



## PROJETO DE UM VEÍCULO TERRESTRE NÃO-TRIPULADO MULTISSENSOR COM NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA

Patric **Moreto**<sup>1</sup>; Luciano Vieira **Koenigkan**<sup>2</sup>; Thiago Teixeira **Santos**<sup>3</sup>

Nº 22603

**RESUMO** – A utilização de robôs autônomos na agricultura é um campo em ascensão devido à diminuição de mão-de-obra no campo e a necessidade de automação em tarefas de monitoramento e manejo das culturas. Esses robôs necessitam de sistemas de navegação e detecção de padrões, porém os dados multissensores necessários ao seu desenvolvimento não são amplamente disponíveis, além de sua coleta por operadores humanos ser laboriosa, impedindo sua produção para diversas culturas. Desse modo, fazem-se necessárias soluções para aquisição de dados no campo de maneira autônoma e acessível. Dessarte, este trabalho expõe o desenvolvimento de um veículo terrestre não-tripulado de baixo custo, apto à captura de dados de câmeras, GNSS e unidades de medição inercial. Utilizando-se componentes disponíveis comercialmente e softwares como ArduPilot e ROS para coordenar a execução de tarefas, é possível a construção de um VTNT simples, porém capaz de operação radiocontrolada ou autônoma. Espera-se que a utilização do agente robótico forneça bases de dados úteis para problemas em automação e robótica agrícola, além de ser um modelo base de plataforma robótica para adoção de outros grupos de pesquisa na área de automação agrícola.

**Palavras-chaves:** Robótica, VTNT, ROS, SLAM, integração de sensores, robótica agrícola.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Elétrica, FEEC / Unicamp, Campinas-SP; ptmoreto@gmail.com.

2 Co-orientador: Analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP; luciano.vieira@embrapa.br.

3 Orientador: Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP; thiago.santos@embrapa.br.



**ABSTRACT** – *The use of autonomous robots in agriculture is a growing field due to the decrease in labor in the field and the need for automation in monitoring and crop management tasks. These robots need navigation and pattern detection systems, however, this multisensor data is not widely available, besides its collection by human operators is laborious, preventing its production for different cultures. Thereby, solutions are needed for data acquisition in the field in an autonomous and accessible way. Therefore, this work exposes the development of a low-cost unmanned ground vehicle capable of capturing data from cameras, GNSS and inertial measurement units. Using commercially available components and software such as ArduPilot and ROS to coordinate the execution of such tasks, it is possible to build a simple UGV, but capable of radio-controlled or autonomous operation. It is expected that the use of the robotic agent will provide useful databases for problems in automation and robotics, besides being a base model of a robotic platform for adoption by other research groups in the field of agricultural automation.*

**Keywords:** Robotics, UGV, ROS, SLAM, sensor integration, agricultural robotics.

## 1. INTRODUÇÃO

O estabelecimento da robótica na agricultura é uma necessidade em vista do crescimento populacional, aliado à migração da mão de obra humana para fora do setor agrícola, acarretando em um cenário desafiador que requer o aumento da produção de alimentos para a garantia da segurança alimentar (FISCHER, 2009). Conforme Duckett et al. (2018), a utilização de robôs na agricultura diminui desperdícios, aumenta a eficiência e a produtividade, além de atender a necessidade da adoção de sistemas automatizados em processos laboriosos para operadores humanos, como o monitoramento de culturas (DONG et al., 2017).

Nesse cenário, soluções de automação baseadas em visão computacional podem explorar o uso de *veículos terrestres não-tripulados* (VTNTs), visto sua capacidade de produzir bases de dados em ambientes agrícolas ao equiparmos esses veículos com sensores visuais. Com tais bases, aplicações como fenotipagem de plantas, detecção de doenças em plantas (DUCKETT et al., 2018) e estimativa precisa de volume e peso de frutos (SANTOS et al., 2017) podem ser investigadas e desenvolvidas, visando ganhos em produtividade e sustentabilidade.

Diferentes abordagens de VTNT são encontradas na literatura. Um exemplo são as plataformas robóticas Vinobot e Vinocular (SHAFIEKHANI et al., 2017), que consistem de uma torre

de observação móvel, Vinocular, capaz de detectar regiões de uma colheita sobre estresse e comunicar ao veículo terrestre, e Vinobot, responsável por realizar a fenotipagem de plantas individualmente, além de realizar navegação semi-autônoma. Outro exemplo é o Agrob V14 (DOS SANTOS, et al., 2015), um robô para monitoramento de vinhas em montanhas comandado por controle remoto, capaz de realizar *localização e mapeamento simultâneos*, ou SLAM, como um complemento e/ou alternativa ao sistema de posicionamento global (GPS) e à estimação de trajetória.

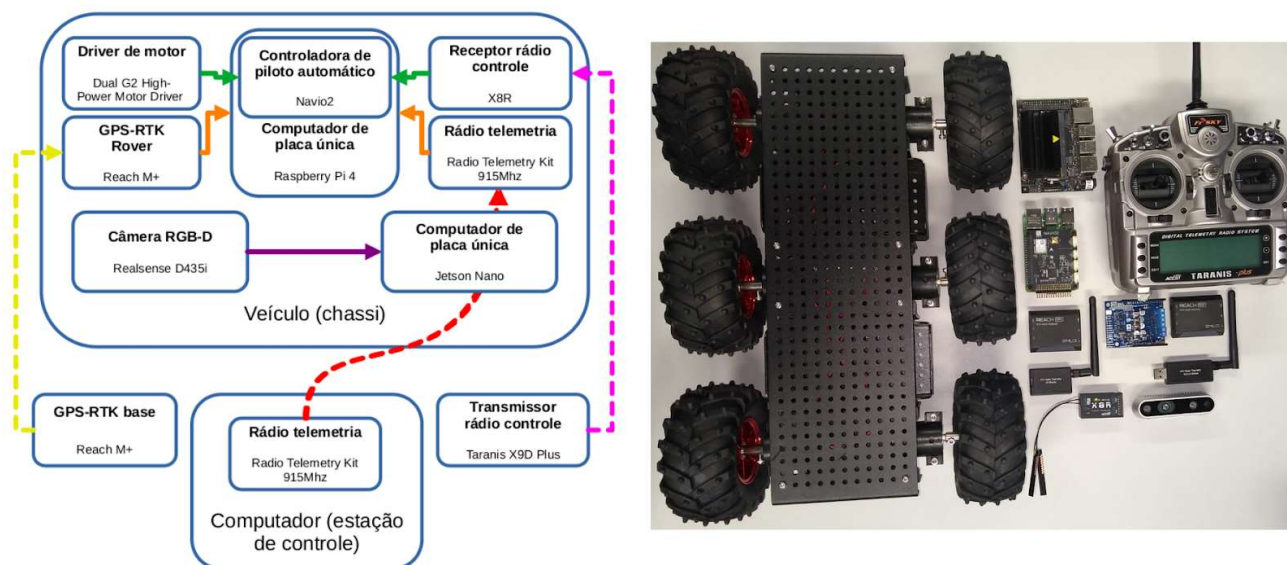
O SLAM na agricultura consiste no processo simultâneo de mapeamento do ambiente agrícola e localização do agente móvel nesse ambiente (AGUIAR et al., 2020), visando tanto providenciar informações sobre a cultura quanto propiciar a locomoção segura de robôs. Dessarte, SLAM é um foco das pesquisas em robótica agrícola, visto seu potencial impacto para a navegação autônoma, mas ainda não é amplamente difundido graças às dificuldades existentes (GAO et al., 2018), sendo possível citar, para sistemas que utilizam câmeras (SLAM Visual):

- a ocorrência do *drift*, que se trata do acúmulo de erros de localização ao longo do tempo, por conta dos métodos de obtenção de dados serem baseados em medições relativas (SCARAMUZZA; FRAUNDORFER, 2011) e
- a dependência da disponibilidade de pontos de referência: o alvo do imageamento não deve ter falta de textura e a captura de imagens deve ser robusta para não sofrer com desfoco (CADENA et al., 2016).

Ante limitações de movimentação não-autônoma apresentadas pelos exemplos, aliado ao desenvolvimento e disseminação do conceito de SLAM para agricultura, busca-se, neste presente trabalho, o desenvolvimento de um VTNT de baixo custo, apto à locomoção autônoma através da plataforma de controle ArduPilot em conjunto ao sistema operacional para robôs ROS. Esse VTNT deve ser capaz de auxiliar na produção de bases de dados multissensores destinadas à pesquisa em robótica e automação agrícola. Nas próximas seções, apresentaremos o projeto proposto para o VTNT e seus componentes de software e hardware.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O esquema geral do VTNT proposto está disposto na Figura 1, ilustrando os principais componentes e suas conexões. Seus módulos terão suas funções explicadas oportunamente.



**Figura 1.** Esquema geral com os principais módulos do VTNT e seus correspondentes físicos.

O VTNT está sendo desenvolvido utilizando como base a documentação disponibilizada pela ArduPilot (2022), em que são descritos diversos possíveis componentes e suas respectivas configurações. Inicialmente, selecionou-se o chassi Dagou Wild Thumper 6WD 75:1, devido sua robustez, visando atividades em terrenos agrícolas, e a placa controladora recomendada Pololu Dual G2 High-Power Motor Driver 18v18. Em função do veículo utilizado ser pequeno e leve, suas baterias também devem ser. Desse modo, foram escolhidas baterias de polímero de lítio (LiPO) 3s 11.1 V por serem menores, mais leves e armazenarem mais energia do que baterias convencionais de níquel-hidreto metálico (NiMH). Entretanto, esse tipo de bateria exige constantes medições de tensão para uso seguro e vida útil prolongada, de modo que é utilizado um Arduino Mega para tal propósito. Os diversos componentes exibem diferentes necessidades de tensão, como os motores da base móvel que operam em 7.2 V, enquanto os demais componentes são alimentados por 5 V. Como as baterias fornecem 11.1 V, é necessário a utilização de dois reguladores *step down* XL4016, capazes de converter a tensão da bateria para níveis mais baixos, conforme desejado. Além disso, são utilizados dois sensores de corrente ACS712 -30 A a +30 A para monitoramento e segurança do circuito elétrico, em virtude da possibilidade dos motores demandarem altos níveis de corrente conforme o veículo necessita de maiores torques.

Conectado diretamente à placa controladora dos motores através de suas saídas PWM está a Emlid Navio2, um *shield* que aumenta as funcionalidades do computador de placa única Raspberry Pi 4, especialmente desenvolvido para navegação autônoma de VANTs (Veículos Aéreos Não-Tripulados, conhecidos por drones), VTNTs e outros veículos similares. O Raspberry Pi 4 centraliza a recepção de dados de sensores e sinais de controle. Ele é conectado a um receptor GNSS-RTK (Emlid Reach M+) configurado no modo *rover* e recebendo correções de uma *base*, que possui uma

posição conhecida e, portanto, é capaz de realizar triangulações de dados para fornecer a posição com maior precisão (NAVIPEDIA, 2022). O Raspberry também é conectado ao módulo de rádio telemetria para comunicação com a estação de controle (EC), apto a realizar o planejamento de rotas para o agente robótico percorrer, além de configurações do *firmware* e ajuste de parâmetros. O computador Raspberry Pi é conectado ainda a um receptor de rádio controle (FrSky X8R), selecionado por sua capacidade de estabelecer comunicação direta com a entrada de rádio controle da Navio2. O transmissor de rádio controle escolhido foi o FrSky Taranis X9D Plus, compatível com o X8R e que possibilita a operação do VTNT em diferentes modos, em consoante a necessidade do usuário, podendo atuar autonomamente ou por controle manual do operador. O sistema inclui ainda outro receptor GNSS-RTK (Emlid Reach M+) configurado como estação base para GPS-RTK distante dos demais aparelhos eletrônicos, como o computador da estação base, com o intuito de evitar possíveis interferências.

São utilizadas duas câmeras Intel Realsense D435i como sensores visuais, mas por conta da limitação de corrente das portas USB do Raspberry Pi, foi empregado em conjunto um computador de placa única Nvidia Jetson Nano, com maior capacidade de alimentação, na qual é possível operar ambas as câmeras, ademais da placa possuir GPU, própria para aceleração de software de visão computacional, como redes neurais. As unidades de medição inercial são advindas do par de D435i. A Tabela 1 apresenta uma lista de componentes utilizados no VTNT, incluindo suas respectivas funções e modelos escolhidos.

**Tabela 1.** Componentes do VTNT, incluindo suas funções e modelos escolhidos.

Componente	Função	Modelo
Chassi robótico	Estrutura de suporte de carga que inclui motores e rodas	Dagu Wild Thumper 6WD 75:1
Driver de motor	Controlar os motores dispostos no chassi robótico	Pololu Dual G2 High-Power Motor Driver 18v18
Bateria LiPO	Alimentação de energia dos motores e sensores	3s 11.1V
Placa controladora	Medir tensões e verificar correntes das baterias	Arduino Mega
Sensor de corrente	Medir correntes das baterias	ACS712 -30 A a +30 A
Regulador de tensão step down	Converter tensões de 11.1 V para 7.2 V ou 5 V	XL4016
Controladora de piloto	Orquestração dos diversos componentes de missão como	Emlid NAVIO2

automático	telemetria e controle de motores	
Computador de placa única	Execução de <i>firmware</i> de navegação autônoma e recepção de dados	Raspberry Pi 4
Kit GPS-RTK	Fornecer dados de posição com grande precisão	Emlid Reach M+
Módulo de rádio telemetria	Estabelecer comunicação entre rover e estação de controle	3DR Radio Telemetry Kit 915Mhz
Transmissor de rádio controle	Controle manual do veículo	FrSky Taranis X9D Plus
Receptor de rádio controle	Fornecer comandos de rádio controle ao rover	FrSky X8R
Câmera RGB-D	Fornecer imagens coloridas, de profundidade e dados de IMU	Intel Realsense D435i
Computador de placa única	Receber dados da câmera RGB-D	Nvidia Jetson Nano

A utilização da Navio2 em conjunto ao Raspberry Pi 4 implica na instalação do sistema operacional Raspberry Pi OS personalizado pela Emlid para operar com o *shield*, contendo suas próprias alterações para o funcionamento adequado do *firmware* de piloto automático pré-instalado, o ArduPilot (ARDUPILOT, 2022), sendo escolhida a versão ArduRover, compatível com VTNT. O sistema operacional instalado também conta com o ROS (QUIGLEY et al., 2009) pré-instalado, um conjunto de softwares para robótica, capaz de estabelecer comunicação com o ArduPilot, expandindo suas capacidades, e com a EC. Finalmente, a estação de controle utiliza o software Mission Planner, aplicação desenvolvida para o ArduPilot.

Os principais tópicos de hardware e software previamente apresentados serão detalhados isoladamente a seguir, juntamente de revisões dos conceitos de SLAM e *grafos de fatores*, a técnica computacional escolhida para fusão de sensores em SLAM.

## 2.1. Chassi

Visto que o VTNT atuará em campos agrícolas, faz-se necessário uma estrutura adequada para atuar em terrenos irregulares. A base móvel com pneus escolhida foi a Dagu Wild Thumper 6WD 75:1, conforme Figura 3 (a), composto de 6 motores de corrente contínua com escova, possui suspensão independente para suas 6 rodas, permitindo maior tração, além de suportar até 5 Kg de carga útil, característica importante visando a disposição de baterias, sensores e placas eletrônicas. O chassi utiliza o método de locomoção *skid-steering*, realizando o escorregamento de suas rodas



ao alterar as velocidades do lado esquerdo e direito para mudar a direção do veículo (PENTZER; BRENNAN; REICHARD, 2014).



**Figura 3.** (a) Chassi Dagu Wild Thumper 6WD 75:1, (b) Navio2 conectado ao Raspberry Pi 4.

## 2.2. Raspberry Pi 4 e Navio2

A utilização de um computador de placa única é desejável para o controle do *rover*, por dispor de diversos componentes em uma única placa funcional e miniaturizada, sendo apto a receber dados de câmeras RGB-D, GNSS e unidades de medição inercial (IMU), compostas por sensores provedores de dados quanto à velocidade angular, aceleração linear e direção obtida através de um magnetômetro. Também é capaz de receber comandos de rádio controle e estabelecer comunicação com a EC através de rádio telemetria. Assim, foi escolhido o Raspberry Pi 4 em união ao *shield* Emlid Navio2, conforme ilustrado na Figura 3 (b).

Outrossim, o Raspberry Pi é responsável efetivamente por realizar o processamento da navegação autônoma através do *firmware* ArduPilot a partir das informações adquiridas e emitir sinais, através da saída PWM da Navio2 para placa controladora dos motores Pololu Dual G2 High-Power Motor Driver 18v18.

A Navio2 é capaz de expandir as funcionalidades do Raspberry, seja elevando o número de saídas PWM ou habilitando a comunicação com outros componentes através de suas portas de comunicação, como a porta UART para rádio telemetria ou a entrada para o receptor de rádio controle. A utilização desse *shield* também é incentivada pelo sistema operacional fornecido, o Emlid Raspberry Pi OS, que traz facilidades como ArduPilot e ROS pré-instalados e configurados para diferentes plataformas de locomoção autônoma.

## 2.3. Câmeras RGB-D

Devido às possíveis soluções baseadas em visão computacional, são acoplados sensores visuais ao VTNT. Os modelos Intel Realsense D435i foram escolhidos por serem câmeras RGB-D, ou seja, além de captarem um esquema de cores tradicional RGB, ela também é capaz de obter imagens de profundidade, na qual cada píxel registrado representa a distância entre a câmera e o objeto fotografado, permitindo, assim, a produção de mapas com maior fidelidade para o SLAM, dado que os pontos de referência detectados visualmente tem posição definida dentro do ambiente. Stachniss, Leonard e Thrun (2016) afirmam que a adição de conjuntos de imagens de profundidade permitiram significativa melhora em sistemas de SLAM em ambientes fechados. A D435i também conta com IMU integrada, e seus dados serão utilizados para compor o grafo de fatores.

A utilização de duas câmeras advém da necessidade de localizar o agente e realizar imageamento do ambiente agrícola simultaneamente. Desse modo, há um dispositivo voltado às linhas de plantas (câmera lateral), enquanto o outro está voltado à dianteira do veículo (câmera frontal), visualizando o percurso. Dessa forma, esperamos que a estimação da localização do robô seja mais precisa e robusta a falhas. A similaridade em padrões vegetais é uma fonte de correspondências espúrias: pontos que são visualmente semelhantes, mas pertencem a posições diferentes em 3D (por exemplo, folhas diferentes). Um alto índice de correspondências incorretas entre imagens capturadas pela câmera lateral prejudicaria o SLAM Visual. Um sensor visual posicionado em direção ao caminho, além de permitir correspondências entre pontos fora da vegetação, também permite a detecção de obstáculos, evitando colisões e garantindo a navegação segura do agente.

## 2.4. ArduPilot

A navegação autônoma é possível graças ao software *open source* ArduPilot, fornecendo *firmwares* para diferentes tipos de veículos, incluindo o ArduRover, para VTNT. Sua estrutura é constituída por bibliotecas contendo *drivers* de sensores, estimação de posição e controladores PID, além de uma camada de abstração de hardware para estabelecer comunicação entre o software e os dispositivos que executam o ArduPilot (ARDUPILOT, 2022). O programa permite, por exemplo, realizar o controle dos 6 motores do chassi escolhido operando em *skid-steering*.

A estação de controle dispõe do software Mission Planner, também desenvolvido pela ArduPilot, atuando como um complemento capaz de auxiliar em configurações do *firmware*, ajustando parâmetros e modos de operação relacionados ao VTNT, como indicar que o modelo utiliza *skid-steering*, ou calibrações de rádio controle, além de realizar o planejamento de rotas para o agente robótico percorrer e, através da telemetria, monitorar e fornecer informações a respeito do veículo em tempo real.

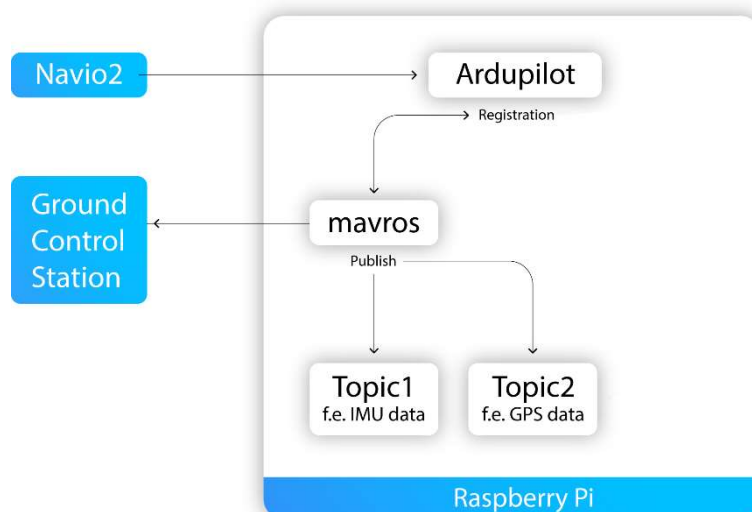


## 2.5. ROS

Com o intuito de concentrar a comunicação entre sensores e softwares, é utilizado o ROS (QUIGLEY et al., 2009), um conjunto *open source* de bibliotecas de programas para aplicações em robótica que se propõe a organizar os diversos sistemas de um robô em uma rede. Esse modelo é composto por programas executáveis conhecidos como *nós*, capazes de estabelecer comunicação através de mensagens, os dados dos sensores, ao lerem ou escreverem em *tópicos*, que armazenam as mensagens de outros nós (EMLID, 2022).

A aplicação do ROS utilizando o conjunto do Raspberry Pi 4 e Navio2 exerce a função de facilitar o acesso de dados fornecidos pelo ArduPilot e disponibilizar para outras aplicações (EMLID, 2022), seja para o SLAM ou emitindo dados à EC, isto é, ao Mission Planner. Esse processo é realizado através de um nó conhecido como *mavros*, devido à sua capacidade de atender ao protocolo de comunicação MAVLink, padrão em veículos com piloto automático (ROS, 2022). Ou seja, o ROS permite o desenvolvimento de módulos integrados e sensoramento e atuação, capazes de intervir no planejamento de missão controlado pelo Ardupilot - um módulo de prevenção de colisão contra obstáculos é um exemplo.

Uma representação gráfica de como o ROS atua está disposta na Figura 4. O ROS recebe dados da Navio2 através do ArduPilot, sendo necessário o *mavros* estabelecer comunicação por meio do MAVLink para obter as informações. Assim, o *mavros* publica os dados de IMU e GPS em seus respectivos tópicos, providenciando para outras aplicações ou para leitura de outros nós, e também envia à estação de controle.



**Figura 4.** Representação gráfica do funcionamento do ROS na aplicação em conjunto do Raspberry Pi e Navio2. Fonte: figura modificada de EMLID (2022).

## 2.6. SLAM e grafo de fatores

Em virtude do interesse em mitigar os efeitos do *drift*, aliado à demanda da produção de mapas detalhados, utiliza-se a junção de dados de distintos sensores, metodologia conhecida como integração de sensores. Em concordância com o trabalho desenvolvido anteriormente (MORETO; KOENIGKAN; SANTOS, 2021), a técnica selecionada para abordar tal procedimento são os grafos de fatores, na qual, segundo Indelman et al. (2013), trata-se de um modelo gráfico que realiza, através de arestas, a conexão de variáveis desconhecidas a fatores definidos por medições realizadas por sensores. Uma formalização desse conceito é fornecida por Dellaert (2021), definindo-se que o grafo de fatores são grafos bipartido que exibem apenas dois tipos de nós: os *fatores* e as *variáveis*. Os fatores são oriundos dos sensores, que fornecem *observações*, e são associados às variáveis que desejamos estimar, como a posição do robô ou um ponto do mapa, com o uso de funções matemáticas (*funções de observação*).

Dellaert (2021) também define que a presença de uma aresta entre variáveis e um fator indica a dependência do fator somente àquelas variáveis ao qual o mesmo se conecta, representando uma função sobre apenas tais variáveis. Dessa forma, é explicitado por Indelman et al. (2013) que arestas apenas podem existir entre fatores e variáveis. O leitor interessado pode encontrar mais detalhes sobre este tópico em nosso trabalho anterior (MORETO; KOENIGKAN; SANTOS, 2021).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O VTNT está sendo desenvolvido, situando-se em fase de configurações e testes. Atualmente, foram realizados testes do funcionamento do *driver* de motor conectado aos motores do chassi; configuração do Emlid Raspberry Pi OS e do ArduPilot no conjunto Navio2 e Raspberry Pi 4 e teste de comunicação através da rádio telemetria com a estação de controle, operando com o Mission Planner; configuração do método de direção *skid-steering* no ArduPilot através do Mission Planner; configuração dos módulos *rover* e base do GPS-RTK; configuração, calibração e testes de emissão de comandos através do transmissor e receptor de rádio controle, observando o recebimento dos comandos na Navio2.

O emprego de diferentes técnicas mencionadas ao decorrer do trabalho, como SLAM na agricultura, estimação do volume de cachos de uva por imagem (SANTOS et al., 2017), monitoramento e colheita automatizada dependem de bases de dados em ambientes agrícolas, incluindo tanto imagens RGB ou de profundidade, além de informações posicionais. Como destacado por Lu e Young (2020), conjuntos de dados públicos para visão computacional ainda são escassos na agricultura, sendo um gargalo na pesquisa e desenvolvimento de sistemas de inteligência artificial em automação agrícola. Daí a importância de plataformas que auxiliem na produção de bases de dados, como o sistema VTNT aqui proposto.

O emprego dessas técnicas de visão computacional e integração de sensores permitirão,

- a construção de tecnologias como manipuladores, capazes de realizar colheitas automatizadas e pulverização de precisão;
- a obtenção de informações fenotípicas, como taxas de crescimento e morfologia, e
- a construção de mapas temáticos contendo doenças, pestes e ervas daninhas para auxílio à tomada de decisão pelo agricultor.

Tais técnicas são necessárias ao desenvolvimento de soluções que atendam às expectativas que o setor produtivo já nutre quanto à automação e robótica agrícola (SILVA, 2018).

#### 4. CONCLUSÃO

Em virtude do uso de procedimentos que necessitam cada vez mais de bases de dados em ambientes agrícolas, buscando o desenvolvimento de tecnologias que aumentem eficiência e produtividade na agricultura, soluções na área da robótica estão sendo trabalhadas. Busca-se a elaboração de um veículo terrestre não-tripulado capaz de coletar informações através de sensores e locomover-se autonomamente, sendo coordenado pelo software ArduPilot e pela biblioteca ROS, além de utilizar a integração de diferentes sensores como forma de amenizar dificuldades ocasionadas pelo uso de sensores visuais.

Segue em fase de testes individuais e configuração de componentes que compõem o agente robótico, almejando-se a integração dos diferentes dispositivos apresentados no trabalho para realização de testes com a plataforma completa sendo controlada pelo ArduPilot. A partir disso, serão realizadas experimentações em campo para coleta de dados, primeiramente operadas manualmente para, então, a adoção do piloto automático.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Patric Moreto agradece ao programa PIBIC e ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica concedida; aos orientadores Thiago e Luciano pelos ensinamentos, conselhos e paciência.

#### 6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. S. et al. Localization and Mapping for Robots in Agriculture and Forestry: A Survey. **Robotics**, Basel, v. 9, n. 4, 2020.

ARDUPILOT. **Learning ArduPilot - Introduction**. Disponível em: <<https://ardupilot.org/dev/docs/learning-ardupilot-introduction.html>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

ARDUPILOT. **Rover Home**. Disponível em: <<https://ardupilot.org/rover/>>. Acesso em: 8 jun. 2022.



CADENA, C. et al. Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: Toward the robust-perception age. **IEEE Transactions on robotics**, v. 32, n. 6, p. 1309-1332, 2016.

DELLAERT, F. Factor Graphs: Exploiting Structure in Robotics. **Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems**, v. 4, p. 141-166, 2021.

DONG, J. L. et al. 4D Crop Monitoring: Spatio-Temporal Reconstruction for Agriculture. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, 2017, Singapura. **Proceedings...** Singapura: IEEE, 2017. p. 3878-3885.

DOS SANTOS, F. N. et al. Towards a reliable monitoring robot for mountain vineyards. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS ROBOT SYSTEMS AND COMPETITIONS, 2015, Vila Real. **Proceedings...** Vila Real: IEEE, 2015. p. 37-43.

DUCKETT, T. et al. Agricultural robotics: the future of robotic agriculture. **arXiv preprint arXiv:1806.06762**, 2018.

EMLID. **ROS**. Disponível em: <<https://docs.emlid.com/navio2/ros/>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

FISCHER, G. How do climate change and bioenergy alter the long-term outlook for food, agriculture and resource availability. In: EXPERT MEETING ON HOW TO FEED THE WORLD IN 2050, 2009, Roma. **Proceedings...** Roma: FAO, 2009.

GAO, X. et al. Review of wheeled mobile robots' navigation problems and application prospects in agriculture. **IEEE Access**, v. 6, p. 49248-49268, 2018.

INDELMAN, V. et al. Information fusion in navigation systems via factor graph based incremental smoothing. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 61, n. 8, p. 721-738, 2013.

LU, Y.; YOUNG, S. A survey of public datasets for computer vision tasks in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 178, p. 105760, 2020.

MORETO, P.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, T. T. Integração de sensores para localização e mapeamento simultâneos em fruticultura. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15., 2021, Campinas. **Anais ...** Campinas: Instituto de Zootecnia, 2021. Não paginado. Ref. 21607.

NAVIPEDIA. **RTK Fundamentals**. Disponível em: <[https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/RTK\\_Fundamentals](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/RTK_Fundamentals)>. Acesso em: 17 jun. 2022.

PENTZER, J.; BRENNAN, S.; REICHARD, K. Model-based Prediction of Skid-steer Robot Kinematics Using Online Estimation of Track Instantaneous Centers of Rotation. **Journal of Field Robotics**, v. 31, n. 3, p. 455-476, 2014.

QUIGLEY, M. et al. ROS: an open-source Robot Operating System. In: ICRA WORKSHOP ON OPEN SOURCE SOFTWARE, v. 3, p. 5, 2009.

ROS. **mavros**. Disponível em: <<http://wiki.ros.org/mavros>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

SANTOS, T. T. et al. Automatic grape bunch detection in vineyards based on affordable 3D phenotyping using a consumer webcam. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 11., 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: Editora da Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2017. p. 89-98.

SCARAMUZZA, D.; FRAUNDORFER, F. Visual Odometry: Part I: The First 30 Years and Fundamentals. **Robotics & Automation Magazine**, v. 18, n. 4, p. 80-92, 2011.



SHAFIEKHANI, A. et al. Vinobot and Vinocular: Two Robotic Platforms for High-Throughput Field Phenotyping. **Sensors**, v. 17, n. 1, p. 214, 2017.

SILVA, E. Como serão as lavouras do futuro. **Globo Rural**, 01 mai. 2018. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Feiras/noticia/2018/05/como-serao-lavouras-do-futuro.html>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

STACHNISS, C.; LEONARD, J. J.; THRUN, S. Simultaneous Localization and Mapping. In: SICILIANO B.; KHATIB O. (ed.). **Springer Handbook of Robotics**. Springer, 2016. p. 1153-1175.