

## CORRELAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COM DADOS PRODUTIVOS DA CULTURA DA SOJA

DA SILVA, Jean Carlos Resena<sup>1</sup>  
ROSA, Helton Aparecido<sup>2</sup>

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo correlacionar os índices de vegetação obtidos por imagens de satélites, os índices de clorofila e a produtividade na cultura da soja, em diferentes épocas. O experimento foi conduzido no município de Cascavel – PR, em área experimental localizada no Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, sendo realizado no período de outubro de 2022 a fevereiro de 2023. A área do experimento possui 21 ha delimitada através do QGIS, formando um Grid regular (50x50m) totalizando 71 pontos amostrais. Os parâmetros avaliados foram os índices de clorofila, os índices de vegetação, e a produtividade da soja. A obtenção de dados utilizou-se imagens da constelação de satélite Dover da empresa Planet Labs. Para obtenção do índice de clorofila, utilizou-se um clorofilômetro. Realizou-se uma coleta de dados manualmente em cada ponto amostral após fim do ciclo da cultura para realizar-se os mapas de produtividade. Juntamente com o QGIS utilizou-se interpolações por IDW para geração dos mapas de produtividade e de clorofila. Com os dados obtidos, realizou-se as análises de estatísticas descritiva. Para a análise de correlação, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson. A avaliação de relação e correlação utilizou-se a proposta de Callegari-Jacques. Na correlação entre os dados de produtividade e os índices de clorofilas A e B, a maior correlação aconteceu aos 33 DAS. A correlação entre dados produtivos e os IV's, os maiores valores foram obtidos com GCI e GNDVI aos 66 DAS. Correlação entre índice de clorofila A e B e os IV's, os maiores valores foram obtidos em 115 DAS com os índices NDVI, VARI e GNDVI.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto; Satélites; Infravermelho.

### 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) originária da China, é uma das principais culturas cultivadas na safra verão em nosso país, e de grande importância na alimentação humana direta ou indireta, e na produção de farelo para alimentação animal (INOUE, 2019). Segundo a Conab (2022) estimava que a área a ser implantada a cultura na safra 22/23 chega a 42,88 milhões de hectares, produzindo cerca de 151,5 milhões de toneladas. Segundo Deral (2022) a safra 21/22 a área semeada no Paraná de soja foi de 5,656 milhões de hectares, com uma produção 11,585 milhões de toneladas, tendo uma redução de 42% da safra 20/21, devido às fortes estiagens que ocorreu durante a safra.

A agricultura de precisão (AP) reúne tecnologias que vêm sendo muito utilizadas pelos produtores, tendo como alvo coletar e fornecer dados, auxiliando na agricultura por meio do uso de tecnologias e dados para monitorar o campo, identificar áreas problemáticas, aplicar insumos agrícolas de forma precisa e personalizada, fazer o zoneamento de manejo e adaptar as práticas agrícolas às características específicas de cada zona. Isso resulta em uma utilização mais eficiente dos

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Agronomia do Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG).

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Professor Doutor, Docente do Curso de Agronomia do Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG).

recursos, redução de desperdícios e impactos ambientais, além de melhorar a eficiência e a produtividade das culturas (COELHO, 2005).

---

Dentre as ferramentas da AP, destaca-se o sensoriamento remoto (SR), que se caracteriza pela coleta de dados e informações sem que haja o contato físico entre a superfície desejada e o coletor, podem-se obtidas com a utilização de satélites, veículos aéreos não tripulados (VANTs), aeronaves, onde esses coletam-se as informações através de sensores que captam os comprimentos/banda de ondas refletida pela superfície monitorada (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

Através de dados obtidos por SR, pode-se calcular os índices de vegetação (IV), que são modelos matemáticos, onde os sensores absorvem as bandas ou ondas espectrais da refletância da vegetação, e por meio de tecnologias são calculados os IVs, fornecendo dados sobre desenvolvimento da cultura (FIGUEIREDO, 2005). Por meio de dados obtidos pelos IVs da cultura pode-se obter dados indicadores de produtividade, onde deve-se ter o cuidado qual IV a se empregar, e os estádios fenológicos que a cultura se encontra, porém pode possuir diferenças de resultados (RISSINI *et al.*, 2015).

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), é um dos IVs de grande potencial na agricultura, utiliza-se no cálculo o comprimento de onda vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR), e os seus resultados variam de -1 a 1, onde valores mais próximos do 1 indicam plantas com maior biomassa (KULLMANN *et al.*, 2021).

Diferente do NDVI, o índice de resistência à atmosfera na região visível o (VARI), foi produzido para diminuir as influências da atmosfera, para seu cálculo utiliza-se bandas da transição da banda do infravermelho próximo e do vermelho, mais a bandas do comprimento verde (GREEN), seus dados identificam áreas com maior ou menor vigor e estresse sofrido na cultura (ABRAHÃO *et al.*, 2009).

O índice de clorofila verde conhecido por GCI ou CIGreen é um IV que utilizam de forma complementar ao NDVI convencional. O GCI utiliza-se bandas de comprimento GREEN + NIR, ou a banda de borda vermelha (RED EDGE) para análises mais específicas. Com essas bandas que são que a clorofila absorve e reflete pode-se notar os estádios fenológicos e a sanidade das plantas (FERRERAS, 2011).

Outro IV muito parecido com o NDVI é o Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada Com Banda Verde (GNDVI), utiliza-se banda do comprimento NIR e GREEN. Apresenta uma

sensibilidade maior na absorção de ondas refletida pela clorofila, pois a uma redução do efeito da saturação o substituir a faixa vermelha pela faixa verde (SILVA, 2021).

Segundo Ferreira *et al.* (2019), o teor de clorofila presente nos vegetais está relacionado com a capacidade dos vegetais de realizar fotossíntese. A clorofila são pigmentos capazes de absorver comprimentos de ondas do Azul e do vermelho e refletir o comprimento de onda verde (SANTIS JUNIOR, 2000). A utilização dos IVs na obtenção de dados dos teores de clorofila é uma ótima ferramenta do SR, pois apresenta uma boa relação entre essas variáveis (FACCO, 2019).

O medidor portátil de clorofila, é um equipamento que permite leitura simultânea do teor de clorofila, sem que haja a destruição da mesma, através da quantidade de luz que é refletida pela folha por dois comprimentos de ondas espectrais distintas da absorbância de clorofila se gera os resultados do medidor portátil de clorofila (ARGENTA *et al.*, 2001).

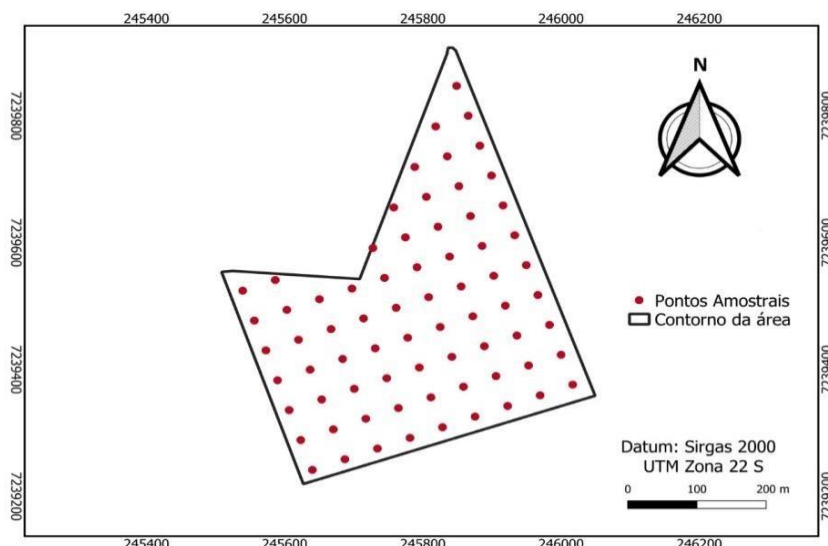
Este trabalho teve como objetivo correlacionar os índices de vegetação obtidos por imagens de satélites, os índices de clorofila e a produtividade na cultura da soja, em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Cascavel – PR, no Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, Latitude 24°56'20.98"S, e Longitude 53°31'2.65"O, com uma altitude média 780 m, realizado no período de outubro de 2022 a fevereiro de 2023. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2013). Pela classificação de Koppen-Geiger o clima da região do Oeste Paranaense é classificado como é Cfa (subtropical úmido, sem estação seca e verão quente) (NITCHE *et al.*, 2019).

A área do experimento possui 21 ha, e foi delimitada através do software QGIS Firenze versão 3.28, onde também elaborou-se um Grid regular de 50x50 metros, totalizando 71 pontos amostrais (Figura 1).

**Figura 1** - Mapa de localização e distribuições dos pontos amostrais.



Os parâmetros avaliados foram, os índices de vegetação (IV's), e a produtividade da soja, índice de clorofila.

Para o processamento de dados, cálculo dos IVs, elaboração dos mapas de produtividade e clorofila utilizou-se o software QGIS. Para a geração dos IVs utilizou-se imagens da constelação de satélite Dover da empresa Planet Labs, as imagens que foram obtidas gratuitamente no site da empresa. Esta constelação apresenta 130 satélites em órbita, com quatro bandas espectrais (Tabela 1), com resolução radiométrica de 12 bits e resolução espacial de 3 m (SCCON GEOSPATIAL, 2022).

**Tabela 1** - Informações da constelação de satélite Dover.

Sensor	Resolução	Banda espectrais	Comprimento de onda (nm)
Bayer Mask CCD	3 metros	Blue	455 – 515
		Green	500 – 590
		Red	590 – 670
		NIR	780 – 860

Fonte: Adaptado de Sccon Geospatial (2022)

Através da calculadora raster encontrada no software QGIS, calculou-se os IVs NDVI (Equação 1), VARI (Equação 2), GCI (Equação 3), GNDVI (Equação 4) em diferentes épocas da cultura.

$$(NIR - RED)$$

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

em que:

NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada.

NIR = Refletância na banda do infravermelho próximo (nm). RED  
= Refletância na banda do vermelho (nm).

$$VARI = \frac{(GREEN-RED)}{(GREEN+RED+BLUE)} \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

VARI = Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível.

RED = Refletância na banda do vermelho (nm).

GREEN = Refletância na banda do verde (nm).

BLUE = Refletância na banda do azul (nm).

$$GCI = \frac{NIR}{(GREEN-1)} \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

GCI = Índice De Clorofila Verde.

NIR = Refletância na banda do infravermelho próximo (nm). GREEN

= Refletância na banda do verde (nm).

$$GNDVI = \frac{(NIR- GREEN)}{(NIR+GREEN)} \quad (\text{Equação 4})$$

em que:

GNDVI = Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada Com Banda Verde.

NIR = Refletância na banda do infravermelho próximo (nm). GREEN

= Refletância na banda do verde (nm).

Para a realização de coletas de dados a campo utilizou-se o clorofilômetro ClorofiLOG da marca Falker, aonde tendo como objetivo a obtenção de índice de clorofilas que é representado através do Índice De Clorofila Falker (ICF), as coletas foram realizadas em pontos determinados no grid (Figura 1), em diferentes datas após a semeadura da cultura.

Realizou-se uma coleta de dados produtivos após o fim do ciclo da cultura que foi realizado manualmente nos pontos amostrais determinado no grid (Figura 1), a coleta em cada ponto era de um metro quadrado (1m<sup>2</sup>). Após realizou-se a verificação de umidade e pesagem, e posteriormente conversão da produtividade para quilogramas por hectare (kg ha<sup>-1</sup>).

Para geração de mapas de produtividade, utilizou-se a interpolação por Inverse Distance Weighted (IDW), que mede um valor de um local não medido, baseando-se em valores amostrado em

sua volta, onde cada ponto vai influenciar nessas áreas, assim a influência de cada ponto será proporcional ao inverso da distância do ponto da malha (JAKOB e YOUNG, 2006).

Com auxílio do software Excel realizou-se as análises de estatísticas descritiva. Para a classificação dos coeficientes de variação (CV%) dos IVs e épocas foram avaliados de acordo com a proposta de Pimentel Gomes (2009) com a seguinte classificação: baixo (< 10%); médio (entre 10 e 20%); alto (entre 20 e 30%) e muito alto (> 30%).

Para obtenção dos dados para análise de correlação, utilizou-se o plugin Point Sampling Tool no software QGIS, onde houve a extração dos pixels de cada mapa. Para a obtenção dos valores da correlação de Pearson utilizou-se o software Excel.

À análise de correlação dos dados utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (Equação 5), onde verificou-se o grau de relacionamento das variáveis (MARTINS, 2014).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad \text{(Equação 5)}$$

Para a avaliação de relação e correlação utilizou-se a proposta de Callegari-Jacques (2003), onde há possibilidade do r ser avaliado qualitativamente, onde é determinado a partir nos seguintes intervalos: 0,9 ≤ |r| ≤ 1,0, representa uma correlação muito forte; 0,7 ≤ |r| ≤ 0,9, representa uma correlação forte; 0,4 ≤ |r| ≤ 0,7, representa em uma correlação moderada, 0,2 ≤ |r| ≤ 0,4, representa uma correlação fraca e 0,0 ≤ |r| ≤ 0,2 representa uma correlação muito fraca.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizando a estatística descritiva (Tabela 2), obteve-se os dados referentes aos índices de vegetação em relação as diferentes imagens da constelação DOVER, observa-se que somente o índice de vegetação VARI aos 88 DAS, apresentou um coeficiente de variação médio (10,71%).

**Tabela 2 - Estatísticas descritiva entre IVs em diferentes cenas da constelação DOVER.**

IV's	Máximo	Mínimo	Médio	DP	CV (%)
<b>NDVI</b>					
33 DAS	0,67	0,56	0,61	0,01	2,4
66 DAS	0,93	0,81	0,90	0,01	1,4
88 DAS	0,96	0,84	0,94	0,009	1,0
127 DAS	0,94	0,84	0,92	0,008	0,8
<b>VARI</b>					
33 DAS	0,15	0,10	0,12	0,007	5,4

66 DAS	0,38	0,17	0,30	0,02	8,4
88 DAS	0,41	0,13	0,29	0,03	10,71
127 DAS	0,52	0,19	0,39	0,02	6,69
<b>GCI</b>					
33 DAS	2,99	2,26	2,58	0,09	3,7
66 DAS	9,10	4,37	7,50	0,59	7,9
88 DAS	18,41	6,15	15,31	1,48	9,7
127 DAS	9,41	5,17	7,07	4,47	6,7
<b>GNDVI</b>					
33 DAS	0,49	0,38	0,44	0,01	3,3
66 DAS	0,80	0,62	0,76	0,01	2,4
88 DAS	0,89	0,71	0,87	0,01	1,7
127 DAS	0,80	0,67	0,75	0,01	1,9

DAS = Dias após a semeadura; CV = Coeficiente de variação; IV's = Índices de vegetação; DP = Desvio Padrão.

Outros índices de vegetação NDVI, VARI, GCI e GNDVI, e dias após a semeadura (DAS) 33, 44, 66, 88 e 12, apresentaram o coeficiente de variação classificado como baixo de acordo com Pimentel-Gomes.

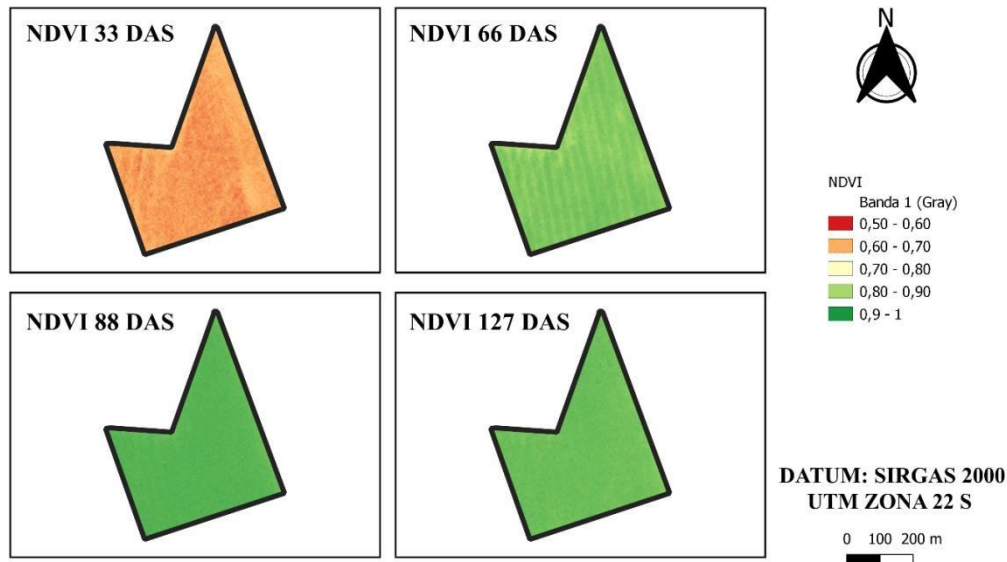
Portanto na tabela 2, os coeficientes de variação são baixos (exceto VARI 88 DAS) indica que a variabilidade dos dados é relativamente pequena em relação à média, onde os valores no conjunto de dados estão mais próximos da média e há uma menor dispersão em torno dela.

Ao observar a Figura 2, observa-se que em 66, 88 e 127 DAS os intervalos variaram entre 0,80 a 0,90, onde aos 88 DAS está com intervalo mais homogêneo mais próximo a 0,90, pois a cultura se encontrava nos estádios reprodutivos.

Aos 33 DAS observa-se que o intervalo entre 0,50 a 0,70, a cultura se apresentava na fase inicial, as entrelinhas ainda não estavam completamente fechadas pela cultura, e apresentava-se uma baixa taxa fotossintética,

Segundo Bariani (2015), em seu trabalho que monitorava fenologia da soja irrigada com NDVI, obteve aos 25 DAS o intervalo variavam de 0,24 a 0,44, já em 64 DAS atingiu os valores máximos chegando a 0,85, em 106 DAS os valores começam a diminuir ficando entre um intervalo de 0,35 a 0,81, devido a maturação fisiológicas.

**Figura 2** - Mapa do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).



Já na Figura 3, obteve-se uma grande variabilidade de dados entre os mapas do (VARI). Aos 33 DAS o índice nos mostrou que valores variaram de 0,10 a 0,20, pois a cultura se encontrava na fase inicial de desenvolvimento, as entrelinhas ainda estavam com solo exposto e plantas com baixa taxa fotossintética.

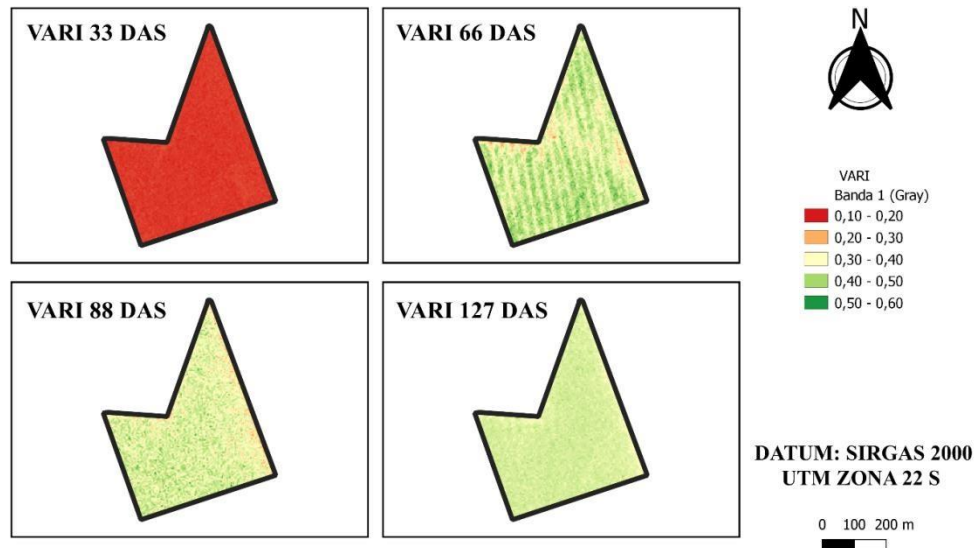
Em 66 DAS observa-se uma grande variabilidade entre os valores, variando entre 0,20 a 0,60, nota-se que algumas apresenta algumas faixas onde apresenta valores mais altos e outros mais baixos.

Já em 88 DAS apresentou-se valores entre 0,20 a 0,60, onde em diferente de 66 DAS apresentou-se maior homogeneidade, onde so algumas faixas apresentou valores baixos, e restante do mapa apresentou valores mais altos.

Em 127 DAS os valores ficaram entre 0,30 a 0,50, aonde observa-se que valores começam a diminuir, pois a cultura já se encontrava-se na fase final, e assim uma diminuição da taxa fotossintética.

Segundo Leal (2021), o VARI apresenta-se os melhores resultados nos estudos de vegetação, mostrando-se quatro vezes mais sensível a atmosfera que o NDVI, por utilizar a banda azul (BLUE), reduzindo a o impacto de dispersão atmosférica se tornando mais indicado para áreas predominantemente ocupadas por vegetação.

**Figura 3** - Mapas do Índice de resistencia à atmosfera na região visível (VARI).



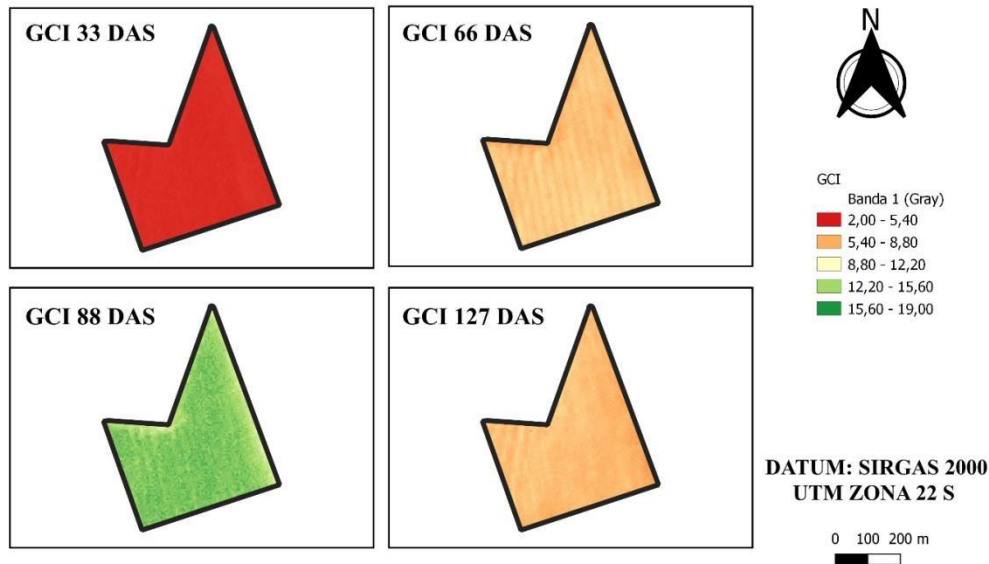
Monteiro (2021), em seu trabalho, analisando a correlação entre índice de vegetação com a produtividade, utilizando o VARI notou que os valores obtidos no momento da colheita (0,41 – 0,02), foram muito semelhantes aos valores detectados no momento da semeadura (0,33 – 0,09), onde afirma que o índice apresenta o mesmo comportamento quando a vegetação se encontra seca ou com coloração amarelada que seria a fase de maturação.

Na Figura 4 o índice de clorofila verde GCI, apresentou várias diferenças entre as datas. Aos 33 DAS como o solo ainda estava muito exposto, as plantas estavam em fase de desenvolvimento muito baixo, apresentou intervalos 2,00 a 5,40.

Em 66 DAS o índice mostrou que o teor de clorofila estava sendo pouco maior do que aos 33 DAS, onde o intervalo foi de 5,40 a 12,20. Também pode-se observar que aos 127 DAS apresentou mesmo intervalo, como plantas estavam entrando em seu estado de maturação fisiológica e os índices de clorofila também estavam decaindo.

O melhor resultado entre intervalo foi 88 DAS que ficou entre 12,20 a 19,00, onde a taxa fotossintética da planta estava muito alta, pois nesses estádios já se encontrava em fase reprodutiva, então a planta a estava produzindo muita clorofila para enchimento de grãos. Segundo Casaroli *et al.* (2007), na cultura da soja, a taxa respiratória e teores de fotoassimilados, variam conforme os estádios de desenvolvimento, influências climáticas, e por último expansão foliar, onde de forma gradativa ocorre aumento da taxa de fotoassimilados durante os estádios vegetativo para o reprodutivo, onde na fase de enchimento de grão alcança os valores máximos.

**Figura 4** - Mapas do Índice de clorofila verde (GCI).



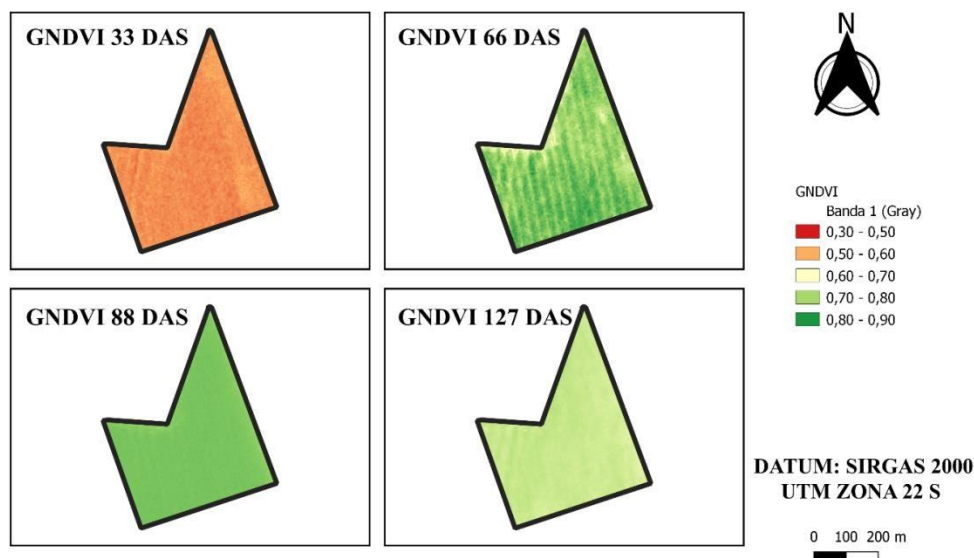
Ao observa-se o GNDVI (Figura 5), nota-se apresentou uma grande variabilidade nos dados. Aos 33 DAS, como a cultura estava no início do seu ciclo, apresentou valores entre 0,30 a 0,60. Já em 66 DAS apresentou valores entre 0,60 a 0,80, onde ficou muito bem caracterizados as linhas e entrelinhas da cultura. Em 88 DAS obteve os maiores valores variando entre 0,80 a 0,90, onde a cultura já se encontrava totalmente em fase reprodutiva assim tendo maior taxa fotossintética.

Em 127 DAS houve uma diminuição dos valores ficando entre 0,70 a 0,80, pois a cultura estava iniciando seu processo de maturação fisiológica, então teores de clorofila estavam diminuindo, e algumas folhas já estava amarela não refletindo verde totalmente.

Segundo Boesing *et al.* (2007), ao observar a variabilidade espacial de índices de vegetação NDVI, GNDVI e SAVI na cultura da soja em estágio reprodutivo, obtiveram valores parecidos com o GNDVI, ao observa-se o estágio R5 obteve um valor de 0,85, já em R5.5 obteve um valor de 0,78.

Os pigmentos são muito importantes para as plantas pois participam na absorção de energia luminosa e após transformam em ATP, a clorofila A é o principal pigmento para realização de fotossíntese (MEYER, 2008). A clorofila B ajuda a ampliar a faixa de absorção de energia luminosa, tendo como objetivo auxiliar a clorofila A na fotossíntese (RAVEN, 1983).

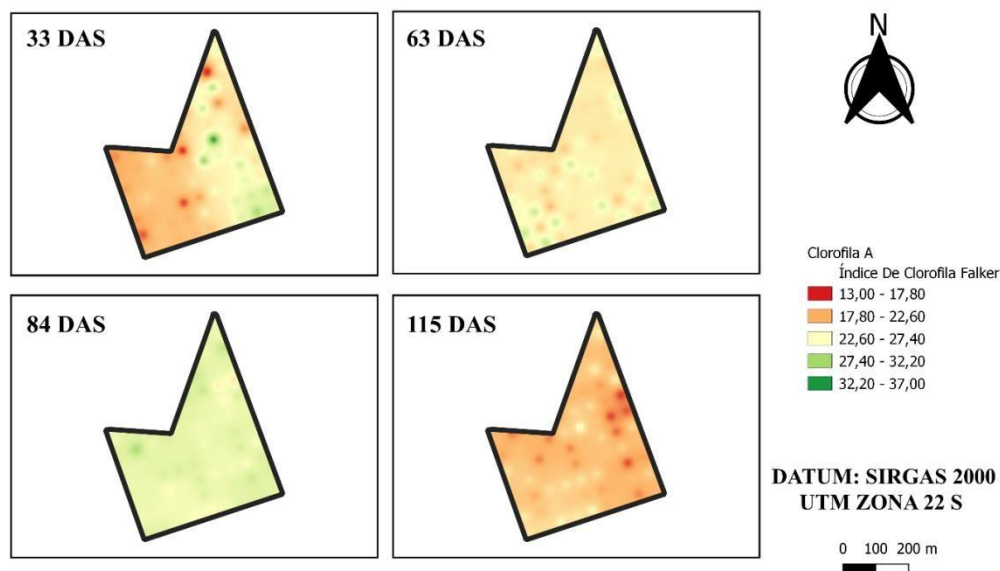
**Figura 5** - Mapas do Índice de vegetação por diferença normalizada com a banda verde (GNDVI).



O índice de clorofila A (Figura 6), variaram entre um intervalo 13 a 37 ao decorrer das datas. Aos 33 DAS nota-se que variou bastante esse intervalo onde a maior parte ficou numa faixa entre 13 a 27, mais apresentando alguns pontos próximos a valores de 37. Já em 66 DAS observou-se que valores variaram entre 17 a 27. Em 83 DAS foi a data que mais obteve resultado onde o intervalo ficou entre 22 a 37. Por fim aos 115 DAS os valores de clorofila A caíram para um intervalo entre 13 a 27.

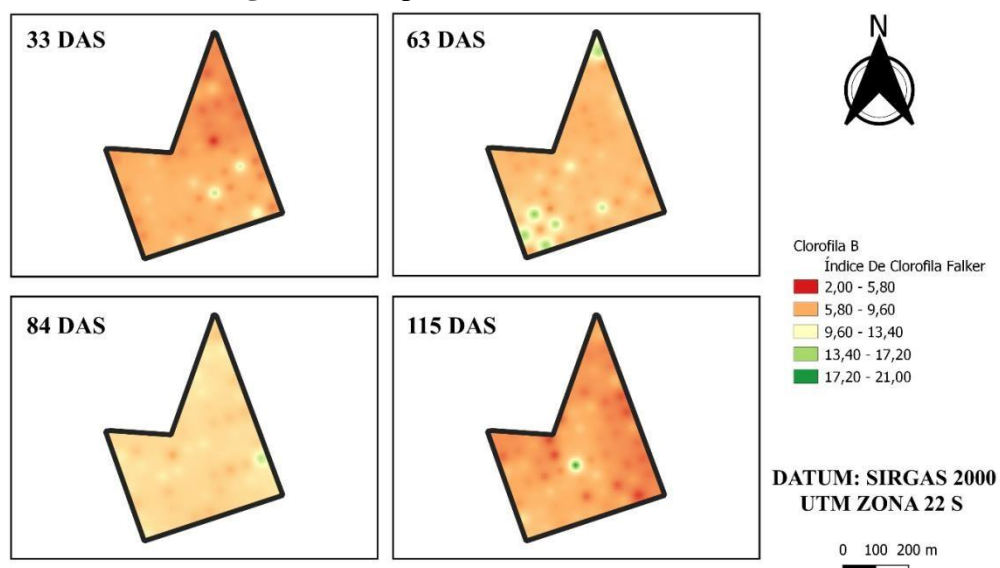
Pereira (2018), em trabalho utilizando aplicação de nitrogênio em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da soja, onde utilizou clorofilômetro igual ao respectivo trabalho, onde avaliaram em estágio de florescimento obteve valores entre 45,21 a 48,95, onde não houve diferença significativo dos tratamentos.

**Figura 6** - Mapas de índice de clorofila A.



Os índices de clorofila B (Figura 7), não variaram muito durante o ciclo da cultura, os teores ficaram numa faixa entre 2 a 21, onde o mapa de 84 DAS, apresentou os melhores valores entre 5,40 a 13,80. Em 33, 63 e 115 DAS os valores variaram entre 2,00 a 9,60. Através dos dados da Tabela 3, observa-se que a correlação entre clorofila A e dados produtivos em diversas datas após a semeadura apresentou uma correlação muito fraca na classificação proposta de Callegari-Jacques (2003). Ao observar a correlação entre a clorofila B e produtividade, mostra que em 33DAS apresentou uma correlação fraca, já em 66 DAS e 84 DAS já apresentou uma correlação muito fraca.

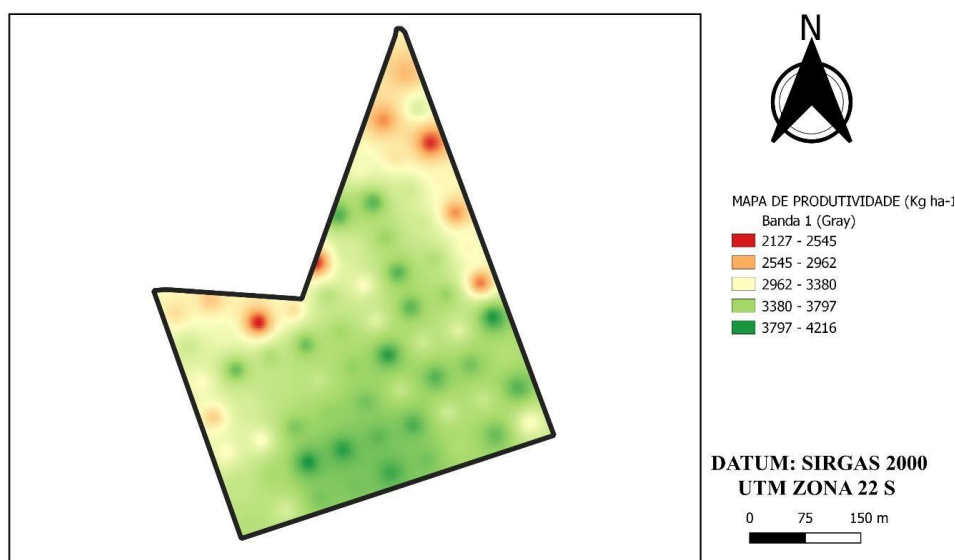
**Figura 7 - Mapas de índice de Clorofila B.**



Nogueira *et al.* (2010), afirmaram em seu trabalho que as leituras com clorofilômetro quando apresentam níveis mais elevados de clorofila, indicam que está acontecendo uma manutenção e enchimento de grão assim esperando que haja uma produtividade maior.

O mapa de produtividade (Figura 8) mostra que houve uma diferença na produtividade dentro da área, variando entre 2.127 Kg ha<sup>-1</sup> e 4.216 Kg ha<sup>-1</sup>. Observa-se que a maior parte da área se apresentou produtividade entre 3.380 a 4.216 Kg ha<sup>-1</sup>.

**Figura 8** - Mapa de produtividade da soja (Kg ha<sup>-1</sup>).



Segundo CONAB (2023), a colheita da soja já atingiu cerca de 93% em todo o território brasileiro, a produtividade média é de 3.532 Kg ha<sup>-1</sup>, essa produtividade é favorecida pelas excelentes condições climáticas ocorrida nas fases de desenvolvimento.

**Tabela 3** - Correlação de Pearson entre os dados de produtividade da soja e os índices de Clorofilas A e B em diferentes datas da cultura.

CLOROFILA	33 DAS	63 DAS	84 DAS	115 DAS
A	0,19	0,06	-0,21	0,15
B	0,37	-0,01	-0,20	0,22

DAS = Dias após a semeadura.

Correlacionando os dados de produtividade e os índices de vegetação (Tabela 4), observa-se que algumas datas e alguns índices apresentaram médias maiores que os demais. Ao observar em 66 DAS os índices de vegetação GCI e GNDVI apresentaram os maiores valores (0,41 e 0,40) em relação aos outros IV's apresentando-se correlação moderada. Em 88 DAS os índices NDVI, GCI e GNDVI apresentaram os maiores valores (0,32, 0,39 e 0,35) sendo classificados como uma correlação fraca. Aos 127 DAS o índice que apresentou maior média foi o VARI (0,26) também apresentando uma correlação fraca.

**Tabela 4** - Correlação de Pearson entre os dados de produtividade da soja os IVs (NDVI, VARI, GCI, GNDVI) em diferentes cenas da constelação DOVER.

IV's	33 DAS	66 DAS	88 DAS	127 DAS
NDVI	-0,38	0,31	0,32	0,12
VARI	-0,17	0,22	0,23	0,26
GCI	-0,29	0,41	0,39	-0,12
GNDVI	-0,28	0,40	0,35	-0,11

DAS = Dias após a sementeira.

Galvão *et al.* (2009), em trabalho com a cultura da soja, avaliando uma correlação entre índices de vegetação e dados de produtividade, obtiveram a correlação do VARI no valor de 0,32 sendo considerada fraca, já com índice NDVI encontraram uma correlação no valor de 0,12 sendo uma correlação muito fraca.

Ao observar a correlação entre teor de clorofila A e os índices de vegetação (Tabela 5), obteve-se maiores valores em 115 DAS, para o NDVI apresentou uma correlação fraca (0,23), e os outros índices VARI, GCI e GNDVI apresentaram correlação muito fraca (< 0,2).

**Tabela 5** - Correlação de Pearson entre a Clorofila A e os IVs (NDVI, VARI, GCI, GNDVI), em datas próximas da coleta com obtenção de cenas da constelação DOVER.

IV's	CLOROFILA A	CLOROFILA A	CLOROFILA B	CLOROFILA A
	33 DAS	63 DAS	84 DAS	115 DAS
NDVI	-0,02	0,08	-0,09	0,23
VARI	-0,01	0,04	-0,07	0,18
GCI	0,01	0,10	-0,12	0,18
GNDVI	0,00	0,09	-0,11	0,18

DAS = Dias após a sementeira.

Ao correlacionar os teores de clorofila B com índices de vegetação (Tabela 6), nota-se que o NDVI, VARI e GNDVI aos 115 DAS apresentaram os maiores valores (0,27, 0,25, e 0,20), mas apresentando uma correlação fraca. Já o índice GCI apresentou maiores valores em 115 DAS (0,18) mas apresentando uma correlação muito fraca.

**Tabela 6** - Correlação de Pearson entre a Clorofila B e os IVs (NDVI, VARI, GCI, GNDVI), em datas próximas da coleta com obtenção de cenas da constelação DOVER.

IV's	CLOROFILA B	CLOROFILA B	CLOROFILA B	CLOROFILA B
	33 DAS	64 DAS	84 DAS	115 DAS
NDVI	-0,22	0,15	-0,19	0,27
VARI	-0,09	0,12	-0,15	0,25
GCI	-0,15	0,16	-0,20	0,18
GNDVI	-0,15	0,15	-0,19	0,20

DAS = Dias após a semeadura.

Em comparação ao trabalho desenvolvido por Bernardi e Rosa (2021), correlacionando índices de vegetação com teores de clorofila na fase inicial do milho, observou-se que o NDVI, apresentou r de Pearson de 0,28 e o GNDVI (0,22), com correlação classificada como fraca.

#### 4. CONCLUSÕES

Na correlação entre os dados de produtividade e os índices de clorofilas A e B, as maiores correlação aconteceram aos 33 DAS.

A correlação entre dados produtivos e os IV's, os maiores valores foram obtidos com GCI e GNDVI aos 66 DAS.

Correlação entre índice de clorofila A e B e os IV's, os maiores valores foram obtidos em 115 DAS com os índices NDVI, VARI e GNDVI.

#### REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, S. A; PINTO, F. D. A. D. C; QUEIROZ, D. M. D; SANTOS, N. T; GLERIANI, J. M; ALVES, E. A. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 38, 1637-1644. (2009).

AMARANTE, L DO; DOS SANTOS COLARES, D; OLIVEIRA, M. L; ZENZEN, I. L; BADINELLI, P. G; BERNARDI, E. Teores de clorofilas em soja associada simbioticamente com diferentes estirpes de Bradyrhizobium sob alagamento. **Revista Brasileira de Biociências** 5.S2. 906-908. (2007)

ARGENTA, G; SILVA, P. R. F. D; BORTOLINI, C. G; FORSTHOFER, E. L; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 13, 158-167. (2001).

BARIANI, C; KERSTEN, D; VICTORIA, N; CARLESSO, R.; PETRY, M., PERIPOLLI, M. **Monitoramento da fenologia da soja irrigada usando perfis de série temporal de NDVI.** In INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING (Vol. 3, pp. 1610-1618). 2015.

BERNARDI, R. A; ROSA, H. A. Correlação entre Índices de Vegetação e teor de clorofila avaliado na fase inicial da cultura do milho. **Revista Cultivando o Saber**, p. 41-52, 2021.

BOESING, B. F; BOTTEGA, E. L; TEN CATEN, A; SARTORI, L; HARAMOTO, R. H. variabilidade espacial de índices de vegetação na cultura da soja em estágio reprodutivo. **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP.**2014

CANAL RURAL. **Soja: deral estima produtividade, área plantada e colhida na safra de 21/22.** CANAL RURAL. 2022. Disponível em :<<https://www.canalrural.com.br/projeto-soja-brasil/sojaparana-productividade-area-deral-safra-21-22/>> Acesso em 07 de agosto de 2022.

CASAROLI, D; FAGAN, E. B; SIMON, J; MEDEIROS, S. P; MANFRON, P. A., NETO, D; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja-uma revisão. **Revista da FZVA**, v. 14, n. 2, 2007.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas.** EMBRAPA. 2005.

CONAB. **Boletim da safra de grãos, 8º levantamento.** CONAB. 2023. Disponível em :<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em 19 de maio de 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** - 3ed. rev. ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353p

FACCO, D.S. **Relação entre a clorofila-A e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no reservatório de Barra Bonita-SP.** 2019.

FERREIRA, D. F. Sistema de análises estatísticas – Sisvar 5.6. **Lavras: Universidade Federal de Lavras**, 2010.

FERREIRA, R.O; DO NASCIMENTO, M. N; DA SILVA SOUZA, L. CAPÍTULO 3: Teor de Clorofila e Índice de Clorofila Falker em diferentes porta-enxerto de citros. **Programa de pósgraduação em recursos genéticos vegetais**, p. 67. 2019.

FERRERAS, R. **Cálculo do índice de clorofila GCI.** GISA AND BEERS. 08 de mar. de 2019. Disponível em: <<http://www.gisandbeers.com/calculo-del-indice-de-clorofila-gci/>>. Acesso em 16 de agosto de 2022.

FERRI, C. P; FORMAGGIO, A. R; SCHIAVINATO, M. A. Avaliação de índices de pigmentos fotossintéticos na estimativa da concentração de clorofila a clorofila b, clorofila total e carotenóides

nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* [L], Merrill). **Anais X SBSR, Foz do Iguaçu**. 2001

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. São Paulo, 2005. GOMES, F. G. **Curso de estatística experimental** (451p). Piracicaba: FEALQ, 2009.

GALVÃO, L. S; FORMAGGIO, A. R; BREUNIG, F. M. Relações entre índices de vegetação e produtividade de soja com dados de visada fora do nadir do sensor Hyperion/EO-1. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 14, p. 1095-1102, 2009.

INOUE, L. **Cultura da soja: sua importância na atualidade**. AGROMOVE. 2019.

JAKOB, A.A.E; YOUNG, A.F. O uso do método de interpolação espacial das análises sociodemográficas. IN: **Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu MG: ABEP**, p. 1-22. 2006

KULLMANN, S. E; MIGLIORIN, V. P; COGO, V. B; DIAS, V. D. O. Variação temporal do ndvi em um talhão agrícola no município de alegrete/rs. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 13(3). (2021).

LEAL, L. D. S. **Avaliação dos índices de vegetação NDVI e VARI na identificação fitossanitária da Araucaria angustifolia (Bert.) O. KTZE**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2021.

MARTINS, M. E. G; RODRIGUES, J. F. Coeficiente de correlação amostral. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 2, p. 34-36, 2014.

MENEZES JÚNIOR DE, F. O. G; GONÇALVES, P. A. S; NETO, J. V; KURTZ, C. Uso do clorofilômetro e interpretação das leituras realizadas em tempo real como indicativo de suficiência de nitrogênio para a cultura da cebola. **Agropecuária Catarinense**, 35(1), 21-24. (2022).

MEYER, S. E. ROSA L. **The Woody Plant Seed Manual**. USDA For. Serv. Agric. Handbook, v. 727, p. 974-980, 2008.

MONTEIRO, P. H. D. S. Comportamento espectro-temporal da soja utilizando sensores orbitais e não orbital e correlação dos índices de vegetação com a produtividade. **Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2021

NITSCHKE, P.R; CARAMORI, P.H; RICCE, W.S; PINTO, L.F.D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NOGUEIRA, P.D.M; JÚNIOR, D. G. S; RAGAGNIN, V A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology**, v. 3, n. 2, 2010.

PEREIRA, C. S; TRENTIN FILHO, M. G; FIORINI, I. V. A; PEREIRA, H. D; ROCHA, J. R; LANGE, A. **Formas e estádios de aplicação de adubação nitrogenada no desenvolvimento e produtividade da soja.** Revista Agrogeambiental, 10(4), 196-205. 2018.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental 15. ed. **Piracicaba: Fealq, 2009.**

RAVEN, JOHN A. **The transport and function of silicon in plants.** Biological reviews, v. 58, n. 2, p. 179-207, 1983.

RISSINI, A. L. 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, p. 1703-1713, (2015).

SANTIS JUNIOR, J. D. **Medidor do teor de clorofila em plantas baseado em arquitetura microcontrolada.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2000.

SCCON GEOSPATIAL. **Imagens Planet.** 2022. Disponível em :<<https://www.scon.com.br/produtos/imagens-planet/>> . Acesso em 05 de agosto de 2022.

SHIRATSUCHI, L. S; BRANDÃO, Z. N; VICENTE, L. E; VICTORIA, D. D. C; DUCATI, J. R; DE OLIVEIRA, R. P; VILELA, M. D. F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. **Embrapa Agrossilvipastoril** - Capítulo em livro científico. 2014.

SILVA JUNIOR DA U.J; GONÇALVES, R.M; DE OLIVEIRA, L.M.M; DA SILVA JUNIOR, J.A. Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II-PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, 73 (1), 17-35. (2021).

SOUZA, J. B. C; DE BRITO FILHO, A. L; CARNEIRO, F. M; DO SANTOS, A. F; DA SILVA, R. P. Avaliação da qualidade dos índices de vegetação (NDRE e NDVI) para a cultura do amendoim, utilizando cartas de controle. **South American Sciences**, 1(1), e2095-e2095. (2020).