

# Current status and future trends in agricultural robotics

André Veiros, Ricardo Mesquita, Pedro D. Gaspar

## Abstract

This paper analyzes some of the innovations in agricultural robotics, specifically for weed control, harvesting and monitoring, taking into account the challenges of introducing robotics in this sector, such as fruit detection, orchard navigation, task planning algorithms, or sensors optimization. One of the trends in agriculture 4.0 is the introduction of swarm robotics, allowing collaboration between robots. Another trend is in aerial imagery acquisition for ground analysis as well as environmental reconstruction, complemented by field-mounted sensors. Although robots are becoming quite important in the evolution of agriculture, it is still unlikely that all tasks will be automated in the near future due to the complexity arised by the overall variability of cultures.

## Keywords

Agricultural robotics, Agriculture 4.0, Innovations, Fruit detection, Weed control

# Panorama atual e tendências futuras da robótica agrícola

## 1. Introdução

Com a evolução da agricultura advém uma crescente necessidade de modernização das infraestruturas de apoio ao setor, sendo esta consequência de fatores internos e externos, tais como a falta de mão de obra disponível nas áreas rurais, a desertificação, e a necessidade de produzir uma elevada quantidade de alimentos. Esta tarefa fica cada vez mais difícil de executar, devido à falta de terrenos de cultivo e aumento da população, registando-se em 2015 uma população mundial de 7,3 mil milhões de pessoas, que se estima aumentar para 8,5 mil milhões de pessoas em 2030 [1].

Fruto do crescimento populacional e dos fatores ambientais, ao longo dos tempos a agricultura teve de se modernizar e tentar acompanhar os desenvolvimentos tecnológicos de forma a dar resposta às necessidades mundiais. Têm sido procuradas soluções que permitam maximizar a produção e tendo sempre em conta a sustentabilidade e o desperdício alimentar. Perante o desenvolvimento da humanidade, a agricultura desde cedo têm adotado medidas tecnológicas que lhe permitiu acompanhar as necessidades do mercado, tais como a introdução de sistemas pouco complexos para controlar sistemas de rega, sistemas de doseamento de fertilizantes e pesticidas, entre outras técnicas. Mas no virar da década de 90, a agricultura viu se envolver numa mecanização em massa [2].

Toda esta evolução começou a provocar pequenos problemas ambientais, que se foram agravando com o passar dos anos, como a produção de gases de efeito de estufa, tornando-se assim num dos setores mais poluentes [3]. A evolução permitiu a introdução de novas técnicas de gestão agrícola, sistemas de controlo simples, entre outras inovações, bem como novas ideologias, sendo apelidada de agricultura de precisão. O termo Agricultura 4.0, deriva do termo Indústria 4.0, que remete à digitalização e automatização dos processos de produção.

Esta nova revolução não é apenas uma simples modernização da agricultura, mas decorre de operações e decisões que passam a ser pensadas e geridas com base em todos os dados recolhidos no campo, tendo a possibilidade de interligação de todos os equipamentos. A robótica é também um dos grandes impulsionadores da Agricultura 4.0, pois veio introduzir robôs capazes de colher, remover ervas daninhas, monitorizar culturas, entre outros. Existem diversos robôs para área agrícola, tanto para culturas como o tomate, o morango ou a vinha. Estes robôs vieram automatizar tarefas repetitivas e de difícil execução ou até mesmo atividades que colocam em risco a vida humana.

Mas um dos maiores obstáculos que retém o desenvolvimento da robótica neste setor é a grande dificuldade na implementação de automatismos, uma vez que as tarefas que são necessárias de desempenhar incluem uma elevada complexidade decorrente da variabilidade de condições extrínsecas (p.ex. condições ambientais, obstáculos, etc) e intrínsecas (crescimento das culturas, heterogeneidade de cor, de forma, de tamanho, etc) às culturas.

## 2. A evolução da agricultura

Durante o seu desenvolvimento, a agricultura explorou diversos recursos que a auxiliassem nas suas tarefas, como a domesticação animal para auxílio das tarefas, passando pela introdução de máquinas agrícolas, e a utilização de sistemas de controlo simples [2]. Atualmente existe a possibilidade de integração de todos os sistemas disponíveis, definida como a agricultura 4.0. Existe outro conceito muito importante que é a agricultura de precisão, que surgiu com a introdução da orientação GPS para tratores no início dos anos 90. A adoção dessa tecnologia foi difundida por todo o mundo, sendo uma das tecnologias mais utilizadas na atualidade [4]. A agricultura de precisão têm como objetivo garantir o abastecimento de alimentos, de forma acompanhar o crescimento da população mundial, através da adoção de novas metodologias no sistema de gestão de produção [5].

Toda esta evolução acarreta impactos ambientais como a degradação dos solos de cultivo e o aumento da poluição, pois é um dos setores que mais produz gases de efeito de estufa. São

inúmeras as causas que levam à degradação dos solos, como por exemplo, os períodos de pousio muito curtos, que fazem com que os terrenos percam rendimento, as rotações de culturas pouco equilibradas, pois os agricultores necessitam responder à necessidade de produções elevadas, recorrendo a rotações intensivas, o uso excessivo de fertilizantes para diminuir o tempo dos ciclos de produção, o que provoca uma desregulação dos nutrientes nos solos ou a desflorestação, pois a remoção excessiva de madeira e outros produtos florestais faz com que os solos fiquem desprotegidos e com menor resistência à erosão. Outro fator negativo da agricultura é a quantidade de gases de efeito de estufa produzidos.

### 2.1. Agricultura 4.0

A agricultura de precisão integra-se na agricultura 4.0, pois conjuga equipamentos, softwares e serviços de IoT. Esta abordagem permite o acesso a dados em tempo real sobre as condições das culturas, solo e ambiente, além de outras informações relevantes, como previsões meteorológicas, custos de mão-de-obra e disponibilidade de equipamentos. Os softwares de análise preditiva usam dados para fornecer aos agricultores orientações sobre rotação de culturas, tempos ideais de plantio e tempos de colheita [6].

A utilização de sensores pode ajudar a otimizar a produção de alimentos com baixo custo, mas com uma elevada qualidade e utilizando práticas sustentáveis. Atualmente existe uma elevada variedade de sensores, diferenciando-se pelos seus princípios de transdução, como por exemplo, elétricos, químicos, óticos, radiação, térmicos e biológicos. Existem dispositivos para avaliar o estado dos solos, como sensores de condutividade elétrica aparente, sensores de humidade do solo, entre outros. Existem ainda sensores que registam informações meteorológicas ou dados de microclima (p.ex. termistor). Os sensores desenvolvidos para monitorizar o estado de crescimento fisiológico das culturas (p.ex. sensores de azoto) são cada vez mais importantes. Outra das possibilidades é a deteção de vários tipos de espectro, como o visível, o infravermelho e o térmico, entre outros, recorrendo a câmaras multiespectrais e hiperspectrais e com recurso a drones ou via satélite, permitindo a recolha de imagens que têm como objetivo o cálculo de variados índices vegetativos [7]. A fusão de dados de vários sensores é a melhor forma de ter um conhecimento mais detalhado e rigoroso das culturas, bem como a possibilidade de ter dados em tempo real [8].

Os softwares para agricultura de precisão são uma ferramenta que permite aos agricultores rastrear e maximizar o rendimento das colheitas. Os agricultores utilizam estas ferramentas analíticas preditivas de forma a estimar o rendimento das culturas, desperdícios e ainda custo de produção, permitindo uma boa gestão do solo e dos recursos. Existem ainda softwares que possibilitam criar planos agrícolas precisos, mapas de campo, exploração de culturas, mapas de produtividade e gestão dos fitofármacos. Ao não serem adquiridos em tempo real, estes dados, por vezes, tornam-se descartáveis e desnecessários. A implementação destas tecnologias, torna-se assim uma mais-valia no apoio à produção e permite a interligação de todos os elementos fulcrais à produção agrícola [9].

Os drones e tratores autónomos são exemplos de robôs existentes, que têm como vantagem face aos robôs aéreos, a precisão com que podem executar operações. Os robôs terrestres podem ainda executar operações como a colheita, o controlo de ervas daninhas, a poda, sementeira, a pulverização, o desbaste, entre outras [8].

### 3. Robôs na agricultura

Os primeiros passos da robótica na agricultura foram dados em 1920, com pesquisas cujo objetivo consistia na orientação automática de veículos na agricultura. Mas só entre 1950 e 1960 é que foi possível a criação dos primeiros protótipos. O conceito não era perfeito, pois os veículos ainda precisavam de um sistema de cabos para guiar seu caminho. Os robôs na agricultura continuaram a ser desenvolvidos à medida que as tecnologias em outros setores evoluíam também. Somente na década de 80, após o desenvolvimento do computador, a orientação com recurso à visão máquina se tornou possível [10]. Embora os robôs tenham sido incorporados em ambientes industriais internos à décadas, os robôs para uso agrícola são considerados os mais complexos e difíceis de desenvolver. Os projetos de robótica agrícola abrangem uma ampla gama de aplicações, como o controlo de infestantes, monitorização,

colheita, poda, pulverização, sementeira, manuseamento do solo, navegação autónoma, entre outras.

### 3.1. Controlo de infestantes

As ervas daninhas são plantas indesejadas, que disputam os recursos hídricos e, portanto, têm um efeito indesejado na agricultura. Sendo que também ocupam áreas de cultivo com a vegetação indesejada, representam um grande problema.

O controlo de infestantes através de pulverização de precisão e remoção mecânica serão das aplicações mais frequentes para robôs agrícolas. Embora que nem todos os protótipos desenvolvidos estejam comercializados, existem várias tecnologias bastante promissoras para robôs de controlo de infestantes.



Figura 1 - Robô de pulverização localizada [11].

Ecorobotix [11]: Sistema robótico de controlo de infestantes representado na Figura 1, que a sua função é realizar pulverização localizada dos infestantes. O robô dispõe de visão computacional para proceder a deteção dos mesmos, tendo como auxílio dois braços robóticos de configuração delta, para posicionamento do bico de pulverização.

Rippa [12], [13]: Robô de pulverização localizada, que procede à deteção dos infestantes através de visão computacional. Este sistema recorre a uma camara multiespectral, para que com combinações de vários espetros, seja mais fácil a deteção dos mesmos.

AgBot II [14]: Robô de grandes dimensões, para o controlo de infestantes sendo que este robô tem a particularidade de ter dois sistemas para remoção um mecânico e outro de pulverização. Para proceder a deteção utiliza um sistema de visão computacional, com iluminação artificial.

Oz [15]: Robô de pequenas dimensões, com capacidade de se deslocar na entrelinha de produtos hortícolas de forma autónoma, com recurso a um lidar e camaras de espetro visível. Sendo que para a remoção dos infestantes tem a seu dispor 5 ferramentas.

### 3.2. Vinha

A criação de robôs destinados às vinhas é complexa, pois as vinhas são predominantes em terrenos montanhosos, e a navegação do robô tem que ser feita de forma muito cautelosa devido a desníveis de terreno existentes, bem como para não danificar a vinha. Existem diversas aplicações robóticas nas vinhas, para monitorização, poda, remoção de infestantes entre outras.



Figura 2 - Robô do projeto VineRobot [16].

VineRobot [16]-[18]: Na Figura 2 é apresentado o VineRobot, um robô projetado para percorrer as vinhas de forma autônoma, recolhendo dados, como o desenvolvimento vegetativo das videiras, dos níveis de água, da composição das uvas e outros dados importantes.

MYCE\_Vigne [19]: Sistema robótico com varias capacidades como remoção de infestantes, podar, bem como ferramentas para fresar o solo. Para se deslocar e proceder a deteção das plantas, recorre a um sistema de visão computacional.

ROMOVI [20]: Robô para a análise do estado das vinhas. Tem a capacidade detetar precocemente doenças, bem como dados para ajudar na gestão da produção e alturas ideais de colheita, através câmaras sistemas computacionais elaborados.

### 3.3. Morango

A colheita mecanizada de frutos de baga, como é o caso do morango, representa um enorme desafio, pois cada baga precisa ser localizada, avaliada quanto ao estado de maturação, sendo só depois colhida e embalada com enorme cuidado para evitar danificar a fruta, devido a sua sensibilidade.



Figura 3 - Rubion robô de colheita [21].

Rubion [21]: Na Figura 3 é apresentado um robô de configuração polar, destinado à colheita. A deteção dos morangos é feita com recurso a câmaras de espectro visível. Este robô foi desenvolvido com o intuito de trabalhar dentro de estufas deslocando-se sobre carris, sendo que o robô coloca o produto em caixas que seguirão diretamente para venda.

Harvest CROO [22]: Sistema robótico de colheita com recurso a múltiplos braços robóticos. Para a deteção dos morangos recorre a câmaras, tendo ainda iluminação artificial. Uma das desvantagens do Harvest CROO é funcionar apenas com baixa densidade de plantas.

Agrobot [23]: Robô de grande envergadura, que através de um sistema de visão tridimensional executa a deteção dos morangos e pela ação de braços robóticos cartesianos efetua a apanha dos mesmos, sendo que robô pode ter mais de 24 braços robóticos.

### 3.4. Tomate

A colheita mecanizada do tomate é desafiante, pois cada tomate precisa ser localizado, avaliado quanto ao estado de maturação e só depois colhido. O tomate é uma fruta de baixa dureza tal como o morango, sendo o desafio de colheita equivalente.



Figura 4 - Robô GRow [25].



GRoW [25]: Na Figura 4 é apresentado o robô da empresa Metomotion, este têm capacidade de polinizar, podar, remoção de folhas, colher e ainda monitorização das plantas. Este robô é concebido para trabalhar dentro de estufas, tendo um sistema de visão tridimensional conciliado com algoritmos para identificar, localizar e o seu estado de maturação dos frutos. Root AI [26]: Robô para colheita de tomate cherry, sendo a deteção dos frutos feita através de câmaras de espetro visível. Permite também detetar os diferentes estados de maturação, utiliza garras impressas para conseguir um toque delicado, de forma a não danificar o fruto. Protótipo (Shanghai Jiao Tong University) [27]: Sistema robótico com dois braços robóticos com tipologia SCARA e com recurso a uma câmara estereoscópica consegue criar uma imagem tridimensional, obtendo assim as coordenadas dos frutos.

### 3.5. Pimento

O desenvolvimento de robôs para auxílio na cultura do pimento enfrenta desafios muito parecidos com os de frutos de baixa dureza, sendo que a grande parte destes robôs ainda só existem para estufas devido à maior facilidade da navegação e na deteção dos frutos, por ser possível conduzir as plantas de forma a deixar os frutos visíveis, entre outras.



Figura 5 - Robô Sweeper [28].

Sweeper [28]: Na Figura 5 é apresentada uma plataforma robótica, com um braço robótico articulado servindo para colher. Têm uma câmara 3D para proceder à deteção dos mesmos. Consegue deslocar-se de forma autónoma nas entrelinhas da estufa.

Harvey [29]: Sistema robótico com um braço robótico colaborativo instalado. Com recurso a uma câmara de espetro visível procede a deteção dos pimentos, sendo que posteriormente os colhe através de uma garra de vácuo.

### 3.6. Pepino

O desenvolvimento de robôs para a cultura do pepino apresenta alguns desafios, em especial para os robôs de colheita, pois a deteção dos mesmos é facilmente camuflada pela folha por ser de cor muito idêntica à dos pepinos.

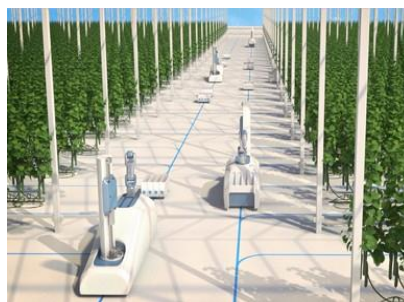


Figura 6 - Render do sistema robótico da Crux Robotics [30].

Crux Robotics [31]: Sistema robótico para colheita, deteção de doenças, pulverização localizada e remoção de folhas, sistema ilustrado na Figura 6. Este sistema recorre ao scan tridimensional

das fileiras para detetar os pepinos que a maturação seja adequada para serem colhidos, bem como as folhas necessárias remover, para melhorar o crescimento dos mesmos. Para executar estas funções, dispõe de um braço robótico articulado.

CATCH [32]: Sistema robótico, com dois pequenos braços robóticos articulados. Através de visão computacional, com iluminação artificial, efetua a deteção e colheita.

### 3.7. Maçã

O desenvolvimento de um robô de colheita de maçãs exige a solução de vários problemas técnicos complexos, desde a identificação visual de frutas para serem colhidas, o manuseio durante a colheita sem provocar dano, até à navegação segura no pomar.



Figura 7 - Mecanismo de colheita da Abundant robotics [33].

Abundant robotics [34]: Plataforma robótica que procede a deteção através de um scan das árvores, com auxílio a câmara estereoscópica, tendo ainda iluminação artificial. A recolha dos frutos é feita através de sucção conforme exposto na Figura 7.

FFRobotics [35]: Plataforma robótica, que através de atuadores lineares faz o posicionamento da garra para proceder à colheita. A deteção é feita através de câmaras de espetro visível, sendo que a recolha das frutas após colhida, é efetuada por tapetes rolantes que transportam para um palote montado na parte traseira.

### 3.8. Kiwi

O desenvolvimento de sistemas robóticos para cultura do kiwi é complexo. A colheita e a deteção enfrentam alguns desafios, pois como as culturas de kiwi são feitas em ramadas. Assim, é necessário aos robôs deslocarem-se por baixo destas para proceder a apanha. Já deteção é igualmente difícil devido à densidade de folhas, criando quase um efeito de cobertura, fazendo com que as condições de luminosidade sejam fracas.



Figura 8 - Robô de colheita da RoboticsPlus [36].

RoboticsPlus [37]: Na Figura 8 é exposto um robô de colheita com 4 braços robóticos. Faz a deteção de kiwi através de câmara de espetro visível e recorre aos braços robóticos para efetuar a colheita.



### 3.9. Laranja



Figura 9 - Robô de colheita da Energid [38].

Energid [39]: Robô de colheita representado na Figura 9, utiliza como base um camião completamente automatizado. Para proceder a colheita recorre a um sistema com atuadores lineares pneumáticos, sendo acoplado a uma grua. A deteção dos frutos é efetuado através de visão computacional.

Estes robôs anteriormente apresentados para as mais diversas culturas como morango, a vinha, o tomate, a maçã entres outras, são o reflexo deste período de crescimento de soluções robóticas, que surgem para o auxílio do cultivo destas culturas, como robôs de colheita e muitos outros para auxílio de várias tarefas. Sendo que outros deles não são direcionados a um tipo de cultura, mas antes para auxiliar atividades como controlo de infestantes, monitorização de forma a otimizar o processo agrícola.

Analisando todos os robôs deste estudo podemos ver quais são características comuns dos robôs de colheita, controlo de infestantes e monitorização.

Os robôs de colheita elaboram tarefas bastantes complexas, sendo que na maioria encontramos montados braços robóticos articulados, pois a amplitude de movimentos disponível é bastante grande. Alguns destes sistemas utilizam câmaras estereoscópicas, para recriarem uma imagem 3D das arvores, de forma a localizar os frutos de forma mais precisa.

Os robôs para controlo de infestantes são a área com mais robôs desenvolvidos, devido a ser uma das operações mais simples que podemos mecanizar na agricultura. Sendo que estes robôs tendem a ser muito simples e bastante compactos, de forma a terem uma grande autonomia. E por fim os robôs de monitorização devido a variedade de elementos que podem ser analisados estes robôs apenas utilizam base que poderá ser modelar, já o resto dos elementos depende dos sistemas que necessitamos de aplicar nessas bases.

Estes robôs agrícolas são uma pequena amostra do que poderá ser feito em relação sistemas robóticos, pois o investimento feito nesta área ainda é recente, por isso as potencialidades são enormes.

## 4. Conclusão

O desenvolvimento de robôs agrícolas pode efetivamente ajudar a executar algumas tarefas repetitivas de campo ou que ponham em risco a vida humana. Nesta última década foram desenvolvidos alguns robôs com estes objetivos. Com a diminuição da mão de obra disponível neste setor e o aumento do custo de produção, começa a existir bastante evolução no desenvolvimento de robôs de colheita e controlo de infestantes. Para o caso de colheita frutas, como laranjas e maçãs, que podem ser colhidas em massa para a indústria dos sumos, existentes algumas funcionalidades que seriam interessantes serem implementadas para tornar os robôs mais promissores e não tendo utilizações tão específicas e únicas. Aumentar a velocidade e a precisão na deteção dos robôs para aplicações agrícolas são as principais dificuldades a serem abordadas, em comparação com exemplos industriais, em que são conseguidos precisões e regimes de trabalho muito elevados. Uma das áreas que ainda requer especial atenção é a deteção de frutos. Um dos aspetos mais positivos reside na navegação autónoma, existindo robôs a conseguirem navegar de forma rápida, eficiente e precisa. A comunidade científica tem concentrado as investigações na agricultura, com objetivo de criar sistemas robóticos com



capacidade de trabalharem em enxame, de forma a colaborarem todos para a otimização de uma produção agrícola.

Algumas formas de colaboração homem-robô podem ser interessantes (como é o caso da indústria com os robôs colaborativos), bem como a modificação dos sistemas de cultivo e plantio das diversas culturas de forma a que seja possível a introdução de robôs nessas culturas. Ainda assim, poderão existir culturas nas quais não seja possível ou viável uma automatização. Uma proposta de melhoria poderá ser um sistema de colheita colaborativo usando humanos e robôs, para evitar que qualquer fruta que seja perdida pelo robô.

## Agradecimentos

Este trabalho de investigação é financiado pelo projeto PrunusBot - Sistema robótico aéreo autónomo de pulverização controlada e previsão de produção frutícola, Operação n.º PDR2020-101-031358 (líder), Consórcio n.º 340, Iniciativa n.º 140, promovido pelo PDR2020 e co-financiado pelo FEADER e União Europeia no âmbito do Programa Portugal 2020.

## Bibliografia

- [1] P. D. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, "Population 2030: Demographic challenges and opportunities for sustainable development planning," *United Nations*, p. 58, 2015.
- [2] S. Bachche, "Deliberation on design strategies of automatic harvesting systems: A survey," *Robotics*, vol. 4, no. 2, pp. 194-222, 2015.
- [3] M. De Clercq, A. Vats, and A. Biel, "Agriculture 4.0: the Future of Farming Technology," *Proc. World Gov. Summit, Dubai, UAE*, no. February, p. 30, 2018.
- [4] Remi Schmaltz, "No Title," *What is Precision Agriculture?*, 2017. [Online]. Available: <https://agfundernews.com/what-is-precision-agriculture.html>.
- [5] R. Gebbers and V. I. Adamchuk, "Precision agriculture and food security," *Science (80-. )*, vol. 327, no. 5967, pp. 828-831, 2010.
- [6] I. Zambon, M. Cecchini, G. Egidi, M. G. Saporito, and A. Colantoni, "Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs," *Processes*, vol. 7, no. 1, pp. 1-16, 2019.
- [7] Philippe Loudjani, "PRECISION AGRICULTURE: AN OPPORTUNITY FOR EU FARMERS - POTENTIAL SUPPORT WITH THE CAP 2014-2020," *Br. J. Psychiatry*, vol. 112, no. 483, pp. 211-212, 2014.
- [8] M. Jehanzeb, M. Cheema, H. S. Mahmood, M. A. Latif, and A. K. Nasir, "8 Future Farming Precision Agriculture and ICT," pp. 125-136.
- [9] T. Baranwal, Nitika, and P. K. Pateriya, "Development of IoT based smart security and monitoring devices for agriculture," *Proc. 2016 6th Int. Conf. - Cloud Syst. Big Data Eng. Conflu. 2016*, pp. 597-602, 2016.
- [10] S. Yaghoubi, N. A. Akbarzadeh, S. S. Bazargani, S. S. Bazargani, M. Bamizan, and M. I. Asl, "Autonomous robots for agricultural tasks and farm assignment and future trends in agro robots," *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 13, no. 3, pp. 1-6, 2013.
- [11] "The autonomous robot weeder from Ecorobotix." [Online]. Available: <https://www.ecorobotix.com/en/autonomous-robot-weeder/>.
- [12] Salah Sukkarieh, "An Intelligent Farm Robot for the Vegetable Industry," 2016.
- [13] A. Wendel and J. Underwood, "Self-supervised weed detection in vegetable crops using ground based hyperspectral imaging," *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, vol. 2016-June, pp. 5128-5135, 2016.
- [14] C. McCool *et al.*, "Efficacy of Mechanical Weeding Tools: A Study into Alternative Weed Management Strategies Enabled by Robotics," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 3, no. 2, pp. 1184-1190, 2018.
- [15] "OZ WEEDING ROBOT." [Online]. Available: <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/weeding-robot-oz/>.
- [16] M. P. Diago *et al.*, "Vinerobot: On-the-go vineyard monitoring with non-invasive sensors," *Prog. Agric. Vitic.*, pp. 1-4, 2015.
- [17] S. S. H. Hajjaj and K. S. M. Sahari, "Review of agriculture robotics: Practicality and

- feasibility,” *IRIS 2016 - 2016 IEEE 4th Int. Symp. Robot. Intell. Sensors Empower. Robot. with Smart Sensors*, no. December, pp. 194-198, 2017.
- [18] V. Saiz-Rubio, F. Rovira-Más, and C. Millot, “Performance improvement of a vineyard robot through its mechanical design,” *2017 ASABE Annu. Int. Meet.*, pp. 1-7, 2017.
- [19] “MYCE\_Vigne.” [Online]. Available: <https://wall-ye.com/index-2.html>.
- [20] P. J. Mendes, F. Santos, I. Castelão, T. Ramalho, C. Duarte, and F. Almeida, “ROMOVI - robô modular e cooperativo para vinhas de encosta,” pp. 19-22, 2017.
- [21] A. De Preter, J. Anthonis, and J. De Baerdemaeker, “Development of a Robot for Harvesting Strawberries,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 17, pp. 14-19, 2018.
- [22] “Harvest CROO.” [Online]. Available: <https://harvestcroo.com/>.
- [23] “Agrobot.” [Online]. Available: <http://agrobot.com/>.
- [24] “ROBOTIC HARVESTING.” [Online]. Available: <https://dogtooth.tech/>.
- [25] “GRoW.” [Online]. Available: <https://metomotion.com/>.
- [26] “Root AI.” [Online]. Available: <https://root-ai.com/>.
- [27] X. Ling, Y. Zhao, L. Gong, C. Liu, and T. Wang, “Dual-arm cooperation and implementing for robotic harvesting tomato using binocular vision,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 114, pp. 134-143, 2019.
- [28] “SWEEPER demonstrated its harvesting robot for the first time.” [Online]. Available: <http://www.sweeper-robot.eu/11-news/48-sweeper-demonstrated-its-harvesting-robot-for-the-first-time>.
- [29] C. Lehnert, A. English, C. McCool, A. W. Tow, and T. Perez, “Autonomous Sweet Pepper Harvesting for Protected Cropping Systems,” *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 872-879, 2017.
- [30] “Cucumber picker available within two years.” [Online]. Available: <https://www.hortidaily.com/article/6036078/cucumber-picker-available-within-two-years/>.
- [31] “Crux Agrobotics.” [Online]. Available: <https://cruxagrobotics.com/>.
- [32] K. Strohmeier, “Automation in agriculture Lightweight robots harvest cucumbers,” no. February, pp. 1-4, 2018.
- [33] “How Abundant Robotics, Inc. is Changing Agribusiness.” [Online]. Available: <http://thinkagribusiness.com/2019/05/08/how-abundant-robotics-inc-is-changing-agribusiness/>.
- [34] “Abundant robotics.” [Online]. Available: <https://www.abundantrobotics.com/>.
- [35] “FFRobotics.” [Online]. Available: <https://www.ffrobotics.com/>.
- [36] “No Title.” [Online]. Available: <https://www.roboticsplus.co.nz/multipurpose-orchard-robotics>.
- [37] A. J. Scarfe, R. C. Flemmer, H. H. Bakker, and C. L. Flemmer, “Development of an autonomous kiwifruit picking robot,” *ICARA 2009 - Proc. 4th Int. Conf. Auton. Robot. Agents*, no. January, pp. 380-384, 2009.
- [38] “Energid - Citrus Picking System Autonomous Picker Robot.” [Online]. Available: <https://www.duketechology.com.au/products-machinery/energid-citrus-picking-system-autonomous-picker-robot>.
- [39] C. Aloisio, R. K. Mishra, C. Y. Chang, and J. English, “Next generation image guided citrus fruit picker,” *2012 IEEE Conf. Technol. Pract. Robot Appl. TePRA 2012*, pp. 37-41, 2012.