

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**MARLON BRENO SOARES DE ARAUJO**

**USO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL  
PARA MAPEAMENTO DE *Spermacoce verticillata* EM LAVOURA DE SOJA**

**CHAPADINHA – MA**

**2023**

**MARLON BRENO SOARES DE ARAUJO**

**USO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL  
PARA MAPEAMENTO DE *Spermacoce verticillata* EM LAVOURA DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Colegiado do Curso de  
Engenharia Agrícola da Universidade  
Federal do Maranhão como pré-requisito  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Igor  
Bernardo Almeida

Co-orientador: Dra. Samira Luns Hatum de  
Almeida

**CHAPADINHA – MA**

**2023**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Araujo, Marlon Breno Soares de.

USO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL  
PARA MAPEAMENTO DE *Spermacoce verticillata* EM LAVOURA DE  
SOJA / Marlon Breno Soares de Araujo. - 2023.

30 p.

Coorientador(a): Samira Luns Hatum de Almeida.

Orientador(a): Edmilson Igor Bernardo Almeida.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do  
Maranhão, Chapadinha-MA, 2023.

1. Agricultura de precisão. 2. Agricultura digital.  
3. Drone. 4. Random Forest. 5. VANT. I. Almeida,  
Edmilson Igor Bernardo. II. Almeida, Samira Luns Hatum  
de. III. Título.

**MARLON BRENO SOARES DE ARAUJO**

**USO DE MÉTODOS CONVENCIONAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL  
PARA MAPEAMENTO DE *Spermacoce verticillata* EM LAVOURA DE SOJA**

Aprovado em: 20/12/2023

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Igor Bernardo Almeida

Co-orientador: Dra. Samira Luns Hatum de Almeida

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Edmilson Igor Bernardo Almeida (Orientador)**  
Professor Adjunto do Curso de Agronomia, CCCh, UFMA

---

**Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho**  
Professor Adjunto do Curso de Engenharia Agrícola, CCCh, UFMA

---

**Prof. Dr. Jordânio Inacio marques**  
Professor Adjunto do Curso de Engenharia Agrícola, CCCh, UFMA

## **DEDICATÓRIA**

Com amor, aos meus pais Maria da Cruz Soares de Araujo e Ananias Siqueira de Araujo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida e toda a força e coragem concedidas a mim.

Aos meus pais Maria da Cruz Soares de Araujo e Ananias Siqueira de Araujo por todo amor, inspiração, carinho e educação.

As minhas avós Nantildes Maria da Silva e Maria Madalena da Paz Araújo por todo amor e carinho, e por sempre me apoiar nessa jornada.

Os meus avôs Antônio Soares da Silva (*in memorian*) e Cândido Pereira de Araújo (*in memorian*) por terem me despertado a paixão pela agricultura.

Ao meu irmão Marcondes Soares de Araujo que sempre me motivou a continuar firme na minha caminhada.

À minha namorada Katarina Lopes Moreira pelo companheirismo, amor, carinho, ensinamentos, paciência e por estar sempre presente em minha vida sendo minha base fortalecedora, por acreditar em mim e por tornar a caminhada mais alegre e leve.

À família de Katarina, Valderice Lopes de Sousa, Noelza Lopes de Sousa Francisco Bezerra Lima, Davi Sousa Lima e Hadassa Sousa Lima por todo o carinho e apoio ofertados a mim

As minhas madrinhas Veronica dos Santos Bueno Feitosa e Rita Helena Siqueira de Araújo por todo amor e incentivos nessa jornada.

Aos meus amigos Pedro Henrique Ávila Pinheiro, Francisco dos Santos Pereira Neto, Vanilsa Chaves de Sousa, José Augusto Lima Furtado, Anailson de Oliveira Maciel, Lourrana Rhavenna Diogo Silva, Daniel Lobo de Sousa por toda a parceria, apoio e torcida pelo meu sucesso.

Aos meus orientadores Edmilson Igor Bernardo de Almeida e Washington da Silva Sousa pela excelente orientação para o desenvolvimento deste trabalho, paciência, oportunidade e ensinamentos que contribuem para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos grupos Núcleo de Estudo e Pesquisa em Fitotecnia e Grupo de Estudo e Trabalho em Agricultura Digital por toda ajuda na montagem de experimentos, avaliações e companheirismo.

À fazenda Unha de Gato em nome do Sr. Cesar Andreguetto pela oportunidade de realizar este experimento.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA por disponibilizar recursos para compras de equipamentos e bolsas que auxiliaram na execução deste trabalho.

Aos docentes da Universidade Federal do Maranhão campus de Chapadonha-MA por todos os ensinamentos, incentivos e inspiração.

À Universidade Federal do Maranhão do campus de Chapadonha-MA pela oportunidade de cursar e finalizar o curso de Engenharia Agrícola.

A todos meu muito obrigado!

“Só é digno da liberdade, como da vida, aquele que se empenha em conquistá-la.”.

(Johann Goethe).

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do coeficiente Kappa com base no nível de concordância e acurácia.....	17
Tabela 2. Indicadores descritivos estimados pelo método de levantamento convencional, com base na densidade de <i>Spermacoce verticillata</i> , em pré-semeadura e pós-semeadura da soja.....	18
Tabela 3. Modelos e parâmetros dos semivariogramas de <i>Spermacoce verticillata</i> , em pré-semeadura e pós-semeadura da soja.....	19

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Mapas de localização do estado do Maranhão. ....	15
Figura 2. Mapas interpolados da variabilidade espacial de <i>Spermacoce verticillata</i> em pré-semeadura (2A) e pós-semeadura (2B) da soja. Os resultados foram em densidade absoluta (pl m <sup>-2</sup> ). ....	20
Figura 3. Mapa de ocorrência de <i>Spermacoce verticillata</i> (BOIVE), em pré-semeadura da soja, através de imagens aéreas obtidas por VANT e inteligência artificial, pelo método de classificação supervisionada Random Forest. ....	22
Figura 4. Estimativa dos valores de solo exposto, palhada e <i>Spermacoce verticillata</i> (BOIVE) com base na classificação Random Forest de imagens aéreas obtidas por VANT, em pré-semeadura da soja.....	23
Figura 5. Mapa de ocorrência de <i>Spermacoce verticillata</i> (BOIVE) em pós-semeadura da soja, através de imagens aéreas obtidas por VANT e técnicas de inteligência artificial pelo método supervisionado Random Forest.....	24
Figura 6. Estimativa dos valores de cultura (soja) e <i>Spermacoce verticillata</i> (BOIVE), com base na classificação do ortomosaico de imagens aéreas obtidas por VANT, em pós-semeadura da soja. ....	25

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>27</b>

## Uso de métodos convencionais e inteligência artificial para mapeamento de *Spermacoce verticillata* em lavoura de soja

RESUMO – O uso excessivo de herbicidas pode provocar seleção de biótipos resistentes, aumento de custos de produção, impactos ambientais e danos à saúde humana. O mapeamento de plantas daninhas tolerantes a herbicidas, tais como a *Spermacoce verticillata*, pode ser o primeiro passo para implementação de um manejo mais sustentável. Objetivou-se (1) analisar a variabilidade espacial de *S. verticillata* com métodos convencionais e inteligência artificial, (2) estimar a precisão dos métodos de mapeamento (3) recomendar alternativas eficazes para o manejo sustentável de plantas daninhas tolerantes ou resistentes a herbicidas, em lavoura de soja. O estudo foi conduzido em lavoura comercial de soja, situada em Mata Roma, Maranhão, Brasil, num talhão com histórico de manejo sucessivo com glifosato há mais de 10 anos e aumento da ocorrência de *S. verticillata*, nos últimos 3 anos. Realizaram-se dois levantamentos com uso de técnicas convencionais e inteligência artificial, durante as fases de pré-semeadura e pós-semeadura da soja, respectivamente. Concluiu-se que a *S. verticillata* tolerante a glifosato e apresentou expressivos valores de variabilidade espacial, índice de dispersão e dependência espacial, com uma distribuição contagiosa, em reboleiras espaçadas, e picos de até 27 pl m<sup>-2</sup>, após a implementação do controle. O uso de métodos convencionais e inteligência artificial foram precisos no mapeamento, viabilizando a pulverização localizada de herbicidas, principalmente em pré-semeadura da soja. Recomenda-se o uso de VANT e inteligência artificial por viabilizar o mapeamento em maiores extensões que os métodos convencionais.

Palavras-chave: Agricultura digital, Agricultura de precisão, Drone, Random Forest, VANT,

## 1 INTRODUÇÃO

O controle químico é o método mais utilizado para controle de plantas daninhas em lavouras de soja, pela sua eficácia, conveniência e viabilidade de custos (Silva et al. 2021). O glifosato representa 60% do mercado mundial de herbicidas não seletivos, geralmente aplicado de forma excessiva em lavouras com cultivares geneticamente modificadas. Na última década identificaram-se treze espécies resistentes a glifosato e várias tolerantes em cultivos de soja, situados em diferentes regiões brasileiras (Kalsing et al. 2020).

A resistência é uma habilidade geneticamente herdada de sobreviver a determinados tratamentos químicos que em condições normais seriam letais (Jones et al. 2022). Ao passo que a tolerância abrange características inatas da espécie, de atributos anatômicos, morfológicos e/ou fisiológicos (Placido et al. 2022). Em diversos estados brasileiros tem-se constado o aumento da ocorrência de espécies tolerantes a glifosato, como, a *Spermacoce verticillata*, que se não manejada adequadamente pode vir a se tornar uma espécie resistente (Albrecht et al. 2022).

A *S. verticillata* é uma planta daninha herbácea, perene, nativa do Brasil, pertencente à família Rubiaceae, popularmente conhecida por vassourinha-de-botão. Esta espécie tem apresentado redução no controle com glifosato, principalmente em estádios fenológicos mais avançados, com 4-6 folhas ou na floração. Nestas fases fenológicas, a superfície adaxial das folhas apresenta menos estômatos e mais tricomas, o que pode resultar numa menor absorção de herbicidas (Fadin et al. 2018).

O manejo antecipado torna-se crucial para uma ação mais eficiente de herbicidas em fases fenológicas juvenis de plantas daninhas tolerantes ou resistentes. Contudo, em condições de baixa eficiência de controle, quando tornam-se necessárias novas aplicações, o mapeamento pode auxiliar no controle localizado e redução do uso

excessivo de herbicidas, potencialmente minimizando seus danos ambientais e à saúde humana (Raja et al. 2023).

O mapeamento de plantas daninhas é o primeiro passo para implementação do controle localizado, que tem se expandido com o uso de tecnologias de sensoriamento remoto, principalmente em lavouras anuais (Mohidem et al. 2018). Esta técnica visa melhorar a eficiência do controle, direcionando de forma precisa a aplicação de herbicidas apenas nas áreas infestadas, sendo uma excelente alternativa para catações químicas, controle seletivo e prevenção de biótipos resistentes (Rocha et al. 2015).

O uso de VANT's (Veículo Aéreo Não Tripulados) tem oportunizado melhorias no mapeamento de áreas agrícolas, pois comportam sensores e superaram limitações das plataformas terrestres, aéreas tripuladas e orbitais, para diferentes finalidades de manejo agrícola. Podem acessar ambientes de difícil acesso, operar em condições nubladas e obter informações centimetricamente detalhadas (Kawamura et al. 2021).

Os VANT's podem fornecer preciosa fonte de dados para auxiliar sistemas de mapeamento e manejo de plantas daninhas, comparativamente a métodos convencionais, como o método do quadrado inventário, que demanda equipes treinadas e pode ser uma tarefa desafiadora em grandes extensões, especialmente sob condições climáticas desfavoráveis. Este é um método oneroso, que para representação precisa da área, demanda uma elevada quantidade de amostras, tempo e recurso humano (Saha et al. 2018).

A inteligência artificial aliada ao uso de VANT's permite que o agente classificador treine uma plataforma classificadora e relacione as informações contidas nos pixels de imagens aéreas a determinada classe pré-estabelecida. Dentre os métodos de classificação, o método supervisionado Random Forest cria uma série de árvores de decisão e combina suas classificações para determinação da categoria. Este método é

caracterizado como um algoritmo típico de Bootstrap Aggregation, também conhecido como Bagging (Leite et al. 2021).

Diante do exposto, objetivou-se (1) analisar a variabilidade espacial de *S. verticillata* com métodos convencionais e inteligência artificial, (2) estimar a precisão dos métodos de mapeamento (3) recomendar alternativas eficazes para o manejo sustentável de plantas daninhas tolerantes ou resistentes a herbicidas em lavoura de soja.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em lavoura comercial de soja, situada no município de Mata Roma (3°44'27.13" Sul, 43°9'51.91" Oeste), mesorregião leste, Maranhão, Brasil. O clima do município é classificado como tropical quente e úmido (Aw), cujos dados meteorológicos durante o período de estudo, abrangeram precipitação pluviométrica acumulada de 488,4 mm, temperatura máxima de 28,43 °C e temperatura mínima de 27,19 °C.

O talhão foi selecionado pelo histórico de manejo sucessivo com glifosato há mais de 10 anos e aumento da ocorrência de *S. verticillata* nos últimos 3 anos. O solo foi classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico, cujas características químicas abrangeram na camada de 0-10 cm: potencial hidrogeniônico (pH) – 5,2 CaCl<sub>2</sub>; fósforo (P) - 1,9 mg dm<sup>-3</sup>; matéria orgânica (M.O.) - 1,9 dag kg<sup>-1</sup>; soma de bases (SB) – 2,0 cmol dm<sup>-3</sup>; saturação por bases (V) – 54%.

Entre os meses de maio e novembro, o talhão foi cultivado com *Urochloa ruziziensis* na taxa de 4 kg de sementes ha<sup>-1</sup>, em plantio a lanço. Aos 60 dias antes da semeadura da soja (DAS), a área foi dessecada com glifosato (2.160 g e.a. ha<sup>-1</sup>). Aos 12 DAS foi gradeada e aos 3 DAS pulverizada com glifosato (1.152 g e.a. ha<sup>-1</sup>) + imazetapir/flumioxazina (100 g e.a. ha<sup>-1</sup> + 50 g i.a. ha<sup>-1</sup> – Kyojin®). A semeadura da soja

foi realizada na última semana de janeiro de 2023, utilizando a cultivar Pampeana 9310 com população de 260.000 pl ha<sup>-1</sup>.

O levantamento convencional foi realizado em dois períodos, (I) – em pré-semeadura da soja: 34 dias antes; (II) – em pós-semeadura da soja: 24 dias depois. Este último período ocorreu dentro da fase crítica de controle de plantas daninhas na cultura da soja. Utilizou-se o método do quadrado inventário, alocando-se um quadrado de 1,0 m x 1,0 m, em 100 amostras georreferenciados, dispostas em malha regular, com transecto de 20 m x 20 m, distribuído em 4 posições de percurso e 25 amostragens por percurso (Figura 2).

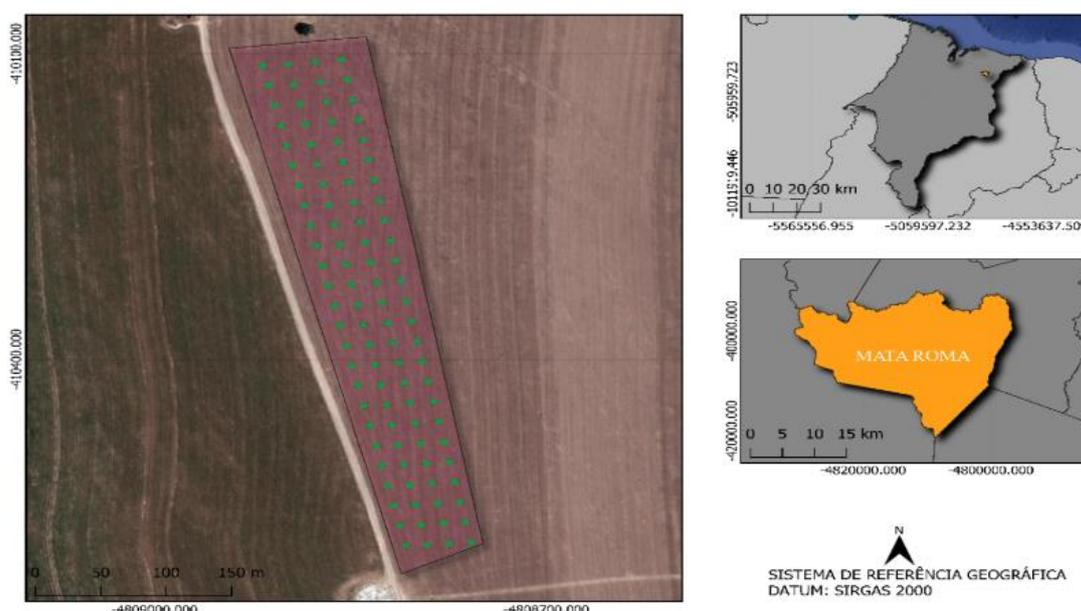


Figura 1. Mapas de localização do estado do Maranhão.

Os dados foram analisados por estatística descritiva e geoestatística. Os procedimentos da estatística descritiva abrangeram a estimativa da média aritmética ( $\bar{x}$ ), desvio padrão ( $s$ ), variância ( $S^2$ ), coeficiente de variação (CV) e índice de dispersão (ID). O índice de dispersão foi obtido pelo quociente entre a variância e média aritmética.

A variabilidade espacial de *S. verticillata* foi mapeada por geoestatística, através da estimativa da semivariância e modelagem de dados espaciais de densidade, seguida da interpolação por krigagem, com uso do software GS+. Os resultados foram expressos em

mapas de superfície e para fins de comparação, adotaram-se os limites de coeficiente de variação, que permitiram classificar a variabilidade em fraca ( $CV < 12\%$ ), moderada ( $12\% < CV < 60\%$ ) e forte ( $CV > 60\%$ ) (Warrick e Nielsen, 1980). O semivariograma foi representado pelo gráfico da variância versus distância (Equação 1):

Equação 1. Semivariograma

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(\chi_i) - Z(\chi_i + h)]^2 \quad (\text{Equação 1})$$

Foram testados os modelos gaussiano e esférico, para em seguida selecionar-se o modelo de maior relação entre a semivariância experimental e a distância  $h$ . Para isto, utilizou-se a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR), maior grau de dependência espacial (GDE) e maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Posteriormente, determinaram-se o efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_i$ ) e alcance ( $A$ ). O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado através da razão entre o efeito pepita e a linha de base ( $C_i/C_0 + C_i$ ), em fraco ( $GDE < 25\%$ ), moderado ( $25 < GDE < 75\%$ ) e forte ( $GDE > 75\%$ ) (Zimback, 2001).

Em seguida, realizou-se a técnica de krigagem ordinária para interpolação dos valores em locais não amostrados. Essa técnica fundamentou-se numa média móvel ponderada de amostras vizinhas, estimadas pela Equação 2 (Oliveira e Junior, 2020).

$$\hat{z}(\chi_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(\chi_i) \quad (\text{Equação 2})$$

O mapeamento aéreo com VANT foi realizado de forma simultânea ao levantamento convencional, em pré e pós-semeadura da soja. O planejamento de voo foi realizado pelo aplicativo PIX4D® instalado em um smartphone. A coleta de imagens foi realizada por uma câmera RGB, embarcada num drone DJI Phantom 4, controlado de forma remota e com baterias inteligentes. A câmera possuía um sensor ótico de 1” (CMOS), com pixels efetivos de 20M. A lente tinha um FOV  $84^\circ$  8,8 mm/24mm (formato

equivalente a 35 mm) f/2.8-f/11 e uma distorção <1,5% de foco de 1 m a  $\infty$ , alcance de ISO de 100 a 3200 para fotografias, gerando imagens com dimensões de 4864 x 3648.

Os voos foram realizados de forma autônoma em dias ensolarados, entre às 11:00 a.m. e 12:00 a.m., que definido como o melhor horário devido à quantidade de iluminação natural. A altitude de voo foi de 30 metros, velocidade de 3,0 m s<sup>-1</sup>, taxa de sobreposição horizontal de 60%, taxa de sobreposição longitudinal de 70%.

O pré-processamento das imagens aéreas foi realizado com o software SfM®, ao passo que o processamento, pelo software QGIS®. Neste software utilizou-se o método de classificação supervisionada Random Forest através do plugin dzetsaka, que é um algoritmo de inteligência artificial, que permite lidar com conjuntos de dados extensos. Em pré-semeadura, a classificação foi agrupada em três classes: solo exposto (cor vermelha), palhada (cor amarela) e BOIVE (cor verde escuro), ao passo que em pós-semeadura, as classes abrangeram solo exposto (cor vermelha), cultura da soja (verde claro) e BOIVE (verde escuro). A sigla BOIVE foi utilizada para identificação da planta daninha *Spermacoce verticillata*, em consonância com a classificação da European e Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO Global Code Database).

Para aferição da acurácia da classificação supervisionada procedeu-se com a estimativa da acurácia global e o coeficiente Kappa, conforme as equações 3 e 4, respectivamente, (CONGALTON e GREEN, 2019):

$$\text{Accuracy} = \frac{(\text{TP} + \text{TN})}{(\text{TP} + \text{FP} + \text{TN} + \text{FN})} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\mathcal{K} = \frac{\sum_{i=1}^c X_{ii} - \sum_{i=1}^c X_{i+x+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c X_{i+x+i}} \quad (\text{Equação 4})$$

Os valores de Kappa, nível de concordância e porcentagem de confiabilidade foram plotados na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do coeficiente Kappa com base no nível de concordância e acurácia.

Valor de Kappa	Nível de concordância	Acurácia (%)
0,00 – 0,20	Nenhum	0,0 – 4,0
0,21 – 0,39	Mínimo	4,1 – 15,0
0,40 – 0,59	Fraco	15,1 – 35,0
0,60 – 0,79	Moderado	35,1 – 63,0
0,80 – 0,90	Forte	63,1 – 81,0
Acima de 0,90	Quase perfeito	81,1 – 100

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Spermacoce verticillata* apresentou densidade média de 5,51 e 2,10 indivíduos por metro quadrado, em pré e pós-semeadura da soja, respectivamente, com uma redução de 38,11% na população, entre os dois levantamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Indicadores descritivos estimados pelo método de levantamento convencional, com base na densidade de *Spermacoce verticillata*, em pré-semeadura e pós-semeadura da soja.

Amostragem	Indicadores descritivos				
	X	S	S <sup>2</sup>	CV	ID
Pré-semeadura	5,51	5,70	32,49	103,45	5,90
Pós-semeadura	2,10	2,68	7,18	127,62	3,42

x= Média; S= Desvio padrão; S<sup>2</sup>= variância; CV= Coeficiente de variação (%); ID= índice de dispersão.

Nas duas avaliações houve forte variabilidade espacial com CV > 60% e ID > 1,0, resultando numa distribuição agregada (em reboleiras) (Tabela 2). A presença de alta variabilidade é comum em estudos com plantas daninhas devido a ocorrência de amostras

com alta infestação e outras com baixa ou nenhuma (Santos et al. 2015). Este tipo de ocupação pode oportunizar a implementação da pulverização localizada de herbicidas, que permite o uso mais sustentável de insumos e recursos naturais (Ávila et al. 2019).

Segundo Rocha et al. (2015), os indicadores descritivos não permitem o mapeamento de plantas daninhas, pois o coeficiente de variação e índice de dispersão infere apenas sobre a distribuição quantitativa dos dados. Assim, para fins de mapeamento utilizaram-se alguns modelos e indicadores geoestatísticos, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Modelos e parâmetros dos semivariogramas de *Spermacoce verticillata*, em pré-semeadura e pós-semeadura da soja.

Amostragem	Geoestatística						
	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>i</sub>	Alcance	GDE (%)	R <sup>2</sup>	SSR
Pré-semeadura	Gaussiano	0,10	32,24	34,64	99,70	0,70	171,00
Pós-semeadura	Esférico	0,20	6,00	46,80	96,70	0,63	9,98

C<sub>0</sub>= Efeito pepita; C<sub>0</sub>+C<sub>i</sub>= Patamar; A= Alcance; GDE = Grau de dependência espacial (%); R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação; SSR= Soma dos quadrados dos resíduos.

O modelo gaussiano obteve o melhor ajuste para avaliação em pré-semeadura, ao passo que o modelo esférico para pós-semeadura. Rocha et al. (2015) também obtiveram melhor ajuste com modelo esférico em estudo da variabilidade espacial das espécies *Conyza spp.* e *Eleusine indica* no Paraná. Segundo estes autores, o modelo esférico apresenta um intervalo em que a semivariância se torna constante, ou seja, limitando a sua área de influência para cada uma das amostras. Isto pode estar relacionado à redução da densidade de *S. verticillata* no segundo levantamento, possivelmente por eficiência das operações de manejo realizadas no talhão, entre as duas amostragens.

Ambas as amostragens apresentaram forte grau de dependência espacial, estimado entre 99,7 a 99,9%, respectivamente. A *S. verticillata* apresentou distribuição espacial

heterogênea, com baixo efeito pepita, validando os métodos amostrais utilizados no levantamento convencional, especialmente no que concerne ao número de amostras e transecto. Um dos fatores que limitam o uso de agricultura de precisão é o número de amostras, a qual deve ser a maior possível e espacialmente dependente, a fim de produzir resultados confiáveis na construção de zonas de manejo por técnicas de krigagem (Ferreira et al. 2019).

Neste aspecto, as densidades de *S. verticillata* foram interpoladas para a construção de mapas de variabilidade espacial, os quais auxiliaram na interpretação da relação espacial e implementação do controle localizado por zonas de infestação. A escala de cores do mapa interpolado de *Spermacoce verticillata*, em pré-semeadura (Figura 2A) e pós-semeadura da soja (Figura 2B) variou do verde escuro ao vermelho. O verde escuro expressou nenhuma ou baixa densidade (0 a 1 e 0 a 2 pl m<sup>-2</sup>, respectivamente), ao passo que a cor vermelha exibiu picos de densidade (21 a 27 pl m<sup>-2</sup> e 8 a 11 pl m<sup>-2</sup>, respectivamente).

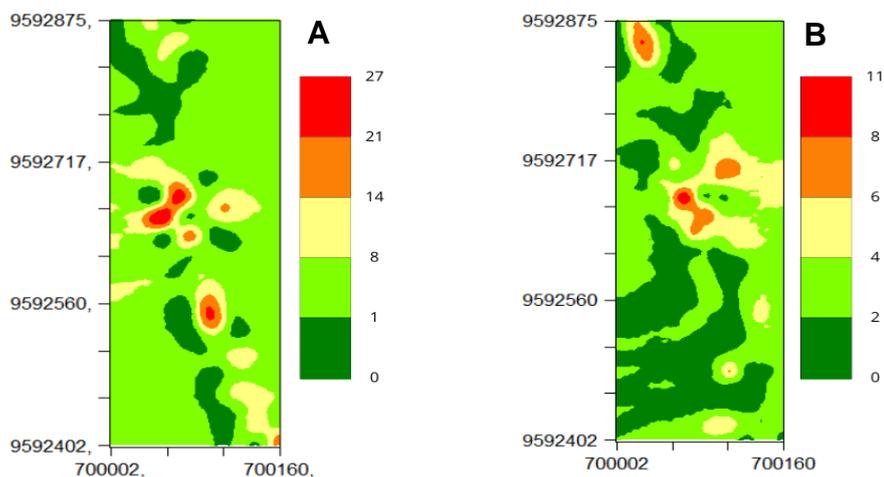


Figura 2. Mapas interpolados da variabilidade espacial de *Spermacoce verticillata* em pré-semeadura (2A) e pós-semeadura (2B) da soja. Os resultados foram em densidade absoluta (pl m<sup>-2</sup>).

Em pré-semeadura, observou-se a sua ocorrência em expressiva extensão do talhão, com picos de 27 pl m<sup>-2</sup>. Estes picos situaram-se bem próximos a zonas médias de 14 e 21 pl m<sup>-2</sup>, em coloração alaranjada, o que possivelmente incrementou o banco de sementes nestas zonas. A *S. verticillata* é uma planta daninha rústica, com alta produção de sementes, rápida dispersão, sementes ortodoxas, tolerantes a dessecação e fotoblásticas neutras, que não dependem da luz para germinação (Albrecht et al. 2022).

Em pós-semeadura, observou-se predominância de manchas de coloração verde escuro ao verde claro, com densidades de 0 a 4 pl m<sup>-2</sup>. Os picos sofreram redução de aproximadamente 40,74%, em relação à pré-semeadura, certamente pela implementação do controle químico em mistura com glifosato. Albrecht et al. (2022), Kalsing et al. (2020) e Martins & Christoffoleti (2014) obtiveram efeitos sinérgicos em combinações de inibidores da Protox e ALS, com glifosato (inibidor da EPSP<sub>s</sub>), para manejo de plantas daninhas do gênero *Spermacoce sp.*, em consonância com os resultados do presente estudo.

Em pré-semeadura, as imagens aéreas abrangeram informações sobre a ocorrência de *S. verticillata* (BOIVE – verde) e, adicionalmente, solo exposto (vermelho) e palhada (amarelo) (Figura 3).

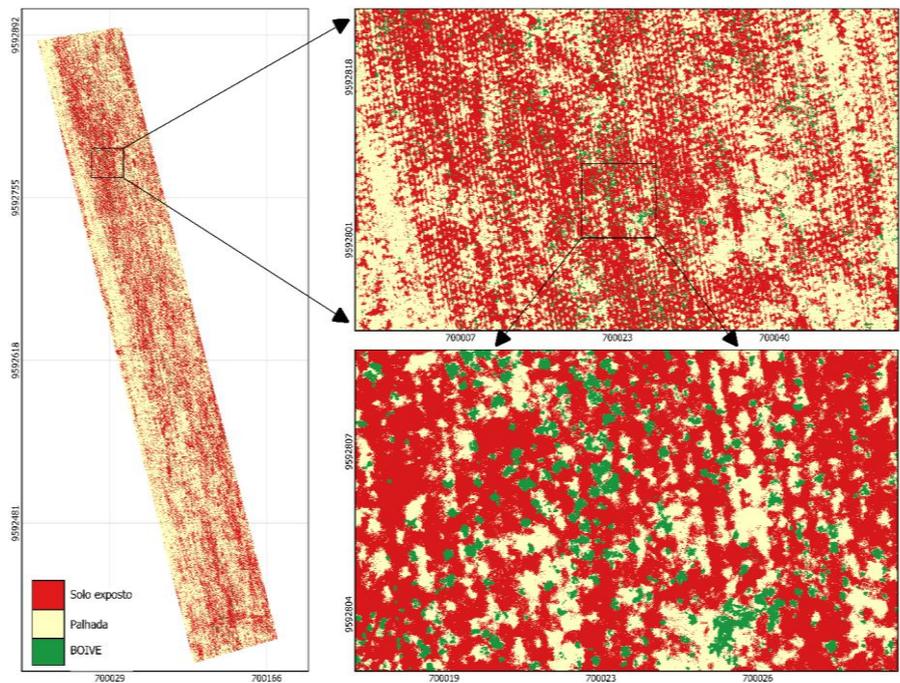


Figura 3. Mapa de ocorrência de *Spermacoce verticillata* (BOIVE), em pré-semeadura da soja, através de imagens aéreas obtidas por VANT e inteligência artificial, pelo método de classificação supervisionada Random Forest.

Estimaram-se Índice Kappa de 0,991 e acurácia de 99,5%, com nível de concordância categorizado em “quase perfeito”. A excelente acurácia do VANT pode viabilizar um manejo mais sustentável de plantas daninhas com herbicidas, resultando na redução de pulverizações sequenciais, por conseguinte, na mitigação de seleção de biótipos resistentes, custos de produção, impactos ambientais e danos à saúde humana (Quan et al. 2019; Yu et al. 2019). Além de prevenir perdas substanciais em produtividade e qualidade do produto agrícola (Jin et al. 2022; Shah et al. 2021).

Através da classificação supervisionada pelo método Random Forest foi possível estimar 2,35% de ocupação para *S. verticillata* (BOIVE), 36,35% para palhada e 61,3% para solo exposto (Figura 4).

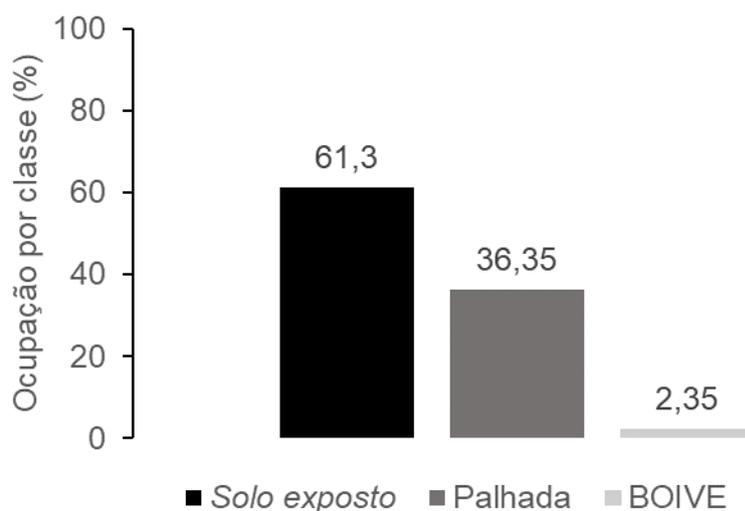


Figura 4. Estimativa dos valores de solo exposto, palhada e *Spermacoce verticillata* (BOIVE) com base na classificação Random Forest de imagens aéreas obtidas por VANT, em pré-semeadura da soja.

Estes resultados apontam para dois aspectos importantes: 1 – pode estar havendo desperdício de tempo e insumos com a catação química de *S. verticillata* em área total, uma vez que ela está presente em apenas 2,35% do talhão, em reboleiras espaçadas; 2 – embora esteja em baixa infestação, a *S. verticillata* precisa ser efetivamente controlada, pois é uma planta daninha agressiva que emerge até em pontos cobertos por palhada (fotoblastismo neutro).

No levantamento aéreo realizado em pós-semeadura da soja estimou-se um Índice Kappa de 0,918, acurácia de 96,30% e nível de concordância “quase perfeito”, em anuência com a precisão obtida em pré-semeadura. Desta forma, foi possível mapear a *S. verticillata* com excelente precisão em ambos os períodos estudados (Figura 5).

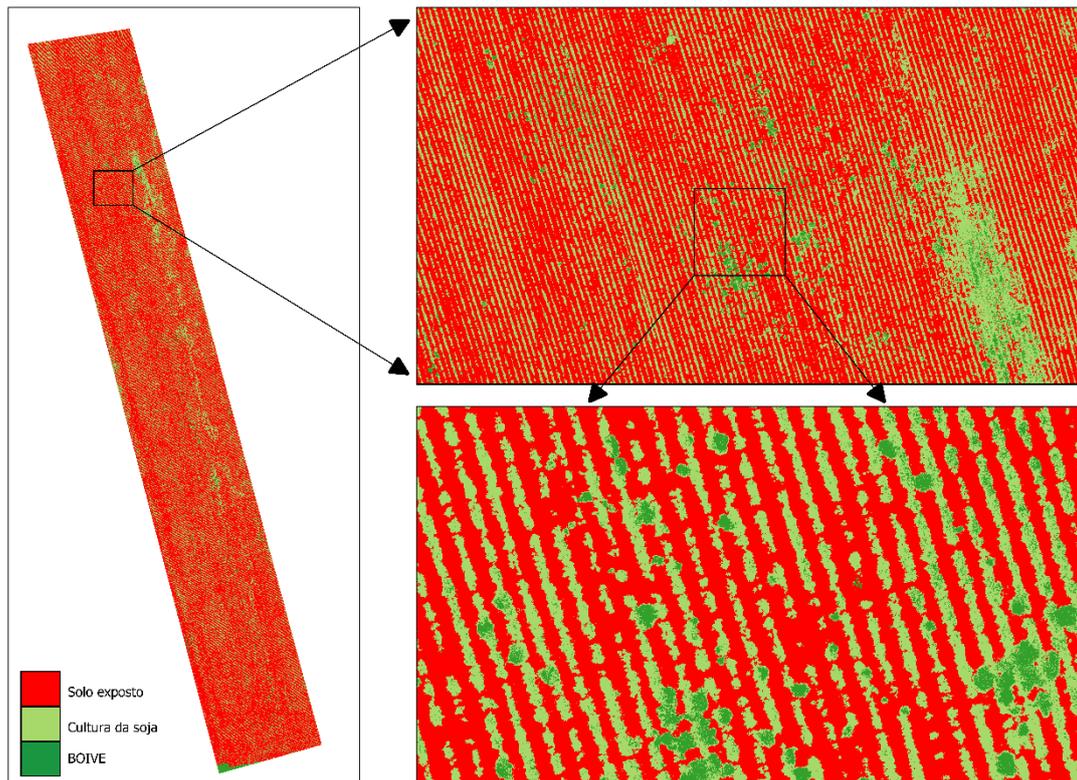


Figura 5. Mapa de ocorrência de *Spermacoce verticillata* (BOIVE) em pós-semeadura da soja, através de imagens aéreas obtidas por VANT e técnicas de inteligência artificial pelo método supervisionado Random Forest.

As câmeras RGB operam dentro da faixa de luz visível, nos comprimentos de onda de 400 a 700 nm. Quando se utiliza uma técnica de fotointerpretação, as imagens em RGB fornecem informações por meio de índices, permitindo a avaliação de alguns aspectos de manejo previamente selecionados (Kawamura et al. 2021; Hentz et al. 2018). Dessa forma, o emprego de técnicas da inteligência artificial permitiu selecionar plantas de interesse econômico (soja), plantas daninhas e solo exposto. O cruzamento de informações obtidas pelo levantamento convencional e levantamento aéreo permite afirmar que a *S. verticillata* foi a única espécie presente no talhão, demonstrando um difícil manejo.

Ao longo do mapa observam-se vários pontos de infestação, inclusive com povoamentos sobre as linhas de semeadura, possivelmente pelas vantagens competitivas da *S. verticillata* sobre a cultura da soja. A instabilidade na janela de semeadura por aspectos climáticos e abertura de novas áreas exigem aumento da velocidade operacional, o que pode ocasionar espaçamentos falhos ou duplos, profundidade inadequada, emergência desuniforme e, por conseguinte, desfavorecimento da competição da soja com plantas daninhas (Ferreira et al. 2023). Assim, falhas operacionais de semeadura e no manejo de plantas daninhas podem ter contribuído para maiores interferências de *S. verticillata*, em pós-semeadura.

Estimou-se uma ocupação de 2,43% pela *S. verticillata* (BOIVE), 36,43% para cultura da soja e 61,3% de solo exposto (Figura 6).

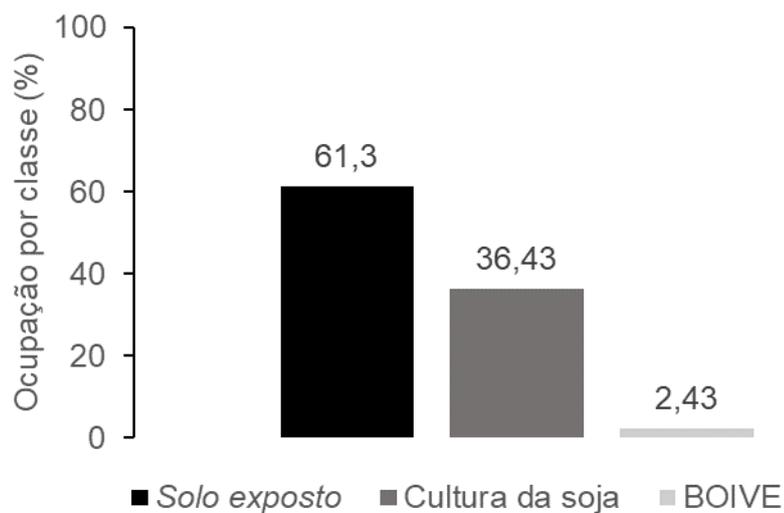


Figura 6. Estimativa dos valores de cultura (soja) e *Spermacoce verticillata* (BOIVE), com base na classificação do ortomosaico de imagens aéreas obtidas por VANT, em pós-semeadura da soja.

Segundo Silva et al. (2015), a cultura da soja possuiu um período anterior à interferência (PAI), geralmente compreendido até os 20 dias após a emergência. Assim, a presença de *S. verticillata* (BOIVE), posteriormente a este período, dentro do Período Crítico de Prevenção à

Interferência (PCPI) pode ter ocasionado prejuízos sobre potencial produtivo da lavoura, em consonância com os resultados apresentados por Vargas et al. (2018).

#### **4 CONCLUSÃO**

A *S. verticillata* apresentou expressivos valores de variabilidade espacial, índice de dispersão e dependência espacial, com uma distribuição contagiosa (reboleiras espaçadas) e picos de até 27 pl m<sup>-2</sup>. Os métodos convencional e aéreo com VANT foram efetivos no mapeamento de planta daninha, fornecendo subsídios que viabilizam a implementação da pulverização localizada de *S. verticillata*, principalmente em pré-semeadura da soja, em estudos futuros.

Recomenda-se o uso do mapeamento aéreo e classificação Random Forest por serem métodos viáveis para grandes extensões e recomendações rápidas, tais como demandados no cotidiano de empresas agrícolas para cultura da soja.

## 5 REFERÊNCIAS

- AVILA, Í. A. M.; HURTADO, S. M. C.; JEZUS, G. C.; SILVA, G. C.; REZENDE, M. M. *Soil attributes and weed seedbank spatial correlation*. Bioscience Journal, v. 35, p. 1871-1877, 2019.
- ALBRECHT, A. J. P.; LORENZETTI, J. B.; ALBRECHT, L. P.; DANILUSSI, M. T. Y.; BARROSO, A. A. M.; SILVA, A. F. M. *Herbicide efficacy on *Spermacoce verticillata* control and selectivity for maize plants*. Weed Control J, v. 21, e202200769, 2022.
- CASTILHO, J.; FORTI, V. A.; MONQUERO, P. A. *Biology and non-chemical management of *Spermacoce verticillata* and *Spermacoce densiflora**. Renew Agriculture Food System, v. 37, p. 103-112, 2022.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. 3<sup>a</sup>. ed. CRC Press, 2019. Cap. 8, p. 127-143.
- FADIN, D. A.; TORNISIELO, V. L.; BARROSO, A. A. M.; RAMOS, S.; REIS, F. C. D.; MONQUERO, P. A. *Absorption and translocation of glyphosate in *Spermacoce verticillata* and alternative herbicide control*. Weed Research, v.58, n. 5, p. 389-396, 2018. doi:10.1111/wre.12329
- FERREIRA, G. A.; MISKIW, E.; SUSZEK, G.; DE LIMA, M. *Spatial variability of weeds in direct planting area in the municipality of Nova Andradina-MS*. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 6, p. 163–176, 2023.
- FERREIRA, L. O.; ARAÚJO, G. S.; CARVALHO, I. R.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S.; CARNEVALE, A. B.; CURVÊLO, C. R. S.; PEREIRA, A. I. A. *Cause and effect estimates on corn yield as a function of tractor planting speed*. Journal of Experimental Agriculture International, p. 1-7, 2019.

HENTZ, Â. M. K.; DALLA CORTE, A. P.; NETTO, S. P.; STRAGER, M. P.; SCHOENINGER, E. R. *Treedetection: Automatic tree detection using UAV-based data*. Floresta, n. 48, v. 3, p. 393-402, 2018.

JIN, X.; SUN, Y.; CHE, J.; BAGAVATHIANNAN, M.; YU, J.; CHEN, Y. *A novel deep learning- based method for detection of weeds in vegetables*. Pest Management Science, p. 6804, 2022.

JONES, E. A.; AUSTIN, R.; DUNNE, J. C.; CAHOON, C. W.; JENNINGS, K. M.; LEON, R. G.; EVERMAN, W. J. *Utilization of image-based spectral reflectance to detect herbicide resistance in glufosinate-resistant and glufosinate-susceptible plants: a proof of concept*. Weed Science, v.71, p. 11-21, 2022.

KALSING, A.; ROSSI, C.V.S.; LÚCIO, F. R.; MINOZZI, G. B.; GONÇALVES, F. P.; VALERIANO, R. *Efficacy of control of glyphosate-tolerant species of the Rubiaceae family through double-knockdown applications*. Planta Daninha, v. 38, p. e020190700, 2020.

KAWAMURA, K.; ASAI, H.; YASUDA, T.; SOISOUVANH, P.; PHONGCHANMIXAY, S. *Discriminating crops/weeds in an upland rice field from UAV images with the SLIC-RF algorithm*. Plant Production Science, 24.2: 198-215, 2021.

LEITE, D. R. A.; MORAES, R. M. de; LOPES, L. W. *Método de Aprendizagem de Máquina para Classificação da intensidade do desvio vocal utilizando Random Forest*. Journal of Health Informatics, Brasil, v. 12, 2021.

MARTINS, B. A. B.; CHRISTOFFOLETI, P. J. *Herbicide efficacy on Borreria densiflora control in pre and post-emergence conditions*. Planta Daninha, v. 32, p. 817-825, 2014.

MOHIDEM, N. A.; HASHIM, Z.; OSMAN, M.; SHAHARUDIN, R.; MUHARAM, F. M.; MAKESWARAN, P. *Demographic, socio-economic and behavior as risk factors of*

*tuberculosis in Malaysia: a systematic review of the literature*. Reviews on Environmental Health, v. 33 p. 407-421, 2018.

OLIVEIRA, A. S. D., & JÚNIOR, W. B. L. *Estimativa de recursos, utilizando o método de krigagem ordinária, para o depósito de terras raras área zero, araxá (mg)*. Geosciences= Geociências, 39(2), 361-377, 2020.

QUAN, L.; FENG, H. Q.; YINGJIE, N.; WANG, Q. *Maize seedling detection under different growth stages and complex field environments based on an improved Faster R-CNN*. Biosystems Engineering, v. 184, p. 1–23, 2019.

RAJA, R.; SLAUGHTER, D.; FENNIMORE, S. A.; SIEMENS, M. C. *Real-time control of high-resolution micro-jet sprayer integrated with machine vision for precision weed control*. Biosystems Engineering, v. 228, p. 31–48, 2023.

ROCHA, F. C.; NETO, S. O.; BOTTEGA, E. L.; GUERRA, N.; ROCHA, R. P.; VILAR, C. C. *Weed mapping using techniques of precision agriculture*. Planta Daninha, v. 33, p. 157-164, 2015.

ROCHA, F. C.; OLIVEIRA NETO, A. M.; BOTTEGA, E. L.; GUERRA, N.; ROCHA, R. P.; VILAR, C. C. *Weed mapping using techniques of precision agriculture*. Planta daninha, v. 33, n. 1, p. 157–164, 2015.

SANTOS, W. F.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. G.; FERNANDES, M. F.; BARROSO, A. L. L. *Influence of glyphosate herbicide in the weed community in the agricultural region of Rio Verde, Goiás*. Revista Brasileira de Herbicidas, 14.1: 1-14, 2015.

SHAH, T. M.; NASIKA, D. P. B.; OTTERPOHL, R. *Plant and weed identifier robot as an agroecological tool using artificial neural networks for image identification*. Agriculture, v. 11, p. 222, 2021.

SILVA, A. A. P.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N.; HELVIG, E. O.; MACIEL, C. D. G. *Períodos de interferência entre plantas daninhas e a cultura da soja RR na região centro ocidental paranaense*. *Planta Daninha*, v. 33, p. 707-716, 2015.

SILVA, M. S.; COSTA, T. V.; FURTADO, J. A. L.; SOUZA, J. B. C.; SILVA, E. A.; FERREIRA, L. S.; SILVA, C. A. A. C.; ALMEIDA, E. I. B.; SOUSA, W. S.; OLIVEIRA, L. B. T.; FREITAS, J. R. B.; OLIVEIRA, J. T. *Performance of pre-emergence herbicides in weed competition and soybean agronomic components*. *Australian Journal of Crop Science*, v. 15, n. 4, p. 610-617, 2021.

VARGAS, L. A.; PASSOS, A. M. A.; KARAM, D. *Allelopathic potential of cover crops in control of shrubby false buttonweed (*Spermacoce verticillata*)*. *Planta Daninha*, v. 36, p.e018173359, 2018.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. *Spatial variability of soil physical properties in the field*. In:HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. p. 319-344.

YU, J.; SHARPE, S. M.; SCHAUMANN, A. W.; BOYD, N. S. *Detection of broadleaf weeds growing in turfgrass with convolutional neural networks: precision weed control in turfgrass landscape*. *Pest Management Science*, v. 75, p. 2211–2218, 2019.

Zimback, C. R. L. *Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade*. Botucatu: FCA/UNESP, p. 114, 2001.