

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WALTER JORDAO MARTINS

IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS ATRAVÉS DE
ANÁLISES DE IMAGENS REALIZADAS POR ARP: UMA REVISÃO.

CURITIBA

2023

WALTER JORDÃO MARTINS

IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS ATRAVÉS DE
ANÁLISES DE IMAGENS REALIZADAS POR ARP: UMA REVISÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Fitossanidade, Setor de Ciência Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como
requisito parcial à obtenção do título de
Especialista em Fitossanidade.

Orientador: Professor Arthur Arrobas Martins Barroso.

CURITIBA

2023

RESUMO

O seguinte trabalho consiste em uma revisão sistemática que aborda a aplicação de drones na identificação e pulverização localizada de herbicidas em plantas daninhas na agricultura de precisão. Os drones, também conhecidos como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), têm se mostrado uma opção vantajosa e acessível para a agricultura moderna, impulsionada por redução de custos operacionais e avanços tecnológicos. O objetivo principal desta revisão foi examinar o estado atual da tecnologia em relação à identificação de plantas daninhas por meio de análise de imagens, com uso de drones para aplicação precisa de herbicidas. Foram estabelecidos objetivos específicos, tais como verificar a proximidade da tecnologia em permitir aplicações localizadas com identificação em tempo real de plantas daninhas por meio de drones de pulverização e avaliar a necessidade de estudos acadêmicos adicionais nessa área. A revisão destaca a relevância do uso de algoritmos de aprendizado de máquina, *deep learning* e processamento de imagens, que juntas possibilitam a detecção e classificação precisa das plantas daninhas. Vários algoritmos foram testados em diferentes culturas, apresentando resultados promissores com acurácia superior a 90%. Adicionalmente, o estudo discute a importância de *frameworks* e sistemas inteligentes para automatizar o processo de detecção e pulverização. Os pesquisadores enfatizam a necessidade do desenvolvimento de algoritmos específicos para diferentes condições ambientais, a fim de garantir eficácia na aplicação localizada. No entanto, desafios significativos são identificados, incluindo a precisão na identificação de alvos em condições reais, a aplicação seletiva de herbicidas e a otimização do uso da bateria do drone para aumentar sua autonomia. Apesar dos avanços obtidos até o momento, os estudos indicam que são necessários mais experimentos em condições reais, considerando os fatores ambientais e práticos, para melhor compreensão e aplicação dessa tecnologia na agricultura de precisão.

Palavras-chave: identificação de plantas daninhas, Vant, Drone, aprendizado profundo, aplicação localizada.

ABSTRACT

The following work consists of a systematic review that addresses the application of drones in the identification and localized spraying of herbicides on weeds in precision agriculture. Drones, also known as Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) or Remotely Piloted Aircraft (RPA), have proven to be an advantageous and affordable option for modern agriculture, driven by reduced operational costs and technological advances. The main objective of this review was to examine the current state of technology regarding weed identification through image analysis, using drones for precise herbicide application. Specific objectives were set, such as verifying the proximity of the technology in enabling localized applications with real-time identification of weeds through spraying drones and assessing the need for further academic studies in this area. The review highlights the relevance of using machine learning, deep learning and image processing algorithms, which together enable accurate weed detection and classification. Several algorithms have been tested on different crops, showing promising results with accuracy higher than 90%. Additionally, the study discusses the importance of frameworks and intelligent systems to automate the detection and spraying process. The researchers emphasize the need for the development of specific algorithms for different environmental conditions in order to ensure effectiveness in localized application. However, significant challenges are identified, including accuracy in identifying targets in real conditions, selective application of herbicides and optimizing the use of the drone's battery to increase its autonomy. Despite the advances obtained so far, studies indicate that more experiments in real conditions are needed, considering environmental and practical factors, for a better understanding and application of this technology in precision agriculture.

Keywords: weed identification, UAV, RPA, deep learning, spot spraying, site-specific weed management.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVOS	8
2.1	OBJETIVO GERAL	8
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	8
3	MATERIAIS E MÉTODOS	9
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1	IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS COM ALGORITMOS.....	11
4.2	APLICAÇÃO EM ARP	15
5	CONCLUSÃO	20
	REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

O surgimento dos drones na agricultura foi uma importante opção para a agricultura de precisão e vem sendo fortemente favorecida nos últimos anos, principalmente por diversos fatores como a redução dos custos operacionais, com preços mais acessíveis em relação à aeronave tripulada, pelo rápido avanço da tecnologia, com a utilização de materiais mais leves, sensores mais aprimorados, desenvolvimento de softwares, uso de sistemas globais de navegação mais precisos e avançados *links* de dados garantindo uma maior confiabilidade à ferramenta.

O nome popularmente conhecido como “drone” possui várias outras terminologias citadas na literatura. Uma delas mundialmente conhecida é a terminologia de “Veículo Aéreo Não Tripulado” (VANT), que segundo a Associação Brasileira de Aeromodelismo, por sua definição é: “um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, que foi projetado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo” (BERNARDI et al., 2014). Segundo os autores Sabino et al. (2022), outras terminologias mais comuns são empregadas na literatura como “Veículo Aéreo Autônomo” (UAV) e “Aeronave Remotamente Pilotada” (ARP), sendo que mais de um UAV podem trabalhar em conjunto num “Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada” (RPAS). Já os autores Bah et al. (2019) afirmam que UAVs podem detectar com precisão as lavouras infestadas com pragas e aplicar pesticidas direcionados ao invés de realizar uma pulverização total da área. Essa aplicação direcionada é fundamental, uma vez que as pulverizações tradicionais em larga escala podem acarretar graves problemas no meio ambiente e em lavouras vizinhas. Estes mesmos autores defendem a ideia de controle dessas pragas nas entrelinhas da cultura de interesse utilizando o mapeamento prévio por UAV.

Com o avanço da tecnologia computacional e de softwares modernos envolvendo “*machine learning*”, ou seja, aprendizagem de máquina através da criação de um modelo matemático (algoritmos) alimentado por uma rica base de dados e *deep learning* (aprendizagem profunda), descrita como um dos campos da Inteligência Artificial (IA) que podem avançar na detecção e controle

de plantas daninhas. Plantas daninhas são espécies que competem por luz, água e nutrientes com a cultura de interesse. Pelo uso de ARP podemos ter o objetivo de realizar um manejo localizado dessas plantas invasoras através da pulverização ou introdução de métodos mecânicos como a capina manual realizada por robôs.

Ao longo do tempo, surgiram vários estudos científicos afim de testar a possibilidade de realizar a identificação seguida de uma tomada de decisão automática (aplicação de herbicida localizado) destas plantas em tempo real com a utilização de UAVs multirotores visando um manejo mais adequado, preciso e econômico. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática destes estudos científicos, avaliando a viabilidade da utilização desta tecnologia atualmente e a realização de uma síntese de cada artigo encontrado destacando os principais pontos para dar maior entendimento desta nova tecnologia, que vem avançando cada vez mais, à sociedade acadêmica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Encontrar diferentes trabalhos na literatura que mostrem a evolução da tecnologia em identificar plantas daninhas a campo com a análise de imagens e de que forma essas imagens podem ser utilizadas por ARP para aplicação localizada de herbicidas.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Verificar o quanto a tecnologia atual está próxima em realizar aplicações localizadas com a identificação de plantas daninhas em tempo real com o uso da ARP de pulverização e verificar se há a necessidade de realizar mais trabalhos acadêmicos na área.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se a base bibliográfica Scopus para a busca de literatura disponível dos últimos 10 anos relacionada a identificação de plantas daninhas por drones. A base de dados foi acessada em 21 de março de 2023, através do portal de periódico da Capes e em seguida realizou-se a busca da literatura disponível com o uso das seguintes palavras-chaves: (drone*) AND (*weed identification*) encontrando-se apenas 7 publicações; (UAV*) AND (spot spraying) com 8 publicações; (RPAA*) com 5 e por último (*weed identification*) inicialmente com 279 artigos, que após uma filtragem prévia selecionando apenas as áreas de interesse, dentre as quais eram ciências biológicas e agrícolas, ciência computacional, engenharia, matemática, física e astronomia entre outras. Ao selecionar apenas as línguas inglês e português, o total de artigos foi reduzido para 150.

Visto que a palavra-chave "*weed identification*" quando utilizada isoladamente era a que buscava um maior número de artigos relacionados, esses 150 artigos encontrados foram selecionados e exportados para o formato de arquivo "CSV". Posteriormente, com o uso do software RStudio, utilizou-se o pacote "bibliometrix" e executou-se o comando "biblioshiny" o que possibilitou uma melhor análise das literaturas encontradas como um todo. A partir disso, gerou uma tabela com todos as literaturas encontradas de forma resumida, a taxa de crescimento anual utilizando-se esta palavra-chave foi de 10.31%, com 551 autores envolvidos nesse tema, com coautoria internacional de 14%, com outras 428 palavras-chave relacionadas e 4917 referências (Figura 1).

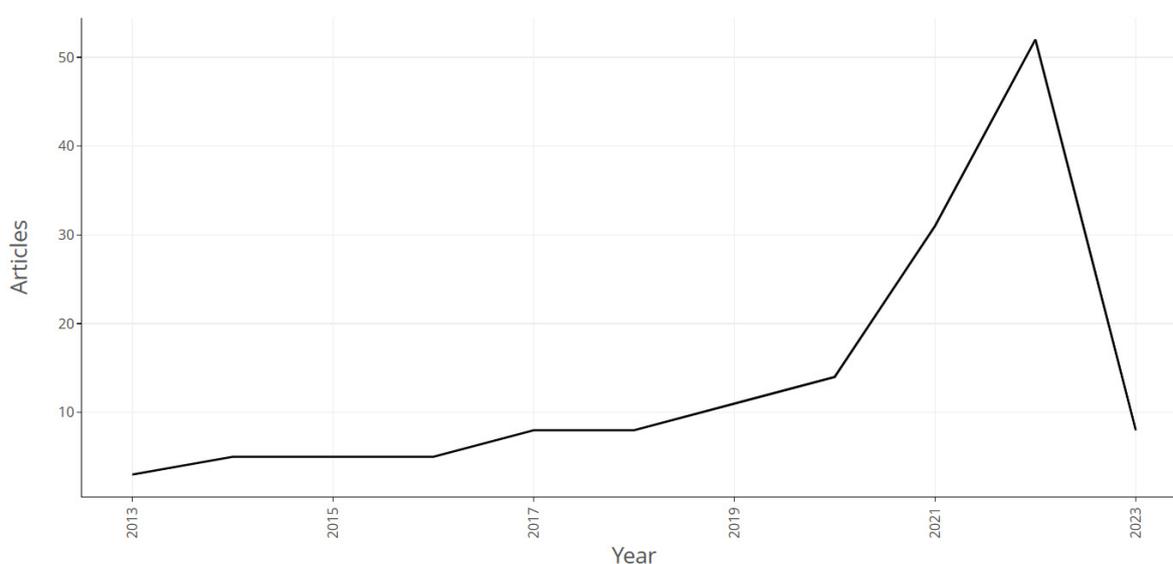
Figura 1 – Informações relevantes para a palavra-chave de busca: “*weed identification*”



Fonte: Imagem retirada do software RStudio

Na figura 2, observa-se que o tema foi mais intensamente explorado a partir do ano de 2020 com 14 publicações anuais, aumentando para 31 em 2021 e atingindo o seu pico em 2022 com o total de 52 publicações anuais.

Figura 2 – Produção anual científica da palavra-chave de busca: “*weed identification*”



Fonte: Imagem retirada do software RStudio.

Após realizadas as filtragens e análises dos artigos encontrados, optou-se por utilizar-se apenas artigos publicados em revistas e sites de livre acesso, reduzindo de 150 para 67 artigos. Somando aos demais artigos encontrados anteriormente com as outras palavras-chaves e selecionando os artigos através do título e leitura dos resumos, o total final foi de 15 artigos selecionados para realizar esta revisão. Este número, representou uma pequena parte do total de

artigos encontrados devido à alta especificidade e complexidade de vários artigos encontrados ou por não atingirem os objetivos avaliados nesta revisão. Desta forma, a seleção dos artigos foi realizada de forma bem criteriosa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS DANINHAS COM ALGORITMOS

Autores pelo mundo todo estão utilizando vários algoritmos e alguns até combinados que podem detectar plantas daninhas e até mesmo diferenciá-las de outras plantas de interesse econômico e do solo com o objetivo de restringir o uso de herbicidas apenas onde seja devidamente necessário, nas plantas daninhas, aumentando ainda mais a economia desses produtos.

Desta forma, foram utilizados novos métodos para identificação de plantas daninhas em cultivo de vegetais, acelga chinesa (bok-choy), porém sem a utilização de drones e sim com o uso de tecnologia de processamento de imagens e “*deep learning*” (conhecimento profundo), o qual simula a estrutura e função do cérebro humano, como as redes neurais artificiais profundas através de algoritmos e modelos matemáticos para aprender e realizar tarefas complexas analisando uma grande quantidade de dados simultaneamente. Neste sistema foi utilizado um modelo central que detectava a acelga chinesa, através do treinamento de um algoritmo alimentado por 1.150 imagens desta planta tiradas em diferentes condições de tempo e iluminação. Em seguida o sistema gerava “caixas limitadoras” ou polígonos ao redor delas, assim o sistema considerava todos os outros alvos verdes fora dessas caixas como plantas daninhas. Esta estratégia é vantajosa visto que reduz consideravelmente a quantidade de dados de imagens utilizadas para treinar um algoritmo capaz de reconhecer plantas daninhas, tornando o processo mais simples, além de melhorar o desempenho e alcançar uma precisão avaliada de 95,6% (JIN et al., 2021).

Em um outro estudo, utilizando uma abordagem parecida, foi desenvolvido um novo sistema computacional baseado na visão para identificar

3 plantas daninhas na cultura da batata, sendo elas *Secale cereale* L., *Polygonum aviculare* L. e *Xanthium strumarium* L. Neste sistema, foram gravados vídeos através de uma plataforma que se movia por 0,13 metros por segundo e aplicado o processamento de imagens onde foram extraídos 3459 objetos utilizados posteriormente para treinar um algoritmo denominado pelos autores de algoritmo meta-heurístico. Este algoritmo é uma técnica de otimizar e resolver problemas complexos que não tenham uma solução direta, como no caso dos algoritmos “comuns”. Neste estudo, dois desses algoritmos foram aplicados para otimizar a performance de classificador de rede neural para reconhecer os padrões das imagens já processadas. O primeiro algoritmo foi usado para selecionar as 5 características mais efetivas da planta enquanto o segundo para encontrar uma configuração ideal de rede. Resultados experimentais mostraram a eficiência do sistema proposto, alcançando uma acurácia de identificação das plantas daninhas de 98.38% o que torna a tecnologia viável para pulverização localizada de herbicidas com drones. A única desvantagem deste método é que quando há uma grande densidade de plantas daninhas presente na área, elas não podem ser segmentadas de forma independente o que comprometeria a identificação das plantas daninhas por gerar sobreposição de imagens (SABZI et al., 2018).

Por esta razão, seria necessário o desenvolvimento de um método capaz de segmentar bem a cultura de interesse das plantas daninhas, o que pode ser um pouco complexo por haver características similares, como cor e as vezes até o formato, e do solo, o qual pode haver muita variância em sua composição e influenciar na precisão de detecção de plantas daninhas. Pensando nisso, Xu et al., (2023) testaram a combinação de dois algoritmos utilizando um método alternativo capaz de diferenciar o trigo, milho, plantas daninhas e solo. O método consiste em aplicar um algoritmo com recurso ultra verde imagem *reed, green and blue* (RGB) que foi capaz de diferenciar mudas de milho do solo de forma eficiente e posteriormente aplicado um algoritmo já desenvolvido pelo Japão, conhecido como OTSU capaz de diferenciar a cor verde das plantas daninhas do milho de forma significativa. Esse método proporcionou uma precisão de reconhecimento relativamente alta de 94,1% em tempo real com um robô hidráulico de capina que se deslocava à uma velocidade de 1.6 km/h, velocidade considerada muito baixa para ser realizado com uma ARP. Os próprios autores

recomendaram a realização de mais testes futuros para investigar a capacidade de conhecimento do método sobre diferentes condições de velocidade.

Em um estudo complementar, foi desenvolvida, treinada e avaliada uma estrutura de rede neural denominada "multi-scale convolutional attention network" (MSFCA-Net), ou rede de atenção convolucional em múltiplas escalas. Essa rede foi empregada com o propósito de realizar a segmentação precisa das plantas daninhas em relação às culturas de interesse. Em comparação com métodos de segmentação mais convencionais, a abordagem MSFCA-Net exibiu uma notável média de interseção sobre união (MIoU), indicando desempenho superior. Especificamente, a capacidade do MSFCA-Net em diferenciar entre as culturas de soja (92,94%), beterraba (89,58%), cenoura (79,34%) e arroz (78,12%) e as plantas daninhas foi evidenciada. Tais resultados reforçam a robustez do método proposto e sua habilidade de generalização em diversas situações agronômicas (QIANGLI et al., 2023).

O modelo SE-VGG16, conforme evidenciado por Yang et al. (2023), foi aprimorado para a detecção e segmentação das plantas daninhas em meio ao cultivo de milho. Em comparação com modelos clássicos e variantes de escalas múltiplas mais avançados, o SE-VGG16 demonstrou um desempenho superior, alcançando uma taxa de acurácia de 99,67% em contraste com 97,75% obtida por seu modelo original. Este resultado demonstra ser possível identificar plantas daninhas em lavouras de milho com alta precisão, proporcionando um controle mais eficaz e eficiente.

Já em relação à distinção entre várias espécies de plantas daninhas, Pathak et al. (2023) conduziram uma investigação abordando a classificação de quatro espécies comuns de plantas daninhas encontradas em cultivos de milho na região de Dakota do Norte. Empregando técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina, foram extraídas 21 características de formato distintas a partir de imagens capturadas por uma câmera RGB. Após a aplicação de algoritmos de processamento de imagem, resultados satisfatórios foram obtidos, demonstrando uma eficácia notável (acima de 95%) na distinção entre *Chenopodium giganteum* e *Amaranthus retroflexus* em comparação com *Conyza spp.* No entanto, a similaridade acentuada entre as outras espécies resultou em uma eficácia reduzida (25-40%). Dentre os modelos de aprendizado de máquina

empregados, o método random forest (RF) se destacou, apresentando a maior acurácia para a classificação de todas as plantas avaliadas.

Outros modelos comuns de algoritmos de *deep learning* conhecidos como YOLOv3, YOLOv5, e Faster R-CNN, quando alimentados por um *database* composto por 14.035 imagens de 25 plantas daninhas diferentes, mono e dicotiledôneas, foram capazes de identificar plantas daninhas em tempo real, com uma acurácia de detecção de 91.8%, 92.4% e 92.15%, respectivamente (WANG P. et al., 2022).

Em outro estudo na cultura da batata, o mesmo modelo YOLOv4, atingiu acurácia de 98,52% na detecção de plantas daninhas (ZHAO et al., 2022). Alguns índices de vegetação também podem ser utilizados para identificar plantas daninhas, como verificado por Yu et al., (2022), em que testou o índice WDVNIR que quando comparado com outros índices como NDVI, LCI, NDRE e OSAVI, mostrou-se o mais efetivo com acurácia de 93,47%. Além do índice identificar plantas daninhas pôde também distinguir claramente plantas daninhas da cultura do arroz, algodão e do solo.

A fim de solucionar um possível problema de composição do solo ao realizar a identificação de plantas daninhas aplicando-se um algoritmo, Sunil et al., (2022) compararam algoritmos de aprendizagem profunda (*deep learning*) que são impactados por diferentes fundos de imagens ao tentar identificar as plantas daninhas, ou seja, se o solo ou substrato em que as plantas estavam era uniforme ou desuniforme. Nos tratamentos uniformes havia apenas a mistura de pote (solo) enquanto nos tratamentos desuniformes havia mistura e material de cascalho. Foram plantadas uma espécie de planta daninha ou cultura em cada vaso, dentre elas: *Conyza* spp., *Amaranthus palmeri*, *Ceanothus americanus*, *Amaranthus graecizans*, *Ambrosia* spp., *Amaranthus tuberculatus*, *Bassia scoparia*; e as culturas de canola e beterraba. Foram testadas 3 diferentes arquiteturas de aprendizagem profunda conhecidas como Convolutional Neural Network (CNN), Visual Group Geometry (VGG16) e Residual Network (ResNet50). Os resultados mostraram que os dois últimos modelos reduziram a performance de identificar plantas daninhas de 16% para 28% quando foram testados em cenários diferentes ao que foram treinados anteriormente, ao contrário de um modelo já treinado anteriormente nos dois cenários diferentes (uniforme e desuniforme) que houve uma performance de 92 a 99% nas oito

classes de plantas daninhas e culturas testadas. Os resultados demonstram que os modelos de algoritmo de aprendizagem profunda desenvolvidos em condições uniformes não atingem boas performances ao serem testados apenas em condições ambientais parecidas e que para terem melhor desempenho e precisão de identificação de plantas daninhas e culturas precisam ser treinadas e desenvolvidas em condições diferentes antes de serem utilizadas ou testadas, além de serem treinadas em uma condição por vez, quando há presença ou não de uniformidade, argila, areia, entre outros parâmetros por exemplo.

4.2 APLICAÇÃO EM ARP

Alguns autores testaram a utilização de um framework afim automatizar o processo de detecção seguida de uma aplicação de herbicida pela ARP. Framework originado do inglês remete à uma estrutura padronizada e organizada ou conjunto de ferramentas utilizadas por programadores para o desenvolvimento de sistemas ou módulos de softwares (programas de computador), facilitando a criação e treinamento de modelos de aprendizado de máquina que pode ser muito repetitivo, como o ato da ARP em se deslocar vertical e horizontalmente, identificar, inspecionar e interagir com o alvo, no caso, as plantas daninhas.

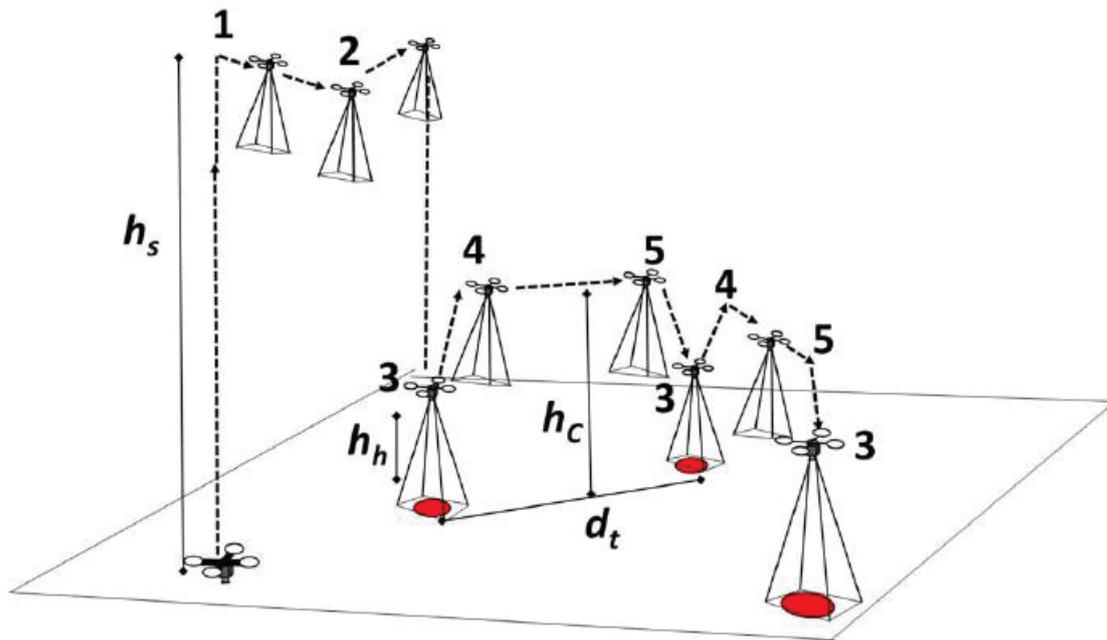
Neste contexto, um novo sistema de framework mais flexível ou ajustável foi criado a fim de detectar, reconhecer e inspecionar múltiplos alvos de plantas daninhas em uma mesma linha com a utilização de um UAV, foi amplamente testado em um ambiente de simulação com o software PX4, que é um piloto automático de UAV que pode controlar e estabilizar o voo dessas aeronaves, e em experimentos de campo com UAV com câmera e sistema adaptados. O framework desenvolvido combina aprendizado de máquina com várias técnicas avançadas de processamento de imagens eficazes que possibilitaram uma inspeção precisa de cada alvo, identificação das plantas daninhas e interação com o alvo tornando uma tomada de decisão mais adequada. Os resultados experimentais demonstram que o framework proposto foi eficaz para a detecção e reconhecimento de múltiplos alvos no solo, o que pode tornar-se uma potencial ferramenta de aplicação localizada de plantas daninhas na agricultura de precisão facilitando o seu manejo. Contudo, os autores relataram que ainda é

um desafio para o UAV encontrar e agir em vários alvos por conta de o sistema precisar manter o controle dos alvos já visitados e atingidos para não gerar confusão ou conflito. Além disso encorajaram a validação da ferramenta desenvolvida e ampla testagem em experimentos reais com a detecção, reconhecimento e interação de múltiplos alvos com alvos em várias linhas de plantio em tempo real, com presença de obstáculos, eventuais erros e deriva ocasionada pelo vento (KHAN et al., 2022).

Em outro estudo similar o autor afirmou que as técnicas baseadas em imagens visuais utilizadas por UAVs (IBVS) e em distância relativa ainda estão em aprimoramento quando refere-se à vários alvos visualmente similares ou idênticos, por exemplo plantas daninhas, essas técnicas não são usuais. Desta forma, com o intuito resolver este problema desenvolveram um framework composto por algoritmo de detecção de alvos baseado apenas na coloração e posição do alvo utilizando um ciclo de decisão conhecido como Observe, Oriente, Decida e Aja (OODA), capaz de detectar e agir em múltiplos alvos similares e não similares no solo baseado pela visão. O framework foi bem-sucedido mesmo ao detectar alvos localizados à grandes distâncias (HINAS et al., 2019).

A figura 3 demonstra o trajeto realizado por um UAV multirrotor para poder detectar e interagir com múltiplos alvos. Primeiramente o UAV decola até alcançar uma altura de procura (h_s) para poder encontrar os alvos (1). Quando encontrados o UAV muda a sua rota movendo em direção ao alvo (2) depois desce à uma altura (h_h) de meio metro à dois metros e meio e paira no ar por alguns segundos para realizar a aplicação do herbicida (3) no alvo de planta daninha. Após interagir com o alvo o drone volta à altura (h_c) e se move lateralmente até o próximo alvo (4). Ao deslocar-se até o próximo alvo o drone desce até a altura (h_h) e repete o passo (3) em diante até que não haja mais alvos a serem detectados (HINAS et al, 2019).

Figura 3 - Um exemplo de missão realizada pelo UAV multirotor em uma missão de detecção e ação de múltiplos alvos



Fonte: Adaptado de Hinas A. et al., 2019.

Para estimar a posição dos alvos com bastante precisão e a performance da interação da ARP com os alvos no chão torna-se bastante desafiadora em condições reais, visto que pode haver a presença de deriva ocasionada por ventos e erro de posição pelo GPS. Desta forma os autores Hinas et al., (2019) vão de encontro com Khan et al., (2022), quando ambos afirmaram ser desafiadora a tarefa de localizar e interagir com múltiplos alvos terrestres utilizando visão computacional em situações reais.

Huang et al., (2018), por outro lado, desenvolveram um sistema a partir de uma ARP voando à uma baixa altitude para gerar imagens digitais com as cores infravermelho e *red, green and blue* (RGB) que quando aplicados sobre a imagem de lavouras era capaz de identificar plantas daninhas, injúrias pela aplicação do herbicida dicamba à diferentes doses e até mesmo detectar plantas daninhas naturalmente resistentes à glifosato.

Na busca por uma solução mais simplificada, Sapkota et al., (2023) empreenderam uma estratégia de controle de plantas daninhas com aplicação localizada, conhecida como *site-specific weed control* (SSWC), por meio da criação de um mapa de prescrição intrínseco à distribuição de plantas daninhas na área. Acompanhado a isso, utilizaram um algoritmo de visão computacional

para identificar as linhas de plantio de milho. Posteriormente, as linhas de plantio foram excluídas da imagem e a vegetação remanescente foi classificada como plantas daninhas. Com base neste delineamento, foi estabelecido um mapa de prescrição de plantas daninhas baseado num sistema de grades. A implementação desse protocolo operacional resultou na execução de medidas de controle por meio de um pulverizador de escala comercial. A abordagem SSWC adotada proporcionou uma pulverização seletiva de cada célula na grade que continha uma planta daninha, enquanto que nas células carentes de plantas daninhas não houve nenhum procedimento de aplicação. A utilização desta técnica resultou em uma redução de até 26,2% na quantidade de herbicida pulverizado, o que evidencia a capacidade e eficácia da tecnologia empregada no experimento.

Todos os artigos revisados mostram que a pulverização automática e localizada de plantas daninhas com o uso de ARP é um processo muito complexo e repleto de desafios, dos quais envolvem desde o treinamento e adaptação ou escolha de um algoritmo específico de aprendizagem profunda que tenha precisão suficiente para identificar uma planta daninha até a aplicação e execução deste algoritmo por um sistema inteligente na ARP com um framework e toda estrutura necessária para que a aeronave possa realizar um trajeto bem pré-estabelecido e programado para aproximar-se da planta de interesse, reconhece-la, identificá-la e só depois realizar a pulverização em si.

Neste processo, outro desafio encontrado seria de pulverizar apenas a planta daninha separadamente sem atingir a cultura de exploração econômica ao redor, sendo pouco viável em culturas com menor espaçamento, dependendo do tamanho da faixa de pulverização da ARP, ou seja, largura de aplicação, que envolve diferentes fatores como a altura da ARP em relação à cultura, ventos que podem provocar deriva e aumento desta largura, entre outros fatores ambientais. Um outro desafio do qual não foi levado em consideração pelos autores, é questão da utilização do tempo total de carga por bateria, que levanta outras questões a serem estudadas, como: “Quanto tempo e utilização da bateria seria necessário para realizar esta operação? É viável?”. Por mais que alguns estudos revisados já estejam avançados em relação ao teste desta tecnologia em ambiente ainda experimental, essas e outras perguntas nos inspiram e instigam a necessidade de realizar testes em situações reais, levando em conta

fatores ambientais e usuais em consideração, para que possam ser respondidas e gerar maior compreensão e entendimento desta tecnologia que ainda está em evolução para toda a comunidade social e científica.

Portanto, a utilização de ARPs na detecção e pulverização localizada de plantas daninhas é uma abordagem muito promissora na área de agricultura de precisão para aprimorar o manejo agrícola, reduzir os gastos e uso excessivo de herbicidas, aumentando ainda mais a eficiência das operações no campo. No entanto, é necessário realizar pesquisas adicionais e avanços tecnológicos para empregar essa tecnologia com efetividade e transformá-la em uma solução viável e sustentável para a agricultura moderna.

5 CONCLUSÃO

A forma encontrada para identificar as plantas daninhas à campo foi através da seleção de algoritmos com maior acurácia e eficientes para determinada planta daninha e cultura de interesse.

Para a aplicação localizada de herbicidas por uma ARP é necessário utilizar um *framework* e uma toda uma adaptação do sistema eletrônico e computacional da aeronave.

Estudos revisados mostram que a tecnologia atual está avançada e próxima de unir as duas demandas anteriores, porém ainda faltam mais experimentos a serem realizados a nível de campo e em tempo real com diferentes espécies de plantas.

REFERÊNCIAS

BAH M. D. *et al.* CRowNet: Deep Network for Crop Row Detection in UAV Images. **IEEE Access**, v. 8 p. 5189 – 5200, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2960873>. Acesso em: 27 jun. 2023.

BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF. Embrapa, p. 109-134, 2014.

HINAS A. *et al.* Multiple Ground Target Finding and Action Using UAVs. IEEE Xplore. **IEEE Aerospace Conference, 2019**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/AERO.2019.8741608>

HUANG Y. *et al.* UAV Low-Altitude Remote Sensing for Precision Weed Management. **Weed Technology**, v 3, p. 2–6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wet.2017.89>.

JIN X. *et al.* Weed Identification Using Deep Learning and Image Processing in Vegetable Plantation. **IEEE Access**, v. 9, p 10940-10950, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3050296>.

KHAN S. *et al.* A Novel Framework for Multiple Ground Target Detection, Recognition and Inspection in Precision Agriculture Applications Using a UAV. **Unmanned Systems**, v. 10, p. 45–56, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1142/S2301385022500029>.

PATHAK, H. *et al.* Machine learning and handcrafted image processing methods for classifying common weeds in corn field. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100249>.

QIANGLI Y. *et al.* MSFCA-Net: A Multi-Scale Feature Convolutional Attention Network for Segmenting Crops and Weeds in the Field. **Agriculture (Switzerland)**, v. 13, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13061176>.

SABINO H. *et al.* A systematic literature review on the main factors for public acceptance of drones. **ScienceDirect Technology in Society**, v. 71, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102097>.

SABZI S. *et al.* A fast and accurate expert system for weed identification in potato crops using metaheuristic algorithms. **ScienceDirect Computers in Industry**, v.98 p.80-89, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.001>

SUNIL G. C. *et al.* A study on deep learning algorithm performance on weed and crop species identification under different image background. **KeAi: Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 6 p.242-256, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2022.11.001>.

SAPKOTA R. *et al.* Towards reducing chemical usage for weed control in agriculture using UAS imagery analysis and computer vision techniques. **Scientific Reports**, v. 13. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33042-0>

WAN P. *et al.* Weed25: A deep learning dataset for weed identification. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1053329>

XU B. *et al.* Research and application on corn crop identification and positioning method based on Machine vision. **ScienceDirect: Information Processing in Agriculture**, v. 10 p.106-113, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.07.004>

YANG L. *et al.* A new model based on improved VGG16 for corn weed identification. **Technical Advances in Plant Science**, v.14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1205151>.

YU F. *et al.* Research on weed identification method in rice fields based on UAV remote sensing. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1037760>

ZHAO J. *et al.* Weed Detection in Potato Fields Based on Improved YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Weed Detection in Potato Fields. **Electronics (Switzerland)**, v. 11, p. 22, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/electronics11223709>