**Desenvolvimento de um Robô Educativo com IA Embarcada para Reconhecimento Visual**

Ou

**AzorCAR: Um Robô Educativo Open Source com Visão Computacional e Perspetiva ROS 2**

**João Pavão¹¹¹**

**¹Universidade dos Açores – Pós-Graduação PRIA**

[**joao.pavao@email.com**](mailto:joao.pavao@email.com)

📄 **Resumo (versão atualizada)**

O presente artigo apresenta o desenvolvimento do AzorCAR, um robô educativo open source concebido no âmbito da pós-graduação PRIA – Universidade dos Açores. O sistema integra um microcontrolador Arduino, controlo de motores com driver L298P e uma câmara HuskyLens (DFRobot). Esta é uma câmara de visão computacional com diversos modos integrados, incluindo reconhecimento de cor, TAGs visuais, objetos e seguimento de linha. Foram exploradas funcionalidades como o seguimento de alvos visuais, aproximação por distância com base no tamanho do objeto detetado, e paragem condicionada por critérios espaciais e temporais, com testes práticos realizados em arenas físicas construídas especificamente para o AzoresBot 2025. O projeto foi concebido com o objetivo de promover aprendizagens ativas em contexto competitivo e educativo, aliando robótica, visão computacional e pensamento computacional. A plataforma física foi desenhada de forma modular, permitindo futuras expansões com novos sensores e integração com ROS 2. Embora esta integração ainda não tenha sido realizada, reconhece-se o seu elevado potencial, sendo assumida como uma próxima etapa evolutiva. O artigo descreve a estrutura física do robô, a lógica de controlo implementada em Arduino, os testes realizados e os resultados observados, discutindo ainda perspetivas futuras, como o uso de ambientes simulados e um comparativo entre diferentes câmaras aplicáveis à robótica educativa.

**🗝️ Palavras-chave (Português):**

* Robótica Educativa
* Visão Computacional
* Arduino
* Aprendizagem Ativa
* AzoresBot
* Robô Modular

**1. Introdução**

A robótica educativa tem vindo a consolidar-se como uma ferramenta pedagógica de referência no ensino das disciplinas STEM (Ciências, Tecnologias, Engenharia e Matemática), promovendo o pensamento computacional, a criatividade e a aprendizagem ativa. A sua integração em contextos formais e informais tem demonstrado efeitos positivos na motivação dos alunos e no desenvolvimento de competências técnicas e transversais.

Nos Açores, o ensino da robótica enfrenta desafios específicos associados à insularidade, como o acesso limitado a recursos, formação especializada e contextos laboratoriais adequados. No entanto, estas mesmas limitações constituem uma oportunidade para o desenvolvimento de soluções locais, modulares e acessíveis, capazes de responder às realidades das escolas e centros educativos da região.

Entre os principais vetores de inovação na robótica educativa destaca-se a visão computacional, que permite dotar os robôs de capacidades percetivas próximas da interação humana. O uso de sistemas baseados em câmara tem, contudo, sido tradicionalmente condicionado por fatores como complexidade de implementação (ex. OpenCV), exigência computacional e dificuldades de integração em microcontroladores simples. Neste contexto, a câmara HuskyLens (DFRobot) surge como uma solução relevante: integra vários modos de reconhecimento visual com inteligência embarcada, incluindo deteção de cores, objetos, TAGs visuais e seguimento de linha, funcionando de forma autónoma e com comunicação serial simples. Esta característica torna-a ideal para projetos com Arduino em contexto educativo.

A realização do AzoresBot, competição regional que envolve desafios reais com robôs físicos em arenas construídas, constitui uma oportunidade única para desenvolver e validar soluções educativas em ambiente prático e motivador. Este evento tem vindo a crescer como espaço privilegiado de experimentação, aprendizagem ativa e partilha de boas práticas entre professores, alunos e entusiastas da robótica.

É neste enquadramento que se insere o projeto AzorCAR, um robô educativo modular e open source, desenvolvido com o objetivo de explorar, em ambiente real, funcionalidades como o seguimento de alvos visuais, a aproximação por distância e a paragem condicionada por critérios espaciais e temporais, utilizando apenas componentes acessíveis e linguagem Arduino. A estrutura física do robô foi desenhada com enfoque na modularidade, permitindo expansões futuras, como a integração de novos sensores e a migração para a arquitetura ROS 2. Embora esta integração ainda não tenha sido realizada, a sua preparação já foi iniciada, assumindo-se como perspetiva estratégica para desafios mais avançados em futuras edições do AzoresBot.

**2. Metodologia e Arquitetura do Sistema**

**2.1 Conceção e Protótipos Físicos**

O desenvolvimento físico do projeto AzorCAR passou por duas versões distintas de robôs móveis concebidas pelo autor, cada uma com objetivos e características complementares no contexto educativo e experimental.

O Protótipo 1 foi construído com base num modelo 3D de autor externo, disponível em plataformas online de partilha de projetos. Esta versão revelou-se funcional e estável, tendo sido o primeiro sistema a ser utilizado para testes práticos com a câmara HuskyLens e com os motores controlados via Arduino. A estrutura sólida e o design fechado permitiram validar a integração dos componentes principais e simular as primeiras interações com a arena física.

O Protótipo 2, concebido de raiz, introduz uma abordagem modular e escalável, inspirada nos robôs utilizados em competições como a RoboCup. A sua estrutura base consiste numa plataforma octogonal perfurada, com cantos chanfrados e um padrão de furos regulares, permitindo a fixação flexível de componentes eletrónicos, sensores e elementos mecânicos. Esta geometria oferece versatilidade e expansibilidade, facilitando a montagem de níveis adicionais e a adaptação a diferentes contextos. O robô foi projetado com a integração futura de ROS 2 em mente, prevendo espaço interno e pontos de ancoragem para sistemas mais avançados. Assume-se como a versão principal do projeto e será utilizada na apresentação prática no AzoresBot 2025.

Paralelamente, é relevante mencionar o Maqueen Plus V2 (DFRobot), uma plataforma comercial amplamente adotada no contexto da robótica educativa, compatível com o micro:bit e com suporte nativo para a câmara HuskyLens, constituindo assim uma alternativa acessível e pronta a usar em ambientes escolares.

**2.2 Componentes de Hardware e Sensores**

O sistema AzorCAR integra um conjunto de componentes eletrónicos acessíveis, amplamente utilizados em projetos de robótica educativa. A escolha dos dispositivos foi condicionada pela disponibilidade local no Clube de Robótica e pela compatibilidade com o ambiente de desenvolvimento baseado em Arduino.

A unidade de controlo central do robô é um Arduino UNO R3 / R4 WiFi, que comunica com os motores através de um driver L298P. Embora existam diversas alternativas no mercado, como drivers baseados em DRV8833, o L298N ou pontes H integradas, o L298P foi utilizado por conveniência, dada a sua presença em shields prontos a usar e a sua robustez para motores DC simples.

A câmara HuskyLens, fornecida pela DFRobot, constitui o principal sensor de visão computacional do sistema. Esta câmara possui sete modos principais de operação, com algoritmos de inteligência artificial integrados. No projeto AzorCAR foram explorados três destes modos:

* Reconhecimento de Cores (modo *Color Recognition*), com aprendizagem simples e múltipla;
* Reconhecimento de TAGs Visuais (modo *Tag Recognition*), com identificação automática de etiquetas com IDs únicos (1 a 8);
* Seguidor de Linha (modo *Line Tracking*), com capacidade de aprendizagem de trajetos e curvas.

Estes modos permitiram implementar comportamentos como seguimento de alvos, deteção de comandos visuais e navegação assistida por linha, com comunicação direta via UART com o Arduino. As restantes funcionalidades da HuskyLens — como reconhecimento facial, de objetos ou classificação com IA — não foram exploradas nesta fase, mas serão referenciadas em anexo para possível expansão futura.

Outros componentes relevantes incluem:

* Motores DC com rodas e suportes adaptados;
* Rodas impressas em 3D, utilizadas como alternativa às rodas comerciais;
* Servo motor para varrimento horizontal da câmara (opcional);
* Ecrã OLED 1.3” SH1106 com interface I2C, usado para visualização local de dados;
* Fontes de alimentação externas. nomeadamente powerbanks USB e/ou packs de pilhas recarregáveis, garantindo a mobilidade do sistema.

**2.3 Construção da Arena e Materiais**

A arena utilizada nos testes e demonstrações do projeto AzorCAR foi construída com materiais acessíveis e adaptados à realidade local, permitindo a reprodução por escolas ou clubes de robótica com recursos limitados. A estrutura base foi concebida a partir de placas padronizadas de contraplacado (30×42×0,4~0,5 cm), facilmente encontradas em carpintarias locais. A ligação entre placas é feita através de suportes impressos em 3D, desenhados com ângulos variados (90º, 135º, em T e em cruz), possibilitando a construção de formas complexas como octógonos ou labirintos. Esta abordagem modular facilita a criação rápida e flexível de diferentes tipos de cenários, incluindo futuras arenas com zonas de entrada, corredores, elevações, obstáculos ou áreas críticas.

O sistema foi pensado para permitir futura expansão com pisos elevados, pontes, rampas ou obstáculos móveis, e é compatível com desafios como *line following*, navegação por marcadores visuais ou missões de resgate simuladas.

Na sinalização e interação visual foram utilizados:

* Marcadores coloridos (blocos com formas distintas e padrões de cor aprendidos pela câmara HuskyLens);
* TAGs visuais com IDs únicos, imprimidas em papel ou vinil plastificado;
* Eventualmente, tapetes claros com trilhos pretos, pensados para ativar o modo de segue-linha da câmara.

Este tipo de construção aproxima-se de iniciativas como o RoboCupJunior Rescue League (Rescue Line e Rescue Maze), onde a versatilidade do campo é essencial para desenvolver e avaliar capacidades de navegação autónoma. Apesar de o artigo não descrever diretamente o *Desafio II* do AzoresBot, as funcionalidades da arena e a capacidade de adaptação foram pensadas com essas exigências em mente.

**2.4 Organização e Desenvolvimento de Código**

O desenvolvimento do sistema AzorCAR foi conduzido com base numa abordagem modular e iterativa, utilizando o Arduino IDE como principal ambiente de programação. Todos os sketches foram organizados por diretórios temáticos (motores, sensores, integração, testes), com uma lógica de reutilização e documentação clara, orientada para fins educativos.

**Testagem e Validação de vários dos componentes**

A fase inicial focou-se na validação individual de componentes eletrónicos, com destaque para:

* Movimento dos motores DC:
  + Códigos como “Testar\_rodas” e “ROVER\_teste\_360GRAUS” permitiram verificar as direções básicas (frente, trás, esquerda, direita) e calibrar os parâmetros de tempo e velocidade para rotações.
  + A versão “ROVER\_teste\_360GRAUS\_WIFI” validou a mesma lógica com o Arduino UNO R4 WiFi.
* **Funcionamento da câmara HuskyLens**:

Foram exploradas diversas funcionalidades em separado, com códigos específicos para cada modo:

* + “object\_detection”, “object\_detection\_XY”: deteção simples e leitura de coordenadas;
  + “HuskyCar\_Calibracao\_WH\_SERIAL”: calibração da caixa detetada (largura/altura);
  + “TAGS\_detection”: leitura e identificação de TAGs com IDs únicos;
  + “HuskyCar\_Segue\_Linha” (v1 a v3): seguimento de linha com diferentes ajustes de sensibilidade;
  + “huskylens\_led\_decision”, “huskylens\_uart\_read\_id”: comunicação básica via UART e respostas visuais.
* **Integração da câmara com motores**:

Foram desenvolvidos vários sketches que ligam diretamente a visão ao movimento:

* + “huskylens\_motor\_decision”: decisões binárias (avançar/parar) com base na deteção;
  + “huskylens\_TAGS\_motors\_decision”: movimento condicionado à presença de uma TAG;
  + “huskylens\_COLORS\_ID\_WHbox\_Decision”: comportamento baseado no tamanho da moldura;
  + “huskylens\_COLORS\_ID\_WHbox\_Decition\_motorsV1.0”: versão robusta que combina deteção de cor com lógica de movimento refinada.
* **Display OLED SH1106 (I2C):**

O ecrã OLED 1.3” foi testado para visualização local de dados, como coordenadas, IDs, tamanho da moldura e estado atual do sistema. Foi utilizada a biblioteca U8g2, com escrita simples e visualização clara para debug em tempo real.

**Códigos Específicos para a Prova**

Com base nas necessidades do AzoresBot 2025, foram desenvolvidas **versões incrementais** orientadas para a execução de comportamentos autónomos em resposta a estímulos visuais:

* **DesafioI\_ID1\_V1\_CorrecaoDirecional**

Implementa a deteção de uma cor específica e aplica correção horizontal da posição (eixo X) até o alvo estar centrado. Posteriormente, aproxima-se do marcador com base na largura/altura da moldura (W/H), avançando até uma distância ideal (calibrada manualmente), e pára durante 10 segundos.

* **DesafioI\_ID1\_V2\_ComRotacao360**

Adiciona uma etapa inicial de rotação completa (360°), simulando varrimento do ambiente. Após essa varredura, o robô executa o comportamento descrito na versão V1.

Estes códigos demonstram uma abordagem estruturada, permitindo reaproveitamento de módulos, testes isolados de funções e extensibilidade para novos cenários.

**Estratégia Incremental**

A lógica de desenvolvimento seguiu uma estratégia incremental cuidadosamente delineada, com foco pedagógico e técnico:

1. Deteção única simples (cor/TAG, ativação de LED ou movimento básico);
2. Correção direcional com base em coordenada X;
3. Aproximação com critérios de distância (W/H);
4. Adição de varrimento inicial (rotação 360°);
5. Deteção múltipla e sequência de ações (fase planeada para futuro próximo).

Este processo permitiu testes progressivos, controlo sobre as variáveis, e o desenvolvimento gradual de competências em controlo, programação e visão computacional.

**Apoio das Ferramentas de Programação e IA**

A implementação de todos estes códigos foi fortemente sustentada pela experiência prévia do autor em Arduino e no estudo das linguagens C++ e Python, adquiridas ao longo da experiência profissional associada aos clubes de robótica, bem como da pós-graduação PRIA. A utilização de ferramentas baseadas em inteligência artificial aplicada à programação permitiu acelerar significativamente o desenvolvimento, através da geração de trechos de código, depuração assistida e sugestões de melhoria.

**3. Implementação do Desafio com Comportamento Autónomo Baseado em Visão Computacional**

A presente secção descreve a lógica, o algoritmo de controlo e a estratégia de implementação prática do comportamento autónomo desenvolvido para a participação no **AzoresBot 2025**, com base no regulamento da prova onde o robô deve reagir à presença de marcadores visuais (cores previamente aprendidas pela HuskyLens ou TAGs), aproximar-se, parar e reiniciar o processo para um novo marcador. A prova decorre numa arena construída em contraplacado, com marcadores coloridos colocados ao longo do percurso.

**3.1 Regras e Lógica da Prova**

A lógica da prova prática obedece a uma sequência bem definida:

* O robô inicia a partir do centro da arena e realiza uma **rotação completa de 360°**, numa lógica de varrimento inicial.
* Após a deteção de um marcador visual (ID1, ID2, ...), previamente aprendido pela câmara HuskyLens, o robô aproxima-se do alvo até atingir uma distância ideal de 15 a 25 cm, estimada pelo tamanho da moldura (largura e altura) detetada pela câmara.
* Quando a distância ideal é atingida, o robô executa uma paragem de 10 segundos, estabilizando-se em frente ao marcador.
* Concluída a paragem, reinicia o processo de deteção, agora procurando o próximo marcador da sequência definida.
* O sistema é avaliado com base na capacidade de:
  + Detetar corretamente os IDs treinados,
  + Manter paragem estável,
  + Evitar falsas deteções ou aproximações excessivas.

**3.2 Algoritmo de Controlo**

O algoritmo de controlo implementado no Arduino baseia-se em três componentes principais:

* Análise do tamanho da moldura (W/H)

O robô aproxima-se ou afasta-se com base na largura (W) e altura (H) da moldura detetada pela HuskyLens. Estes valores são calibrados previamente, associando faixas de dimensão ao intervalo de distância segura (15–25 cm).

* Correção de alinhamento com base na coordenada X

O valor X do centro da moldura é usado para corrigir a orientação:

* + Se o X estiver muito à esquerda, o robô vira ligeiramente para a direita.
  + Se estiver muito à direita, vira para a esquerda.

Esta lógica garante que o robô se mantenha centrado no alvo.

* Estados do Robô

O sistema transita entre diferentes estados lógicos:

* + Rotação inicial (varrimento);
  + Deteção ativa (procura de cor ID);
  + Alinhamento e aproximação;
  + Paragem e contagem de tempo;
  + Reinício da procura (para o ID seguinte).

**4. Testes e Resultados**

Esta secção descreve os testes realizados com o robô AzorCAR em ambiente real, evidenciando os principais comportamentos observados durante a execução da prova prática, bem como algumas limitações técnicas detetadas. Os ensaios foram efetuados numa arena construída com placas de contraplacado de dimensões padronizadas, sobre as quais foram dispostos marcadores visuais coloridos, seguindo as orientações propostas no regulamento do evento AzoresBot 2025.

Durante os testes com uma cor alvo (ID1), previamente aprendida na câmara HuskyLens, o robô demonstrou comportamentos consistentes e funcionais. A deteção foi fiável mesmo com pequenas variações de iluminação, e a aproximação ao marcador foi realizada com base no tamanho da moldura detetada (largura e altura – W/H), previamente calibrada com régua para representar distâncias reais entre 15 e 25 cm. Ao atingir a distância desejada, o robô executava corretamente uma paragem estável de 10 segundos, mantendo a posição sem oscilações significativas. A correção horizontal com base na coordenada X do objeto revelou-se eficaz, permitindo alinhar o alvo com o centro do campo de visão. A rotação inicial de 360 graus, implementada como etapa de varrimento antes da deteção, foi igualmente executada com sucesso, sem desvios relevantes.

Adicionalmente, foram testados comportamentos complementares, como a deteção sequencial de outros marcadores (ID2 e ID3), ainda em fase experimental, bem como a ativação de elementos de feedback como LEDs e mensagens no ecrã OLED durante a execução das tarefas.

Do ponto de vista técnico, o sistema AzorCAR demonstrou robustez dentro dos limites definidos para o desafio. A câmara HuskyLens revelou bom desempenho nos modos utilizados — reconhecimento de cor, TAGs visuais e seguimento de linha —, com resposta em tempo real e comunicação estável via UART. Os motores DC comportaram-se de forma previsível, sendo possível controlar os movimentos com precisão, embora fosse necessário ajustar manualmente a velocidade consoante o tipo de superfície.

Apesar dos resultados positivos, foram identificadas algumas limitações práticas. A luz ambiente interferiu pontualmente na deteção de algumas cores mais sensíveis (como o amarelo), exigindo cuidados adicionais na iluminação da arena. O ecrã OLED apresentou instabilidade visual (flickering), possivelmente devido à gestão energética ou à frequência de atualização gráfica. Além disso, a calibração dos limites de W/H revelou-se crítica, exigindo rigor na aprendizagem inicial dos objetos, dada a sua dependência das condições de luminosidade e da distância real ao marcador.

Estes testes permitiram validar o comportamento autónomo do robô e forneceram dados importantes para o ajuste fino de parâmetros, servindo de base para futuras iterações e expansão das funcionalidades previstas no projeto.

**5. Discussão e Perspetivas Futuras**

**5.1 Limitações Identificadas**

O desenvolvimento do AzorCAR demonstrou a eficácia de uma abordagem acessível e incremental à robótica educativa, mas também expôs algumas limitações técnicas e oportunidades claras de evolução. A deteção múltipla de marcadores visuais, embora prevista na lógica do sistema, encontra-se ainda em fase inicial de implementação. A transição entre diferentes ID's ou cores exige uma robustez adicional na lógica de estados, bem como maior controlo sobre os tempos de resposta da câmara e do sistema de decisão. Além disso, o comportamento do robô continua fortemente dependente de uma calibração manual e rigorosa dos parâmetros visuais, nomeadamente as dimensões da moldura (largura/altura) que definem a distância de aproximação ideal. Esta calibração é sensível às condições de luz ambiente, ao tipo de superfície e à altura da câmara, exigindo ajustes frequentes para garantir resultados consistentes.

**5.2 Evoluções Planeadas**

Do ponto de vista evolutivo, estão já em curso esforços para integrar o sistema com o ROS 2 no Raspberry Pi 5, que se encontra funcional com Ubuntu 24.04. O ambiente ROS permitirá criar uma arquitetura mais distribuída, escalável e compatível com sensores mais avançados e algoritmos de navegação autónoma. No entanto, esta transição exige um domínio mais profundo de tópicos como criação de nós, gestão de mensagens, e tratamento assíncrono de sensores — desafios assumidos como metas a médio prazo. Paralelamente, será explorada a utilização de ambientes simulados, de modo a permitir testes repetíveis, treino de algoritmos e desenvolvimento colaborativo à distância.

Outra linha de evolução prende-se com a utilização de bibliotecas de visão computacional mais avançadas, como OpenCV, que poderão correr em sistemas mais potentes e permitir análise de imagem em tempo real com maior flexibilidade. Ferramentas como MediaPipe, deteção por contornos ou reconhecimento facial serão exploradas em fases seguintes do projeto, com foco pedagógico e experimental.

**5.3 Comparativo de Câmaras**

Está também prevista a inclusão no artigo de um estudo comparativo entre diferentes câmaras de visão computacional aplicáveis ao contexto da robótica educativa. Para além da HuskyLens (DFRobot), serão analisadas alternativas como a ESP32-CAM, as Pi Camera para Raspberry Pi e webcams USB genéricas. O comparativo considerará critérios como tipo de funcionalidades oferecidas (seguimento, IA, processamento onboard), compatibilidade com Arduino, Raspberry Pi e ROS 2, facilidade de integração, apoio comunitário, bem como o custo aproximado de cada solução. Esta análise permitirá orientar educadores e investigadores na escolha da câmara mais adequada aos seus objetivos e recursos disponíveis.

Em síntese, o AzorCAR assume-se como uma plataforma em crescimento contínuo, cuja modularidade e base open source permitem não apenas evoluir do Arduino para sistemas mais complexos, mas também integrar progressivamente novas ferramentas, sensores e paradigmas de programação, alinhando-se com o espírito inovador de competições como o AzoresBot e com os objetivos formativos da robótica educativa atual.

**6. Conclusão**

O projeto AzorCAR demonstrou que é possível desenvolver um robô educativo funcional, modular e acessível, utilizando componentes simples e uma câmara de visão computacional como a HuskyLens. Através de uma abordagem incremental e orientada para testes práticos, foi possível implementar comportamentos autónomos relevantes para desafios educativos como os propostos no AzoresBot 2025.

O sistema provou ser uma base sólida para aprendizagem ativa em programação, eletrónica e visão computacional, podendo ser facilmente replicado e adaptado para outros fins. Apesar das limitações identificadas, nomeadamente a necessidade de calibração frequente e a fase inicial da deteção múltipla, o projeto encontra-se numa trajetória evolutiva clara, com potencial de expansão para ambientes mais avançados com OpenCV, simulação e ROS 2.

O AzorCAR afirma-se, assim, como uma ferramenta versátil para o ensino da robótica nos Açores e um contributo real para a dinamização de clubes e práticas educativas STEM na região.

**📚 Referências**

Artigos de Cascalho, Domingos, literatura sobre robótica educativa, documentação técnica da HuskyLens, etc.