

Desenvolvimento de um veículo guiado automaticamente (AGV) para aplicações educacionais

Luis Vitor Vaz de Mattos

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS).
luis-mattos@uergs.edu.br

Filipe Tormes Mengue

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
(UERGS) filipe-mengue@uergs.edu.br

Resumo

O presente projeto descreve o desenvolvimento de um *Automated Guided Vehicle* (AGV) voltado para aplicações educacionais, com foco em sua concepção, montagem e validação funcional. Inicialmente, realizou-se a seleção e aquisição dos componentes necessários para a construção do veículo. Em seguida, foram conduzidos testes no motor utilizando fonte simétrica, a fim de verificar seu funcionamento adequado e eficiência. Posteriormente, efetuaram-se ensaios com a bateria, visando avaliar sua capacidade de fornecimento de energia, autonomia e limites de carga. A validação dos componentes, foi elaborado o esquema elétrico do sistema, definindo os pontos de interconexão entre o microcontrolador (*Arduino*), a ponte H, os motores e o sensor ultrassônico. Desenvolveu-se uma placa de circuito impresso (PCI) que serviu de suporte estrutural e elétrico para o *Arduino nano*, otimizando o arranjo e reduzindo o uso de fios no intuito de reduzir problemas relacionados à uma conexão não confiável entre os componentes. Realizaram-se testes de continuidade e inspeção de curtos-circuitos antes da energização do sistema. Por fim, o AGV foi testado em bancada e posteriormente em piso, apresentando desempenho satisfatório, estabilidade operacional e ausência de falhas relevantes durante os testes realizados em laboratório.

Palavras-chave: Veículo autônomo. Automação industrial. Controle embarcado. Eletrônica aplicada. Arduino.

Introdução

O avanço da automação industrial tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias capazes de elevar a eficiência produtiva e reduzir custos operacionais, especialmente no contexto da Indústria 4.0, onde dispositivos autônomos como os Automated Guided Vehicles (AGVs) desempenham papel estratégico na modernização dos processos logísticos. Apesar de sua relevância, muitos AGVs comerciais apresentam elevado custo e complexidade de implementação, o que limita sua utilização em ambientes educacionais e em projetos de iniciação científica, evidenciando um problema cuja abrangência afeta instituições de ensino que necessitam de soluções práticas, acessíveis e pedagogicamente adequadas. Embora existam modelos avançados no mercado, essas soluções não atendem plenamente às necessidades de uso didático, pois não oferecem baixo custo, simplicidade construtiva ou flexibilidade para experimentação. Diante disso, considera-se como hipótese de solução o desenvolvimento de um AGV funcional, de baixo custo e baixa complexidade, utilizando tecnologias acessíveis como Arduino, sensores ultrassônicos e módulos de controle de motores, de modo a garantir desempenho estável e confiável para fins acadêmicos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver, montar e validar um protótipo educacional de AGV capaz de se locomover autonomamente e detectar obstáculos, envolvendo a seleção e teste de componentes eletrônicos, o projeto de uma placa de circuito impresso, a implementação de uma malha de controle de movimentação e a avaliação de seu desempenho em diferentes superfícies.

Metodología

A metodologia aplicada neste trabalho foi estruturada de forma sequencial, iniciando pela definição das tecnologias e avançando pelas fases de implementação, modelagem, sensoriamento e controle.

Para a construção do robô, foram selecionadas tecnologias que aliassem baixo custo e facilidade de prototipagem. O núcleo de processamento escolhido foi o microcontrolador Arduino Nano, responsável por executar o algoritmo de controle e gerenciar os periféricos. A atuação nos motores foi realizada através do driver Ponte H L298N, que permite o controle de velocidade e sentido de rotação dos motores DC. A alimentação do sistema foi garantida por baterias de Íon-Lítio modelo 18650, escolhidas pela sua alta densidade de carga e capacidade de descarga. Essas tecnologias foram integradas para criar uma plataforma robusta e compacta.

A etapa de implementação focou na integração física e elétrica desses componentes. Diferente de protótipos montados apenas em matrizes de contato (*protoboard*), optou-se pelo desenvolvimento de uma Placa de Circuito Impresso (PCI) dedicada. Essa abordagem teve como finalidade aumentar a confiabilidade elétrica, eliminando a instabilidade gerada por fios soltos e vibrações mecânicas comuns em veículos móveis. A estrutura mecânica foi montada para acomodar os motores e sensores de forma a garantir o equilíbrio do centro de massa do veículo e seguindo as dimensões limite propostas anteriormente.

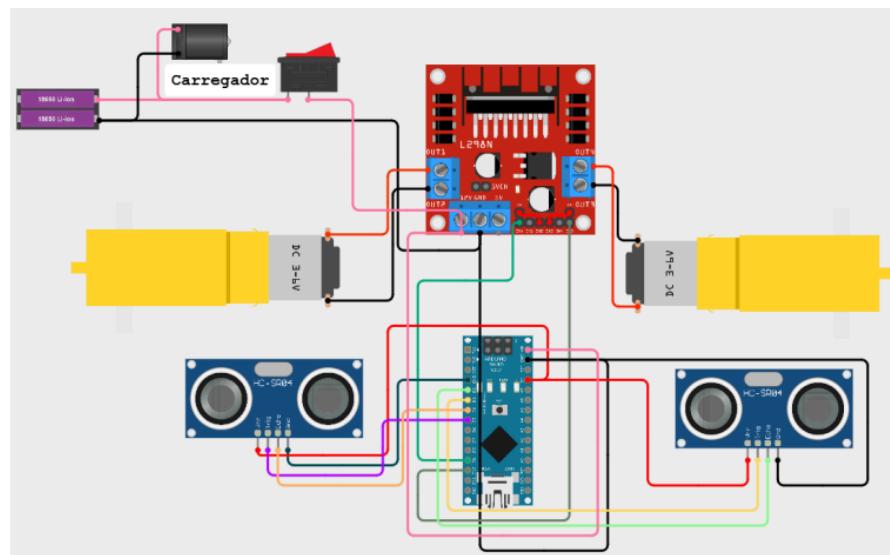


Figura 1: Esquema Elétrico do AGV

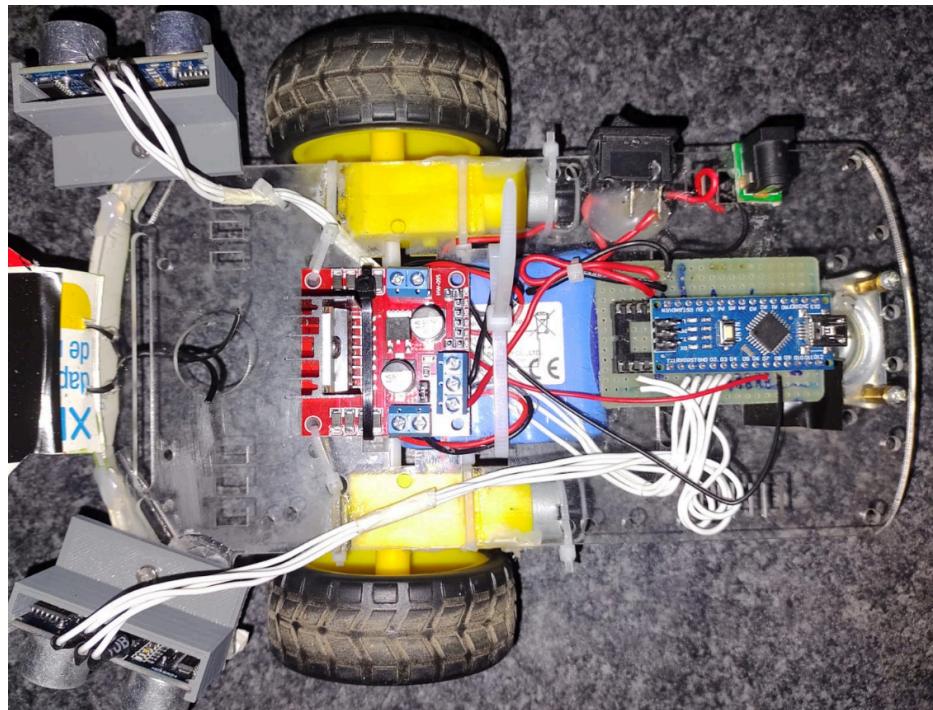
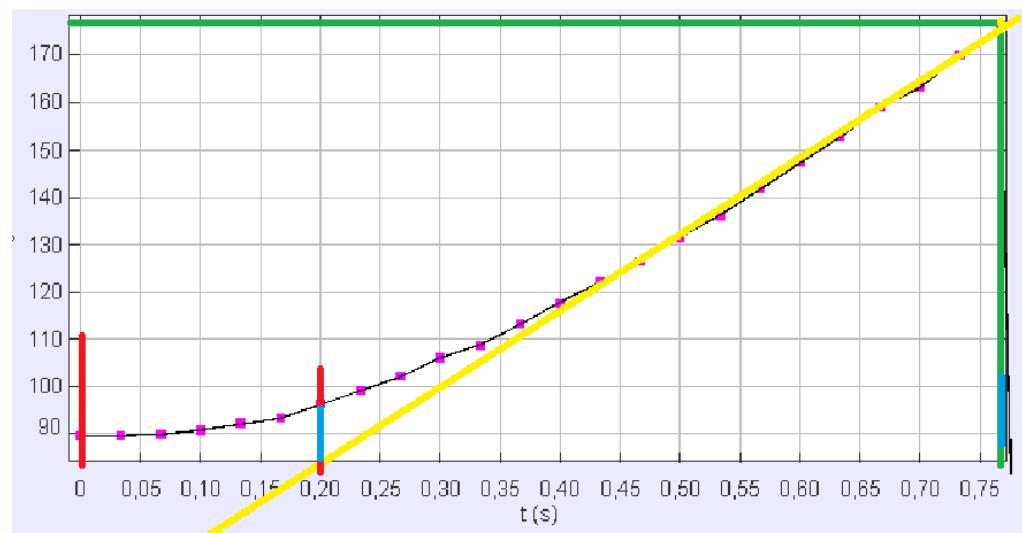


Figura 2: Montagem do AGV.

Na fase de modelagem, buscou-se compreender a dinâmica do veículo para fundamentar a estratégia de controle. O robô foi tratado como um sistema de tração diferencial, no qual a variação de velocidade entre as rodas esquerda e direita provoca a mudança de orientação do veículo. A modelagem adotada foi baseada no método de Ziegler-Nichols em malha aberta, que analisa a resposta do sistema a um degrau, típica de uma curva em formato de "S". Esse método permite determinar dois parâmetros fundamentais: T₂, que corresponde ao tempo morto (ou tempo de atraso entre o estímulo e o início da resposta), e T₁, que representa a constante de tempo associada à inclinação da curva após o ponto de inflexão. Para obter esses valores, utilizou-se a ferramenta Tracker, responsável por converter a trajetória registrada em vídeo em pontos e vetores. Esses dados foram então utilizados para gerar a curva de reação que relaciona o ângulo θ ao tempo, possibilitando a extração dos parâmetros T₁ e T₂, que foram utilizados para determinar a função de transferência do sistema, e necessários para o ajuste do controlador.



T₂ = 0,20s

T₁ = 0,57s

Figura 3: Curva de reação obtida com o Tracker.

$$G(s)ma = \frac{8,77}{s^2 + 5s}$$

Figura 4: Função de transferência do AGV.

O sistema de sensoriamento foi projetado para permitir a percepção do ambiente em tempo real. Utilizaram-se sensores ultrassônicos HC-SR04 posicionados estrategicamente no chassi. Os sensores laterais têm a função primária de medir continuamente a distância até as paredes, fornecendo a variável de processo para a malha de controle. A leitura desses sensores exige tratamento de sinal para minimizar ruídos que poderiam desestabilizar a navegação.

Por fim, a etapa de controle consistiu na implementação de um controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo). Este controlador atua calculando o sinal de correção somando três componentes: o termo Proporcional (K_p), que reage ao erro presente; o termo Integral (K_i), que corrige o erro acumulado e elimina o erro de regime permanente; e o termo Derivativo (K_d), que antecipa tendências futuras de variação do erro. A calibração desses parâmetros foi realizada utilizando o primeiro método de Ziegler-Nichols (método da curva de reação), aplicando as fórmulas tabeladas sobre as constantes do sistema obtidas anteriormente via *Tracker*. Essa abordagem permitiu definir ganhos iniciais assertivos, garantindo que o sistema operasse de forma estável antes dos ajustes finos realizados nos testes práticos.

$$K_p = 1,2 \frac{T_1}{T_2} = 1,2 \frac{0,57}{0,2} = 0,1368$$

$$K_i = 2 \cdot T_2 = 2 \cdot 0,2 = 0,4$$

$$K_d = \frac{T_2}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1$$

Figura 5: Parâmetros calculados do AGV.

Resultados

Os resultados deste trabalho foram avaliados tanto por meio da análise do comportamento do AGV durante os testes em bancada quanto na competição da disciplina, que serviu como teste definitivo de validação. O trajeto de prova consistiu em um percurso delimitado por paredes, no qual o veículo deveria navegar autonomamente, mantendo distância adequada das barreiras e evitando colisões. A modelagem inicial, baseada no método de Ziegler–Nichols, gerou parâmetros de controle que funcionaram no protótipo, porém apenas em velocidades reduzidas, indicando que o modelo matemático captura parcialmente o comportamento real do sistema. Durante os testes, pequenas variações nos ganhos do controlador (K_p e K_i e K_d) levaram a instabilidades, principalmente em curvas, evidenciando a sensibilidade da planta e a necessidade de ajustes finos. O posicionamento da bateria mostrou-se crítico, influenciando diretamente o centro de massa e a estabilidade do veículo: massas deslocadas para longe das rodas ou mal distribuídas comprometiam a tração e o desempenho do controle. A integração da Placa de Circuito Impresso (PCI) com os componentes mecânicos revelou-se eficiente, eliminando problemas recorrentes de protótipos com fios soltos e jumpers, como falhas elétricas ou paradas inesperadas causadas por vibração. O sistema de sensoriamento ultrassônico conseguiu medir as distâncias laterais com precisão suficiente para que a lógica de controle atuasse corretamente, mantendo o robô dentro dos limites da pista. Observou-se, no entanto, que ângulos inadequados dos sensores e pontos cegos na pista, onde a leitura retornava zero, podiam causar perda de referência, afetando a correção da trajetória. Durante a competição, o AGV demonstrou comportamento dinâmico consistente: ao se aproximar demais das paredes, o controlador atuava sobre os motores para afastar o veículo, e ao se afastar, o robô retornava à distância ideal. Oscilações ocorreram em alguns trechos devido a irregularidades na superfície das paredes, mas, de modo geral, o desempenho foi satisfatório, com o AGV completando o percurso e cumprindo os objetivos de navegação e autonomia propostos. Em síntese, os resultados confirmam que a estratégia de controle adotada, aliada ao projeto mecânico e elétrico desenvolvido, é funcional e confiável para operação em baixa velocidade, embora ajustes adicionais sejam necessários para melhorar a estabilidade em condições mais dinâmicas e velocidades mais elevadas.



Figura 5: AGV completo com carroceria personalizada.

Conclusão

O desenvolvimento do AGV seguidor de parede atingiu os objetivos propostos, resultando em uma plataforma funcional e didática para o ensino de robótica e controle de sistemas autônomos. A modelagem do veículo, baseada no método de Ziegler–Nichols, permitiu determinar parâmetros de controle que, embora eficazes em baixas velocidades, evidenciaram a importância de ajustes finos devido à sensibilidade da planta e à influência do centro de massa na estabilidade do robô. A implementação da Placa de Circuito Impresso (PCI) mostrou-se determinante para a robustez do projeto, eliminando falhas elétricas e instabilidades comuns em protótipos com fios soltos. Os testes em pista e na competição validaram a metodologia adotada, demonstrando que é possível desenvolver sistemas de controle eficazes com hardware de baixo custo, mantendo autonomia e precisão de navegação. As oscilações observadas, causadas por irregularidades na superfície da pista e limitações do sensoriamento, indicam oportunidades para trabalhos futuros, como o refinamento do algoritmo de controle, ajustes na posição e ângulo dos sensores ou a fusão de diferentes tipos de sensores para aumentar a precisão e a confiabilidade do AGV em trajetórias mais complexas.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Normas de apresentação tabular.** 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv23907.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2018.

ROCHA, F. A.; SILVA, J. P.; MOURA, R. L. **Desenvolvimento de robôs móveis autônomos baseados em microcontroladores.** Revista Brasileira de Robótica, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 45-60, mar./abr. 2020.

SANTOS, E. R.; ALMEIDA, L. C. **Aplicações de veículos autônomos em linhas de produção automatizadas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 8., 2019, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2019. p. 210-219.