE o maior valor foi de 0,44 na data de 19/02/21 em correlação com a clorofila da data de 07/02/21.

Referências

BARIANI, C. **Desenvolvimento da soja em diferentes níveis de compactação e irrigação.** Santa Maria - RS, 22 dez. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bit>. Acesso em: 9 jun. 2021.

BASSOI, L.H; INAMASU, R.Y; BERNARDI, A.C, de, C; VAZ, C.M,P; SPERANZA, E,A; CRUNIVEL, P,E. Agricultura de precisão e agricultura digital. In: **TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas.** n. 20, jul./dez. 2019, p. 17- sie01. Acesso em 06 de out. de 2020

BEUTLER, Amauri; **DESENVOLVIMENTO DA SOJA EM DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO E IRRIGAÇÃO.** Jaboticabal, SP, 10 dez. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/Z4R3tnf59YV7bcpwbykQjnh/?lang=pt>. Acesso em: 9 jun. 2021.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artmed, 2003.

HURTADO,S,M,C;RESENDE,A,V,de;SILVA,C,A;CORAZZA,E,J;SHIRATSUCHI,L,S; **Agricultura de Precisão: possibilidades de manejo da adubação nitrogenada para o milho no cerrado**.Rev. Embrapa 2008.disponivel:<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/556775/1/doc214>.Acesso em 06 de out.2020.

MEIRA,C,A,A;MANCINI,A,L;MAXIMO,F,A;FILETO,R;MASSRUHÁ,S,M,F,S; Agr oinformática: qualidade e produtividade na agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.13, n.2, p.175-194, 1996 <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8998/5106> Acesso em 06 de out.2020.

NEUMAIER, N; **Estádios de desenvolvimento da cultura de soja..** Passo Fundo,RS: Embrapa trigo, 20 jan. 2000. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/456809>. Acesso em: 9 jun. 2021.

SILVEIRA,P,M,da; BRAZ,A,J,B,P;DIDONETI,A,D; Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Revista Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, set. 2003.Disponivel em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v38n9/18286>.Acesso em 06 de out.2020.

TAIPALE, E, Sentera. NDVI vs. NDRE: **What's the Difference?** (2018). Disponível em: Acesso em:08/06/2021

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina, Embrapa Soja, 1999. p58 Acesso em 09/06/2021.

TSCHIEDEL, M; FERREIRA, M,F; Introdução á agricultura de precisão: conceitos e vantagens. Revista Ciência Rural, Santa Maria, v32,2002. <https://www.scielo.br/pdf/cr/v32n1/a27v32n1>. Acesso em 07 de out.2020.