

## **XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

### **Desenvolvimento de um robô hexápode controlado via Radiofrequência**

Pedro Henrique Adegas – PACTec/IFSP<sup>1</sup>

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Costa - IFSP<sup>2</sup>

#### **Introdução**

A robótica móvel tem se consolidado como uma área estratégica dentro da engenharia, sendo amplamente aplicada em atividades de grande complexidade como exploração de ambientes hostis, operações de busca e resgate, inspeção industrial e exploração em terrenos de difícil acesso (Luneckas et al., 2021). Nesse contexto, para a operação nesse tipo de cenário, robôs com pernas articuláveis parecem se demonstrar superiores em navegação em ambientes complexos, devido a sua alta adaptabilidade, estabilidade e variedade de locomoção. Dentre as diferentes arquiteturas para robôs articuláveis, sistemas baseados em insetos hexápodes ocupam uma posição de destaque devido à sua estabilidade inerente e seu design redundante, que permite uma alta gama de movimentos diferentes e capacidade de se manter estável, mesmo com a falha de uma das pernas (Coelho et al., 2021; Ding; Wang; Rovetta, 2010). Outro fator relevante associado aos robôs hexápodes é a sua versatilidade operacional. Estudos demonstram que esses sistemas não apenas se locomovem em terrenos complexos de forma eficiente, mas também podem desempenhar tarefas adicionais, como escalar superfícies e manipular objetos durante o funcionamento. Essa versatilidade decorre devido ao elevado número de graus de liberdade e da redundância estrutural presente nesses robôs, permitindo múltiplas estratégias de controle (Deng et al., 2018; Bartsch et al., 2012). Entretanto, apesar das vantagens estruturais, o controle de robôs hexápodes representa um desafio significativo. A coordenação entre múltiplos atuadores exige a avaliação e definição de estratégias de locomoção eficientes, conhecidas como padrões de marcha (gaits), além da sincronização precisa dos movimentos de cada membro. A literatura aponta que a geração de locomoção estável em robôs hexápodes envolve problemas complexos de planejamento e controle, que são frequentemente abordados por meio de modelos matemáticos, algoritmos bioinspirados ou técnicas de aprendizado de máquina (Coelho et al., 2021). Além disso, aspectos como o consumo energético, impacto mecânico e distribuição de forças durante a locomoção são fatores críticos no desempenho desses sistemas. Trabalhos recentes indicam que a escolha adequada do padrão de marcha pode contribuir para diminuir o impacto destes aspectos, obtendo mais eficiência e garantindo o pleno funcionamento dos sistemas (Gao et al., 2019). Outro ponto relevante na área é o desenvolvimento de arquiteturas de controle que permitam não apenas a execução de movimentos coordenados, mas também a integração com sistemas de comunicação e interfaces de controle em tempo real. A utilização de plataformas embarcadas e protocolos de comunicação eficientes tem possibilitado a criação de sistemas robóticos controlados remotamente, com aplicações que vão desde teleoperação até sistemas autônomos

---

<sup>1</sup>Estudante do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, IFSP – Catanduva/SP. E-mail do primeiro autor: pedro.adegas@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup>Titulação do orientador: Doutor. IFSP – Catanduva/SP. E-mail do autor: marcos\_costa@ifsp.edu.br

## **XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

assistidos. Nesse contexto, a redução da latência e a confiabilidade na transmissão de comandos tornam-se fatores determinantes para o desempenho global do sistema (Arrigoni et al., 2024). Apesar dos avanços observados, muitos dos sistemas descritos na literatura apresentam elevada complexidade, alto custo de implementação e dependência de sensores e algoritmos sofisticados. Isso limita sua utilização em ambientes educacionais, prototipagem rápida e aplicações de baixo custo. Dessa forma, torna-se relevante o desenvolvimento de plataformas experimentais simplificadas que permitam a validação de conceitos fundamentais de locomoção, controle e comunicação em robótica. Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um robô hexápode de baixo custo, controlado remotamente por meio de interface web e comunicação sem fio, com foco na implementação de padrões de locomoção estáveis e na avaliação da latência na transmissão de comandos, recebidos por meio da plataforma ESP. A abordagem adotada busca equilibrar simplicidade de implementação e funcionalidade, contribuindo para o estudo experimental de sistemas robóticos com múltiplos graus de liberdade.

### **Objetivo**

O objetivo geral do projeto consistiu no desenvolvimento de um robô hexápode de baixo custo, controlado por meio de interface web, utilizando comunicação via User Datagram Protocol (UDP) com análise de latência, com foco na implementação de locomoção controlada a distância. Os objetivos específicos contemplaram: Projeto e implementação de estrutura mecânica e eletrônica do robô, baseado na plataforma ESP32; Desenvolvimento do sistema de acionamento dos atuadores via Modulação de Largura de Pulso (PWM - Pulse Width Modulation), usando módulos dedicados; Implementar uma interface web simples para controle manual do robô via teclado; Estabelecer a comunicação entre a interface e o robô via protocolo UDP; Avaliar qualitativamente a locomoção e estabilidade do robô.

### **Metodologia**

A metodologia adotada foi estruturada de modo a atender progressivamente aos objetivos específicos propostos, organizando o desenvolvimento do trabalho em etapas sequenciais e interdependentes. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre robótica móvel, com ênfase em robôs hexápodes, padrões de locomoção e estratégias de controle de atuadores em sistemas embarcados, incluindo o estudo de conceitos relacionados à Modulação por largura de pulso e comunicação em redes, com destaque para o User Datagram Protocol, de modo a fundamentar as decisões de projeto adotadas. Com base nos conhecimentos adquiridos, procedeu-se ao desenvolvimento da arquitetura do sistema robótico, contemplando os subsistemas mecânico, eletrônico, de controle e de comunicação. A estrutura mecânica do robô foi construída utilizando chapas de acrílico, escolhidas por apresentarem baixo custo, facilidade de usinagem e peso reduzido, características adequadas para prototipagem rápida, sendo realizada a montagem estrutural com a fixação dos servomotores e organização das pernas, garantindo suporte físico adequado para a execução dos movimentos. O sistema embarcado foi implementado utilizando um microcontrolador baseado na plataforma ESP32, responsável pelo processamento dos comandos e gerenciamento da comunicação sem fio, enquanto o acionamento dos 18 servomotores foi realizado por meio de dois módulos controladores PWM modelo PCA9685, possibilitando o controle independente dos atuadores. A

## **XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

alimentação do sistema foi garantida por meio de uma bateria de polímero de lítio 2S 2200mAh, juntamente com um conversor buck step-down de 20 A, dimensionado para atender às demandas de corrente dos servomotores durante operação simultânea. Na etapa seguinte, foi desenvolvida a interface de controle remoto em ambiente web utilizando linguagem HTML, permitindo a interação do usuário por meio do teclado, especificamente pelas teclas direcionais. Os comandos gerados foram transmitidos ao robô por meio de comunicação sem fio utilizando o User Datagram Protocol, escolhido em função de sua baixa latência e reduzido overhead, características que favorecem aplicações de controle em tempo quase real, mesmo sem garantia de entrega de pacotes. Em continuidade, foi implementada a estratégia de locomoção baseada no padrão de marcha do tipo Wave gait, escolhida em função de sua elevada estabilidade e menor exigência mecânica sobre os atuadores, sendo a geração dos movimentos realizada por meio da definição de sequências temporais de acionamento dos servomotores, garantindo a coordenação adequada entre as pernas durante o deslocamento. Posteriormente, foram realizados testes experimentais com o protótipo desenvolvido, com o objetivo de avaliar o comportamento do sistema durante a execução dos movimentos e a resposta ao controle remoto, incluindo ensaios para análise da latência na transmissão de comandos entre a interface web e o robô, bem como observações qualitativas da estabilidade e sincronização dos movimentos durante a locomoção. Por fim, com base nos resultados obtidos, foram realizados ajustes pontuais na implementação do sistema, visando melhorar o desempenho geral do robô, sendo o trabalho concluído com a documentação das etapas de desenvolvimento, dos testes realizados e dos resultados alcançados, consolidando as informações em formato de relatório técnico e material para divulgação científica.

### **Resultados**

O trabalho resultou no desenvolvimento e construção bem-sucedida de um protótipo funcional de robô hexápode de baixo custo, projetado com foco em simplicidade, modularidade e viabilidade para aplicações experimentais, integrando uma estrutura mecânica em acrílico, atuadores baseados em servomotores e uma arquitetura de controle embarcada utilizando microcontrolador ESP32, permitindo a execução de movimentos coordenados e controle remoto em tempo quase real. O robô foi capaz de realizar deslocamentos utilizando o padrão de marcha do tipo Wave gait, apresentando comportamento estável durante a locomoção e adequada sincronização entre os atuadores, sendo essa estratégia eficiente na redução de esforços mecânicos e na manutenção do equilíbrio do sistema mesmo em condições de operação contínua. A interface de controle remoto implementada em ambiente web demonstrou funcionalidade satisfatória, permitindo a interação do usuário por meio do teclado de forma intuitiva, enquanto a comunicação estabelecida via User Datagram Protocol apresentou latência média na faixa de 40 a 80 ms, sem ocorrência de jitter (latência) perceptível ou travamentos durante os testes realizados, possibilitando controle responsivo do robô em tempo quase real. Os testes experimentais evidenciaram que o sistema responde de forma consistente aos comandos de controle, mantendo sincronização adequada entre os atuadores ao longo da execução dos movimentos, sendo observado que o robô apresentou estabilidade estrutural durante o deslocamento, com movimentos contínuos e sem oscilações excessivas que compromettesse sua operação. Do ponto de vista construtivo, o protótipo apresentou boa relação entre custo e desempenho, sendo composto por componentes de

## XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

fácil aquisição e baixo custo, o que o torna acessível para aplicações educacionais e de pesquisa, enquanto a utilização de módulos dedicados para controle de atuadores contribuiu para a organização do sistema e para a confiabilidade do acionamento dos servomotores. De forma geral, os resultados obtidos demonstram a viabilidade da arquitetura proposta para o desenvolvimento de plataformas robóticas experimentais, permitindo a implementação e avaliação de estratégias de locomoção e controle em robôs com múltiplos graus de liberdade, especialmente em aplicações que demandam resposta rápida e baixo custo.

### **Conclusão**

O desenvolvimento do robô hexápode demonstrou que é possível implementar uma plataforma robótica de baixo custo capaz de realizar locomoção estável e controle remoto eficiente, utilizando componentes acessíveis e arquitetura simplificada, sendo que a integração entre sistema embarcado, controle de atuadores por PWM e comunicação via interface web mostrou-se adequada para aplicações que demandam resposta rápida, apresentando latência compatível com sistemas de controle em tempo quase real e sem ocorrência de instabilidades durante os testes realizados. A utilização do padrão de marcha do tipo Wave gait contribuiu significativamente para a estabilidade do sistema e para a redução de esforços mecânicos sobre os atuadores, evidenciando sua adequação para plataformas robóticas com múltiplos graus de liberdade. De forma geral, os resultados obtidos validam a proposta do trabalho, evidenciando que a arquitetura desenvolvida é viável para estudos experimentais em robótica móvel, especialmente em contextos educacionais e de pesquisa, sendo que, como perspectivas futuras, destaca-se a incorporação de sensores, algoritmos de controle autônomo e modelos de cinemática e dinâmica inversas, visando ampliar a capacidade de navegação e adaptação do sistema a ambientes não estruturados.

### **Referências**

- ARRIGONI, *et al.* Control of a hexapod robot considering terrain interaction. **Robotics**, v. 13, n. 3, p. 142, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics1310014>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-6581/13/10/142>. Acesso em: 23
- BARTSCH, Sebastian *et al.* Development of the six-legged walking and climbing robot SpaceClimber. **Journal of Field Robotics**, v. 29, n. 3, p. 506-532, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/rob.21418>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/rob.21418>. Acesso em: 22 abr. 2026.
- COELHO, Joana *et al.* Trends in the control of hexapod robots: a survey. **Robotics**, v. 10, n. 3, p. 100, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics10030100>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-6581/10/3/100>. Acesso em: 23 abr. 2026.
- DENG, Hua *et al.* Object carrying of hexapod robots with integrated mechanism of leg and arm. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 54, p. 145-155, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.11.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584517301126>. Acesso em: 22 abr. 2026.
- DING, Xilun *et al.* Locomotion analysis of hexapod robot. **Climbing and Walking Robots**, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5772/8822>. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/10075>. Acesso em: 22 abr. 2024.

## **XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA**

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

*Campus Itapetininga*

GAO, Haibo *et al.* Low impact force and energy consumption motion planning for hexapod robot with passive compliant ankles. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 94, p. 349-370, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0828-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10846-018-0828-2>. Acesso em: 23 abr. 2026.

LUNECKAS, Mindaugas *et al.* A hybrid tactile sensor-based obstacle overcoming method for hexapod walking robots. **Intelligent Service Robotics**, v. 14, p. 9-24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11370-020-00340-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11370-020-00340-9>. Acesso em: 22 abr. 2026.