

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JHENYFER FERREIRA DE OLIVERA

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COMO CRITÉRIO DE SELEÇÃO
INDIRETA DE POPULAÇÕES DE SOJA PARA CARACTERES
AGRONÔMICOS**

CHAPADÃO DO SUL- MS

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JHENYFER FERREIRA DE OLIVERA

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COMO CRITÉRIO DE SELEÇÃO
INDIRETA DE POPULAÇÕES DE SOJA PARA CARACTERES
AGRONÔMICOS**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, área de
concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL- MS

2022



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Jhenyfer Ferreira de Oliveira

ORIENTADOR: Dr. Paulo Eduardo Teodoro

TÍTULO: Índices de vegetação como critério de seleção indireta de populações de soja para caracteres agronômicos

AVALIADORES:

Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

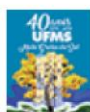
Prof. Dr. Fabio Henrique Rojo Baio

Profa. Dra. Michele Jorge Silva Siqueira

Chapadão do Sul, 09 de dezembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 09/12/2022, às 15:41, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Michele Jorge Silva Siqueira, Usuário Externo**, em 09/12/2022, às 15:43, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Henrique Rojo Baio, Professor do Magisterio Superior**, em 09/12/2022, às 15:44, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

DEDICATÓRIA

A Deus

A minha mãe Vilma Ledesma Ferreira
ao meu pai Joelso Cordeiro de Oliveira
ao meu noivo Vitor Boschilia Lima.

DEDICO

A todos meus amigos e familiares
que me ajudaram de alguma forma e que
estão sempre em minha vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

-A **Deus**, obrigada Pai por me presentear com pessoas maravilhosas, que me encorajam, me apoiam e que me amam. Obrigada por nunca soltar minha mão.

-Aos meus Pais, **Vilma Ledesma Ferreira** e **Joelso Cordeiro de Oliveira**, meus maiores exemplo de garra, humildade e amor. Obrigada por se abdicarem de suas vidas em prol da minha felicidade e dos meus sonhos, sem vocês, eu não chegaria até aqui. Amo vocês para sempre.

-Aos meus irmãos **Ingridh** e **Gabryel**, que sempre estiveram ao meu lado, meu amor por vocês é incondicional.

- A minha Sogra **Adriana Boschilia** que é uma mãe para mim, uma pessoa de luz, com amor para dar e vender, me apoiou desde a graduação, com palavras de incentivo e me mostra todos os dias como é ter um grande coração.

-Ao meu amado noivo **Vitor Boschilia Lima**, que esteve ao meu lado me apoiando nos piores e melhores momentos, obrigada por não soltar minha mão, por acreditar em mim mesmo quando nem eu acreditei. Nada disso teria sentido sem você na minha vida.

- Aos meus amigos, obrigada a cada um por cada palavra de apoio e incentivo.

Ao Prof. **Paulo Eduardo Teodoro**, pela sua orientação, profissionalismo e paciência. Obrigada por acreditar em mim, e me ajudar tanto nessa caminhada. Sem dúvidas eu não chegaria até aqui sem seu apoio. Gratidão Eterna.

A membros da banca examinadora que gentilmente aceitaram a participar e colaborar com esta dissertação.

-Aos professores e alunos da graduação e pós-graduação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, que me ajudaram de forma direta ou indiretamente na realização dessa dissertação.

Por fim, gratidão a todos que ajudaram para a realização desta dissertação. O meu mais sincero agradecimento.

EPIGRAFE

"Não importa o que aconteça, continue a nadar."

(WALTERS, GRAHAM; **PROCURANDO NEMO**, 2003.)

RESUMO

O melhoramento genético da soja é um processo contínuo de desenvolver novas cultivares. O foco do melhoramento genético é solucionar problemas que limitam a produtividade podendo ser resistência a doenças, caracteres morfológicos e fisiológicos. Com a crescente demanda do grão que possui grande importância econômica para o país, estudos com ênfase em melhoramento genético de plantas são necessários. O uso do sensoriamento remoto no monitoramento ambiental, recentemente tornou-se uma ferramenta no estudo do melhoramento das plantas. A hipótese dessa pesquisa é que os índices de vegetação podem ser utilizados como critérios de seleção indireta em programas de melhoramento genético da soja. Os objetivos foram: identificar qual o melhor estágio fenológico para aquisição de índices de vegetação para seleção indireta de caracteres agronômicos e identificar as populações segregantes mais promissoras com base nos índices de vegetação e caracteres agronômicos. O delineamento foi de blocos casualizados com quatro repetições, 28 populações F₃ de soja e quatro tratamentos controle (cultivares comerciais). Os caracteres agronômicos avaliados foram: dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem, altura de plantas, diâmetro da haste principal, número de ramificações e produtividade de grãos (PROD) e os índices de vegetação avaliados foram: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDRE (*Normalized Difference Red Edge Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) foram obtidos em três estágios fenológicos dos genótipos de soja: V8 (aos 45 dias após a emergência - DAE), R1 (60 DAE) e R5 (80 DAE). Em relação aos índices de vegetação avaliados, SAVI e EVI apresentaram maiores médias para a seleção das populações, considerando o melhor estágio fenológico V8 (aos 45 dias após a emergência). Em relação as variáveis agronômicas DM e PROD os índices de vegetação SAVI e EVI demonstraram maiores médias nesses índices para a correlação genética com valores para DM de 0,71 e PROD 0,90. Contudo, destaca-se o maior resultado para a correlação genética do índice de vegetação EVI com valores para DM 0,83 e PROD 0,96 para realizar a seleção indireta das populações mais promissoras.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. *Glycine max*. Melhoramento genético da soja.

ABSTRACT

Soybean genetic breeding is a continuous process of developing new cultivars. The focus of genetic improvement is to solve problems that limit productivity, which may be resistance to diseases, morphological and physiological traits. With the growing demand for the grain that has great economic importance for the country, studies with emphasis on plant genetic improvement are necessary. The use of remote sensing in environmental monitoring has recently become a tool in the study of plant breeding. The hypothesis of this research is that vegetation indices can be used as indirect selection criteria in soybean genetic improvement programs. The objectives were: to identify the best phenological stage for acquiring vegetation indices for indirect selection of agronomic characters and to identify the most promising segregating populations based on vegetation indices and agronomic characters. The design was randomized blocks with four replications, 28 with soybean F₃ capacity and four control treatments (commercial cultivars). The agronomic traits evaluated were: days to maturation (DM), first pod insertion height, plant height, diameter of the main stem, number of branches and grain yield (PROD) and the evaluated vegetation indices were: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), EVI (Enhanced Vegetation Index) and SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) were obtained in three phenological stages of soybean genotypes: V8 (at 45 days after emergence - DAE), R1 (60 DAE) and R5 (80 DAE). Regarding the evaluated vegetation indices, SAVI and EVI presented higher averages for the selection of populations, considering the best phenological stage V8 (at 45 days after emergence). Regarding the DM and PROD agronomic variables, the SAVI and EVI vegetation indices showed higher averages in these indices for the genetic correlation with DM values of 0.71 and PROD 0.90. However, the highest result stands out for the genetic correlation of the EVI vegetation index with values for DM 0.83 and PROD 0.96 to conduct the indirect selection of the most promising populations.

Keywords: Remote sensing. *Glycine max*. Soybean genetic breeding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA		PÁGINA
Figura 1	Correlações de Pearson entre os índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI) avaliados em diferentes estágios fenológicos e para os caracteres agronômicos dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura da planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em 32 genótipos de soja.	08

LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
Tabela 1	Relação das 28 populações F ₁ de soja obtidas	02
Tabela 2	Relação dos índices de vegetação calculados pelo uso do sensor multiespectral Sequoia.	03
Tabela 3	P-valor, coeficiente de variação e herdabilidade para os índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI) avaliados em diferentes estágios fenológicos e para os caracteres agrônômicos dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura da planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em 32 genótipos de soja.	07
Tabela 4	Estimativas de ganhos com a seleção direta (SD) e seleção indireta (SI) sobre SAVI avaliado em no estágio V8 e reflexos nos caracteres agrônômicos dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV, cm), altura da planta (AP, cm), diâmetro da haste principal (DHP, cm), número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD, kg ha ⁻¹) avaliados em 32 genótipos de soja.	10
Tabela 5	Estimativas de ganhos com a seleção direta (SD) e seleção indireta (SI) sobre EVI avaliado em no estágio V8 e reflexos nos caracteres agrônômicos dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV, cm), altura da planta (AP, cm), diâmetro da haste principal (DHP, cm), número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD, kg ha ⁻¹) avaliados em 32 genótipos de soja.	11

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	2
2.1 Obtenção da geração F₁	2
2.2 Avaliação e condução da Geração F₁ e F₂	2
2.3 Avaliação das populações F₃	4
2.4 Avaliação dos índices de vegetação	4
2.5 Avaliação dos caracteres agronômicos	5
2.6 Análises estatísticas	5
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	6
4. CONCLUSÕES	11
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12

1.INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de soja (*Glycine max* L.Merril) do mundo. A estimativa da safra 2021/22 é de 122,43 milhões de toneladas do grão, o que representa uma queda na produção comparada à safra 20/21 de 11,4% (CONAB, 2022). A área de cultivo está estimada em 40,8 milhões de hectares, um aumento de 4,1% comparado à safra 20/21. A produção mundial desta *commoditie* deve atingir na safra 2021/22 a produção de 383,6 milhões de toneladas, sendo que o Brasil contribuirá com 141,2 milhões de toneladas.

O melhoramento de plantas é a forma mais ecologicamente responsável de se aumentar a produção de alimentos, com a adaptação da planta ao ambiente, e não do ambiente a planta. Com o aumento do potencial produtivo das espécies cultivadas, diminuiu-se a pressão por inclusão de novas áreas cultivadas no sistema produtivo. Além disso, essa ciência também permite o desenvolvimento de novas cultivares resistentes ou tolerantes a praga, doenças e estresses abióticos (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2021).

Para garantir o sucesso do processo de melhoramento genético é ideal realizar experimentos confiáveis e gerar um grande volume de dados experimentais, com isso, a partir de um tratamento adequado dos dados, os parâmetros genéticos e biológicos podem ser estimados e interpretados (CRUZ, 2013). Diante disso, o uso do sensoriamento remoto está cada vez mais comum para o planejamento e rápidas tomadas de decisões, visto que a tecnologia trás confiança e rapidez nos resultados, porém, a utilização depende de fatores de interação entre ambiente e sensor utilizado (TULLIO, 2018).

A mensuração dos caracteres das plantas pode ser realizada através do uso do sensoriamento remoto, esse processo ocorre pela interação da radiação eletromagnética com a vegetação, as plantas apresentam baixa refletância na faixa visível do espectro devido à forte absorção pelos pigmentos fotossintéticos, principalmente nas regiões do azul (~450 nm) e do vermelho (~660 nm). Na região do infravermelho próximo (NIR - acima de 700 nm) há maior refletância em razão da ausência de absorção desta pelos pigmentos das folhas (CANATA et al., 2019).

Segundo Shiratsuchi et al. (2014), os sensores captam os valores de refletância de bandas multispectrais, atribuindo valores numéricos aos comprimentos de onda, essas informações são correlacionadas aos dados obtidos nas avaliações a campo como a taxa de transpiração, taxa fotossintética e eficiência do uso da água, por exemplo, isso gera um banco de dados contendo os valores das leituras das bandas espectrais e os caracteres fisiológicos. As bandas verdes, vermelho, borda do vermelho (rededge) e infra-vermelho próximo (NIR) são

alguns dos intervalos do espectro eletromagnético. Utilizando modelos matemáticos pode-se obter novos valores definidos como Índices de Vegetação (IV). Estudos com índices de vegetação para fenotipagem de alta precisão de caracteres agronômicos na cultura da soja vem sendo utilizados (SANTANA et al., 2022).

A utilização das técnicas do sensoriamento remoto pode ser utilizada para coletar informações atualizadas de uma determinada cultura, como por exemplo, densidade e vigor, sem as necessidades de visitas a campo, não interferindo direta ou indiretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas, reduzindo os custos de determinação (BARIANI et al., 2015).

De acordo com da Silva et al. (2020) os modelos espectrais expressos por meio de índices de vegetação coletados via sensor multiespectral sub-orbital mostraram-se satisfatórios e resultados promissores para prever a produtividade da cultura da soja. Segundo Santana et al., (2022) os genótipos precoces e produtivos podem ser selecionados com base em índices de vegetação e comprimentos de onda.

Devido à importância econômica e social da cultura da soja, é importante que tenham pesquisas sobre critérios de seleção indireta para caracteres agronômicos utilizando variáveis espectrais. A hipótese dessa pesquisa é que os índices de vegetação podem ser utilizados com critérios de seleção indireta em programas de melhoramento de soja. Os objetivos foram: (i) identificar qual o melhor estágio fenológico para aquisição de índices de vegetação para seleção indireta de caracteres agronômicos e (ii) identificar as populações segregantes mais promissoras com base nos índices de vegetação e caracteres agronômicos.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção da geração F₁

Inicialmente, foram selecionadas oito cultivares de soja contrastantes quanto ao grupo de maturidade fisiológica e produtividade de grãos (Compacta, Lança, Zeus, M6410, NS6909, TMG7061, TMG7062 e TMG7063), conforme descrito na Tabela 1. Portanto, através de cruzamentos dialélicos completo obtiveram 28 cruzamentos F₁ conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 1. Relação das 28 populações F₁ de soja obtidas.

Genitor	GM	Tipo de crescimento	Genitor	GM	Tipo de crescimento
Compacta	6.5	Indeterminado	NS6909	6.3	Indeterminado
Lança	5.8	Indeterminado	TMG7061	6.1	Indeterminado
Zeus	5.5	Indeterminado	TMG7062	6.2	Semi-determinado
M6410	6.4	Indeterminado	TMG7063	6.3	Indeterminado

Tabela 2. Relação das 28 populações F₁ de soja obtidas.

Codificação	Genitor masculino	Genitor feminino
P1	Compacta	Lança
P2	Compacta	Zeus
P3	Compacta	M6410
P4	Compacta	NS6909
P5	Compacta	TMG7061
P6	Compacta	TMG7062
P7	Compacta	TMG7063
P8	Lança	Zeus
P9	Lança	M6410
P10	Lança	NS6909
P11	Lança	TMG7061
P12	Lança	TMG7062
P13	Lança	TMG7063
P14	Zeus	M6410
P15	Zeus	NS6909
P16	Zeus	TMG7061
P17	Zeus	TMG7062
P18	Zeus	TMG7063
P19	M6410	NS6909
P20	M6410	TMG7061
P21	M6410	TMG7062
P22	M6410	TMG7063
P23	NS6909	TMG7061
P24	NS6909	TMG7062
P25	NS6909	TMG7063
P26	TMG7061	TMG7062
P27	TMG7061	TMG7063
P28	TMG7062	TMG7063

2.2 Avaliação e condução da Geração F₁ e F₂

Para a condução da geração F₁ na safra 2019/2020, foram utilizados 200 vasos com plantio de duas sementes por vaso em casa de vegetação, e por ocasião da germinação foi realizado o desbaste das plantas que eram oriundas de autofecundação pela identificação da cor do hipocótilo. Os tratamentos culturais realizados seguiram a necessidade da cultura. Por ocasião da colheita, foram colhidas as sementes de cada cruzamento realizado, que deram origem a 28 populações F₂.

A condução da geração F₂ foi realizada na safra 2019/2020 na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Chapadão do Sul (18°41'33''S, 52°40'45''W, com 810 m de altitude), Mato Grosso do Sul. O clima da região é caracterizado como Tropical de Savana (Aw) e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, com as seguintes características na camada de 0 - 0,20 m: pH (H₂O) = 6,2; Al trocável (cmolc dm⁻³) =

0,0; Ca+Mg (cmolc dm⁻³) = 4,31; P (mg dm⁻³) = 41,3; K (cmolc dm⁻³) = 0,2; Matéria orgânica (g dm⁻³) = 19,74; V (%) = 45; m (%) = 0,0; Soma de bases (cmolc dm⁻³) = 2,3; CTC (cmolc dm⁻³) = 5,1.

Foi utilizado delineamento de blocos casualizados com duas repetições e 28 populações F₂ de soja, conforme descrito na Tabela 1. As parcelas consistiram em uma linha com três metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e densidade de 15 plantas por metro com população alvo de 333.333,33 plantas por há.

A semeadura ocorreu em outubro de 2020, utilizando preparo convencional do solo (aração e gradagem niveladora). As sementes foram tratadas com fungicida (Piraclotrobina + Metil Tiofanato) e inseticida (Fipronil), na dose de 200 mL do produto comercial para cada 100 kg de sementes para proteção contra o ataque de pragas e fungos de solo. Para a fixação biológica de nitrogênio (FBN), as sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, sendo utilizada a dose de 200 mL de inoculante líquido concentrado para cada 100 kg de sementes. Os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura.

2.3 Avaliação das populações F₃

O experimento foi conduzido na safra 2021/2022 na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no Município de Chapadão do Sul-MS. Foi utilizado delineamento de blocos casualizados com duas repetições e 28 populações F₃ de soja e quatro tratamentos controles comerciais (Compacta, TMG7061, TMG7062 e TMG7063). As parcelas consistiram em 4 linhas com um 1 de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e densidade de 15 plantas por metro com a mesma população alvo.

A semeadura ocorreu em outubro de 2021, utilizando preparo convencional do solo (aração e gradagem niveladora). As sementes foram tratadas com fungicida (Piraclotrobina + Metil Tiofanato) e inseticida (Fipronil), na dose de 200 mL do produto comercial para cada 100 kg de sementes para proteção contra o ataque de pragas e fungos de solo. As sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, sendo utilizada a dose de 200 mL de inoculante líquido concentrado para cada 100 kg de sementes. Os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura.

2.4 Avaliação dos índices de vegetação

Os índices de vegetação foram obtidos em três estágios fenológicos dos genótipos de soja: V8 (aos 45 dias após a emergência – DAE), R1 (60 DAE) e R5 (80 DAE). Foi utilizada a aeronave remotamente pilotada (RPA) de asa fixa Sensefly eBee RTK em cada voo, com controle autônomo de decolagem, plano de voo e aterrissagem. A altura de voo de 100 metros de altura O eBee está equipado com o sensor multiespectral Parrot Sequoia acoplada junto ao sensor RGB. O sensor multiespectral Sequoia com o sensor RGB fez a aquisição da reflectância nos comprimentos de onda do azul (450 nm), verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm) possuindo um sensor de luminosidade que permite a calibração dos valores adquiridos.

As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. A acurácia posicional das ortoimagens será verificada com pontos de controle em campo, levantados com o RTK. Os índices de vegetação calculados foram: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDRE (*Normalized Difference Red Edge Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Os índices de vegetação estudados em função da maior correlação com a massa vegetal, segundo Raper e Varco (2015), estão contidos na Tabela 3.

Tabela 3. Relação dos índices de vegetação calculados.

Sigla	Índice de Vegetação	Equação
NDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada	$\frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})}$
NDRE	Índice de vegetação pela diferença normalizada à transição do vermelho (<i>Red-edge</i>)	$\frac{(R_{NIR} - R_{EDGE})}{(R_{NIR} + R_{EDGE})}$
SAVI	Índice de vegetação ajustado pela presença de solo	$\frac{(1 + L)(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED} + L)}$
EVI	Índice de vegetação melhorado	$2,5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7,5 * Blue + 1)}$

R_{NIR}: reflectância na faixa do infravermelho próximo; R_{RED}: reflectância na faixa do vermelho; R_{EDGE}: reflectância na faixa de transição do vermelho (Red-edge); Blue: reflectância no azul; 2,5 corresponde ao fator de ganho; L: é fator de correção efeito do solo; os valores 6,0 e 7,5 são coeficientes de correção do espalhamento atmosférico causado pelos aerossóis.

2.5 Avaliação dos caracteres agronômicos

Os caracteres agronômicos avaliados foram: dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV, cm), altura de plantas (AP, cm), diâmetro da haste principal (DHP, cm) número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD, kg há⁻¹). O DM correspondeu aos dias entre emergência e maturação de mais de 50% de plantas em cada unidade experimental. Os caracteres AIV, AP, DHP e NR foram avaliados em cinco plantas em cada parcela, sendo os dois primeiros avaliados com auxílio de uma fita métrica e o terceiro com auxílio de um paquímetro digital. A PROD foi avaliada pela colheita das fileiras centrais de cada parcela e correção para 13% de umidade e extrapolada para kg há⁻¹.

2.6 Análises estatísticas

Inicialmente, os dados foram submetidos a análise de variância conforme modelo estatístico $Y_{ij} = \mu + B_j + T_i + \varepsilon_{ij}$, em que: Y_{ij} é o valor do caráter para o i -ésimo tratamento no j -ésimo bloco; μ é a média geral; B_j é o efeito do j -ésimo bloco, considerado como fixo; T_i é o efeito da i -ésima população F_3 , considerado aleatório; ε_{ij} é o erro aleatório. Foi estimada a herdabilidade no sentido amplo (h^2) para cada caráter avaliado de acordo com a expressão: $h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2}$ em que σ_g^2 é a variância genotípica e σ_e^2 é a variância ambiental. Posteriormente, foram estimadas as correlações fenotípicas entre os índices de vegetação obtidos em diferentes estágios fenológicos e os caracteres agronômicos avaliados.

O ganho com a seleção indireta (GS) utilizando os índices de vegetação que apresentaram variabilidade genética sobre cada caráter agronômico foi obtido pela expressão: $GS = DS \times h^2$, em que: DS: diferencial de seleção entre os genótipos selecionados pelos índices de vegetação; h^2 é a herdabilidade no sentido amplo de cada caráter. O DS foi obtido pela seguinte expressão: $DS = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_{fx}^2}$, em que: $Cov(X,Y)$: estimador da covariância genética entre os indivíduos testados e os indivíduos da população melhorada; σ_{fx}^2 : estimador da variância fenotípica entre as unidades testadas. Foi utilizada intensidade de seleção de 18,75% (seis genótipos). As análises foram realizadas com os softwares Genes (Cruz, 2013) e R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença significativa ($P > 0.05$) entre as populações segundo a análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE quando avaliados no estágio V8 (aos 45 dias após a emergência – DAE) (Tabela 4). Para os índices de vegetação SAVI e EVI houve diferença

significativa, ou seja, esses resultados indicam presença de variabilidade genética na população avaliada, SAVI e EVI. Os índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI) avaliados em R1 (60 DAE) e R5 (80 DAE), não obtiveram diferença significativa, ou seja, não houve diferença entre os genótipos. Houve diferença significativa ($P < 0.05$) entre os genótipos para todos os caracteres agrônômicos, exceto para diâmetro da haste principal (DHP). É importante destacar que os valores dos coeficientes de variação (CV) para todos os dados foram menores que 20%, que de acordo com Pimentel-Gomes (2009) revela boa precisão experimental.

Tabela 4. P-valor, coeficiente de variação e herdabilidade para os índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI) avaliados em diferentes estágios fenológicos e para os caracteres agrônômicos dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura da planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em 32 genótipos de soja.

Caráter	p-valor para populações	Coefficiente de variação (%)	Herdabilidade (%)
V8	NDVI	0,06	9,81
	NDRE	0,09	7,23
	SAVI	0,01	11,93
	EVI	0,02	15,00
R1	NDVI	0,98	4,24
	NDRE	0,92	8,04
	SAVI	0,97	8,05
	EVI	0,90	9,84
R5	NDVI	0,90	3,21
	NDRE	0,92	6,68
	SAVI	0,94	7,27
	EVI	0,95	8,82
DM	0,00	2,96	70,51
AIV	0,00	18,04	73,73
AP	0,00	9,70	79,08
DHP	0,31	18,07	12,42
NR	0,03	18,98	52,10
PROD	0,02	19,13	53,29

Os valores da herdabilidade para os índices de vegetação SAVI (79,37%) e EVI (81,78%) avaliados em V8 podem ser considerados altos e são importantes para o sucesso no processo de melhoramento genético, ou seja, são caracteres adequados para serem usados como critérios de seleção. Em relação aos caracteres agrônômicos DM, AIV, AP, pode-se observar valores altos para herdabilidade e são importantes para o melhoramento genético, a produtividade alta está relacionada a plantas mais altas na maturidade e com maiores alturas da inserção da primeira vagem (LEITE et al., 2015).

A altura da planta na maturidade é um fator determinante nas colheitas mecanizadas, devido a sua tendência de acamamento, pois é um caráter indesejado na maior parte das culturas, principalmente naquelas em que a colheita é mecanizada. Castro et al. (2020) observaram valores altos na sua pesquisa para a herdabilidade dos caracteres AP e PROD para a cultura da soja. Resultados semelhantes para estes caracteres agrônômicos foram relatados por (MARCHI COSTA et al., 2008; KUSWANTORO, 2017).

Na Figura 1 observa-se a correlação entre os caracteres agrônômicos e os índices de vegetação avaliados em diferentes estágios fenológicos. Como esperado por causa da proveniência das mesmas bandas destacam-se os maiores valores de correlação entre os índices de vegetação (SAVI, EVI, NDVI e NDRE), onde encontra-se a maior correlação entre os SAVI e EVI. Os caracteres agrônômicos (AIV, AP, DHP e NR) e DM possuem correlações fenotípicas positivas com a PROD.

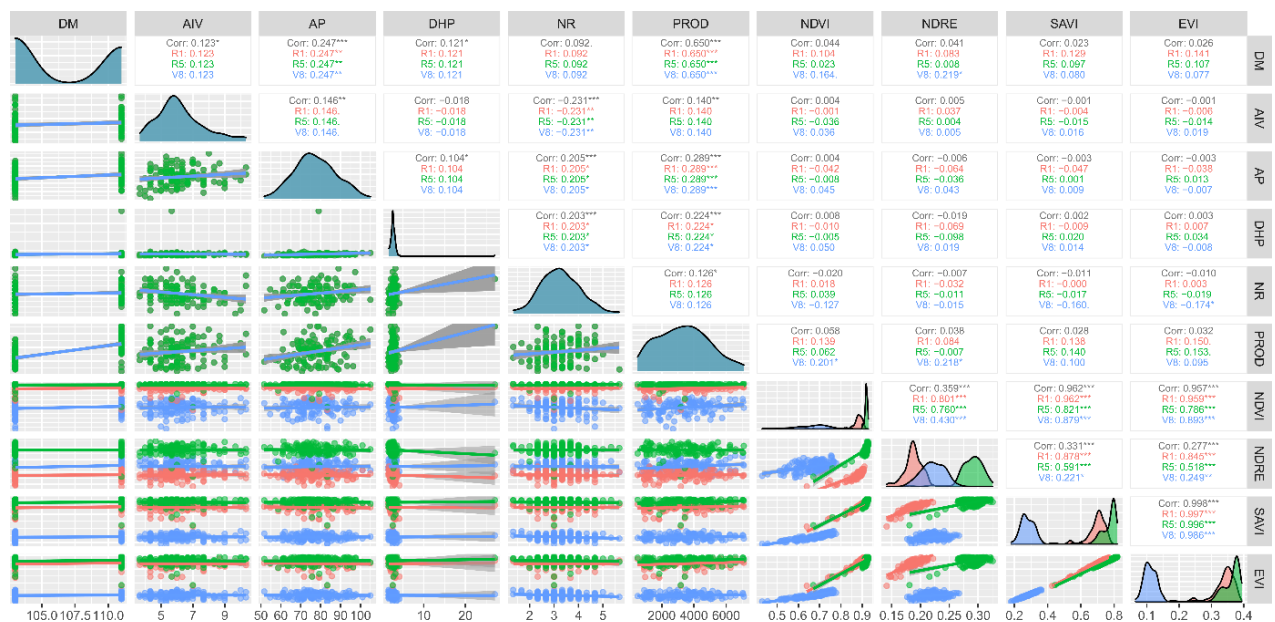


Figura 1. Correlações de Pearson entre os índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI e EVI) avaliados em diferentes estágios fenológicos e para os caracteres agrônômicos dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV), altura da planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em 32 genótipos de soja.

A seleção de genótipos de soja com maior número de ramificações pode levar ao aumento do número de vagens e, conseqüentemente, a produtividade de grãos, o que indica na tabela 1 onde foi observado a correlação fenotípica positiva entre os caracteres agrônômicos

com a produtividade. De acordo com Zuffo et al., (2018) obtiveram correlações positivas para $PROD \times AP$; $PROD \times AIV$ e concluíram que os caracteres agronômicos como o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem são os componentes que apresentam maiores efeitos diretos sobre a produtividade de grãos de soja. De acordo com Kuswanto (2017) essa relação também pode ser devido ao efeito indireto dos ramos através dos nós reprodutivos produzindo o número de vagens preenchidas. Dalchiavon; De Passos e Carvalho, (2012) observou que o número de vagens por planta foi o componente de produção que mais contribuiu para aumentar a produtividade de grãos.

Observou a correlação positiva de DM com a PROD, ou seja, quanto maior o DM maior será a produtividade de grãos, porém plantas com ciclo mais longo, podem permanecer mais tempo no campo e com isso ficar suscetíveis a doenças e fim de ciclo, pragas, intempéries climáticas por exemplo, e isso acarreta menores produtividades. (Figura 1). Segundo Pantaleão (2020) houve correlações positivas entre AP, AIV, PROD, NR com os índices de vegetação.

A correlação fenotípica entre os índices de vegetação e as características agronômicas, possuem valores baixos. da Silva et al. (2020) observaram que a rede de correlação não destacou um ou mais IVs, e para avaliar a relação direta com a produtividade de grãos. Segundo Taveira et.al., (2020) as avaliações obtiveram uma baixa correlação entre os índices de vegetação e características agronômicas, o trabalho demonstrou índices de vegetação correlacionaram entre si, e apenas apresentou correlação positiva entre caracteres fisiológicos e caracteres agronômicos. Entretanto, quando é realizada a seleção dos genótipos para o melhoramento de plantas, considera-se os dados da correlação genotípica mais importantes para usar como um parâmetro para seleção.

A seleção direta é realizada a campo, onde, demanda tempo e mão de obra, portanto, acaba trazendo baixo rendimento nas avaliações, onde centenas de linhagens são avaliadas anualmente. Castro (2020) demonstrou que não houve ganho genético com a seleção direta nas populações avaliadas, quanto a diminuição dos dias de floração e aumento na produtividade de grãos.

Portanto, utilizar esses índices de vegetação podem diminuir o tempo de avaliação a campo utilizando a avaliação indireta através dos IVs. Segundo da Silva et al. (2020), os índices SAVI e EVI se destacaram na previsão de produtividade, com isso demonstraram que é possível prever a produtividade da soja utilizando o índice de vegetação SAVI. Contudo, quanto maior os valores desses índices maiores serão os rendimentos observados em campo proporcionando uma vantagem no manejo em nível de propriedade. De acordo com os resultados de Taveira et

al., (2020) houve correlação positiva entre os índices de vegetação com as características agronômicas para populações F3 de soja.

De acordo com a Tabela 5, o ganho com a seleção indireta sobre o IV SAVI, onde os genótipos foram avaliados com base nos valores de SAVI, em relação aos caracteres agronômicos, demonstram resultados interessantes. As populações selecionadas com base nesse IV foram: P7, P8, P9, P14, P27 e P28. Os valores altos para herdabilidade (acima de 70%) de DM, AIV, AP isso permite ao melhorista o conhecimento e confiabilidade do caráter que pode ser herdado. de A exceção ocorreu para DM, pois o objetivo era diminuir o ciclo dos genótipos selecionados.

Tabela 5. Estimativas de ganhos com a seleção direta (SD) sobre SAVI avaliado em no estágio V8 e seleção indireta nos caracteres agronômicos dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV, cm), altura da planta (AP, cm), diâmetro da haste principal (DHP, cm), número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD, kg há⁻¹) avaliados em 32 genótipos de soja.

Caráter	Ganho com SD (%)	Média original	Correlação genotípica	Herdabilidade (%)	Ganho com SI (%)
DM	-2,77	106,56	0,71	70,51	1,65
AIV	18,67	6,19	0,22	73,73	3,46
AP	12,07	77,33	0,24	79,08	2,30
NR	11,90	3,26	0,41	52,10	4,76
PROD	23,07	3373,89	0,90	53,29	19,88

Em um programa de melhoramento, é importante o conhecimento das correlações entre os caracteres para realizar a seleção indireta de caracteres quantitativos, de difícil ganho de seleção, através da seleção de um outro caráter diretamente a ele correlacionado de maior ganho genético ou de fácil seleção (CARPENTIERI-PÍPOLO; GASTALDI; PÍPOLO ANTONIO EDUARDO, 2005). Na Tabela 5 é possível observar que o índice de vegetação SAVI, pode estimar ganhos com a seleção indireta no estágio fenológico V8.

A Tabela 6 contém os valores de ganho com a seleção direta sobre EVI avaliado no estágio V8 sobre os caracteres agronômicos. As populações selecionadas com base nesse IV foram as mesmas selecionadas com base no SAVI: P7, P8, P9, P14, P27 e P28. Trindade et al., (2017) observaram um aumento do EVI da fase vegetativa para a fase reprodutiva da planta (V6-R2), da fase fenológica (R2-R5), manteve os valores de EVI estáveis, e entre (R5- R7)

onde apresenta uma fase de senescência, a queda da biomassa é nítida e foi possível observar a queda dos valores de EVI e NDVI.

Tabela 6. Estimativas de ganhos com a seleção direta (SD) sobre EVI avaliado em no estágio V8 e seleção indireta nos caracteres agrônômicos dias para maturação (DM), altura de inserção da primeira vagem (AIV, cm), altura da planta (AP, cm), diâmetro da haste principal (DHP, cm), número de ramificações (NR) e produtividade de grãos (PROD, kg há⁻¹) avaliados em 32 genótipos de soja.

Caráter	Ganho com SD (%)	Média original	Correlação genética	Herdabilidade (%)	Ganho com SI (%)
DM	-2,77	106,56	0,83	70,51	1,77
AIV	18,67	6,19	0,23	73,73	3,27
AP	12,07	77,33	0,18	79,08	1,58
NR	11,90	3,26	0,51	52,10	5,49
PROD	23,07	3373,89	0,96	53,29	20,36

É possível observar estimativas de ganhos com SI via IV EVI e correlação genética são ligeiramente maiores quando comparados a seleção via ao IV SAVI (Tabela 3). Resultados similares foram observados por Zuffo et al. (2018), onde a seleção de cultivares de soja precoce com maior número de legumes por plantas resultará na seleção indireta de genótipos com maior produtividade de grãos.

Os resultados para a análise com o IVs, demonstram que a correlação genética e o ganho com a SI obtiveram maiores valores, comparados aos IV SAVI. De acordo com da Silva et al., (2020), a correlação positiva entre o IVs e PROD tem relevância significativa esses resultados demonstram que o índice de vegetação revela grande potencial para prever a PROD da soja com base em IVs. Contudo, o EVI demonstrou melhor resultado comparado aos índices de vegetação observados.

Galford et al., (2008) relatam que o EVI tem vantagem aos demais índices de vegetação pois possui uma maior sensibilidade em áreas de altas biomassas e podem reduzir as influências do solo e da atmosfera na resposta do dossel. Portanto, os resultados dessa pesquisa demonstram que o índice de vegetação EVI é promissor para a realização da seleção indireta e pode auxiliar a seleção de genótipos mais produtivos e precoces, onde, o caráter PROD e DM obteve uma correlação genotípica de 0,96 e 0,83 respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Os índices de vegetação mais promissores para a realização da seleção indireta foram SAVI e EVI avaliados no estágio fenológico V8 (aos 45 dias após a emergência), com destaque para EVI onde o caráter PROD e DM obteve uma correlação genotípica de 0,96 e 0,83 respectivamente.

As populações segregantes F₃ mais promissoras selecionados por ambos os índices foram P7, P8, P9, P14, P27 e P28.

A estimativa de ganho com a seleção direta com base nesses índices de vegetação (SAVI e EVI) demonstrou possibilidade de diminuir o tempo de avaliação nas etapas intermediárias de programas de melhoramento genético de soja.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARIANI, C. J. M. V. et al. **Monitoramento da fenologia da soja irrigada usando perfis de séries temporal de NDVI**. Anais do III Inovagri International Meeting - 2015. Anais...Fortaleza, Ceará, Brasil: INOVAGRI/INCT-EI, 2015.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8^o ed. São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2021.

CANATA, T. F.; WEI, M. C. F.; MOLIN, J. P. Sensores ópticos ativos. USP-ESALQ. **Agricultura de precisão: Boletim Técnico 05**, Piracicaba, p.1-4, 2019.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PIPOLO ANTONIO EDUARDO. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 1, p. 11–16, 2005.

CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento, 2022. Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos, Safra 2021/2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 38 p. https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/41683_ef09f64bd61267c92f0b59d9c7ebae55 Acesso em: 26 de abril de 2022.

CRUZ, C. D. GENES - um pacote de software para análise em estatística experimental e genética quantitativa. Acta Scientiarum Agronomia, Maringá, v.35, p.271-276, 2013.

DA SILVA, E. E. et al. UAV-multispectral and vegetation indices in soybean grain yield prediction based on in situ observation. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100318, abr. 2020.

GALFORD, G. L. et al. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 2, p. 576–587, fev. 2008.

KUSWANTORO, H. Genetic variability and heritability of acid-adaptive soybean promising lines. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, 2017; 18(1).

LEITE, W. S. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres agronômicos em genótipos de soja. **Nativa**, v. 3, n. 4, p. 241–245, 20 dez. 2015.

MARCHI COSTA, M. et al. Heritability estimation in soybean crosses. **bragantia**, v. 67, n. 1, p. 101–108, 2008.

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

SANTANA, Dthenifer Cordeiro et al. High - throughput phenotyping allows the selection of soybean genotypes for earliness and high grain yield. **Plant Methods**, p. 1–11, 2022.

Disponível em:

SHIRATSUCHI, Luciano Shozo et al. Agricultura de precisão - resultados de um novo olhar. **Embrapa Instrumentação**, p. 58–73, 2014

TAVEIRA, Aline et al. Selection of soybean F3 populations for agronomic and physiological traits and vegetation indices using multivariate approaches. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, [S.l.], v.52, n. 2, p.22-31, 2020. Disponível em: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCA/article/view/3147>.

TRINDADE¹, F. S. et al. Análise de perfis espectro temporais de NDVI e EVI no ciclo fenológico da cultura de soja e sua aplicação em sojicultura de precisão. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 18, p. 3878–3885, 2017.

TULLIO, Leonardo. Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 3. **Atena Editora**, .173, v. 3, 2018.

ZUFFO, A. M. et al. Correlações e análise de trilha em cultivares de soja cultivadas em diferentes densidades de plantas. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 27, n. 1, p. 78–90, 2 jan. 2018.