



Desenvolvimento de um sistema embarcado para aplicação em competições de robótica na categoria mini-sumô autônomo

Development of an embedded system for application in robotics competitions in the autonomous mini-sumo category

Desarrollo de un sistema embebido para aplicación en competiciones de robótica en la categoría mini-sumô autónomo

 Arthur Willmer de Andrade Duarte E-mail: arthur_willmer@yahoo.com

 Luís Eduardo Maldonado Pereira E-mail: luiseduardom@gmail.com

 Gabriel Solino de Abreu Arêas E-mail: gabriel.areas@iff.edu.br

 Instituto de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) Campus Macaé/RJ, Brasil

 João Alvaro de Souza Baptista E-mail: joao.baptista@iff.edu.br

 Instituto de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) Campus Macaé/RJ, Brasil



Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento do robô Cuca, um sistema embarcado autônomo para competições de mini-sumô na categoria 500g. O projeto visa integrar conhecimentos teóricos em eletrônica, programação e controle em um protótipo prático, com foco em eficiência competitiva e aprendizagem educacional. Utilizou-se um microcontrolador *ESP32*, sensores *Sharp* para detecção do oponente, motores *N20* com controle PID adaptado e uma placa de circuito impresso (PCI) customizada para minimizar interferências. O robô participou de competições nacionais e internacionais, alcançando a 11ª posição no RSM Challenge Internacional 2025 após a implementação do PID, demonstrando melhoria significativa em tempo de resposta e estabilidade. O projeto reforça a robótica educacional como ferramenta para aprendizagem significativa e oferece diretrizes técnicas replicáveis, como seleção criteriosa de componentes e documentação aberta.

Palavras-chave: sistema embarcado; robótica educacional; controle PID; mini-sumô autônomo; competições de robótica.

Abstract: This article presents the development of the Cuca robot, an autonomous embedded system for 500g mini-sumo competitions. The project integrates theoretical knowledge in electronics, programming, and control into a practical prototype, focusing on competitive efficiency and educational learning. The system employs an *ESP32* microcontroller, *Sharp* sensors for opponent detection, *N20* motors with an adapted PID control, and a custom printed circuit board (PCB) to reduce electromagnetic interference. The robot competed in national and international events, achieving 11th place at the RSM International Challenge 2025 after PID implementation, showing significant improvements in response time and stability. The project highlights educational robotics as a tool for meaningful learning and provides replicable technical guidelines, such as component selection and open documentation.

Keywords: embedded system; educational robotics; PID control; autonomous mini-sumo; robotics competitions.

Resumen: Este artículo presenta el desarrollo del robot Cuca, un sistema embebido autónomo para competencias de mini-sumô en la categoría de 500g. El proyecto integra conocimientos teóricos en electrónica, programación y control en un prototipo práctico, enfocado en eficiencia competitiva y aprendizaje educativo. Se utilizó un microcontrolador *ESP32*, sensores *Sharp* para detección del oponente, motores *N20* con control PID adaptado y una placa de circuito impreso (PCI) personalizada para minimizar interferencias. El robot participó en competencias nacionales e internacionales, alcanzando el 11º puesto en el RSM Challenge Internacional 2025 tras la implementación del PID, demostrando mejoras significativas en tiempo de respuesta y estabilidad. El proyecto refuerza la robótica educativa como herramienta para el aprendizaje significativo y ofrece pautas técnicas replicables, como selección rigurosa de componentes y documentación abierta.

Palabras clave: sistema embebido; robótica educativa; Control PID; mini-sumô autónomo; competencias de robótica.

Introdução

A aplicação da robótica competitiva no cenário estudantil é uma das ferramentas mais eficientes na implementação de conceitos abstratos em projetos físicos [Arêas; Sousa; Oliveira, 2024] para melhor aprendizado de técnicas como programação [Oliveira *et al.*, 2023] e eletrônica [Veiga; Araújo; Silveira Júnior, 2011], portanto, a construção de um robô competitivo na categoria Mini-Sumô Autônomo 500g [RoboCore, 2023] é uma ótima forma de aplicação de conhecimentos desenvolvidos em sala de aula.

O objeto de estudo deste artigo é o robô *Cuca*, desenvolvido pela equipe de robótica do ensino superior Lagartron do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense [IFF] *Campus* Macaé, que é capaz de participar simultaneamente nas categorias Mini-Sumô autônomo 500g e Mini-Sumô RC 500g, diferenciadas pelo funcionamento do robô: um automático, somente guiado por sensores; e o outro guiado por controle remoto externo com auxílio de um operador, respectivamente [RoboCore, 2023].

A motivação mor do estudo origina-se do desejo de criar um projeto competitivo e vitorioso, considerando que os autores são membros da equipe supracitada, a qual demonstra interesse na expansão da robótica educacional como uma forma de aprendizagem significativa, visando proporcionar uma melhor fixação de novos ensinamentos a partir de conhecimentos previamente adquiridos [Ausubel, 1963].

Dessa forma, a proposta destaca-se como uma excelente ferramenta para a aplicação de conceitos abstratos na resolução de problemas práticos relacionados ao robô Mini-Sumô Autônomo 500g, com foco na eficiência das leituras dos sensores e na rápida tomada de decisão, baseada em um algoritmo de programação e em um projeto de controle bem estruturado e projetado para a construção física do *Cuca*.

Outra característica levada em consideração é o desenvolvimento da programação de forma legível e interpretável, com sua importância apresentada por Oliveira *et al.* [2023], fato diversas vezes ignorado no desenvolvimento e que auxilia na perpetuação do conhecimento adquirido durante as fases construtivas do robô. O código é subdividido em seções específicas para cada componente e na aplicação de um algoritmo de controle para definir o ataque a ser realizado ou a trajetória a ser seguida [Marzano Júnior, 2011].

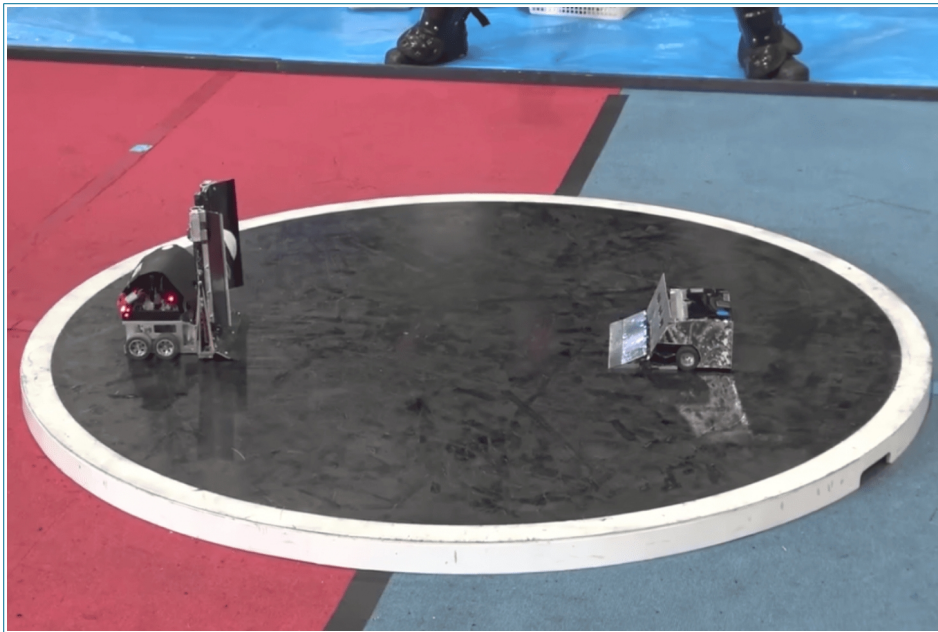
Este trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada e experimental, de natureza quantitativa, que adota a estratégia de comparação antes e depois para avaliar a eficácia das modificações. O desempenho foi analisado por meio de métricas de tempo de resposta e de resultados obtidos em competições oficiais.

Portanto, este artigo tem como objetivo principal avaliar o impacto da implementação de um controlador PID e o desenvolvimento de uma PCI customizada no desempenho competitivo do robô *Cuca*. Busca-se quantificar a melhoria em termos de tempo de centralização do oponente e avaliação de posicionamento em competições, comparando os resultados antes e após as modificações. Adicionalmente, o trabalho descreve a solução técnica desenvolvida, de modo a servir como referência para projetos similares.

Detalhamento e regulamentos das competições mini-sumô autônomo 500g

O regulamento da competição desejada, conforme apresentado pela empresa RoboCore®, possui diversas regras principais que devem ser seguidas para que o projeto seja considerado apto a competir, como exemplo a descrição da área de combate (Figura 1), o *dohyo*, que conforme a empresa, "*Dohyo* deve ser uma placa de madeira circular de 77cm de diâmetro (incluindo a *Tawara*) coberta por um laminado de fórmica localizada no topo a 2,5cm de altura", segundo RoboCore [2023, p. 5], sendo a *Tawara* "uma linha branca circular de 2,5cm de largura, do interior para a linha externa de *Dohyo* (o *Tawara* deve ser considerado dentro do *Dohyo*)", conforme RoboCore [2023, p. 6].

Figura 1. Arena e posicionamento dos robôs nas competições



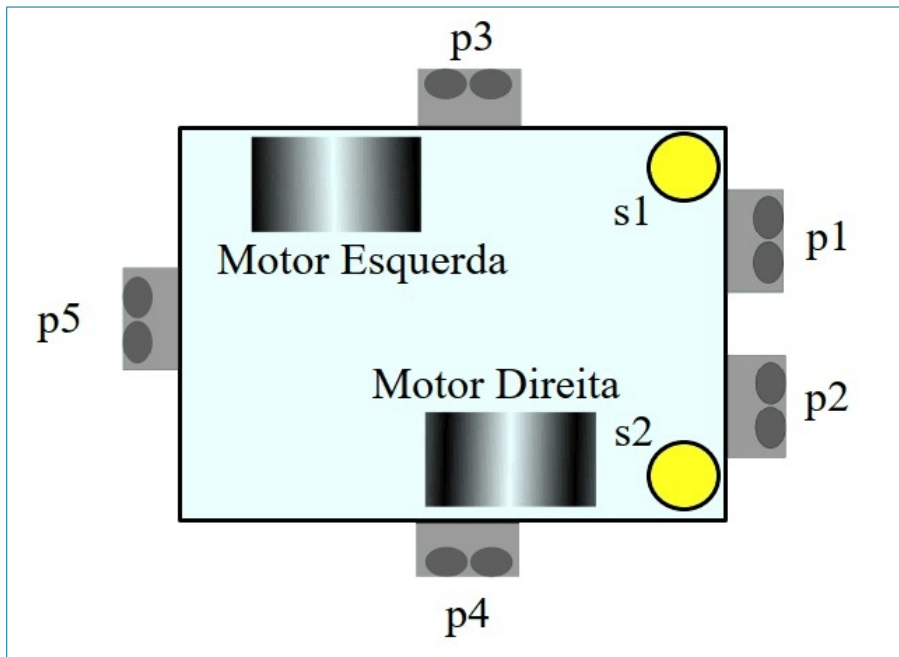
Fonte: [Putra, 2017]

Sobre as especificações do robô em si, salienta-se o seguinte: "O robô deve possuir um comprimento e largura menor ou igual a 10cm, sem restrições de altura, e ser capaz de caber em uma estrutura de caixa para inspeção padrão baseada nesses limites dimensionais" [RoboCore, 2023, p. 6], além disso, "O robô deve pesar menos que ou igual a 500g (incluindo todas as partes que o constituem)" [RoboCore, 2023, p. 7].

Na luta em si é importante ressaltar que os robôs devem ser capazes de iniciar e parar conforme comando do juiz, sendo o fator determinante para indicação de vitória a condução do oponente para fora do *dohyo*, ao mesmo tempo que se mantém no interior da zona da *Tawara*.

Para que essa condução seja eficiente, é importante ressaltar o uso de sensores para detecção eficaz do oponente, conforme apresentado por Zielinski [2018] na Figura 2, sendo utilizados cinco sensores, um par frontal (p1 e p2), outro par lateral (p3 e p4) e um sensor traseiro (p5), fazendo com que o robô seja capaz de detectar o oponente em diversas posições e definir uma estratégia de ataque.

Figura 2. Nomenclatura e posicionamento dos sensores e motores do robô



Fonte: [Zielinski, 2018, p. 43]

Além disso, outro fator determinante para a definição de vitória é a permanência na área de combate, geralmente sendo utilizados sensores reflexivos para detecção da mudança de luminosidade [Vishay Semiconductors, 2002], tal como também apresentado por Zielinski [2018], com dois sensores reflexivos frontais do tipo QRE1113 [s1 e s2] que trabalham para definição de trajetória a ser seguida após detecção da borda da arena.

Materiais e Métodos

Delineamento da Pesquisa

Este trabalho adota a abordagem de pesquisa aplicada, com delineamento experimental do tipo antes e depois. A intervenção técnica consistiu na implementação de um controlador PID e na substituição da placa de prototipagem por uma PCI customizada. O desempenho do sistema foi avaliado por meio de duas variáveis principais: [i] o tempo de centralização, medido em ensaios controlados [n=12 repetições], e [ii] o resultado competitivo, verificado pela posição alcançada em eventos oficiais [RoboChallenge Brasil 2024 e RSM Challenge Internacional 2025]. Os dados de tempo foram analisados via estatística descritiva [média, mínimo, máximo], com exclusão de *outliers* identificados por falhas claras de leitura dos sensores. A comparação do *ranking* entre as duas competições serve como indicador de efetividade da intervenção em ambiente real.

Além dos ensaios controlados de tempo, o comportamento do robô foi qualitativamente analisado durante os *rounds* competitivos, conforme a técnica de observação sistemática. Esta análise visou verificar a conformidade do comportamento operacional em relação ao algoritmo projetado, avaliando a consistência e a efetividade da estratégia em condições reais de combate.

Componentes e Eletrônica

A escolha dos componentes é crucial para o bom funcionamento de um robô mini-sumô, sendo que cada peça deve ser selecionada com base em critérios técnicos e funcionais que garantam eficiência e funcionalidade, conforme mencionado por [Ogbonna \[2025\]](#). A importância de uma seleção cuidadosa e posicionamento eficiente se reflete não apenas na capacidade competitiva do robô, mas também na durabilidade e na facilidade de manutenção [[Luo et al., 2014](#)]. Nesse contexto, a análise do robô *Lagartinho*, primeiro projeto da equipe Lagatron [[Andrighetto et al., 2024](#)], serviu como um marco inicial, orientando as decisões subsequentes da pesquisa.

O robô necessita de alguns componentes eletrônicos para ter seu funcionamento garantido: microcontrolador, responsável pela implementação do algoritmo de tomada de decisão e comunicação com os outros equipamentos; sensores de borda, capazes de detectar a linha delimitadora da arena para que o robô possa se manter na área; sensores de distância, responsáveis pela localização do robô oponente e capacitando a tomada de decisão; controladores [*drivers*] de motor e motores de corrente contínua (CC ou DC), responsáveis pela locomoção do dispositivo a partir dos sinais recebidos do controlador; e bateria, responsável pela alimentação elétrica de todos os componentes, como apresentado por [Zielinski \[2018\]](#) e demonstrado na [Erro: Origem da referência não encontrada](#).

Figura 3. Componentes comuns utilizados na montagem de um robô mini-sumô



Fonte: Autoral

Para a seleção do microcontrolador, é essencial considerar a capacidade de processamento e a quantidade de pinos de entrada e saída disponíveis, fatores que influenciam diretamente a capacidade do robô de executar algoritmos complexos e de se comunicar eficazmente com outros componentes [[Moharkar, 2022](#)]. Além disso, é importante analisar a documentação técnica para verificar dados como frequência de operação, memória disponível e consumo de energia, garantindo, assim, que o microcontrolador escolhido atenda às necessidades estabelecidas [[Moharkar, 2022](#)]. Em projetos anteriores, foi utilizado um microcontrolador *Arduino Nano*, que ofereceu facilidade de programação, porém com baixa frequência de processamento [[Andrighetto et al., 2024](#)].

Os sensores de borda são importantes para a detecção dos limites da arena, e a escolha deve focar em precisão e rapidez na resposta. Os sensores reflexivos, como os do tipo QRE1113 outrora usados [Andrighetto *et al.*, 2024], demonstram eficiência na detecção de mudanças de luminosidade, permitindo, portanto, o robô ajustar sua trajetória ao detectar a borda. Na avaliação das especificações técnicas, é necessário atentar-se a informações como distância de detecção, ângulo de operação e compatibilidade com o microcontrolador utilizado, assegurando assim uma integração no sistema [Vishay Semiconductors, 2002].

Quanto aos sensores de distância, é importante escolher modelos que ofereçam uma leitura precisa e rápida das distâncias aos oponentes, permitindo uma estratégia de ataque eficaz [Świącki *et al.*, 2020]. Conforme analisado por Liu *et al.* [2024], os sensores mais utilizados são os ultrassônicos e infravermelhos, e, ao analisar as folhas de dados, é necessário conferir informações como alcance máximo e mínimo, precisão da leitura, tempo de resposta e robustez do sensor em diferentes condições físicas. Em projetos anteriores, foi utilizado o sensor ultrassônico HC-SR04, que proporcionou leituras com imprecisões e com lentidão na aquisição da informação [Andrighetto *et al.*, 2024].

Os *drivers* de motor DC, como o DRV8833 e mini-motores DC, como o *N20* 500RPM, anteriormente usado [Andrighetto *et al.*, 2024], devem ser selecionados com base na capacidade de corrente e na facilidade de controle. É crucial que o *driver* possa fornecer corrente suficiente aos motores sem sobreaquecer ou falhar, assim, na análise da documentação técnica, aspectos como corrente máxima suportada e compatibilidade com os sinais de controle são essenciais para o bom funcionamento, conforme Tirian, Nitescu e Chioncel [2015]. Além disso, é importante para a escolha dos mini-motores DC características como torque e velocidade adequados ao peso do robô e às necessidades de movimento rápido e preciso [Yagual Beltrán, 2023].

A bateria e o regulador de tensão são componentes que devem ser escolhidos com base na capacidade de fornecimento contínuo de energia e no peso. A bateria deve ser leve, mas capaz de alimentar todos os componentes de forma ininterrupta durante a competição, conforme apresentado por Yagual Beltrán [2023], enquanto o regulador de tensão, por sua vez, deve garantir um fornecimento estável de energia e, na documentação técnica, é importante verificar a capacidade de carga, a taxa de descarga, a tensão nominal e o ciclo de vida da bateria [Liang, 2017], bem como a eficiência e a capacidade de corrente do regulador de tensão [Sahu; Rincón-Mora, 2004]. Em projetos anteriores, foi utilizada uma bateria LiPo 3S 2100mAh, que proporcionou uma excelente autonomia e desempenho, ao custo de alto peso e elevação do centro de massa [Andrighetto *et al.*, 2024].

Programação e Controle

A programação é essencial para o funcionamento do robô mini-sumô autônomo, uma vez que este depende exclusivamente do *software* embarcado para operar sem intervenção humana [RoboCore, 2023]. O sistema de programação atua como o núcleo de controle do robô, processando dados dos sensores, ditando seu comportamento, suas reações ao ambiente e executando estratégias de competição de forma autônoma. Um algoritmo eficiente é indispensável para garantir que o projeto demonstre agilidade nos movimentos e precisão no ataque, fatores determinantes para um bom desempenho em competições [Yagual Beltrán, 2023].

A análise do projeto *Lagartinho* indicou que o algoritmo de tomada de decisão deve ser projetado para processar dados dos sensores em tempo real, priorizando a execução de tarefas críticas e evitando o uso de pausas [*delays*], que podem comprometer a leitura dos sensores e retardar a resposta dos motores [Andrighetto *et al.*, 2024].

A ferramenta Arduino IDE é amplamente utilizada em contextos de robótica para a programação de sistemas embarcados, especialmente em projetos com objetivos educacionais e competitivos [Veiga; Araújo; Silveira Júnior, 2011]. A linguagem de programação empregada no *software* é baseada em sintaxe semelhante à linguagem C, o que permite a implementação de algoritmos complexos, como o controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID), comumente utilizado em projetos de robôs seguidores de linha [Victor *et al.*, 2020]. O suporte a bibliotecas essenciais para a integração de microcontroladores e componentes comumente empregados em robôs mini-sumô também se torna atrativo, prática adotada no projeto descrito por Tirian, Nitescu e Chioncel [2015]. Para garantir a manutenção e a compreensão do código, recomenda-se uma abordagem modular, com seções dedicadas a cada componente do robô, como sensores, motores e algoritmos de decisão, assegurando que alterações em um módulo não comprometam o funcionamento dos demais [Oliveira, 2023].

O sistema do robô deve operar com os sensores atuando como sinais de entrada, anteriormente mencionado por Zielinski [2018], permitindo que o algoritmo calcule e envie para o *driver* a velocidade dos motores por meio de Modulação por Largura de Pulso [*Pulse Width Modulation* ou PWM], ajustando a velocidade e a posição do robô. Na robótica, comumente é utilizada a técnica de PWM para controlar motores CC, que utiliza pulsos elétricos com largura variável, conhecida como "*duty cycle*". A variação dessa largura altera a potência média fornecida ao motor, permitindo o controle preciso de sua velocidade [Victor *et al.*, 2020]. Já a direção de rotação de um motor CC é determinada pela inversão da polaridade da tensão aplicada, realizada pelo *driver* de motor [também conhecido como ponte H] com base nos sinais de controle do microcontrolador [Zielinski, 2018].

A lógica de um sistema com entradas e saídas também é aplicada em robôs mais sofisticados que utilizam algoritmos de controle, como o PID, para um ajuste mais preciso da velocidade e movimento. O controle PID opera com base em um sistema de realimentação [*feedback*], em que sensores, como *encoders* e ópticos infravermelhos, fornecem dados para ajustar continuamente os sinais de controle dos motores, minimizando erros e otimizando o desempenho [Bandeira; Carneiro, 2021]. O algoritmo PID combina três ações de controle: Proporcional (P), que responde ao erro atual; Integral (I), que acumula erros ao longo do tempo; e Derivativo (D), que prevê erros futuros com base na taxa de variação. Essa combinação permite minimizar a diferença entre o valor desejado [*setpoint*], como manter o robô centralizado em uma linha, e o valor real, como a posição do robô em relação à linha [Victor *et al.*, 2020]. No caso de robôs seguidores de linha, o sinal de controle gerado pelo PID é utilizado para ajustar a velocidade de cada motor, corrigindo a trajetória de forma dinâmica [Oliveira, 2022].

A análise dos projetos da Lagatron, como o *Lagartinho* [robô mini-sumô] e o *Komodo* [robô seguidor de linha], demonstra a viabilidade de adaptar um algoritmo PID, originalmente projetado para seguidores de linha, em robôs mini-sumô. Para isso, é necessário implementar o algoritmo no microcontrolador, utilizando um sistema de controle baseado em entradas e saídas, segundo [Oliveira, 2022]. No caso do mini-sumô, os sensores, descritos na seção 3.1, fornecem dados sobre a posição do oponente, que são utilizados para calcular o erro de posicionamento. Com base nesse erro e nos ganhos definidos [K_p , K_i e K_d], são calculadas as parcelas P, I e D, cuja soma dessas parcelas resulta no sinal de controle total, que será enviado aos motores através dos *drivers* [Bandeira; Carneiro, 2021], assim, corrigindo a direção e velocidade do robô para seguir e atacar o oponente.

Resultados e Discussão

Protótipo final

Equipamentos utilizados e construção física

Conforme apresentado, a proposta do robô *Cuca* é prosseguir com o proposto no projeto do *Lagartinho*, porém implementando melhorias e documentando o desenvolvimento. Para análise de resultados e discussões, é importante levar em consideração o que foi modificado em relação ao projeto anterior, visto que pouco se manteve após a decisão de criação do novo projeto.

Os equipamentos mantidos entre a transição de projetos foram os sensores infravermelhos para detecção da borda, os *QRE1113*, devido a sua elevada taxa de envio das leituras para o controlador e boa confiabilidade entre detecções [Vishay Semiconductors, 2002], já que com a leitura analógica, é possível realizar calibrações dinâmicas para manter o robô na pista durante a luta. Além dele, foi mantido o receptor infravermelho de sinal de controle do juiz, o *KY-022*, o qual durante os testes se mostrou eficiente e bem receptivo, com poucas interferências externas, e que no projeto atual não é utilizado apenas para iniciar e parar, mas também para modificações entre estratégias de ataque.

O robô foi construído com um microcontrolador *ESP32 WROOM 32*, devido à capacidade de processamento paralela em dois núcleos e variedade de pinos de Entrada e Saída de Uso Geral [General Purpose Input/Output, ou *GPIO*] [Espressif, 2023]. No entanto, a seleção exigiu atenção devido às limitações do controlador: alguns *GPIOs* possuem funções fixas, como entrada exclusiva ou uso durante a inicialização (*boot*), e outros operam em tensões específicas [Santos, 2018]. Para evitar conflitos, os pinos foram mapeados priorizando aqueles com suporte a Conversão Analógica-Digital [Analog to Digital Converter ou *ADC*] de resolução de 12 bits para os sensores analógicos e PWM nativo para o controle dos motores. A comunicação Bluetooth® foi utilizada para leitura e definição de variáveis sem a necessidade de recompilação do código, enquanto o Wi-Fi®, não utilizado nesta versão, foi reservado para futuras atualizações de telemetria.

A detecção do oponente foi implementada com três sensores de distância *Sharp GP2Y0A21YK0F*, que utilizam infravermelho modulado para medir distâncias entre 10 cm e 80 cm [Sharp, 2018]. Dispostos em um arranjo frontal com espaçamento de 45° entre si, cobrem um amplo campo de visão, identificando adversários em aproximações frontais, diagonais ou laterais. Devido às limitações na alimentação desses sensores, visto que não são oficialmente compatíveis com a tensão de funcionamento do *ESP32*, 3.3V [Espressif, 2023], foi necessária a alimentação com 5V para o conjunto, o que não impediu a leitura da informação pelo microcontrolador.

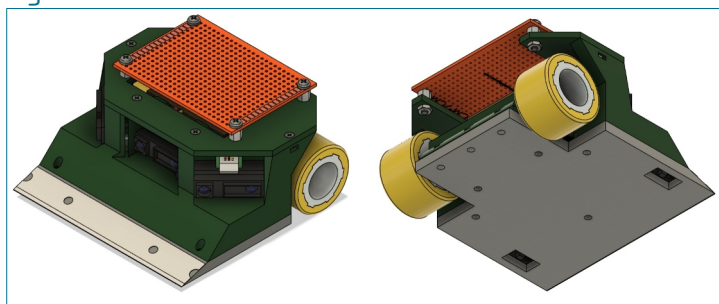
O sistema de movimentação emprega dois motores *N20* de 300 RPM, acoplados a cubos e pneus *StickyMAX S20* de 32 mm. Os pneus, em silicone aderente, proporcionam tração ideal em superfícies lisas, conforme apresentado por Mercês e Rodowanski [2019], enquanto os motores, com caixas de redução externas, as quais reduzem a velocidade de rotação e, em contrapartida, aumentam o torque, apresentam bons torque e velocidade para empurrar oponentes sem perder agilidade [Gallina, 2019]. Os motores escolhidos possuem $1.7 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ de torque e velocidade a vazio de 300 RPM quando aplicados 6V.

A alimentação é fornecida por uma bateria *LiPo 3S 450mAh*, posicionada no interior do chassi para centralizar a massa e melhorar a estabilidade [Zaręba; Kaczmarek; Daniel, 2022]. Um regulador de tensão *Mini360* converte a tensão da bateria para 5V com eficiência acima de 90%, alimentando o microcontrolador e sensores *Sharp*, enquanto os motores são conectados diretamente à bateria para aproveitar sua alta corrente de descarga [Matts-Electronics, 2018].

O controle dos motores é gerenciado por um *driver TB6612FNG*, que opera com sinais *PWM* e direção para cada motor [Pololu, 2016]. Sua ponte H, dispositivo capaz de comutar suas entradas e saídas para atender às necessidades do projeto, de baixa resistência, minimiza perdas por calor, e a proteção integrada contra curto-circuitos aumenta a confiabilidade [Pololu, 2016]. O *driver* recebe comandos do *ESP32*, ajustando dinamicamente a velocidade e o sentido de rotação conforme a estratégia programada.

A estrutura mecânica utiliza uma base de aço-carbono perfurada como suporte principal para rebaixar o centro de massa do robô, parafusada a uma carcaça impressa em 3D em plástico ABS [Figura 4]. O ABS foi escolhido por sua resistência a impactos e durabilidade, características críticas para suportar o estresse das competições [Bolelli; Lebrão, 2019]. A carcaça foi modelada com encaixes personalizados para cada componente, garantindo organização e facilitando manutenções rápidas. A distribuição do peso e a geometria [10 cm x 10 cm] garantem conformidade com as regras da competição, além de equilíbrio durante a movimentação [Figura 5]. Após a montagem final, o robô atingiu um peso total de 496 g, dentro do limite regulamentar de 500 g.

Figura 4. Robô *Cuca* em modelo 3D



Fonte: Autoral

Figura 5. Peso do Robô *Cuca*



Fonte: Autoral

Esquemático final e finalização da Placa de Circuito Impresso (PCI)

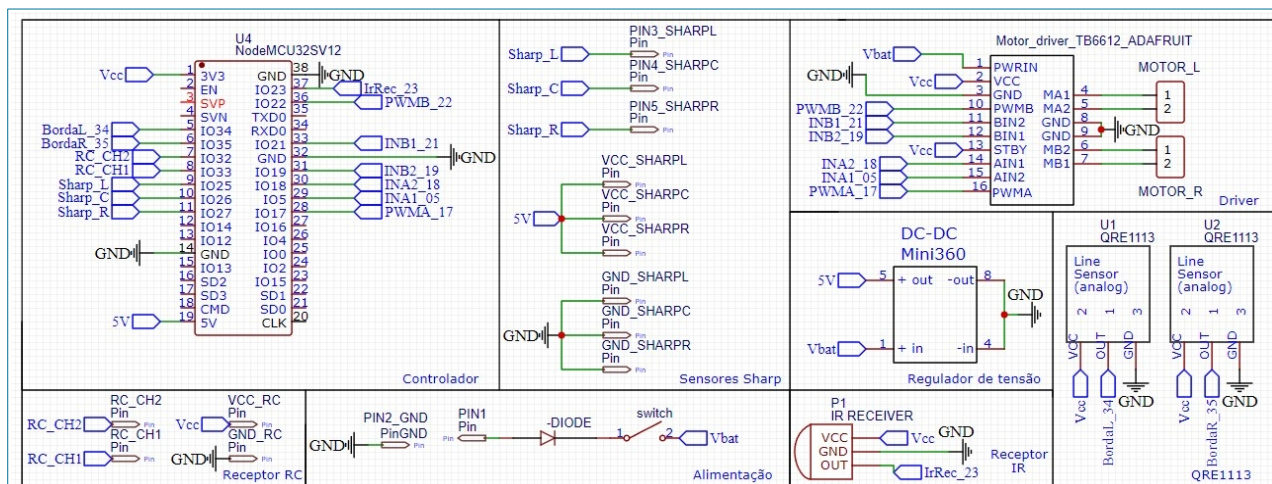
O desenvolvimento do esquemático e da PCI do robô *Cuca* foi conduzido no ambiente *EasyEDA*, ferramenta escolhida por sua capacidade de integrar o desenvolvimento de esquemático, desenvolvimento da PCI e Validação de Regras de Projeto [*Design Rule Check* ou *DRC*] [*EasyEDA, 2024*]. Além disso, a utilização de etiquetas [Net Labels] permitiu a setorização lógica do circuito, agrupando subsistemas como alimentação, controle de motores e sensoriamento em blocos independentes, o que simplificou a identificação de conexões e reduziu a complexidade visual do desenho [*EasyEDA, 2024*], conforme observado na [Figura 6](#). A funcionalidade de integração de bibliotecas e conteúdo da comunidade acelerou a inserção dos componentes utilizados, garantindo compatibilidade com modelos físicos utilizados no projeto.

O *layout* da PCI, com dimensões de 85 mm x 76 mm, foi projetado para operação monoface, utilizando trilhas de 1 mm de largura, com distância de 1 mm entre condutores próximos. Vias de 1,2 mm de diâmetro [perfuração de 0,9 mm] foram distribuídas para possibilitar as soldas dos terminais dos componentes, garantindo estabilidade nas conexões. A disposição dos componentes priorizou a minimização de caminhos de alta corrente próximos a linhas sensíveis, com zonas livres de cobre entre trilhas de motores e sensores para mitigar interferências [*Thomas, 2025*].

A fabricação da PCI, com características apresentadas na [Figura 7](#) foi realizada no Polo de Inovação do IFF, utilizando uma fresadora CNC equipada com broca de 0,9 mm para gravar o circuito em chapas de fenolite de 1,6 mm de espessura. O processo iniciou-se com a importação dos arquivos de fabricação [*Gerber*] gerados no *EasyEDA* para a máquina, seguido de ajustes de profundidade de corte [0,2 mm] para garantir precisão nas trilhas e nos furos. A fenolite foi selecionada por seu custo acessível e adequação a protótipos educacionais, embora exija maior cuidado na soldagem devido à menor aderência do cobre comparada a placas FR-4 [*TEC-CI, 2019*]. Após a gravação, a placa passou por inspeção visual para verificar a integridade das trilhas, resultando em um produto final alinhado às especificações dimensionais exigidas pelo regulamento e, posteriormente, montado conforme [Figura 8](#).

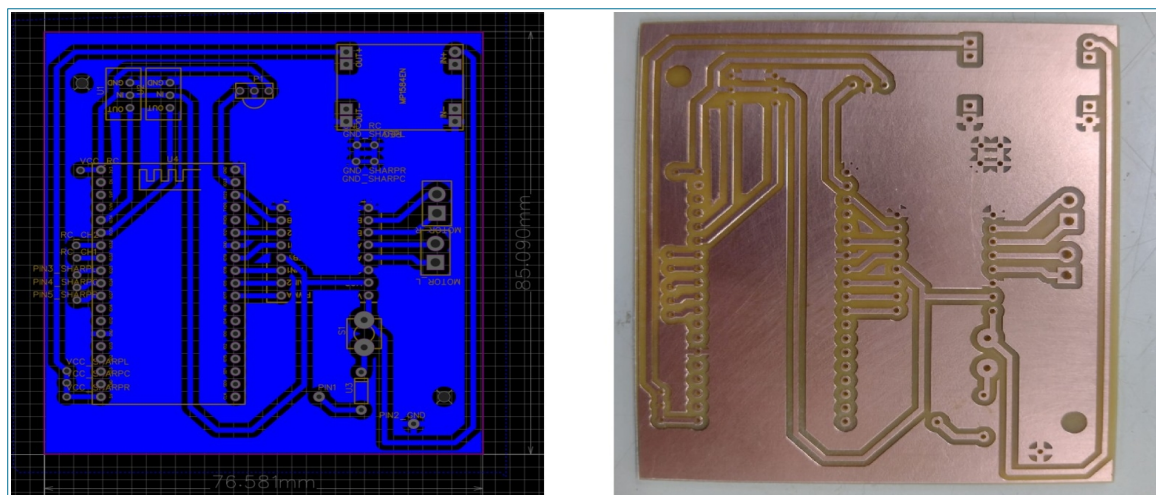
Na seleção dos pinos do microcontrolador priorizou-se que as ligações de cada componente fossem feitas de forma a não haver cruzamentos na etapa de desenho da placa, visto que a configuração monoface impõe restrições físicas à disposição das trilhas, exigindo planejamento para evitar a necessidade de ligações externas, as quais aumentariam a complexidade e o risco de falhas. Essa estratégia garantiu que os sinais de sensores analógicos e PWM possuísem trilhas diretas, minimizando interferências eletromagnéticas e preservando a integridade do sinal [*Jones, 2004*]. Além disso, a organização espacial dos pinos respeitou as limitações de roteamento impostas pela fresadora CNC, que opera com precisão limitada e tamanhos específicos de brocas, favorecendo trajetórias retilíneas e alinhadas aos eixos da máquina [*Jones, 2004*].

Figura 6. Esquemático *Cuca*



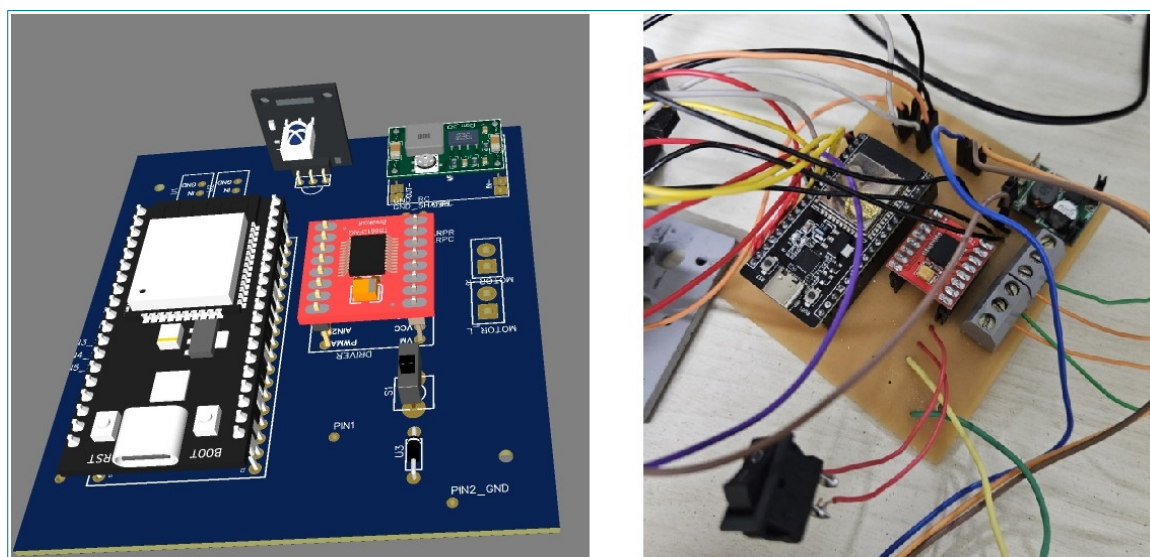
Fonte: Autoral

Figura 7. PCI conforme o projeto *Cuca*



Fonte: Autoral

Figura 8. PCI populada com os componentes do *Cuca*



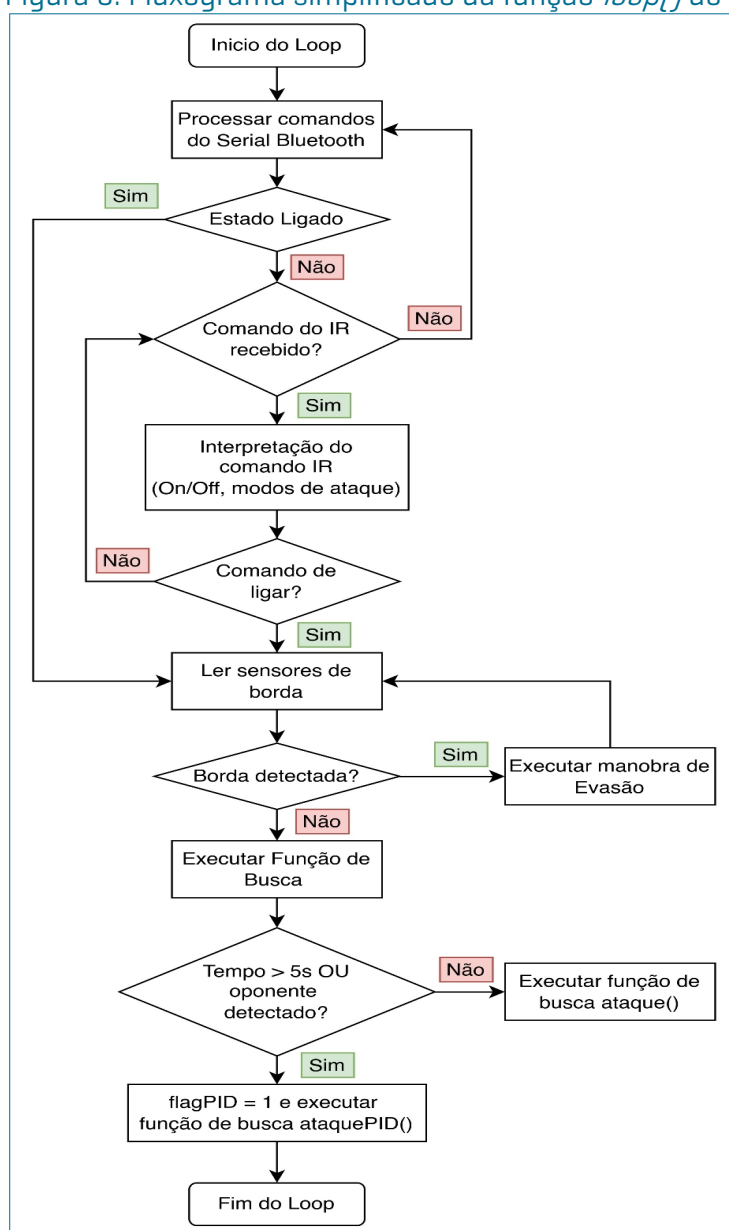
Fonte: Autoral

Implementação do controlador

Para otimizar a estratégia de ataque do robô, garantindo respostas dinâmicas e precisas à detecção do oponente, foi implementado um controlador PID. Este algoritmo, comumente empregado em aplicações como robôs seguidores de linha [Victor *et al.*, 2020], foi adaptado para as exigências específicas do combate mini-sumô, que incluem a necessidade de realizar curvas fechadas e reagir a variações bruscas na posição do adversário ao invés da posição relativa do robô em relação a uma linha.

O núcleo da lógica de controle reside na função principal do sistema, *loop()*, que opera continuamente enquanto o robô está ativo [Figura 9]. Ao ser ativado, geralmente por um comando de infravermelho, o robô inicia um contador de tempo [*tempoStart*] do código e verifica o estado dos sensores de borda. Caso uma borda seja detectada, uma rotina de evasão é acionada, fazendo o robô recuar e girar para se reposicionar na arena. Se nenhuma borda for detectada, o sistema decide qual estratégia de movimentação utilizar.

Figura 9. Fluxograma simplificado da função *loop()* do robô *Cuca*

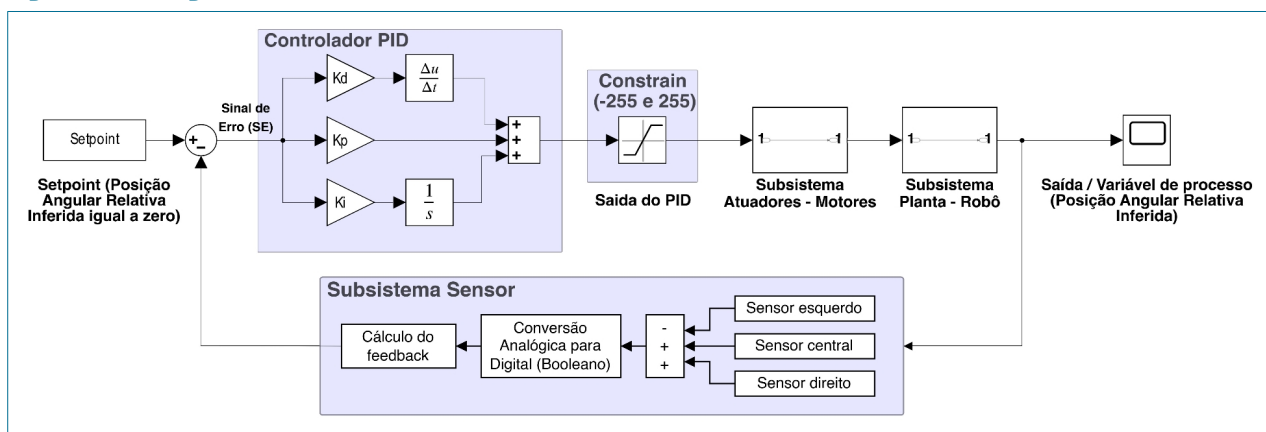


Fonte: Autoral

No início de cada combate, por um tempo máximo de 5 segundos [$millis[]-tempoStart < 5000$] ou até a primeira detecção de oponente pelos sensores laterais (lido pelas funções $distPID_L[]$ e $distPID_R[]$), o robô executa uma rotina de busca comum [$ataque[]$], que implementa movimentos pré-definidos para localizar o adversário. Já se um oponente é detectado pelos sensores infravermelhos laterais ou se o tempo de busca inicial de cinco segundos expirar, o sistema transita para a função de ataque baseada no controlador PID [$ataquePID[]$], ativando uma flag [$flagPID$] para indicar este modo de operação.

O sistema de controle PID opera em malha fechada, conforme ilustrado no diagrama de blocos da [Figura 10](#).

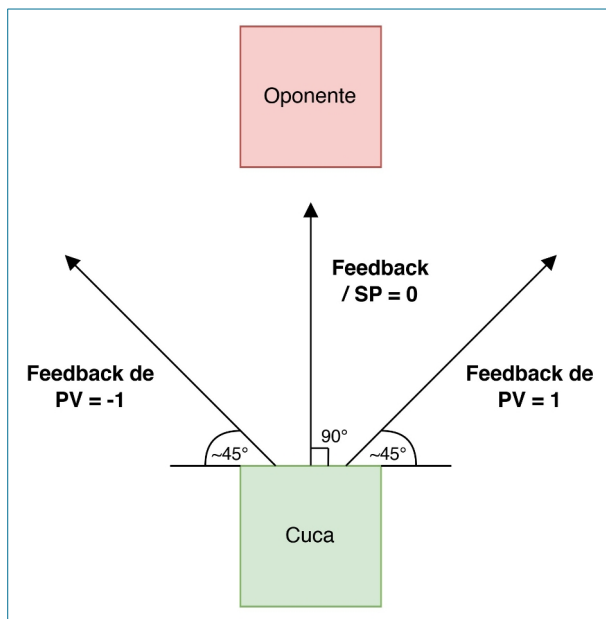
Figura 10. Diagrama de blocos da malha de controle PID



Fonte: Autoral

A variável de processo [PV], criada e determinada para este projeto, representa a posição angular relativa do oponente em relação ao eixo longitudinal do robô. O subsistema chamado "Sensor" na realimentação infere PV indiretamente a partir das leituras combinadas dos três sensores de distância *Sharp*. As funções $distPID_L[]$, $distPID_R[]$ e $distC[]$ são responsáveis por processar os sinais analógicos provenientes dos sensores laterais e central, convertendo-os em valores discretos que indicam a posição relativa do oponente, também representado na [Figura 11](#) [-1 para detecção à esquerda, 1 para detecção à direita, e 0 para a detecção central]. Como observado na [Figura 10](#), a realimentação é negativa no primeiro somador em conjunto com a entrada do *Setpoint* [SP], a diferença resultante na soma é o sinal de erro [SE] que indica o quão distante a posição atual está da posição desejada.

O SP, ou valor de referência do sistema, é a condição desejada para a variável de processo. Neste projeto, o SP é definido como zero, o que corresponde ao alinhamento central do robô com o oponente, condição em que a leitura de posicionamento lateral é nula e o sensor central (lido pela função $distC[]$) detecta o adversário. O controlador atua continuamente para levar a PV [posição angular inferida] ao *setpoint* de zero, corrigindo a trajetória do robô.

Figura 11. Esquemático de funcionamento das leituras dos sensores *Sharp* em relação a PV e SP

Fonte: Autoral

Dentro da função *ataquePID()*, as parcelas do controlador são calculadas a cada iteração do *loop()*:

- i. A parcela Proporcional [P] é diretamente o sinal de erro atual: $P = erro$;
- ii. A parcela Derivativa [D] é a diferença entre o sinal de erro atual e o erro da iteração anterior: $D = erro - erroAnterior$;
- iii. A parcela Integral [I] acumula o sinal de erro ao longo do tempo: $I = I + erro$. Para evitar o fenômeno de integral *windup*, que pode levar à saturação do atuador devido ao acúmulo excessivo de erro, o valor de I é limitado a um intervalo de [-255, 255] utilizando a função *constrain()*.

A saída do controlador [*valPID*] é a soma ponderada dessas três parcelas: $valPID = Kp \cdot P + Kd \cdot D + Ki \cdot I$. Os ganhos do controlador foram determinados experimentalmente. Este processo envolveu a realização de testes iterativos, ajustando-se os valores de cada ganho em incrementos de dez unidades. Dessa forma, foram estabelecidos os valores de $Kp=100$, $Kd=10$ e $Ki=100$, considerando:

- i. O ganho Kp influencia diretamente a velocidade com que o robô reage ao erro de posicionamento atual, um Kp elevado resulta em respostas mais rápidas e agressivas, mas pode levar a oscilações excessivas em torno do *setpoint*. Nos testes realizados, valores acima de 100 mostraram um *overshoot* exagerado;
- ii. O ganho Derivativo [Kd] responde à taxa de variação do erro, introduzindo uma ação preditiva que visa amortecer oscilações e estabilizar a resposta do sistema, antecipando futuras tendências do erro. Em prática, o valor de 10 mostrou estabilidade, enquanto valores mais altos de Kd tornaram o sistema excessivamente sensível a ruídos nas leituras dos sensores, resultando em movimentos erráticos;
- iii. O ganho Integral [Ki] atua sobre o acúmulo do erro ao longo do tempo, sendo crucial para eliminar erros residuais em regime estacionário, garantindo que o

robô não se desvie permanentemente do alvo. Contudo, um K_i alto pode aumentar o *overshoot* e a instabilidade do sistema, enquanto um valor muito baixo pode tornar a correção de erros persistentes demasiadamente lenta. Durante os testes, a utilização de valores inferiores a 100 para os ganhos K_i resultou em trajetórias de curva excessivamente amplas, comprometendo a capacidade do robô de se realinhar eficazmente com o oponente.

Tais constantes ponderam as respectivas parcelas de dados [P , D e I], as quais são calculadas no algoritmo embarcado com base no sinal de erro do sistema.

Uma particularidade da implementação é a redução da ação do PID em 33% [$valPID = valPID - valPID/3$ e $I = I/3$] quando o erro é zero e o oponente está alinhado frontalmente [detectado por $distC()$]. Esta redução, cujo valor foi determinado empiricamente através de testes práticos, visa minimizar oscilações e evitar sobrecorreções que podem ocorrer devido a ruídos nos sensores ou a um termo derivativo excessivamente responsivo, conforme mostrado em estudos sobre controle PID em plataformas Arduino [Bista, 2016].

O valor $valPID$ é então utilizado para ajustar dinamicamente a velocidade e o sentido de rotação dos motores [pelas funções $motor1Run()$ e $motor2Run()$]. Este valor passa pelo subsistema eletromecânico de atuadores, composto pelos dois motores N20, após as velocidades finais serem calculadas por $velDir = maxV_{el} - valPID$ para o motor direito [$velDir$] e $velEsq = maxV_{el} + valPID$ para o motor esquerdo [$velEsq$]. Os valores distintos de $velDir$ e $velEsq$ permite ao robô realizar curvas e, conseqüentemente, alterar sua posição angular relativa ao oponente, buscando o alinhamento ideal para o ataque.

A velocidade base [$velRetaBase$] dos motores é multiplicada por um ganho igual a dois [resultando em $maxVel$] quando o sensor central [$distC()$] detecta o oponente, conferindo uma resposta mais agressiva durante o engajamento direto. No sistema implementado, um valor de PWM de 255 [valor máximo associado a uma resolução de oito bits do ESP32] corresponde à aplicação de aproximadamente 12V aos terminais dos motores provenientes da bateria. Para evitar a saturação dos motores e garantir que os valores de comando permaneçam dentro da faixa operacional do PWM [0 a 255], a saída final para cada motor [$velDir$ e $velEsq$] é limitada utilizando a função $constrain(valor, minimo, maximo)$ da biblioteca padrão da Arduino IDE [Ma'arif et al., 2020].

Os ganhos do PID, assim como a velocidade base [$velRetaBase$] e outros parâmetros de ajuste fino, podem ser modificados em tempo real via comunicação *Bluetooth*[®], utilizando uma aplicação como o *Serial Bluetooth Terminal*. Esta funcionalidade permite a calibração e otimização do comportamento do robô diretamente na arena ou durante testes, sem a necessidade de recompilar e recarregar o código no microcontrolador. Os valores ajustados dos ganhos PID são salvos na memória EEPROM do ESP32, garantindo que persistam entre reinicializações [Espressif, 2023].

Complementando o diagrama de blocos apresentado [Figura 10], o subsistema denominado "Planta" engloba o robô *Cuca* em sua integralidade física e as interações dinâmicas que estabelece com o ambiente da arena [*dohyo*]. Intrínsecos a esse sistema, estão fatores como o atrito dos pneus de silicone, da base de aço do chassi e a lâmina com a superfície do *dohyo*, além da influência da distribuição de massa e do peso total [496g] sob a ação da gravidade, afetando a força normal e, conseqüentemente, as forças de atrito. Adicionalmente, a inércia do robô, a resposta dinâmica dos motores quando submetidos à carga, e as irregularidades inerentes à superfície de combate também compõem este modelo.

Desempenho

Tempo de Resposta e Identificação do Oponente

O quantitativo de desempenho foi avaliado por meio de ensaios cronometrados que registraram o intervalo entre a detecção inicial do oponente pelos sensores *Sharp* laterais e a estabilização do sensor frontal. Os testes foram conduzidos em superfície de MDF revestido (similar, porém não exatamente igual à utilizada em competições), com o robô operando exclusivamente em modo de centralização PID (velocidade base = 0), eliminando ações de ataque para isolar a capacidade de rastreamento angular. Doze amostras foram coletadas sob tensão decrescente da bateria [12,6V inicial → 11,9V final], simulando condições reais de desgaste energético.

Tabela 1. Amostras e cálculo do tempo de leitura e estabilização da resposta do *Cuca*

Amostra	Tempo de leitura lateral [ms]	Tempo de leitura central [ms]	Tempo de estabilização [ms]
1	62670	66522	852
2	63118	66586	468
3	16319	19818	499
4	37309	40437	128
5	20206	23652	446
6	24423	28913	1490
7	28437	31904	467
8	21257	24546	289
9	20280	23543	263
10	24553	27743	190
11	22858	26710	852
12	16159	19613	454

Fonte: Autoral

Os resultados, apresentados na Tabela 1, revelaram uma diferença média de 478 milissegundos entre detecção lateral e estabilização frontal, após exclusão de dois *outliers* (128 ms e 1490 ms) atribuídos a interferências diagonais traseiras e disparos incorretos nas leituras dos sensores. A convergência inferior a 500 ms demonstrou eficiência no ajuste de trajetória, com o robô alcançando alinhamento frontal em tempo compatível com exigências competitivas. Para o cálculo do tempo de estabilização, foi considerado o tempo de leitura central subtraído pelo tempo de leitura lateral e um tempo fixo de 3.000 milissegundos, decorrente da condição que garante o alinhamento frontal e estabilização após três segundos sem interrupção da leitura do sensor *Sharp* central.

As condições adversas influenciaram diretamente os resultados: a superfície de MDF reduziu a aderência dos pneus de silicone, enquanto a queda de tensão (0,7V) limitou a responsividade dos motores N20. Apesar desses fatores, o sistema manteve robustez, com oscilações mínimas durante a correção angular – efeito da parametrização empírica dos termos do PID que garantiu boa funcionalidade.

Contextualizando para mini-sumô autônomo, tempos de centralização abaixo de 500 ms são considerados competitivos, visto que o desempenho deve ser capaz de tomar decisões rapidamente [Yagual Beltrán, 2023]. O desempenho obtido [478 ms médios] posiciona o *Cuca* em patamar operacional adequado para reações ágeis em duelos. A estabilidade em condições degradadas reforça a viabilidade da arquitetura sensorial trifocal para ambientes dinâmicos.

Resultados em competições

O robô *Cuca* participou de duas competições distintas, permitindo a avaliação comparativa de seu desempenho antes e após a implementação do controlador PID e da fabricação da PCI. Na competição RoboChallenge Brasil 2024 [10/10/2024 – 13/10/2024], realizada em São Caetano do Sul - SP, o protótipo competiu em sua configuração inicial, sem o algoritmo de controle PID e com uma placa de prototipagem provisória. Nessa ocasião, o robô obteve um empate técnico, classificando-se na 15ª posição entre 43 competidores [RoboCore, 2024], resultado que evidenciou limitações na precisão das respostas aos sensores, especialmente em confrontos contra robôs com sistemas de controle mais refinados.

Posteriormente, após a integração do controlador PID e a fabricação da PCI, o *Cuca* competiu no RSM Challenge Internacional 2025 [01/05/2025 – 04/05/2025], sediado em Mogi das Cruzes - SP. A competição destacou-se pelo caráter internacional, com participantes de 6 países distintos, elevando significativamente o nível técnico. Nesse cenário, o robô demonstrou melhora expressiva: alcançou a 11ª posição geral dentre 122 robôs competidores, avançando para as fases eliminatórias após vitórias expressivas na fase de grupos, e mantendo consistência em duelos contra diversos oponentes [RoboCore, 2025]. A implementação do PID permitiu ajustes dinâmicos na trajetória, reduzindo oscilações e otimizando o tempo de reação.

A evolução do desempenho entre os dois eventos reforça o impacto das melhorias técnicas no sistema embarcado. A PCI customizada, por sua vez, contribuiu para a estabilidade elétrica e a redução de interferências, fatores críticos em ambientes competitivos de alta densidade [Thomas, 2025]. A combinação dessas atualizações permitiu ao *Cuca* competir em patamar internacional, superando complicações como a variedade de *designs* adversários complexos e a exigência por decisões rápidas durante o combate, consolidando-o como um projeto viável para futuras otimizações em robótica educacional e competitiva.

Considerações finais

O desenvolvimento do robô *Cuca* representou um avanço significativo em relação ao projeto anterior, *Lagartinho*, superando desafios técnicos e metodológicos que limitavam o desempenho competitivo do sistema. A transição do microcontrolador *Arduino Nano* para o *ESP32* permitiu maior capacidade de processamento e flexibilidade na integração de periféricos, como sensores *Sharp* e comunicação Bluetooth® nativa, viabilizando ajustes em tempo real sem necessidade de recompilação do código [Espressif, 2023]. Essa mudança exigiu adaptações críticas, como o mapeamento cuidadoso de pinos *GPIO* para evitar conflitos de inicialização, conforme apresentado por Santos [2018] e a implementação de um regulador de tensão eficiente, garantindo estabilidade energética mesmo com sensores operando em tensões distintas [Matts-Electronics, 2018]. A substituição da placa de prototipagem provisória por uma PCI customizada, projetada no *software EasyEDA* e fabricada em fenolite, reduziu interferências eletromagnéticas e simplificou a manutenção, consolidando uma arquitetura eletrônica robusta e replicável [Thomas, 2025].

A integração do controlador PID adaptado para o contexto do mini-sumô autônomo demonstrou-se essencial na otimização do comportamento do robô. Ao substituir a lógica baseada em *delays* por um sistema de malha fechada, o *Cuca* adquiriu capacidade dinâmica de resposta às variações posicionais do oponente, reduzindo oscilações e melhorando a precisão nas manobras de ataque. A parametrização empírica dos ganhos do controlador [Kp, Ki, Kd] e a possibilidade de ajuste remoto via Bluetooth® destacaram-se como soluções práticas, permitindo calibração contextualizada durante testes e competições. Ademais, foi possível avaliar diretamente o impacto gerado pelas intervenções técnicas no projeto, sendo verificadas em testes controlados e durante competições. Essas melhorias foram validadas empiricamente no RSM Challenge Internacional 2025, onde o robô alcançou a 11ª posição geral, superando resultados anteriores da equipe e competindo em patamar internacional [RoboCore, 2025].

Além dos avanços técnicos, o projeto estabeleceu um arcabouço metodológico para a equipe Lagartron e equipes afins. A setorização do código-fonte, aliada à organização lógica da PCI em segmentos independentes, facilita a transferência de conhecimento entre membros da equipe e acelera futuras implementações. A abordagem de seleção de componentes baseada em critérios técnicos, como torque dos motores *N20*, eficiência do *driver TB6612FNG* e confiabilidade dos sensores *QRE1113*, serve como referência para projetos subsequentes, evitando retrocessos causados por escolhas ineficientes, como as definidas por [Andrighetto *et al.*, 2024]. A ênfase na massa [496 g] próxima ao limite e na definição do centro de gravidade por meio do posicionamento estratégico da bateria *LiPo*, da estrutura em ABS e posicionamento da chapa de aço carbono, também oferece diretrizes claras para otimizações mecânicas.

No contexto educacional, o robô *Cuca* materializa a filosofia de aprendizagem significativa proposta por Ausubel [1963], ao integrar conceitos teóricos de eletrônica, programação e controle em um projeto prático. A disponibilização pública do esquemático, do código-fonte e das análises de desempenho, seguindo recomendações de Oliveira *et al.* [2023] sobre legibilidade e perpetuação do conhecimento, transforma o projeto em um recurso acessível para outras equipes, fomentando colaboração e inovação aberta.

Embora o *Cuca* tenha demonstrado viabilidade técnica e competitiva, desafios persistem para futuras otimizações. A integração de telemetria via Wi-Fi®, inicialmente desejada, porém não implementada, pode fornecer dados em tempo real para análise de falhas e ajustes estratégicos. Assim, o projeto não apenas consolida um marco na trajetória da Lagartron, mas também delinea um caminho claro para melhorias, reforçando o papel da robótica educacional como potencial de inovação e impactos positivos da implementação da robótica em espaços educacionais, conforme estudado por Arêas, Sousa e Oliveira [2024].

Referências

ANDRIGHETTO, H. H. O.; QUEIROGA, R. M. F.; SILVA, R. G.; OLIVEIRA, G. F.; PEREIRA, L. E. M. Proposta para estruturação de uma equipe de robótica voltada para competições. //: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA E IX CONGRESSO FLUMINENSE DE PÓS-GRADUAÇÃO, 16., 2024, Campos dos Goytacazes, RJ. **Anais** [...]. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF, 2024. Disponível em: <https://www.event3.com.br/anais/xvi-confict-ix-conpg-445276/849572-proposta-para-estruturacao-de-uma-equipe-de-robotica-voltada-para-competicoes/>. Acesso em: 1 abr. 2026.

- ARÊAS, G. S. A.; SOUSA, H. M. B. A.; OLIVEIRA, G. F. Impacto das competições de robótica no aprendizado estudantil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 5., 2024. **Anais** [...]. Recife: Even3, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2024/877820-impacto-das-competicoes-de-robotica-no-aprendizado-estudantil/>. Acesso em: 1 abr. 2026.
- AUSUBEL, D. P. **Psychology of meaningful verbal learning**: an introduction to School Learning. Londres, Inglaterra: Grune & Stratton, 1963.
- BANDEIRA, M. S.; CARNEIRO, R. S. **Projeto básico de robô seguidor de linha controlado por Arduino**. 2021. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia Mecânica] – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/22265>. Acesso em: 28 mar. 2026.
- BISTA, D. **Understanding and Design of an Arduino-based PID Controller**. 2016. Thesis [Masters of Science] – Virginia Commonwealth University [VCU], Richmond, VA, 2016. Disponível em: <https://scholarscompass.vcu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5737&context=etd/>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- BOLELLI, R. M.; LEBRÃO, G. W. **Avaliação das propriedades de material produzido por FDM em impressora 3D**. 2019. Monografia [Graduação] – Escola de Engenharia Mauá, Mauá, 2019. EASYEDA. **About EasyEDA**. [*S. l.*]: EasyEDA, 2024. Disponível em: <https://easyeda.com/page/about>. Acesso em: 14 maio 2025.
- ESPRESSIF. **ESP32 WROOM 32 Datasheet**. Shanghai: Espressif Systems, 2023. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 30 mar. 2025.
- GALLINA, A. **Desenvolvimento de um robô de mini sumô autônomo destinado a competições de robótica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia de Computação] – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24641>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- JONES, D. L. **PCB DesignTutorial**. [*S. l.*: *s. n.*], 2004. Disponível em: <https://alternatzone.com/electronics/files/PCBDesignTutorialRevA.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.
- LIANG, O. **Using LiPo Batteries for FPV Drones: Beginner's Guide with Top Product Recommendations**. [*S. l.*: *s. n.*], 2017. Disponível em: <https://oscarliang.com/lipo-battery-guide/>. Acesso em: 16 fev. 2025.
- LIU, Y.; WANG, S.; XIE, Y.; XIONG, T.; WU, M. A review of sensing technologies for indoor autonomous mobile robots. **Sensors [Basel, Switzerland]**, v. 24, n. 4, p. 1222, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24041222>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/4/1222>. Acesso em: 27 mar. 2026.

LUO, X.; YANG, Y.-M.; GE, Z.-X.; WEN, X.-S.; GUAN, F.-J. LAYOUT problem of multi-component systems arising for improving maintainability. **Journal of Central South University**, v. 21, n. 5, p. 1833-1841, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2129-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11771-014-2129-7>. Acesso em: 27 mar. 2026.

MA'ARIF, A.; ISWANTO; RAHARJA, N. M.; ROSYADY, P. A.; BASWARA, A. R. C.; NURYONO, A. A. Control of dc motor using proportional integral derivative (pid): Arduino hardware implementation. *In*: 2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE). [S. l.]: IEEE, 2020. p. 74-78.

MARZANO JÚNIOR, M. A. P. **Controle PID para Sistema Robótico Capaz de Interagir com o Ambiente Externo Através de Estímulos Gerados por Sensores IR**. 2011. Monografia [Graduação em Engenharia de Controle e Automação] – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

MATTS-ELECTRONICS. **MINI-360 MP2307 Buck Converter**. [S. l.]: Matts-Electronics, 2018. Disponível em: <https://www.matts-electronics.com/wp-content/uploads/2018/06/MINI-360.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2025.

MERCÊS, R. S.; RODOWANSKI, I. J. Estudo do desempenho de diferentes rodas em um robô de sumô. *In*: RODOWANSKI, I. J.; OLIVEIRA NETO, J. S.; CAMPOS, J. P.; FERREIRA, R. M. S. [org.]. **Estudos em Ciências Exatas e Tecnológicas**. Cruz das Almas, BA: EDUFRB, 2019. p. 131-147. *E-book*.

MOHARKAR, K. A.; TIWARI, A. A.; BHUYAR, P. N.; BEDRE, P. K.; BACHWANI, S. A. Review on Different Microcontroller Boards Used in IoT. **International Journal For Research In Applied Science & Engineering Technology**, v. 10, n. 1, p. 234-242, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.39778>. Disponível em: <https://www.ijraset.com/best-journal/review-on-different-microcontroller-boards-used-in-iot>. Acesso em: 16 fev. 2025.

OGBONNA, J. The Engineer's Guide to Understanding and Applying datasheets. **Cady**, 2025. Disponível em: <https://cadyolutions.com/the-engineers-guide-to-understanding-and-applying-datasheets/>. Acesso em: 16 fev. 2025.

OLIVEIRA, D.; SANTOS, R.; MADEIRAL, F.; MASUHARA, H.; CASTOR, F. A systematic literature review on the impact of formatting elements on code legibility. **Journal of Systems and Software**, v. 203, p. 111728, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111728>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121223001231>. Acesso em: 16 fev. 2025.

OLIVEIRA, G. L. **Linguagem de Programação e Robótica na Educação Profissional**. Santa Teresa, 2023.

OLIVEIRA, J. R. **Salão da Robótica – Descritivo do Robô**: Robô Seguidor de Linha Pro. [S. l.: s. n.], 2022.

POLOLU. **TB6612FNG Dual Motor Driver Carrier**. [S. l.]: Pololu, 2016. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/713>. Acesso em: 30 mar. 2025.

- PUTRA, M. F. H. Seru! Nonton Pertandingan Sumo Antar Robot. **Telset**, 27 jun. 2017. Disponível em: <https://telset.id/ngehits/canggih-sekarang-ada-tanding-sumo-antar-robot/>. Acesso em: 24 maio 2025.
- ROBOCORE. **Resultados RoboChallenge Brasil 2024**. [*S. l.: s. n.*], 2024. Disponível em: <https://events.robocore.net/rcbr-2024/results>. Acesso em: 19 maio 2025.
- ROBOCORE. **Resultados RSM Challenge Internacional 2025**. [*S. l.: s. n.*], 2025. Disponível em: <https://events.robocore.net/rsm-2025/results>. Acesso em: 19 maio 2025.
- ROBOCORE. **Sumô de Robôs REGRAS**. [*S. l.: s. n.*], 2023. Disponível em: <https://robocore-eventos.s3.sa-east-1.amazonaws.com/public/Regras+-+Sumo.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.
- SAHU, B.; RINCÓN-MORA, G. A. A low voltage, dynamic, noninverting, synchronous buck-boost converter for portable applications. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 19, n. 2, pp. 443-452, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2003.823196>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1271328>. Acesso em: 19 maio 2025.
- SANTOS, S. **ESP32 Pinout Reference: Which GPIO pins should you use?**. [*S. l.*]: Random Nerd Tutorials, 2018. Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- SHARP. **Distance Measuring Sensor Unit Measuring distance: 10 to 80 cm Analog output type**. Sakai, JP: Sharp, 2018. Disponível em: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. Acesso em: 30 mar. 2025.
- ŚWIĘCKI, M.; SZYMELEWICZ, J.; MATUSIEWICZ, J.; GRĄDZKI, R. Tests of Selected Sensors Applicable in Autonomous Mini Sumo Robots. **International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research**, v. 9, n. 8, p. 1145-1151, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18178/ijmerr.9.8.1145-1151>. Disponível em: <https://www.ijmerr.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=181&id=1465>. Acesso em: 14 maio 2025.
- TEC-CI. **Circuito Impresso – Qual Laminado Utilizar Para Minha Placa?**. [*S. l.: s. n.*], 2019. Disponível em: https://tec-ci.com.br/blog/post?post_url=qual-laminado-utilizar. Acesso em: 14 maio 2025.
- THOMAS, K. Como lidar com interferências eletromagnéticas em circuitos eletrônicos. **KT Virtual Lab**, 11 jan. 2025. Disponível em: <https://ktvirtuallab.com/como-lidar-com-interferencias-eletromagneticas-em-circuitos-eletronicos/>. Acesso em: 14 maio 2025.
- TIRIAN, G.-O.; NITESCU, A.-M.; CHIONCEL, C. The Design and Construction of an Autonomous Mobile Mini-Sumo Robot. **Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin Of Engineering**, v. 8, n. 3, 2015. Disponível em: <https://acta.fih.upt.ro/pdf/2015-3/ACTA-2015-3-21.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2026.
- VEIGA, E. F.; ARAÚJO, W. M.; SILVEIRA JÚNIOR, C. R. Projeto de um robô de baixo custo para utilização como ferramenta de robótica educativa para escolas públicas. **Mostra Nacional de Robótica MNR**, 2011.

VICTOR, C. A.; BASONI, R. C.; SOUSA, J. C. R.; SOUSA, R. L. S.; ZANUTO, R. S. Desenvolvimento de um robô autoguiado seguidor de linha utilizando controladores proporcional, integral e derivativo. // SANTOS, R. C. [org.]. **Gestão empresarial: teoria e prática**. Maringá, PR: Uniedusul Editora, 2020. *E-book*.

VISHAY SEMICONDUCTORS. **Application of Optical Reflex Sensors: TCRT1000, TCRT5000, CNY70**. [S. l.: s. n.], 2002. Disponível em: <https://www.vishay.com/docs/80107/80107.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2025.

YAGUAL BELTRÁN, D. D. Robot para competencia en categoría mini sumo. **EcoSur – Innovación, Tecnología y Desarrollo Sostenible de América Latina**, v. 1, n. 1, e17, 2023. DOI: <https://doi.org/10.61582/84ha8e17>. Disponível em: <https://ecosur.gopsapp.com/index.php/Vo1/article/view/1>. Acesso em: 28 mar. 2026.

ZARĘBA, M.; KACZMAREK, W.; DANIEL, N. Mini-Sumo Robot Design with Respect to the Control System. **Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering**, v. 13, n. 3, p. 131-144, 2022. DOI: <https://www.doi.org/10.5604/01.3001.0016.0056>. Disponível em: <https://promechjournal.pl/article/160056/en>. Acesso em: 27 mar. 2026.

ZIELINSKI, K. M. C. **Aprimoramento de um robô lutador de sumô autônomo**. 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia da Computação] – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14620>. Acesso em: 27 mar. 2026.

Agradecimentos

Os autores manifestam sua sincera gratidão ao Instituto Federal Fluminense (IFF) *Campus Macaé*, pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada, fundamentais para a realização deste trabalho. Agradecimentos são estendidos aos colegas da equipe de robótica Lagatron, pelo ambiente colaborativo, pelas trocas de experiências e pelo apoio mútuo ao longo de todas as fases do projeto do robô *Cuca*, e à FAPERJ, pelo fomento que viabilizou o início das atividades da equipe.

Os autores expressam também sua profunda gratidão à instituição ATIM, por acreditar no potencial da equipe desde a participação na competição RSM Challenge 2024 e pelo valioso apoio técnico, ao fornecer dicas construtivas e componentes para a equipe Lagatron.

Reconhece-se, igualmente, ao Laboratório Maker do IFF *Campus Macaé*, pelo auxílio essencial na impressão 3D dos modelos da carcaça do robô, mantendo suas portas sempre abertas para a utilização da estrutura pela equipe. E, a contribuição do Polo de Inovação do IFF, pelo acesso aos equipamentos, em particular à fresadora CNC, que possibilitou a fabricação da Placa de Circuito Impresso (PCI) utilizada no protótipo.

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

COMO CITAR ESTE ARTIGO SEGUNDO AS NORMAS DA REVISTA

ABNT: DUARTE, A. W. A.; PEREIRA, L. E. M.; ARÊAS, G. S. A.; BAPTISTA, J. A. S. Desenvolvimento de um sistema embarcado para aplicação em competições de robótica na categoria mini-sumô autônomo. *Vértices [Campos dos Goytacazes]*, v. 28, n. 1, e28123530, 2026. DOI: <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v28n12026.23530>. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/23530>.

APA: Duarte, A. W. A., Pereira, L. E. M., Arêas, G. S. A., & Baptista, J. A. S. [2026]. Desenvolvimento de um sistema embarcado para aplicação em competições de robótica na categoria mini-sumô autônomo. *Vértices [Campos dos Goytacazes]*, 28(1), e28123530. <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v28n12026.23530>

DADOS DO AUTOR E AFILIAÇÃO INSTITUCIONAL

Arthur Willmer de Andrade Duarte - Graduando em Engenharia de Controle e Automação no Instituto de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) *Campus Macaé/RJ* – Brasil. E-mail: arthur_willmer@yahoo.com.

Luís Eduardo Maldonado Pereira - Graduando em Engenharia de Controle e Automação no Instituto de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) *Campus Macaé/RJ* – Brasil. E-mail: luiseduardom@ymail.com.

Gabriel Solino de Abreu Arêas - Mestre em Ensino e suas Tecnologias. Professor do Ensino Básico Técnico e Tecnológico no Instituto de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) *Campus Macaé/RJ* – Brasil. E-mail: gabriel.areas@iff.edu.br.

João Alvaro de Souza Baptista - Mestre em Matemática pelo Profmat - IMPA - RJ [2017]. Professor do Ensino Básico Técnico e Tecnológico no Instituto de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF) *Campus Macaé/RJ* – Brasil. E-mail: joao.baptista@iff.edu.br.

FINANCIAMENTO

Os autores não declararam ter havido financiamento externo para a pesquisa que originou este artigo.

APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA NA PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores não declararam haver conflito de interesses.

DISPONIBILIDADE DOS DADOS

Não se aplica.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Os autores não declararam haver uso de ferramentas de inteligência artificial generativa na pesquisa e na escrita do artigo.

DECLARAÇÃO DE DIREITO AUTORAL

Este documento é protegido por Copyright © 2026 pelos Autores

LICENÇA DE USO

Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons](#). Os usuários têm permissão para copiar e redistribuir os trabalhos por qualquer meio ou formato, e também para, tendo como base o seu conteúdo, reutilizar, transformar ou criar, com propósitos legais, até comerciais, desde que citada a fonte.

RESPONSABILIDADE PELA PUBLICAÇÃO

Essentia Editora, coordenação subordinada à PROPPIE do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da Essentia Editora.