



KIT EDUCACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA ENSINO DE VISÃO COMPUTACIONAL NA INDÚSTRIA 4.0

DOI: 10.37702/2175-957X.COBIENGE.2024.5286

Autores: IGOR RODRIGUES CASSIMIRO, MARCO ANTONIO DE SOUZA LEITE CUADROS, CARLOS TORTURELLA VALADÃO, CAIO LOPES DE OLIVEIRA, MARCELO VICTOR FERREIRA BARBOSA, JOÃO GUILHERME LOURENÇO DE SOUZA

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento e a implementação de um kit didático de baixo custo para o ensino de visão computacional, com foco em aplicações na Indústria 4.0. O kit é composto por uma mini esteira transportadora, uma garra robótica, uma ESP32-CAM e uma ESP32, proporcionando uma experiência prática e acessível de simulação de uma linha de produção da Indústria 4.0. O artigo abrange detalhadamente o projeto, a construção do hardware e do software, bem como a aplicação prática do kit. A pesquisa evidencia a eficiência do kit em ambiente educacional, destacando sua capacidade de integrar teoria e prática de maneira eficiente. O kit foi aplicado com sucesso em uma turma de mestrado em Engenharia de Controle e Automação, na disciplina de Processamento Digital de Imagens, permitindo que os estudantes aplicassem os conceitos aprendidos em aulas teóricas em um projeto prático que simula a Indústria 4.0. Além disso, o custo de produção do kit é significativamente inferior aos kits comerciais disponíveis, tornando-o uma opção economicamente viável para instituições de ensino.

Palavras-chave: Visão Computacional; Indústria 4.0; Baixo Custo; Ensino Prático; Kit Didático

KIT EDUCACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA ENSINO DE VISÃO COMPUTACIONAL NA INDÚSTRIA 4.0

1 INTRODUÇÃO

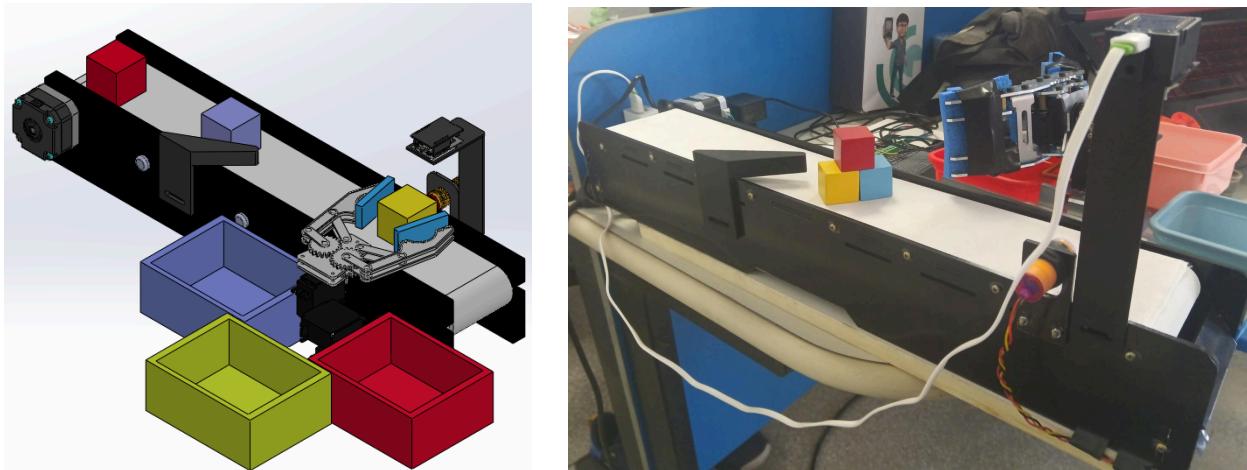
Embora o Brasil seja uma nação de dimensões expressivas, caracterizada por sua riqueza em recursos naturais e um parque industrial consolidado, a implementação da Indústria 4.0 ainda permanece um desafio distante para muitos setores. O país se encontra em um estágio onde tecnologias fundamentais, como Inteligência Artificial, Robótica e Internet das Coisas (*IoT*), não fazem parte integral da realidade industrial. Segundo Cordeiro, Reis e Fernandes (2024), três barreiras principais afetam a adoção da Indústria 4.0 no Brasil, as quais são a infraestrutura tecnológica insuficiente, as restrições financeiras e a falta de entendimento dos benefícios da Indústria 4.0.

A inserção efetiva de conceitos da Indústria 4.0 na matriz produtiva brasileira é vital, considerando que essa transição poderia resultar em uma economia significativa, estimada em R\$73 bilhões ao ano (ABDI, 2019). A quarta revolução industrial propõe uma abordagem mais informatizada na indústria de transformação, onde máquinas e equipamentos são integrados em redes de Internet, permitindo o gerenciamento em tempo real, inclusive de locais remotos. Esta integração holística envolve componentes como Inteligência Artificial, Robótica, Análise de Dados e *IoT*, proporcionando rastreabilidade e monitoramento remoto de todos os processos, conforme indicado pela ABDI.

Atualmente, os cursos práticos de robótica, fundamentais para a formação neste contexto, são predominantemente presenciais e muitas vezes inacessíveis devido aos altos custos dos kits. Alternativas como cursos com robôs virtuais, embora disponíveis, não proporcionam a mesma experiência enriquecedora que o aprendizado com um robô real. Um estudo revela que, apesar de ambientes virtuais poderem oferecer um nível similar de eficácia educacional, eles não substituem completamente a interação com robôs físicos, destacando que as barreiras associadas ao ensino com robôs físicos não existem no ambiente virtual, o que pode influenciar as práticas de ensino de maneira positiva ou negativa (FRONTIERS, 2023). Ademais, a falta de continuidade e a ausência de conteúdos relacionados à Inteligência Artificial, Visão Computacional e *IoT* são lacunas frequentemente observadas. Estes desafios reforçam a necessidade de uma abordagem equilibrada entre experiências práticas e simulações virtuais para otimizar os resultados educacionais em robótica (FRONTIERS, 2023).

Nesse contexto, este artigo apresentará a construção de um kit didático de visão computacional, focado em uma esteira transportadora que integra a ESP32-CAM para o reconhecimento visual de blocos com uma ESP32 que aciona uma garra robótica para manipulação precisa e direcionamento dos blocos para destinos específicos, conforme é demonstrado na Figura 1, com ênfase especial na viabilidade de baixo custo.

Figura 1: Kit Educacional para Ensino de Visão Computacional, modelo simulado e kit real



Fonte: Elaboração dos Autores

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Visão Computacional

A visão computacional é uma disciplina que se dedica à extração de informações a partir de imagens, através da análise minuciosa de características específicas que permitem a identificação e medição de elementos qualitativos e quantitativos. Por exemplo, é possível determinar a presença de uma pessoa em uma imagem utilizando características visuais identificadas (BRADSKI & KAEHLER, 2008). Esta área desempenha um papel fundamental em diversas aplicações, desde reconhecimento de padrões até o desenvolvimento de soluções em tecnologias assistivas, aprimorando a interação de sistemas computacionais com o mundo visual. A busca contínua por algoritmos e técnicas de processamento de imagem visa melhorar a precisão e a eficiência na extração de informações relevantes a partir de dados visuais (MIT NEWS, 2024; TOWARDS AI, 2023).

Segundo Marengoni e Stringhini (2009), a fronteira entre o processamento de imagens e a visão computacional não é clara. O processamento de imagens envolve a entrada de uma imagem e a saída de um conjunto de valores numéricos que podem compor outra imagem. Já a visão computacional busca emular a visão humana, interpretando a imagem como um todo ou parcialmente. Frequentemente, os processos de visão computacional necessitam de etapas de pré-processamento, que incluem a conversão de imagens para formatos específicos, redimensionamento e aplicação de filtros para redução de ruídos. Essas técnicas de pré-processamento são cruciais para a melhoria da detecção de características em imagens, possibilitando uma análise mais eficaz em diversas aplicações de visão computacional. A filtragem, por exemplo, ajuda a minimizar os ruídos de aquisição, que podem distorcer informações importantes da imagem. Técnicas como a conversão para escala de cinza simplificam o processamento ao reduzir a quantidade de dados a serem processados, mantendo as características essenciais para análises subsequentes, como detecção de bordas e segmentação (ANALYTICS VIDHYA, 2023; ROUTLEDGE, 2023).

2.2 Biblioteca de Visão Computacional OpenCV

A biblioteca *OpenCV* (*Open Source Computer Vision*), desenvolvida pela *Intel Corporation* em 1999, é uma ferramenta robusta amplamente utilizada em projetos de visão computacional, escrita em C/C++. Destaca-se pela eficiência computacional e capacidade de processamento em tempo real. Funções essenciais da *OpenCV* usadas neste trabalho incluem:

- *cvNamedWindow*: Criação de janela para visualização de vídeo.
- *cvCaptureFromCAM*: Retorna o dispositivo de captura de vídeo.
- *cvQueryFrame*: Captura e retorna frames de vídeo.
- *cvFlip*: Espelhamento de imagem.
- *cvCvtColor*: Conversão de modelo de cor.
- *cvErode* e *cvDilate*: Operações de erosão e dilatação.
- *cvMorphologyEx*: Aplicação de operações de abertura ou fechamento.
- *cvFindContours*: Identificação de contornos na imagem.
- *cvConvexHull*: Representação do fecho convexo.
- *cvConvexityDefects*: Identificação de defeitos convексos.

Essas funções são fundamentais na implementação de algoritmos avançados em projetos de visão computacional (OPENCV DOCUMENTATION, 2023).

3 KITS SIMILARES

É possível encontrar alguns kits que trazem essa ideia de reproduzir uma linha de produção da indústria 4.0, contudo esses kits apresentam alto custo e não são tão acessíveis, as Figuras 2, 3 e 4 apresentam respectivamente o *Dobot Mini Conveyor Belt Kit* da empresa *Dobot* que necessita do *Dobot Magician* para funcionamento e o *Niryo Ned 2* da empresa *Niryo*.

Figura 2: Dobot Mini Conveyor Belt Kit

CONVEYOR BELT KIT

Indústria 4.0

Entrando em um Universo de Simulação de Linha de Produção

O Kit Transportador para Dobot Magician permite Simular uma Linha de Produção Completa.

O poderoso e programável Dobot Magician, combinado com a velocidade ajustável, distância e correia transportadora com sensor de cor, é uma ferramenta perfeita para criar uma linha de produção simulada altamente eficaz ou até mesmo aplicá-la a cenários de aplicação de fábrica existentes.



Dobot Mini Conveyor Belt Kit , para Dobot Magician , Kit Correia Transportadora , Entrando em um Universo de Simulação de Linha de Produção , Stem Education

ESTOQUE: 11 UN

SKU: Dobot Conveyor Belt

R\$12.262,50

à vista (via boleto bancário) ou PIX

R\$13.625,00

10x de R\$1.362,50 sem juros no cartão

Ver opções de parcelamento

Disponível 35 dias após sua compra

Fonte: (LOJA DO JANGÃO, 2024)

Figura 3: Dobot Magician



PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Braço robótico tudo-em-um

VALOR EDUCACIONAL

Engenharia, Robótica, Manufatura, Design, Ciência da Computação, Tecnologia

O QUE ESTÁ NA CAIXA?

1 braço robótico DOBOT M1, 1 cabo de alimentação CA, 1 cabo de alimentação CC, 3 adaptadores de alimentação, conector de 4 pinos, kit de interruptor de parada de emergência, cabo serial DB9, cabo de rede, 1 parafuso M3x10, 2 chaves de 2,5 mm

MÓVEL / ESTACIONÁRIO

Estacionário

PROPORÇÃO ALUNO/ROBÔ

1 braço robótico para cada 1 a 5 alunos

MELHOR PARA

Ensino fundamental

NÍVEL DE ENSINO

CTE

CURRÍCULO

Abrangendo Robótica, Engenharia, Ciência, Tecnologia

DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL / TREINAMENTO

Não é necessário treinamento



Dobot Magician Lite Robotic Arm , Stem Education , Braço Robótico Educacional

ESTOQUE: 17 UN

SKU: Magician-Lite - US

R\$18.889,20

à vista (via boleto bancário) ou PIX

R\$20.988,00

10x de R\$2.098,80 sem juros no cartão

Ver opções de parcelamento

Disponível 35 dias após sua compra

Fonte: (LOJA DO JANGÃO, 2024)

Figura 4: Niryo Ned 2

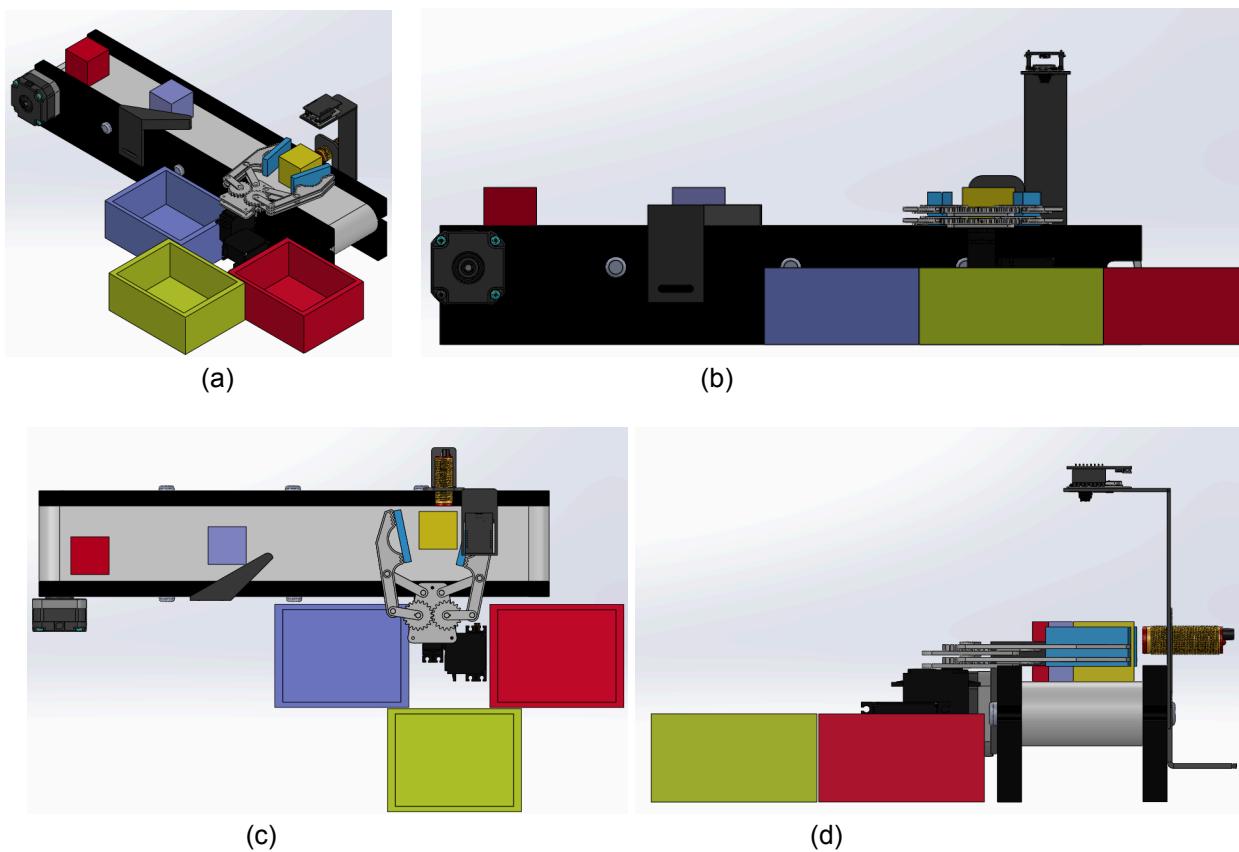


Fonte: (LOJA DO JANGÃO, 2024)

4 HARDWARE

O kit proposto segue esse o esquema 3D mostrado na Figura 5.

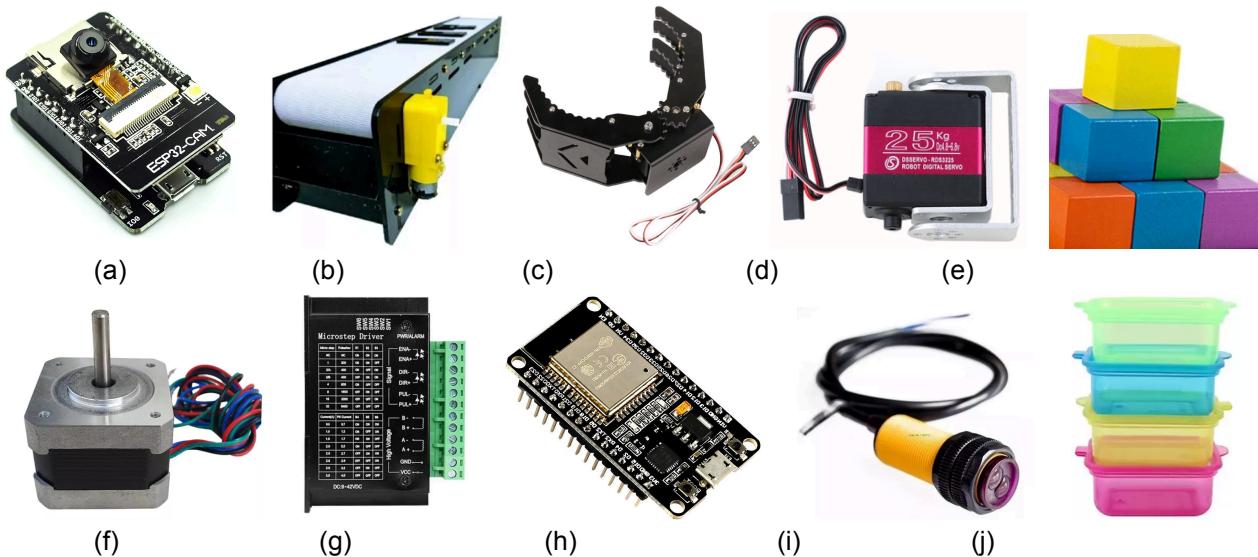
Figura 5 – Vistas do projeto 3D do Kit didático: (a) Vista Isométrica; (b) Vista Frontal; (c) Vista Superior; (d) Vista Lateral Direita



Fonte: Elaboração dos Autores

Para desenvolver essa estrutura são necessários os componentes apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Componentes do Kit: (a) ESP-Cam; (b) Mini Esteira Transportadora; (c) Garra Robótica; (d) Servo Motor 25 Kg; (e) Cubos; (f) Motor de Passo; (g) Driver de Motor de Passo; (h) ESP32; (i) Sensor Infravermelho Antirreflexivo; (j) Potes.



Fonte: (MERCADO LIVRE, 2024)

Cada um dos itens na Figura 6 possui suas próprias características, que estão listadas nos itens a seguir.

a) ESP32-CAM

- Memória: 4MB Flash, 520KB RAM
- Câmera: OV2640, 2MP
- Tensão de Operação: 5V DC
- Funcionalidade: Captura e *streaming* de imagens

b) Esteira Transportadora

- Dimensões: 57cm x 9cm x 9cm
- Material: Acrílico
- Funcionalidade: Transporte de objetos

c) Garra Robótica

- Tamanho: 10.5cm x 7.5cm x 4cm
- Material: Alumínio anodizado
- Funcionalidade: Manipulação de objetos

d) Servo Motor RDS3225

- Torque: 28kg.cm a 6.8V

- Tensão de Operação: 6.8V
- Funcionalidade: Movimento da garra

e) Cubos Coloridos

- Cores: Vermelho, amarelo e azul
- Material: Madeira MDF
- Tamanho: 2cm x 2cm x 2cm
- Funcionalidade: Objetos de manipulação pela garra

f) Motor de Passo Nema 17

- Torque: 42kgf.cm
- Tensão de Operação: 3.4V
- Funcionalidade: Movimento da esteira transportadora

g) Driver de Motor de Passo

- Corrente do Motor: 0,7A a 4A
- Tensão de Operação: 9 - 42VDC
- Funcionalidade: Controle dos motores de passo

h) ESP32

- Processador: *Dual-core Tensilica LX6*
- Memória: 520KB SRAM
- Tensão de Operação: 3.3V
- Funcionalidade: Controle dos servomotores e motor de passo, recepção do sinal do sensor

i) Sensor Infravermelho E18-D80NK

- Alcance: 3cm a 80cm ajustável
- Alimentação: 5V DC
- Funcionalidade: Detecção de objetos na frente da garra

j) Recipientes para Cubos

- Quantidade: 3 recipientes
- Material: Plástico resistente
- Funcionalidade: Recipientes para os cubos separados pela garra

A Tabela 1 mostra o custo de cada um dos componentes presentes no Kit Didático, bem como as quantidades necessárias de cada um.

Tabela 1 – Custos dos componentes presentes no Kit Didático

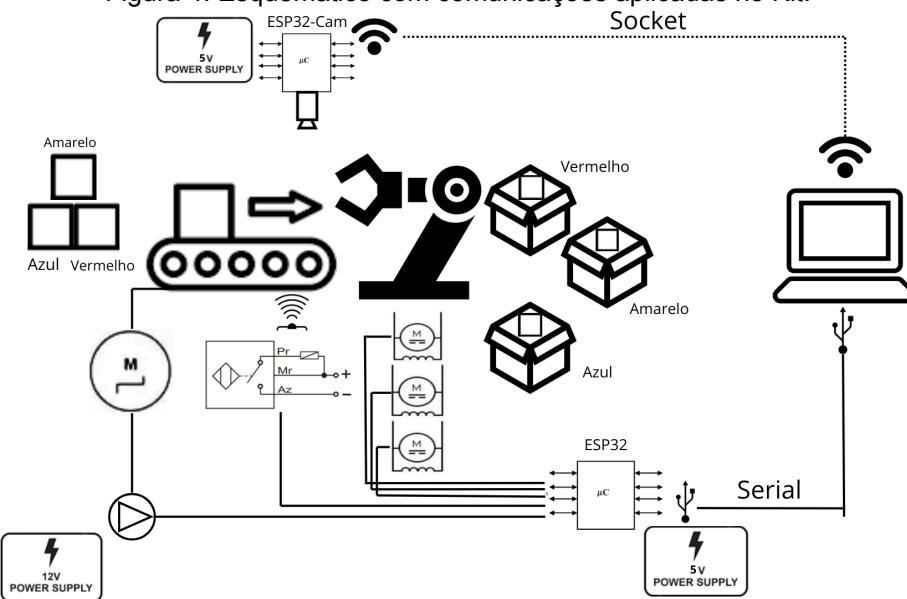
Produto	Quantidade	Preço
ESP32-Cam	1	R\$ 50,00
ESP32-Wroom	1	R\$ 40,00
Mini Esteira Transportadora	1	R\$ 400,00
Garra Robótica	1	R\$ 80,00
Servo Motor 25 kgf	3	R\$ 360,00
Motor de Passo NEMA 17	1	R\$ 60,00
Driver Motor de Passo	1	R\$ 60,00
Cubos	1	R\$ 10,00
Potes	3	R\$ 10,00
Sensor IR E18-D80NK	1	R\$ 30,00
TOTAL		R\$ 1.100,00

Fonte: Elaboração dos Autores

5 SOFTWARE

A Figura 4 detalha como é feita a comunicação entre as partes do Kit Didático.

Figura 4: Esquemático com comunicações aplicadas no Kit.

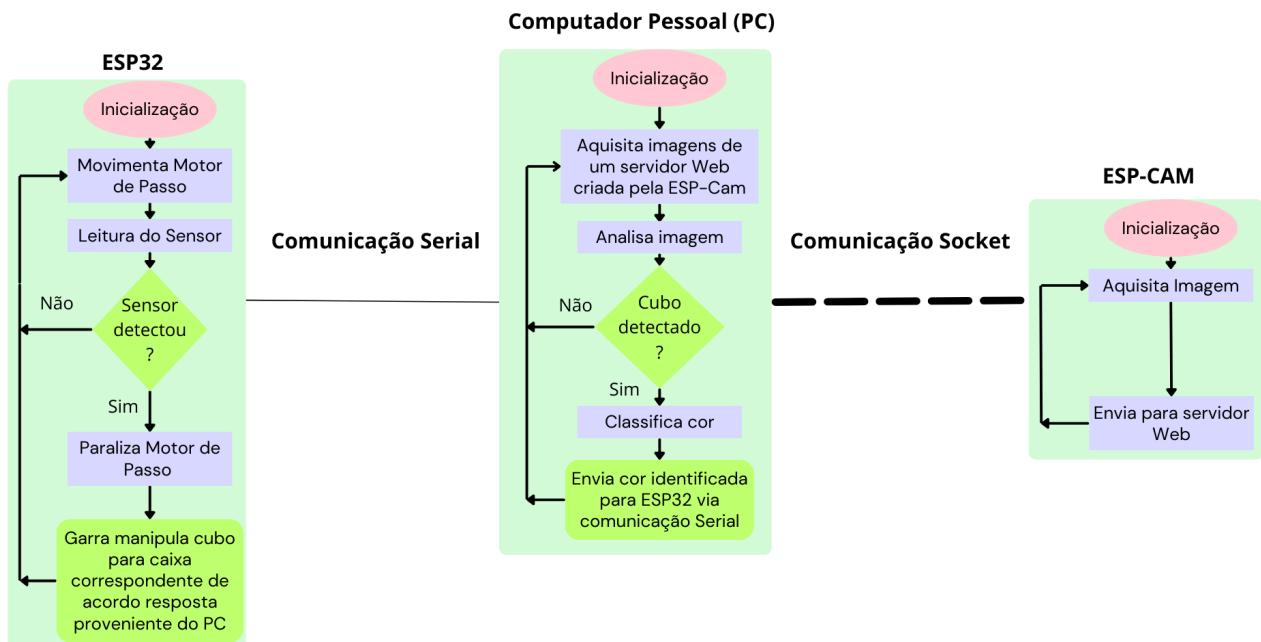


Fonte: Elaboração dos Autores

O kit inclui uma ESP32-Cam que estabelece comunicação **socket**, utilizando uma rede Wi-Fi compartilhada com um computador. As imagens capturadas pela ESP32-Cam são enviadas para um servidor web. Um programa em Python, desenvolvido para estudar visão computacional, obtém essas imagens do servidor para processamento e análise.

Adicionalmente, o kit conta com outra ESP32, que se comunica serialmente via cabo USB. Esta unidade controla o motor de passo e os três motores da garra manipuladora, além de processar sinais de um sensor de presença. A Figura 5 mostra a comunicação e o funcionamento das partes do sistema.

Figura 5: Diagrama de funcionamento do Software



Fonte: Elaboração dos Autores

O diagrama de funcionamento do software, mostrado na Figura 5, descreve o código de cada componente e a comunicação entre eles. Primeiramente, temos a ESP32, que controla o motor de passo e o sensor, responsáveis pela operação da esteira e da garra. Em paralelo, há uma câmera, representada pela ESP32-CAM, que realiza a aquisição de imagens e as envia continuamente para o servidor em um *loop*. O servidor, um PC, recebe as imagens da ESP32-CAM, analisa-as utilizando processamento digital de imagens e, após detectar o cubo, classifica sua cor. Em seguida, o servidor envia a informação da cor do cubo para a ESP32, que move a garra para colocá-lo na caixa correta.

O software completo do kit foi desenvolvido em 2 ambientes, o Arduino IDE e o *Visual Studio Code*. Dentro do primeiro ambiente, desenvolveu-se os programas para comunicação da ESP32-CAM com o computador e o programa da ESP32 para controle do motor de passos, controle do manipulador e receber dados do sensor. Já no *Visual Studio Code* foram feitos os programas para o PC, onde propriamente rodam-se as práticas, a partir da imagem da ESP32-CAM. Dentro do código de processamento, utiliza-se apenas a biblioteca OpenCV para o processamento digital de imagens.

Figura 6: Logo dos ambientes de programação utilizados.



Arduino IDE



Visual Studio Code

Fonte: (ARDUINO, 2024) e (VISUAL STUDIO CODE, 2024)

6 RESULTADOS

O Kit Didático foi utilizado como parte do projeto final da disciplina de Processamento Digital de Imagens do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Serra. Durante essa prática, os estudantes foram desafiados a desenvolver programas capazes de reconhecer a cor de cubos, empregando os conhecimentos adquiridos ao longo da disciplina. Esta atividade permitiu a integração efetiva entre a teoria estudada e a prática, através da aplicação direta dos conceitos em um projeto real, utilizando o kit de Visão Computacional fornecido.

Figura 7: Aplicação do Kit Didático em uma aula de Mestrado.



Fonte: Elaboração dos Autores

Além disso, este kit pode ser utilizado também em cursos técnicos, de graduação e de pós-graduação, atendendo à crescente demanda nos campos de IA e Robótica. Esses

campos estão em rápida expansão, e cada vez mais pessoas estão aprendendo sobre esses assuntos desde cedo para aplicá-los em suas futuras carreiras profissionais. Tais ferramentas já demonstram ser altamente eficientes para aumentar significativamente a produtividade e são consideradas essenciais para a formação dos profissionais do futuro.

7 CONCLUSÃO

O Kit Didático demonstrou sucesso em sua proposta de ensinar visão computacional de maneira prática, simulando uma linha de produção da indústria 4.0. Além disso, destacou-se por ser uma solução de baixo custo, com um custo de produção 28 vezes inferior ao do conjunto da *Dobot* e 56 vezes inferior ao do *Niryo Ned*.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a implementação de novas práticas pedagógicas, aprimoramento do software e melhorias na estrutura física do kit. Essas evoluções podem aumentar ainda mais a eficiência e a aplicabilidade do kit no ensino de visão computacional.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios**. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, 2019.

ANALYTICS VIDHYA. **Citação de referências e documentos eletrônicos**. Disponível em:<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2023/03/getting-started-with-image-processing-using-opencv/#:~:text=Some%20powerful%20image%20preprocessing%20techniques,in%20images%20and%20reduce%20clutter>. Acesso em: 29 maio 2024.

ARDUINO. **Citação de referências e documentos eletrônicos**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/software>. Acesso em: 2 jun. 2024.

BRADSKI, G.; KAEHLER, A. **Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library**. O'Reilly Media, 2008.

CORDEIRO, Raphaella Ferreira; REIS, Luciana Paula; FERNANDES, June Marques. **A study on the barriers that impact the adoption of Industry 4.0 in the context of Brazilian companies**. The TQM Journal, v. 36, n. 1, p. 361-384, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0239>. Acesso em: 29 maio 2024.

FRONTIERS IN EDUCATION. Virtual robotics in education: **The experience of eighth grade students in STEM**. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2022.950766/full>. Acesso em: 29 maio 2024.

LOJA DO JANGÃO. Dobot Magician Lite Robotic Arm. **Citação de referências e documentos eletrônicos**. Disponível em: <https://www.lojadojangao.com.br/produtos/dobot-magician-lite-robotic-arm/>. Acesso em: 2 jun. 2024.

LOJA DO JANGÃO. Dobot Mini Conveyor Belt Kit para Dobot Magician Kit Correia Transportadora Entrando em um Universo de Simulação de Linha de Produção. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <https://www.lojadojangao.com.br/produtos/dobot-mini-conveyor-belt-kit-para-dobot-magician-kit-correia-transportadora-entrando-em-um-universo-de-simulacao-de-linha-de-producao/>. Acesso em: 2 jun. 2024.

LOJA DO JANGÃO. Niryo Ned 2 Braço Robótico Colaborativo Novo Cobot de Seis Eixos. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <https://www.lojadojangao.com.br/produtos/niryo-ned-2-braco-robotico-colaborativo-novo-cobot-de-seis-eixos/>. Acesso em: 2 jun. 2024.

MARENCONI, M.; STRINGHINI, G. **Fundamentos de Visão Computacional.** Editora Manole, 2009.

MERCADO LIVRE. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/>. Acesso em: 2 jun. 2024.

MIT News. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <https://news.mit.edu>. Acesso em: 2 jun. 2024.

OPENCV DOCUMENTATION. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <https://opencv.org>. Acesso em: 2 jun. 2024.

ROUTLEDGE. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: [https://unidel.edu.ng/focelibrary/books/A%20Beginner%E2%80%99s%20Guide%20to%20Image%20Preprocessing%20Techniques-CRC%20Press%20\(2018\).pdf](https://unidel.edu.ng/focelibrary/books/A%20Beginner%E2%80%99s%20Guide%20to%20Image%20Preprocessing%20Techniques-CRC%20Press%20(2018).pdf). Acesso em: 29 maio 2024.

TOWARDS AI. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <https://towardsai.net>. Acesso em: 2 jun. 2024.

VISUAL STUDIO CODE. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <https://code.visualstudio.com>. Acesso em: 2 jun. 2024.

ABSTRACT: This paper presents the development and implementation of a low-cost didactic kit for teaching computer vision, with a focus on Industry 4.0 applications. The kit consists of a mini conveyor belt, a robotic arm, an ESP32-CAM, and an ESP32, providing a practical and accessible experience of simulating a production line. The paper comprehensively covers the project, hardware and software construction, and practical application of the kit. The research highlights the kit's effectiveness in an educational setting, demonstrating its ability to integrate theory and practice efficiently. The kit was successfully implemented in a Master's course in Control and Automation Engineering, specifically in the Digital Image Processing class, allowing students to apply computer vision concepts in a real project. Furthermore, the kit's production cost is significantly lower than that of commercially available kits, making it an economically viable option for educational institutions.

Keywords: Computer Vision; Industry 4.0; Low Cost; Practical Teaching; Didactic Kit

