

PROTÓTIPO DE MÓDULO DE CONTROLE EMBARCADO PARA VEÍCULO AUTÔNOMO APLICADO À AGRICULTURA

PROTOTYPE OF AN EMBEDDED CONTROL MODULE FOR AN AUTONOMOUS VEHICLE APPLIED TO AGRICULTURE

Farley Ramos de Sena¹ (IF Goiano)

Júnio César de Lima² (IF Goiano)

Amaury Walbert de Carvalho³ (IF Goiano)

RESUMO: Este artigo apresenta o desenvolvimento e a implementação de um protótipo de Módulo de Controle Embarcado (MCE) para um veículo agrícola autônomo. O objetivo do projeto foi criar um veículo de baixo custo capaz de navegar autonomamente em ambientes agrícolas, utilizando a plataforma Arduino, sensores ultrassônicos e motores de corrente contínua (DC). O método incluiu a definição de requisitos, design conceitual, desenvolvimento de código, integração dos componentes eletrônicos e testes de desempenho em diversos cenários. Os resultados mostraram que o veículo pode se deslocar autonomamente, evitando obstáculos e coletando dados ambientais relevantes, como temperatura e umidade. Apesar do sucesso, foram identificadas áreas para melhorias, como a gestão de energia da bateria e a resistência do chassi em terrenos irregulares. Conclui-se que o projeto possui grande potencial para beneficiar pequenos e médios produtores, promovendo uma agricultura mais eficiente e sustentável. As futuras implementações e aprimoramentos devem focar em aumentar a precisão e a robustez do sistema, visando uma adoção mais ampla da tecnologia na agricultura de precisão.

Palavras-chave: Veículo Autônomo. Arduino. Agricultura. IoT. Sistemas Embarcados.

ABSTRACT: *This paper presents the development and implementation of an Embedded Control Module (ECM) prototype for an autonomous agricultural vehicle. The project's objective was to create a low-cost vehicle capable of navigating autonomously in agricultural environments using the Arduino platform, ultrasonic sensors, and direct current motors (DC). The methodology included defining requirements, conceptual design, code development, integration of electronic components, and performance testing in various scenarios. The results showed that the vehicle could autonomously navigate, avoid obstacles, and collect relevant environmental data such as temperature and humidity. Despite the success, areas for improvement were identified, such as battery energy management and*

¹ Graduando em Sistemas de Informação pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) - Campus Urutaí, Goiás, Brasil. E-mail: farley.ramos@estudante.ifgoiano.edu.br

² Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Goiás. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) - Campus Urutaí Goiás, Brasil. E-mail: junio.lima@ifgoiano.edu.br

³ Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Goiás. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) - Campus Urutaí, Goiás, Brasil. E-mail: amaury.carvalho@ifgoiano.edu.br

SENA, Farley Ramos de.; LIMA, Júnio César de; CARVALHO, Amaury Walbert de. **Protótipo de Módulo de Controle Embarcado para Veículo Autônomo Aplicado à Agricultura.**

chassis durability on uneven terrain. It is concluded that the project has great potential to benefit small and medium-sized producers, promoting more efficient and sustainable agriculture. Future implementations and enhancements should focus on increasing the system's accuracy and robustness, aiming for broader adoption of the technology in precision agriculture.

Keywords: *Autonomous Vehicle. Arduino. Agriculture. IoT. Embedded Systems.*

Introdução

O Brasil é um dos principais produtores agrícolas no cenário mundial, e a demanda por produtos agrícolas tem crescido significativamente nos últimos anos, com perspectivas de continuidade dessa tendência (Saath, 2018). No entanto, a capacidade de produção agrícola enfrenta diversos obstáculos, incluindo a escassez de mão-de-obra barata, questões ambientais que limitam a expansão da área cultivada e a necessidade crescente de controle e monitoramento do processo produtivo. Em resposta a esses desafios, grandes produtores agrícolas têm investido substancialmente em tecnologias de agricultura de precisão, especialmente em processos de automação (Embrapa, 2024).

Paralelamente, a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) tem desempenhado um papel crucial na modernização da agricultura, permitindo o uso de sensores e dispositivos interconectados que fornecem acesso em tempo real a dados sobre solo, pragas, clima e outras variáveis ambientais. Esses dados são essenciais para a tomada de decisões em todas as etapas do processo produtivo (Nimbalkar et al., 2020). As tecnologias de IoT e automação não apenas reduzem a carga de trabalho dos funcionários, mas também otimizam a produção, diminuindo custos e minimizando o impacto ambiental.

Apesar dos avanços tecnológicos, um desafio significativo permanece: tornar essas tecnologias acessíveis a pequenos e médios produtores, que representam uma parcela considerável do setor agrícola. Este trabalho visa abordar essa lacuna ao propor a construção de um protótipo de Módulo de Controle Embarcado (MCE) de baixo custo, destinado a veículos terrestres autônomos aplicados à agricultura. A proposta é que o MCE permita a esses veículos se deslocarem de forma autônoma em terrenos não pavimentados, coletando dados ambientais por meio de sensores durante o deslocamento.

SENA, Farley Ramos de.; LIMA, Júnio César de; CARVALHO, Amaury Walbert de. **Protótipo de Módulo de Controle Embarcado para Veículo Autônomo Aplicado à Agricultura.**

A autonomia do veículo é caracterizada pela sua capacidade de navegar de um ponto a outro em terrenos irregulares sem intervenção humana. Para isso, foram embarcados sensores capazes de coletar dados ambientais, como sensores ultrassônicos, responsáveis por executar várias funções importantes relacionadas à navegação, detecção de obstáculos e mapeamento do ambiente.

A equipe do projeto realizou estudos sobre Internet das Coisas, robótica, programação para Arduino e modelagem 3D, além de utilizar um modelo de chassi apresentado pela equipe da Fanbotica na Maker Faire Europe, realizada em Roma em 2018 (Onorati, 2018). O desenvolvimento do MCE foi conduzido no Laboratório IF Maker Urutaí, um Fablab de robótica aplicada que oferece infraestrutura adequada, incluindo kits de robótica, sensores para coleta de dados ambientais e equipamentos para a elaboração do software de controle.

O trabalho baseou-se em uma abordagem prática, utilizando simuladores como o TinkerCad, linguagem de programação C/C++, IDEs (*Integrated Development Environment* - Ambiente de Desenvolvimento Integrado) e documentos técnicos para o desenvolvimento do código-fonte e a montagem do circuito eletrônico.

Com este projeto, espera-se contribuir para a disseminação de tecnologias de automação e IoT na agricultura, tornando-as acessíveis a uma maior variedade de produtores e, assim, promovendo uma agricultura mais eficiente e sustentável. Espera-se que a adoção dessas tecnologias possa resultar em uma redução geral dos custos operacionais e em um aumento da produtividade, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade e eficiência que são críticos para o futuro da agricultura.

Além dos sensores ultrassônicos utilizados para este trabalho, o protótipo poderá ser incrementado com sensores de umidade do solo para otimizar a irrigação, sensores de temperatura e umidade do ar para monitoramento climático, e sensores de índice de vegetação para avaliar a saúde das culturas. Esses aprimoramentos permitirão um controle ainda mais preciso e abrangente do ambiente agrícola, beneficiando pequenos e médios produtores com dados detalhados e em tempo real para a tomada de decisões.

Materiais e Métodos

Nesta seção, detalhamos a metodologia aplicada no desenvolvimento e implementação do protótipo de Módulo de Controle Embarcado (MCE) para um veículo agrícola autônomo. O objetivo principal deste projeto foi criar um veículo capaz de navegar autonomamente em ambientes agrícolas, utilizando a plataforma Arduino para controle e programação, além de sensores e atuadores para interação com o ambiente. A metodologia foi estruturada nas seguintes etapas: realização de estudos preliminares, definição do problema e dos requisitos, projeto conceitual e detalhado do veículo, integração dos componentes eletrônicos e mecânicos, implementação e teste do código de controle, validação e avaliação do desempenho do veículo.

Foram realizados estudos preliminares, onde foram analisados livros e artigos científicos relacionados ao Arduino e à tecnologia IoT. A partir dessa análise, foi possível destacar as principais funcionalidades e aplicações dessas tecnologias, incluindo:

- Visão geral da tecnologia IoT: Apresentação das características, aplicações e desafios da IoT, essencial para compreender seu papel na modernização da agricultura e na superação dos desafios de precisão e monitoramento mencionados na introdução (Magrani, 2018).
- Controle de motores com Arduino: Demonstração do uso do Arduino para controlar a velocidade e direção de motores elétricos, essencial para a autonomia do veículo (Mataric, 2007; Monk, 2013).
- Monitoramento de sensores com Arduino: Conexão de diversos tipos de sensores ao Arduino para monitorar e coletar dados em tempo real, alinhando-se com a necessidade de controle preciso do ambiente agrícola (Santos, 2016; Oliveira, 2017).

Além da análise teórica, foram realizadas experimentações práticas com o desenvolvimento de projetos utilizando o Arduino. Entre as experimentações desenvolvidas, destacam-se:

- Semáforo: Utilização de LEDs e Arduino para replicar um mini semáforo funcional.
- Monitoramento com Sensores: Criação de um sistema de detecção de proximidade utilizando um sensor ultrassônico e um LED.
- Controle de motor DC (*Direct Current* – Corrente Contínua): Controle da velocidade e direção de um motor DC utilizando um módulo de controle de motores (ponte H) e um potenciômetro.

Os requisitos mínimos para o projeto foram estabelecidos com base na necessidade de operar em ambientes agrícolas desafiadores. O veículo foi projetado para resistir a intempéries, requerer baixa manutenção e possuir dimensões adequadas para se deslocar em terrenos não pavimentados e acidentados. A autonomia do veículo, definida como a capacidade de se deslocar de um ponto a outro desviando de obstáculos sem intervenção humana, foi garantida pelo uso de sensores para captar informações do ambiente. O MCE utilizou um microcontrolador Arduino, programado para integrar os diversos componentes físicos, processar informações em tempo real e tomar decisões, como evitar colisões ao detectar objetos na trajetória do veículo.

O projeto conceitual definiu os elementos-chave que permitiram a operação autônoma do veículo, atendendo aos requisitos estabelecidos. A estrutura física do veículo baseou-se em um modelo de Rover 6WD, modificado para acomodar os componentes disponíveis no laboratório IF Maker Urutaí. Os sistemas principais incluíram um microcontrolador Arduino, sensores ultrassônicos, pontes H (L298N) e uma bateria de 12V e 7Ah.

O sistema de controle apresenta o microcontrolador Arduino como o cérebro do veículo, responsável por receber informações dos sensores, processá-las e tomar decisões com base nesses dados. O algoritmo que dá a lógica do controle é dividido da seguinte forma:

- *DCMotor*: Classe responsável por instanciar e controlar os motores. Cada instancia refere-se a um motor do veículo, dessa forma podemos controlar cada motor de forma independente.

- *ReadUltrasonicDistance*: Método responsável por ler os dados do sensor ultrassônico e para que assim o veículo possa desviar dos obstáculos.
- *ControleAlt*: Método responsável por controlar e tomar as decisões de locomoção do veículo.

O algoritmo também possui métodos, os quais são responsáveis por controlar o estado dos motores, esse estado refere-se aos métodos da classe *DCMotor* que controla cada motor independentemente. Esses métodos são:

- *Pinout*: que instancia e define os pinos do motor.
- *Speed*: que define a velocidade do motor.
- *Frente*: faz com que o motor gire em uma direção.
- *Para trás*: faz com que o motor gire em uma direção oposta ao método *Frente*.
- *Parar*: faz com que o motor se encontre em uma posição de pausa ou parado.

Neste projeto foi utilizado o sensor ultrassônico para medir a distância entre o veículo e objetos próximos, como plantas ou obstáculos. O sensor ultrassônico emite ondas sonoras de alta frequência que são refletidas pelos objetos próximos. O tempo que leva para as ondas sonoras serem refletidas de volta ao sensor foi usado para calcular a distância entre o veículo e o objeto. Essa informação é usada pelo sistema de controle do veículo para evitar colisões ou para navegar com precisão entre as fileiras de plantas. Por exemplo, em uma operação de colheita, o sensor ultrassônico pode ser usado para garantir que o veículo se mova a uma distância segura das plantas para evitar danificá-las. Além disso, o sensor ultrassônico também pode ser usado em conjunto com outros sensores, como câmeras ou sensores LIDAR (*Light Detection and Ranging* - Detecção e Alcance de Luz), para fornecer uma imagem mais completa do ambiente ao redor do veículo.

O sensor ultrassônico tem várias vantagens que o tornam útil ao veículo agrícola autônomo. Algumas dessas vantagens incluem:

- **Precisão:** São capazes de medir a distância entre o veículo e objetos próximos com alta precisão, geralmente com uma margem de erro de apenas alguns milímetros.
- **Confiabilidade:** São confiáveis e podem funcionar em uma ampla variedade de condições ambientais, incluindo temperaturas extremas, umidade e poeira.
- **Custo-benefício:** São relativamente baratos em comparação com outros tipos de sensores, como câmeras ou sensores LIDAR. Isso os torna uma opção atraente para aplicações em que o custo é um fator importante.
- **Fácil integração:** São fáceis de integrar a veículos agrícolas autônomos e podem ser conectados ao sistema de controle do veículo por meio de cabos ou conexões sem fio.

Essas vantagens tornam esse sensor uma opção viável para uso neste projeto. No entanto, ele possui algumas limitações que foram levadas em consideração ao usá-lo. Algumas dessas limitações incluem:

- **Faixa limitada:** Têm uma faixa limitada de detecção, geralmente entre alguns centímetros e alguns metros. Isso significa que eles podem não ser capazes de detectar objetos distantes ou muito próximos ao sensor.
- **Ângulo de detecção estreito:** Têm um ângulo de detecção estreito, o que significa que eles podem não ser capazes de detectar objetos fora desse ângulo. Isso pode limitar a capacidade do sensor de detectar objetos em todas as direções ao redor do veículo.
- **Interferência:** Podem sofrer interferência de outros dispositivos que emitem ondas sonoras na mesma frequência, como outros sensores ultrassônicos ou equipamentos de comunicação. Isso pode afetar a precisão e confiabilidade dos dados do sensor.

- Sensibilidade a condições ambientais: Podem ser afetados por condições ambientais, como temperatura, umidade e vento. Isso pode afetar a precisão e confiabilidade dos dados do sensor.

O sistema de atuadores implementado no veículo agrícola autônomo é composto por motores DC, um microcontrolador Arduino e uma bateria de 12V 7Ah. Os motores DC são responsáveis por fornecer o movimento ao veículo, sendo conectados às rodas por meio de um sistema de montagem adequado. O Arduino desempenha o papel de controlador, enviando comandos para os motores a fim de regular sua velocidade e direção. A bateria de 12V 7Ah atua como a fonte de energia, alimentando tanto os motores quanto os outros componentes eletrônicos do veículo. Esta bateria foi dimensionada para garantir que o veículo possa operar por um período específico antes de necessitar de recarga.

No contexto deste projeto, o sistema de atuadores é fundamental para a autonomia do veículo, permitindo que ele se desloque e interaja com o ambiente de forma independente. Os motores DC fornecem o movimento necessário, enquanto o Arduino gerencia o controle e a bateria assegura a energia necessária para o funcionamento contínuo do sistema.

O desenvolvimento do código considerou requisitos específicos para o desempenho, precisão e segurança do veículo:

- Desempenho do Veículo: O sistema deve ser capaz de controlar o movimento do veículo de maneira precisa e eficiente, permitindo que ele se desloque pelo ambiente.
- Precisão do Sensor Ultrassônico: O sistema deve ser capaz de processar os dados do sensor ultrassônico com precisão, permitindo que o veículo evite colisões com obstáculos ou navegue com precisão entre as fileiras de plantas.
- Segurança: O sistema deve ser projetado para garantir a segurança do veículo e do ambiente ao seu redor. Isso pode incluir a implementação de medidas de segurança, como parada de emergência ou detecção de obstáculos.

- **Confiabilidade:** O sistema deve ser confiável e capaz de operar continuamente por longos períodos sem falhas ou interrupções.

A arquitetura de software foi projetada para atender a esses requisitos, incluindo etapas de identificação de componentes, definição de interfaces, organização dos componentes e documentação.

- **Identificação de componentes:** A primeira etapa foi identificar os diferentes componentes que compõem o sistema, como o módulo de controle do veículo e o módulo de processamento de dados do sensor ultrassônico.
- **Definição de interfaces:** A próxima etapa foi definir as interfaces entre os diferentes componentes do sistema, incluindo como eles se comunicam e trocam informações.
- **Organização dos componentes:** A etapa seguinte foi organizar os componentes em uma estrutura lógica que atenda aos requisitos do sistema e facilite a implementação e manutenção do software.
- **Documentação:** Por fim, a arquitetura do software foi documentada para fornecer uma visão geral do sistema e facilitar sua compreensão e manutenção.

A integração dos componentes eletrônicos envolveu a montagem física do circuito, conectando sensores, atuadores e o microcontrolador Arduino de forma eficiente e segura. Diagramas esquemáticos e fotos do protótipo foram utilizados para documentar essa etapa. A Figura 1 exibe o diagrama de conexão dos componentes e a Figura 2 exibe uma visão esquemática do circuito.

Para futuras melhorias, o MCE pode ser incrementado com sensores adicionais, tais como sensores de umidade do solo para otimizar a irrigação, sensores de temperatura e umidade do ar para monitoramento climático, e sensores de índice de vegetação para avaliar a saúde das culturas. Esses aprimoramentos permitirão um controle ainda mais preciso e abrangente do ambiente agrícola, beneficiando pequenos e médios produtores com dados detalhados e em tempo real para a tomada de decisões.

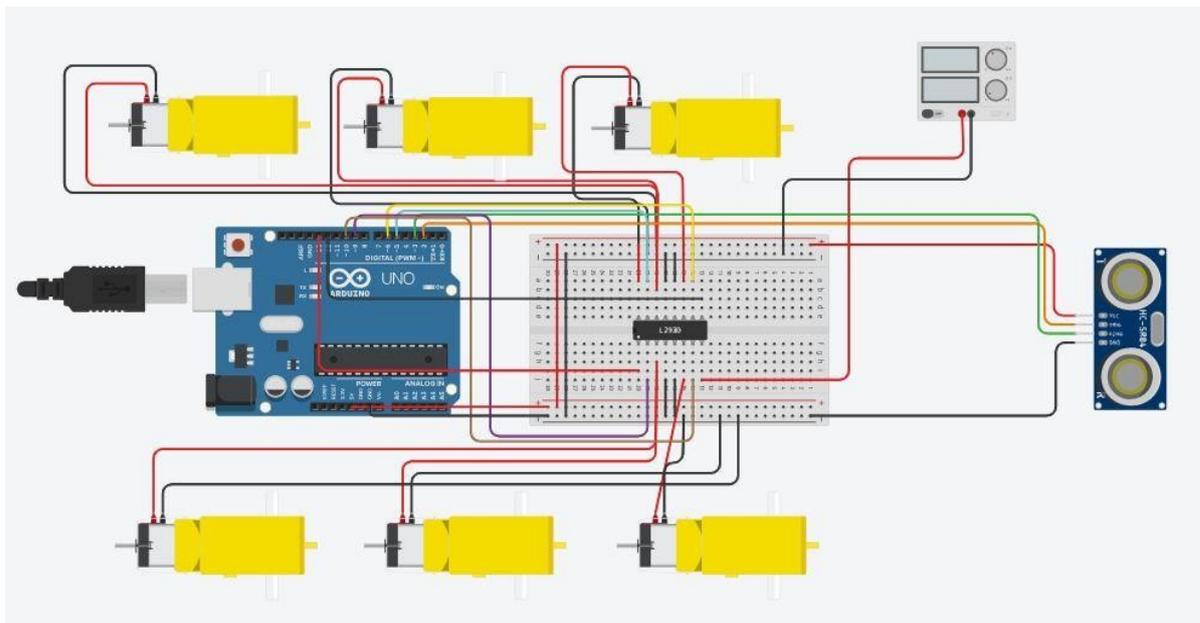


Figura 1: Diagrama de conexão dos componentes. Fonte: elaborado pelos autores.

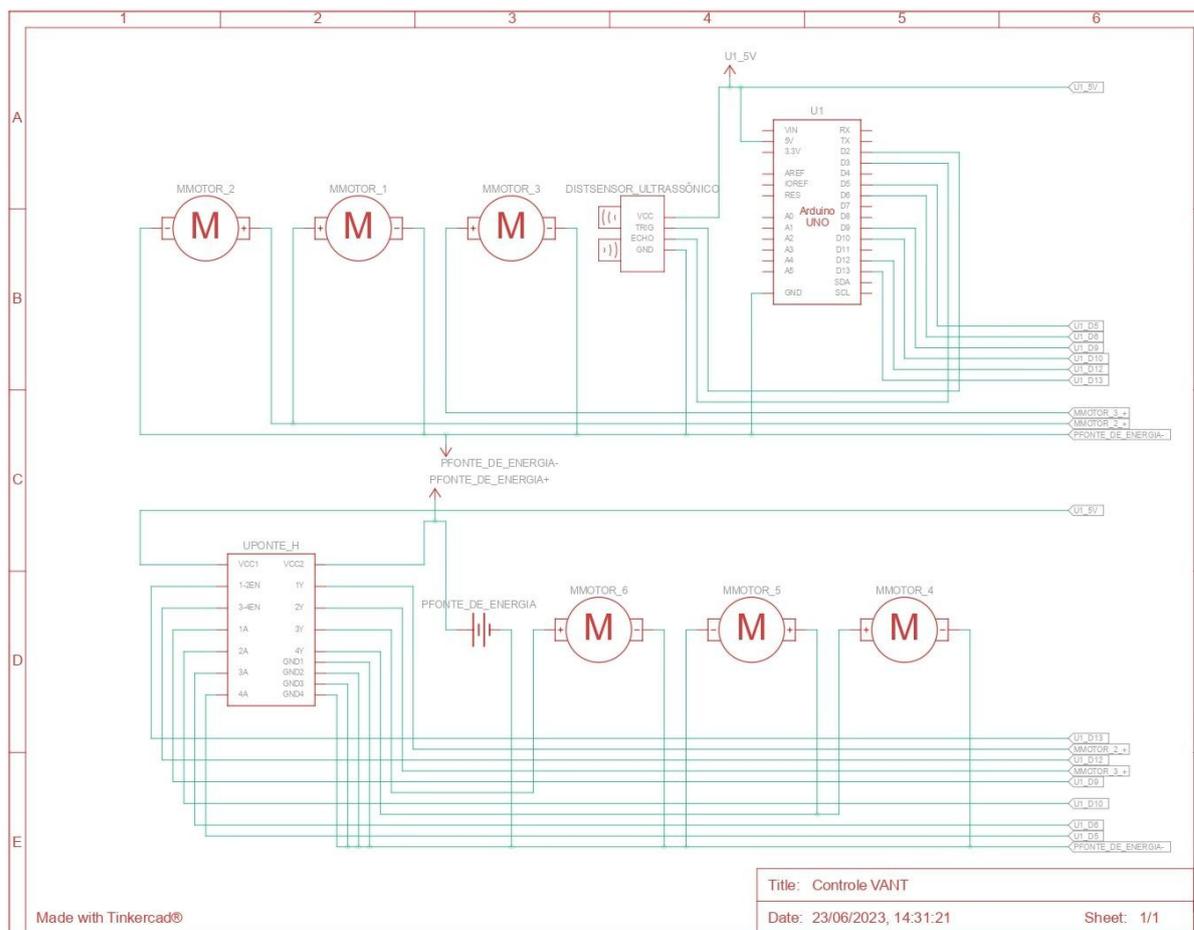


Figura 2: Visão esquemática dos componentes. Fonte: elaborado pelos autores.

O projeto passou por avaliações de performance em diversos cenários e situações. O veículo demonstrou sua habilidade de se orientar e realizar as atividades propostas, mas apresentou algumas limitações em termos de eficácia e adaptação aos terrenos irregulares. Apesar de atender aos critérios definidos no escopo do projeto, o módulo de controle do veículo ainda pode ser aprimorado e otimizado em seu design e código.

Resultados e Discussão

Nesta seção, apresentamos e discutimos os resultados obtidos durante o desenvolvimento e a implementação do protótipo de Módulo de Controle Embarcado (MCE) para um veículo agrícola autônomo. Os resultados foram analisados com base na capacidade do

SENA, Farley Ramos de.; LIMA, Júnio César de; CARVALHO, Amaury Walbert de. **Protótipo de Módulo de Controle Embarcado para Veículo Autônomo Aplicado à Agricultura.**

veículo de navegar autonomamente, na eficácia dos sensores e atuadores, e na eficiência geral do sistema.

O veículo demonstrou ser capaz de se deslocar autonomamente em terrenos não pavimentados, cumprindo os requisitos estabelecidos. Durante os testes, o veículo foi capaz de navegar de um ponto a outro, desviando de obstáculos sem a necessidade de intervenção humana. Essa autonomia foi alcançada graças à integração eficaz dos sensores ultrassônicos e ao algoritmo de controle implementado no microcontrolador Arduino.

Os motores DC, controlados pelo Arduino e alimentados por uma bateria de 12V 7Ah, forneceram um movimento eficiente ao veículo. A capacidade de controlar a velocidade e a direção dos motores de forma precisa foi essencial para a navegação autônoma. No entanto, foi identificado que a bateria necessitava de uma gestão mais consciente para prolongar a autonomia do veículo. A implementação de um sistema de monitoramento de energia poderia melhorar significativamente a eficiência do veículo em operações prolongadas.

A integração dos componentes eletrônicos e mecânicos foi realizada com sucesso. A montagem do circuito e a conexão dos sensores, atuadores e o microcontrolador Arduino foram eficientes, permitindo uma operação estável do sistema. Diagramas esquemáticos e fotos do protótipo foram utilizados para documentar a montagem, facilitando a reprodução e manutenção do sistema. As Figuras 3 e 4 exibem fotos do protótipo pronto em laboratório e em ambiente de testes, respectivamente.

SENA, Farley Ramos de.; LIMA, Júnio César de; CARVALHO, Amaury Walbert de. **Protótipo de Módulo de Controle Embarcado para Veículo Autônomo Aplicado à Agricultura.**

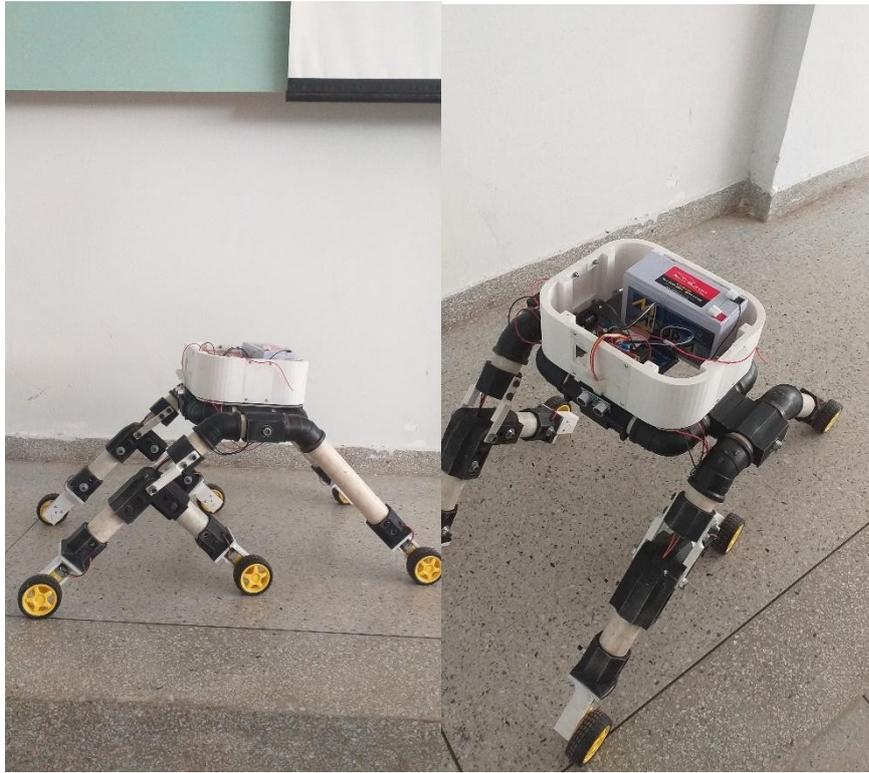


Figura 3: Protótipo montado. Fonte: fotos registradas pelos autores.



Figura 4: Teste do protótipo em campo de testes. Fonte: fotos registradas pelos autores.

O protótipo foi submetido a testes rigorosos em diversos cenários para avaliar sua performance. O veículo demonstrou habilidades satisfatórias em navegação autônoma e execução das atividades propostas. No entanto, algumas limitações foram identificadas, especialmente em terrenos irregulares, onde o veículo apresentou dificuldades em manter a estabilidade e a precisão na navegação.

Além dos testes práticos, foram analisados livros e artigos científicos relacionados ao Arduino e à tecnologia IoT, que forneceram uma base teórica sólida para o desenvolvimento do projeto. As principais funcionalidades e aplicações dessas tecnologias foram destacadas, incluindo o controle de motores com Arduino, monitoramento de sensores e integração de dispositivos IoT.

SENA, Farley Ramos de.; LIMA, Júnio César de; CARVALHO, Amaury Walbert de. **Protótipo de Módulo de Controle Embarcado para Veículo Autônomo Aplicado à Agricultura.**

Os experimentos práticos realizados incluíram o desenvolvimento de projetos como um mini semáforo funcional, sensores de aproximação e controle de motor DC, que foram apresentados na 2ª Semana Nacional da Educação Profissional e Tecnológica (EPT). Esses experimentos demonstraram a versatilidade e a aplicabilidade das tecnologias utilizadas no projeto.

Embora os resultados tenham sido promissores, algumas áreas necessitam de melhorias. O uso da bateria deve ser otimizado para prolongar a autonomia do veículo. Além disso, a adição de mais sensores poderia melhorar a precisão da locomoção. O chassi do veículo também requer aprimoramentos para ser mais resistente e eficiente em terrenos irregulares.

As peças que formam a estrutura do chassi e a caixa de organização do MCE foram impressos utilizando materiais disponíveis no laboratório IF Maker Urutaí: Fab Lab de Robótica Aplicada, além de materiais adquiridos pela equipe executora deste trabalho.

Considerações finais

O desenvolvimento do protótipo de Módulo de Controle Embarcado (MCE) para um veículo agrícola autônomo apresentou resultados promissores e reforçou o potencial das tecnologias de automação e Internet das Coisas (IoT) para modernizar a agricultura. O veículo foi capaz de navegar autonomamente em terrenos não pavimentados, coletando dados ambientais essenciais para a agricultura de precisão. A integração de sensores ultrassônicos e motores DC, controlados por um microcontrolador Arduino, demonstrou ser eficaz para o propósito do projeto.

Os resultados obtidos durante os testes práticos indicam que, embora o protótipo tenha cumprido os objetivos estabelecidos, existem áreas que necessitam de melhorias. A gestão da energia da bateria precisa ser otimizada para prolongar a autonomia do veículo em operações prolongadas. Além disso, a adição de mais sensores de presença pode aumentar a precisão na navegação autônoma, especialmente em terrenos irregulares. A resistência do chassi do veículo também deve ser aprimorada para garantir um desempenho consistente em diferentes condições ambientais.

SENA, Farley Ramos de.; LIMA, Júnio César de; CARVALHO, Amaury Walbert de. **Protótipo de Módulo de Controle Embarcado para Veículo Autônomo Aplicado à Agricultura.**

O impacto potencial deste projeto é significativo. A implementação de um veículo agrícola autônomo de baixo custo pode beneficiar pequenos e médios produtores, proporcionando uma solução acessível para aumentar a eficiência e a produtividade na agricultura. Além disso, o uso de tecnologias como o Arduino e IoT contribui para uma agricultura mais sustentável, reduzindo custos e minimizando o impacto ambiental. Com o contínuo desenvolvimento e aprimoramento do protótipo, espera-se que essa tecnologia possa ser amplamente adotada, promovendo avanços significativos na agricultura de precisão.

Este projeto não apenas validou a viabilidade técnica de um veículo agrícola autônomo baseado em MCE, mas também abriu caminho para futuras inovações no campo da automação agrícola. As melhorias sugeridas, quando implementadas, têm o potencial de transformar este protótipo em uma ferramenta indispensável para agricultores, auxiliando na tomada de decisões mais informadas e eficientes. O contínuo investimento em pesquisa e desenvolvimento será crucial para levar essa tecnologia a novos patamares, beneficiando o setor agrícola como um todo.

REFERÊNCIAS

- EMBRAPA. **Agricultura: oportunidades e desafios.** VII Plano Diretor. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/agricultura-oportunidades-e-desafios>. Acesso em: 19 jun. 2024.
- MAGRANI, E. **A internet das coisas.** Rio de Janeiro: Fgv Editora, 2018.
- MATARIC, M. J. **Robotics primer.** Cambridge, Mass: The Mit Press, 2007.
- MONK, Simon. **Programação com Arduino: começando com Sketches.** Editora Bookman. 2013.
- NIMBALKAR, A.; SHAIKH, A.; HOGALE, J.; GITE, M. **Autonomous Agricultural Bot.** International Journal of Advance Scientific Research and Engineering Trends, 2019, v. 2, n. 6, p. 12-15. <http://www.ijared.com/volume2/issue6/IJARED-V2I6P36.pdf>.
- OLIVEIRA, S. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI.** s.l: Novatec Editora, 2017.

SENA, Farley Ramos de.; LIMA, Júnio César de; CARVALHO, Amaury Walbert de. **Protótipo de Módulo de Controle Embarcado para Veículo Autônomo Aplicado à Agricultura.**

ONORATI, F. **Rocker Tubie: robot construído com tubi PVC.** 2018. Disponível em: <https://www.fanbotica.com/portfolio/rocker-tubie-robot-costruito-con-tubi-pvc/>. Acesso em: 19 jun. 2023.

SAAT, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. **Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil.** Revista de Economia e Sociologia Rural, 2018, 56(2), 195–212. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>.

SANTOS, Bruno P. et al. **Internet das coisas: da teoria à prática.** Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016, v. 31, p. 16.

Recebido em 28/06/2024

Aprovado em 29/09/2024