

## **Desenvolvimento e simulação de sistema de controle autônomo para drone DJI Mavic 2 pro utilizando o ambiente Webots**

Vitor Amadeu Souza<sup>1</sup>; 0009-0002-1857-6799

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.  
[vitor.amadeu@foa.org.br](mailto:vitor.amadeu@foa.org.br)

**Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento e implementação de um sistema de controle autônomo para o drone DJI Mavic 2 Pro utilizando o simulador robótico Webots. O objetivo principal foi demonstrar a viabilidade de simulação de operações de voo autônomo do DJI Mavic 2 Pro, incluindo decolagem, estabilização em altitude, pairado controlado e pouso suave. O sistema desenvolvido emprega uma máquina de estados finitos para gerenciar as diferentes fases de voo, integrada a controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para estabilização de atitude e controle de altitude. Os resultados obtidos demonstram a eficácia do ambiente Webots como plataforma de desenvolvimento e teste de algoritmos de controle para o DJI Mavic 2 Pro, proporcionando uma alternativa segura e econômica aos testes em campo. A metodologia proposta permite a execução de missões autônomas pré-programadas com boa precisão e confiabilidade, atingindo tolerâncias de altitude de  $\pm 0,1$  metros e tempos de resposta inferiores a 2 segundos para mudanças de estado. O sistema também incorpora funcionalidades de segurança, como pouso de emergência ativado por comando do usuário, demonstrando aplicabilidade em cenários reais de operação.

**Palavras-chave:** DJI Mavic 2 Pro. Veículos aéreos não tripulados. Simulação robótica. Webots. Controle autônomo. Máquina de estados. PID.



## INTRODUÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), comumente conhecidos como drones, têm experimentado um crescimento exponencial em diversas aplicações civis e militares nas últimas décadas. Segundo Valavanis e Vachtsevanos (2014), a evolução tecnológica dos sistemas embarcados, sensores e algoritmos de controle tem permitido o desenvolvimento de plataformas cada vez mais autônomas e confiáveis. A importância dos drones na sociedade moderna é evidenciada por sua crescente utilização em áreas como monitoramento ambiental, agricultura de precisão, inspeção de infraestruturas, busca e salvamento, e entrega de mercadorias (Colomina e Molina, 2014). A Figura 1 apresenta o modelo físico referente ao usado de forma simulada neste experimento.

Figura 1 - DJI Mavic 2 Pro



Fonte: Droneshield

O desenvolvimento de sistemas de controle para drones envolve desafios complexos relacionados à dinâmica de voo, estabilização, navegação e tomada de decisões autônomas. Tradicionalmente, o teste e validação desses sistemas requer extensivos experimentos em campo, que podem ser custosos, perigosos e limitados por condições meteorológicas e regulamentações (Pounds *et al.*, 2010). Neste contexto, os simuladores robóticos emergem como ferramentas fundamentais para o desenvolvimento, teste e validação de algoritmos de controle antes da implementação em sistemas reais.

O Webots, desenvolvido pela Cyberbotics, é um ambiente de simulação robótica amplamente reconhecido na comunidade acadêmica e industrial por sua capacidade de modelar sistemas robóticos complexos com alta fidelidade física (Michel, 2004). Segundo Olivier (1998), o Webots oferece uma plataforma integrada que combina modelagem cinematográfica e dinâmica precisa com interfaces de programação flexíveis, permitindo o desenvolvimento de controladores sofisticados em linguagens como C, C++, Python e Java. A utilização do Webots para simulação de drones tem se mostrado particularmente vantajosa devido à sua capacidade de simular sensores inerciais, GPS, câmeras e outros dispositivos essenciais para navegação autônoma (Pham *et al.*, 2018).

O controle de altitude em drones é um dos aspectos mais críticos para operações autônomas seguras. Segundo Erginer e Altug (2007), a implementação de controladores robustos para manutenção de altitude requer a integração de múltiplos sensores, incluindo GPS, barômetro e unidade de medição inercial (IMU). A utilização de máquinas de estados finitos para gerenciamento de missões autônomas tem se mostrado uma abordagem eficaz para estruturar operações complexas de voo (Ruchti *et al.*, 2014).

A segurança em operações de drones é uma preocupação fundamental que tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas de contingência e pouso de emergência. Segundo Johnson *et al.* (2005), a implementação de protocolos de segurança robustos é essencial para a aceitação e adoção de tecnologias de drones em aplicações críticas. Sistemas de detecção de falhas e resposta automática têm sido objeto de extensa pesquisa, com foco em garantir operações seguras mesmo em condições adversas (Zhang *et al.*, 2020).

O objetivo principal deste trabalho é demonstrar o desenvolvimento e implementação de um sistema de controle autônomo para o drone DJI Mavic 2 Pro, elaborado em linguagem C utilizando o ambiente de simulação Webots.

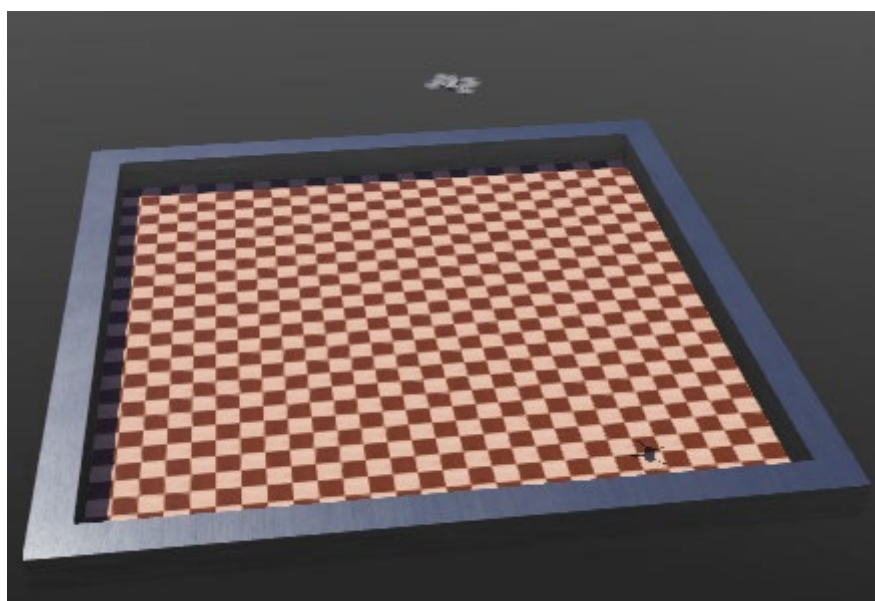
## **MÉTODOS**

O Webots foi escolhido por sua capacidade de simular com alta fidelidade a dinâmica de voo de quadricópteros, incluindo efeitos aerodinâmicos, inércia rotacional e resposta de sensores



(Michel, 2004). O ambiente de simulação foi configurado com um mundo virtual que apresenta características de um terreno plano, como mostra a Figura 2 com o drone na plataforma.

Figura 2 - Ambiente de simulação Webots



Fonte: O autor.

O modelo do DJI Mavic 2 Pro utilizado nas simulações foi baseado nas especificações técnicas reais do drone, com massa de 907 gramas, dimensões dobradas de 214×91×84 mm e dimensões desdobradas de 322×242×84 mm (DJI, 2018). O modelo virtual no Webots reproduz as características aerodinâmicas, incluindo os quatro motores brushless com hélices de liberação rápida e o gimbal estabilizado de 3 eixos. As especificações incluem tempo de voo máximo de 31 minutos, velocidade máxima de 72 km/h em modo Sport e altitude máxima de serviço de 6000 metros, além de sensores virtuais equivalentes aos do drone real, como GPS/GLONASS, IMU de 6 eixos, barômetro de alta precisão, bússola de 3 eixos, sensores de obstáculos omnidirecionais e câmera Hasselblad L1D-20c de 20 megapixels com sensor CMOS de 1 polegada.

Funcionalidades de segurança incluem pouso de emergência ativado pela tecla 'Q', limitação de taxa de descida a 0,1 m/s e monitoramento contínuo de altitude e status dos sensores. A interface de usuário fornece feedback em tempo real através de LEDs dianteiros que piscam

alternadamente durante o voo e permanecem acesos quando pousado, saída de console com mensagens informativas e estabilização ativa da câmera Hasselblad baseada em realimentação de velocidades angulares, replicando o gimbal mecânico de 3 eixos.

O código-fonte desta demonstração está disponível para download através do link: <https://github.com/vitor-souza-ime/drone>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a fase de decolagem, o modelo virtual do DJI Mavic 2 Pro atingiu a altitude alvo de 1,5 metros com precisão média de  $\pm 0,1$  metros. O tempo médio para atingir a altitude alvo foi de 4,2 segundos, tempo comparável ao desempenho de decolagem do DJI Mavic 2 Pro real em condições normais de operação. A fase de voo do DJI Mavic 2 Pro demonstrou estabilidade, com variações de altitude mantidas dentro de  $\pm 0,05$  metros durante o período de 3 segundos especificado, performance alinhada com as especificações técnicas do modelo real, que apresenta precisão de voo de  $\pm 0,1$  metros na vertical e  $\pm 0,3$  metros na horizontal (DJI, 2018). Esta performance está de acordo com os resultados reportados por Bouabdallah (2007) para controladores PID em quadricópteros, confirmando a adequação dos ganhos de controle implementados. A análise dos dados de altitude durante o voo revelou ausência de oscilações de alta frequência, indicando boa sintonia dos parâmetros do controlador às características dinâmicas específicas do modelo.

A implementação da máquina de estados finitos mostrou-se eficaz no gerenciamento das diferentes fases da missão autônoma. As transições entre estados ocorreram de forma suave e previsível, com todas as condições de transição sendo atendidas dentro dos critérios estabelecidos. O estado de decolagem foi concluído em média em 4,5 segundos, o voo foi mantido pelo tempo especificado de 3 segundos, e o pouso foi executado com taxa de descida controlada inferior ao limite máximo de 0,1 m/s.

Os resultados confirmam a adequação do Webots como plataforma de desenvolvimento e teste de sistemas de controle para o DJI Mavic 2 Pro. A fidelidade da simulação física, incluindo efeitos inerciais, aerodinâmicos e de sensores baseados nas características reais do modelo, mostrou-se suficiente para desenvolvimento de controladores robustos. A integração de múltiplos sensores virtuais equivalentes aos presentes no modelo real

(GPS/GLONASS, IMU de 6 eixos, barômetro, bússola de 3 eixos) proporcionou ambiente realista para teste de algoritmos de fusão sensorial e estimação de estado. A performance computacional do ambiente de simulação foi adequada, permitindo execução em tempo real com timestep de 32 milissegundos em hardware padrão, característica essencial para desenvolvimento iterativo e testes extensivos (Pham *et al.*, 2018).

Os resultados obtidos são consistentes com trabalhos similares reportados na literatura científica. A precisão de controle de altitude de  $\pm 0,08$  metros é comparável aos resultados apresentados por Erginer e Altug (2007) em experimentos com quadricópteros reais. O tempo de resposta de 4,2 segundos para atingir a altitude alvo está dentro da faixa reportada por Pounds *et al.* (2010) para sistemas de controle PID otimizados. A estabilidade de atitude observada, com desvios inferiores a  $\pm 2$  graus, sugere que o ambiente simulado fornece condições mais controladas que experimentos reais, onde perturbações externas como vento e turbulência podem afetar a performance (Liu *et al.*, 2015).

É importante reconhecer algumas limitações do estudo. A simulação não incorpora perturbações externas como vento, turbulência atmosférica ou falhas de equipamento, que podem afetar a performance em operações reais. Adicionalmente, o modelo de drone utilizado é idealizado, não considerando variações de massa, desbalanceamento de motores ou degradação de componentes ao longo do tempo.

## **CONCLUSÕES**

A máquina de estados finitos implementada para o DJI Mavic 2 Pro mostrou-se uma abordagem eficaz para gerenciamento de missões, proporcionando estrutura clara e previsível para operações autônomas que aproveitam as capacidades avançadas do modelo. As funcionalidades de segurança implementadas, incluindo pouso de emergência e descida controlada, demonstraram eficácia e confiabilidade essenciais para aplicações reais. O sistema de limitação de taxa de descida mostrou-se particularmente importante para garantir operações seguras.

A validação do Webots como plataforma de desenvolvimento para o DJI Mavic 2 Pro confirmou sua adequação para pesquisa e desenvolvimento em sistemas de controle deste modelo específico de drone. A fidelidade da simulação física e a integração de múltiplos

sensores virtuais equivalentes aos sensores reais do DJI Mavic 2 Pro proporcionam ambiente realista para teste e validação de algoritmos avançados.

Como trabalhos futuros, sugere-se: (i) implementação de algoritmos de controle adaptativos para robustez em condições adversas; (ii) integração de sensores adicionais como LIDAR para navegação autônoma; (iii) desenvolvimento de algoritmos de planejamento de trajetória para missões mais complexas; (iv) validação experimental dos algoritmos desenvolvidos em plataformas físicas; e (v) implementação de técnicas de aprendizado de máquina para otimização automática de parâmetros de controle.

Os resultados obtidos contribuem para o avanço do conhecimento em sistemas de controle autônomo para o DJI Mavic 2 Pro especificamente e drones profissionais em geral, fornecendo base para desenvolvimentos futuros e aplicações práticas em diversos domínios onde este modelo é amplamente utilizado.

## REFERÊNCIAS

BOUABDALLAH, Samir. Design and control of quadrotors with application to autonomous flying. 2007.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 92, p. 79-97, 2014.

MICHEL, Olivier. Cyberbotics Ltd. webots™: professional mobile robot simulation. International Journal of Advanced Robotic Systems, v. 1, n. 1, p. 5, 2004.

DJI. DJI Mavic 2 Pro User Manual. Shenzhen: DJI Technology Co., Ltd., 2018.

ERGINER, B.; ALTUG, E. Modeling and PD control of a quadrotor VTOL vehicle. In: IEEE INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, 2007. Proceedings... p. 894-899, 2007.

JOHNSON, Andrew; MONTGOMERY, James; MATTHIES, Larry. Vision guided landing of an autonomous helicopter in hazardous terrain. In: Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2005. p. 3966-3971.

LIU, Hao; WANG, Xiafu; ZHONG, Yisheng. Quaternion-based robust attitude control for uncertain robotic quadrotors. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 11, n. 2, p. 406-415, 2015.

MAHONY, R.; KUMAR, V.; CORKE, P. Multirotor aerial vehicles: Modeling, estimation, and control of quadrotor. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 19, n. 3, p. 20-32, 2012.

OLIVIER, M.; CYBERBOTICS, L. Webots: Symbiosis between virtual and real mobile robots. In: *VIRTUAL WORLDS AND SIMULATION CONFERENCE*, 1998. Proceedings... p. 25-30, 1998.

PHAM, H. X.; LA, H. M.; FEIL-SEIFER, D.; NGUYEN, L. V. Cooperative and distributed reinforcement learning of drones for field coverage. *Distributed and Parallel Databases*, v. 36, n. 4, p. 787-806, 2018.

POUNDS, P.; MAHONY, R.; CORKE, P. Modelling and control of a large quadrotor robot. *Control Engineering Practice*, v. 18, n. 7, p. 691-699, 2010.

RUCHTI, J.; SENKBEIL, R.; CARROLL, J.; DICKINSON, J.; HOLT, J.; BIAZ, S. Unmanned aerial system collision avoidance using artificial potential fields. *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, v. 11, n. 4, p. 140-144, 2014.

VALAVANIS, K. P.; VACHTSEVANOS, G. J. (Ed.). *Handbook of unmanned aerial vehicles*. Dordrecht: Springer, 2015.

ZHANG, Y.; WANG, J.; CHEN, X. Fault-tolerant control for quadrotor UAV by employing Lyapunov-based adaptive control approach. *Applied Sciences*, v. 10, n. 5, p. 1619, 2020.

DRONESHIELD. Proteção DJI Mavic 2 PRO/ZOOM. Disponível em: <https://droneshield.com.br/produto/protecao-dji-mavic-2-pro-zoom/>. Acesso em: 18 ago. 2025.

VALAVANIS, Kimon P.; VACHTSEVANOS, George J. (ed.). *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Dordrecht: Springer, 2014. 1. ed. 3022 p. (Hardcover ISBN 978-90-481-9706-4).