



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FILIPE DE SOUSA ALVES

**CONTROLE DE PROCESSO INDUSTRIAL UTILIZANDO ESP32-CAM PARA  
SUPERVISÃO DE UMA ESTEIRA E COMANDOS**

CARAÚBAS

2023

FILIPPE DE SOUSA ALVES

**CONTROLE DE PROCESSO INDUSTRIAL UTILIZANDO ESP32-CAM PARA  
SUPERVISÃO DE UMA ESTEIRA E COMANDOS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia  
Co-orientador: Téc. Charles Augusto Santos do Carmo

CARAÚBAS

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A474c Alves, Filipe De Sousa .  
CONTROLE DE PROCESSO INDUSTRIAL UTILIZANDO  
ESP32-CAM PARA SUPERVISÃO DE UMA ESTEIRA E  
COMANDOS / Filipe De Sousa Alves. - 2023.  
41 f. : il.

Orientador: Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia.  
Coorientador: Charles Augusto Santos do Carmo.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Administração,  
2023.

1. Automação. 2. Microcontrolador. 3. Indústria  
. I. Maia, Hugo Michel Câmara de Azevedo , orient.  
II. Carmo, Charles Augusto Santos do, co-orient.  
III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Biblioteca Campus Caraúbas  
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues  
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FILIPPE DE SOUSA ALVES

**CONTROLE DE PROCESSO INDUSTRIAL UTILIZANDO ESP32-CAM PARA  
SUPERVISÃO DE UMA ESTEIRA E COMANDOS**

Monografia apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido como  
requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Defendida em: 13 / 10 / 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

HUGO MICHEL CÂMARA  
DE AZEVEDO MAIA

Assinado de forma digital por HUGO  
MICHEL CÂMARA DE AZEVEDO MAIA  
Dados: 2023.10.21 09:24:43 -03'00'

Prof. Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia - UFERSA

Presidente

Documento assinado digitalmente



CHARLES AUGUSTO SANTOS DO CARMO

Data: 20/10/2023 14:39:24-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Esp. Charles Augusto Santos do Carmo - UFERSA

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



JOSE AILTON LEAO BARBOZA JUNIOR

Data: 20/10/2023 15:10:52-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Me. Jose Ailton L. Barboza Junior - UFERSA

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



ALLYSON ARILSON LIMA FILGUEIRA

Data: 20/10/2023 08:51:33-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Me. Allyson Arilson Lima Filgueira - UFERSA

Membro Examinador

## DEDICATÓRIA

*Dedico essa conquista aos meus pais Rosineide e Felizardo, por sempre confiarem em mim e me apoiarem em todas as decisões que tenho tomado até aqui, sem eles nada disso seria possível.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que tenho feito, por todo livramento e pela força nos momentos mais difíceis

Agradeço a minha mãe Rosineide, pelas orientações, por todo apoio e motivação que tem me dado ao longo de toda essa caminhada

Agradeço ao meu pai Felizardo por toda confiança e ensinamentos que me deu durando toda a jornada, seu apoio foi fundamental para toda essa conquista.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Hugo toda a ajuda e ensinamento para a conclusão desse trabalho.

Agradeço aos meus Amigos pelas palavras de apoio, incentivo e momentos de descontração pra poder passar por toda essa caminhada

## ÉPIGRAFE

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência de se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar.

## RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um sistema de controle de processo industrial utilizando o microcontrolador ESP32-CAM para a supervisão de uma esteira em um ambiente industrial por meio da tecnologia Internet of Things (IoT). Com o avanço da inteligência artificial e a chegada da IoT, o uso do ESP32-CAM se destaca como uma solução versátil para aplicações de controle industrial. O objetivo é demonstrar como a tecnologia pode ser aplicada para otimizar a operação e monitoramento de processos industriais, melhorando a eficiência do sistema e reduzindo os custos. O trabalho foi desenvolvido como forma de pesquisa, com parte de sua produção feito por meio de um estudo exploratório, realizado através de um levantamento bibliográfico. A busca para análise dos resultados foi feita através de trabalhos acadêmicos que atuaram com mesmos dispositivos durante os anos de 2022 e 2023.

**Palavras-chaves:** industrial; microcontrolador; esteira; automação.

## **ABSTRACT**

This work addresses the development of an industrial process control system using the ESP32-CAM microcontroller for supervising a conveyor belt in an industrial environment through IoT (Internet of Things) technology. With the advancement of artificial intelligence and the advent of IoT, the use of ESP32-CAM stands out as a versatile solution for industrial control applications. The objective is to demonstrate how technology can be applied to optimize the operation and monitoring of industrial processes, improving system efficiency and reducing costs. The work was developed as a research endeavor, with part of its production conducted through an exploratory study carried out via a literature review. The search for analyzing the results was performed through academic works that employed the same devices during the years 2022 and 2023.

**Keywords:** industrial; microcontroller; conveyor belt; automation.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Regulador de esferas de James Watt.....       | 15 |
| Figura 2 - Evolução da automação ao longo dos anos ..... | 17 |
| Figura 3 - Geração energia elétrica.....                 | 18 |
| Figura 4 - Programa de instrução .....                   | 18 |
| Figura 5 - Controlador Lógico Programável TPW04.....     | 19 |
| Figura 6 - Internet das coisas.....                      | 20 |
| Figura 7 - Evolução da indústria 4.0.....                | 21 |
| Figura 8 - Microcontrolador ESP32-CAM.....               | 22 |
| Figura 9 - Pinagem do ESP32-CAM .....                    | 22 |
| Figura 10 - Topologia Estrela.....                       | 25 |
| Figura 11 - STA (Station).....                           | 26 |
| Figura 12 - AP (Access Point).....                       | 27 |
| Figura 13 - Modo (STA+AP) .....                          | 27 |
| Figura 14 - Topologia Piconet .....                      | 28 |
| Figura 15 - Módulo OV2640.....                           | 29 |
| Figura 16 - Esteira Transportadora.....                  | 31 |
| Figura 17 - Passo a passo de Instalação.....             | 32 |
| Figura 18 - Detecção por blocos residuais .....          | 35 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|              |                                       |
|--------------|---------------------------------------|
| <b>CLP</b>   | <i>Controlador Lógico Programável</i> |
| <b>CNN</b>   | <i>Convolution Ne Ural Networks</i>   |
| <b>CPS</b>   | <i>Cyber-Physical System</i>          |
| <b>GPIO</b>  | <i>General-Purpose Input/Output</i>   |
| <b>IA</b>    | <i>Inteligência Artificial</i>        |
| <b>IoS</b>   | <i>Internet of Services</i>           |
| <b>IoT</b>   | <i>Internet of Things</i>             |
| <b>SVM</b>   | <i>Support Vector Machines</i>        |
| <b>Wi-fi</b> | <i>Wireless Fidelity</i>              |
| <b>WLAN</b>  | <i>Wireless Local Area Network</i>    |
| <b>YOLO</b>  | <i>You Only Look Once</i>             |

## SUMÁRIO

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                           | <b>13</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                  | <b>15</b> |
| <b>2.1 Automação industrial e Controle de Processos .....</b>       | <b>15</b> |
| <b>2.2 Elementos básicos de um sistema automatizado .....</b>       | <b>17</b> |
| 2.2.1 Energia .....                                                 | 17        |
| 2.2.2 Instruções .....                                              | 18        |
| 2.2.3 Sistema de controle .....                                     | 19        |
| <b>2.3 Internet das coisas.....</b>                                 | <b>20</b> |
| <b>2.4 Industria 4.0 .....</b>                                      | <b>20</b> |
| <b>2.5 Microcontrolador ESP32-CAM.....</b>                          | <b>21</b> |
| <b>2.6 Dectção de Objetos atrvés do OpenCV .....</b>                | <b>23</b> |
| 2.6.1 Blocos Residuais .....                                        | 23        |
| <b>2.6 Tecnologias de comunicação .....</b>                         | <b>24</b> |
| 2.6.1 Wi-fi .....                                                   | 24        |
| 2.6.2 Bluetooth.....                                                | 28        |
| <b>2.7 Sistema de aquisição de dados .....</b>                      | <b>29</b> |
| <b>2.8 Princípio de funcionamento de esteiras industriais .....</b> | <b>30</b> |
| <b>2.9 Integração de hardware e software .....</b>                  | <b>31</b> |
| <b>3 METODOLOGIA.....</b>                                           | <b>33</b> |
| <b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>                               | <b>34</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                  | <b>37</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS .....</b>                                          | <b>39</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A automação industrial desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade. Ela é responsável pelo aumento da produção e otimização dos processos industriais, aumentando a eficiência, reduzindo erros humanos e minimizando custos operacionais. Atualmente é possível observar o grande avanço da Inteligência Artificial (IA) na aplicação de processos industriais, tornando os sistemas de produção capazes de tomar decisões com base nos dados em tempo real (ALBUQUERQUE, 2018).

Com a chegada da IoT, a automação industrial passou por uma revolução, onde as máquinas, sensores e sistemas de controle passam a ter uma conectividade de maneira mais eficiente. Com a IoT é possível fazer um monitoramento em tempo real onde as falhas do sistema podem ser previstas antes mesmo que cheguem a ocorrer (MCKINSEY, 2020).

Em boa parte das grandes indústrias é comum a utilização de esteiras na sua linha de produção. As esteiras industriais são componentes essenciais em diversos setores, como manufatura, logística e embalagem. Sem dúvidas é uma ferramenta que trouxe grande praticidade e eficiência para os meios de produção. O monitoramento e controle eficientes dessas esteiras são cruciais para garantir a operação contínua e a qualidade dos produtos.

O ESP32-CAM é um dispositivo que combina processamento de dados, conectividade Wi-Fi e captura de imagens. Desenvolvido pela Espressif Systems, é uma plataforma de hardware que se destaca pela sua versatilidade, tornando uma escolha ideal para aplicações de IoT e controle industrial. O ESP32-CAM é capaz de processar dados em tempo real e enviar informações para sistemas de controle, capturar imagens em alta resolução, permitindo uma supervisão detalhada de processos industriais (ESPRESSIF, 2021).

No cenário atual, muitas empresas ainda se veem com dificuldades de implementação de um sistema de controle eficiente, tendo que recorrer a meios de serviços manuais com demanda de uma maior equipe para o funcionamento do sistema não sair do controle. Apesar de existir várias tecnologias que podem ser utilizadas para realizar o monitoramento e a supervisão em uma linha de produção, a sua implementação se torna inviável devido aos custos elevados e a baixa versatilidade dos dispositivos disponíveis no mercado. Os sistemas tradicionais de automação além de terem custos elevados, ainda exigem um alto nível de complexidade para entrar em operação, o que inviabiliza para empresas de pequeno e médio porte (NOGUEIRA; OLIVEIRA; SILVA, 2020).

Esse trabalho se propõe a explorar uma solução inovadora para o controle de processos industriais, voltado para realização de um sistema de controle utilizando um módulo ESP32-CAM para realizar o reconhecimento dos objetos de uma linha de produção em uma esteira. Com isso irá reduzir significativamente a quantidade de sensores que seriam necessários para fazer a implementação da automação do sistema, tornando acessível a implementação em indústrias de pequeno porte. O módulo ESP32-CAM será responsável por fazer a captura de imagem e identificar os objetos, onde irá fazer a seleção dos mesmos e interromper a produção caso tenha algum objeto que não faça parte da linha de produção. Para tornar isso possível será feito a integração de sistemas através da IoT, fazendo o módulo trabalhar de forma automatizada, atuando com outros dispositivos, para otimizar o processo e minimizar os custos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Automação industrial e Controle de Processos

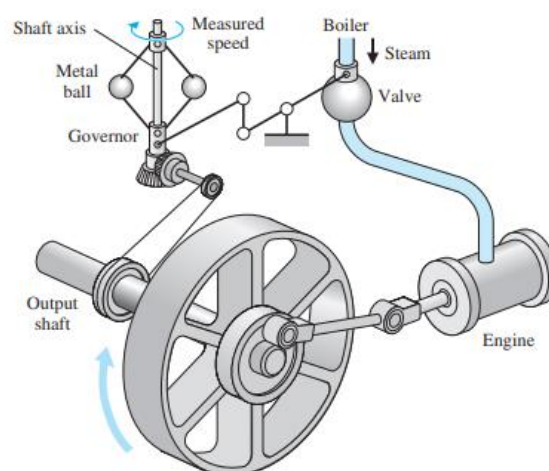
Desde a antiguidade a automação industrial vem passando por uma evolução que teve início há muito tempo. Com o propósito de diminuir o trabalho físico e melhorar a execução de certas atividades, o ser humano tem se envolvido na criação de dispositivos e descobertas para facilitar o trabalho manual. Mas o grande passo se deu com o início da revolução industrial na Inglaterra ao longo do século XVIII. Com o intuito de aumentar a produção para uma escala maior, eles tiveram que desenvolver diversas inovações tecnológicas para alcançar esse objetivo, (ROGGIA; FUENTES, 2016; JUNIOR et al, 2021).

Entre as diversas inovações estão os maquinários e as novas fontes de energia, que trabalham para diminuir os esforços dos trabalhos manuais e aumentar a velocidade de produção (JUNIOR et al, 2021).

James Watt é o cientista responsável pela criação do regulador de esferas que foi considerado o primeiro controlador automático com realimentação automática utilizado no processo industrial. Ele a criou para controlar a velocidade de um motor a vapor no ano de 1769 (ROGGIA; FUENTES, 2016).

Na Figura 1 é possível observar a representação do regulador de esferas desenvolvido por James Watt.

Figura 1 - Regulador de esferas de James Watt



Fonte: DORF; BISHOP 2016

A automatização total só chegou na indústria no século XX, com o aumento da necessidade de produção onde as máquinas tiveram que ser aprimoradas para atender a demanda da época (JUNIOR et al, 2021).

Com a chegada da energia elétrica no processo industrial em meados do século XIX, outras indústrias se viram incentivadas a atuar com processos de automação no seu processo industrial, como é o caso das indústrias de aço e de química. Outros setores também passaram por avanços de grande significado naquela época como o setor de comunicação, transportes e industrial naval (ROGGIA; FUENTES, 2016; DORF; BISHOP, 2016).

Com o passar dos anos a automação foi avançando rapidamente, a cada descoberta ou inovação realizada, foi um passo a mais que se deu para a automação industrial se transformar no que ela é nos dias atuais.

Um marco que teve grande influência nessa evolução da automação industrial foi a segunda guerra mundial. A utilização de sistemas de automação era essencial para os sistemas militares como controle automatizados para aeronaves, sistema de posicionamento de armamento, radares entre outros (DORF; BISHOP, 2016).

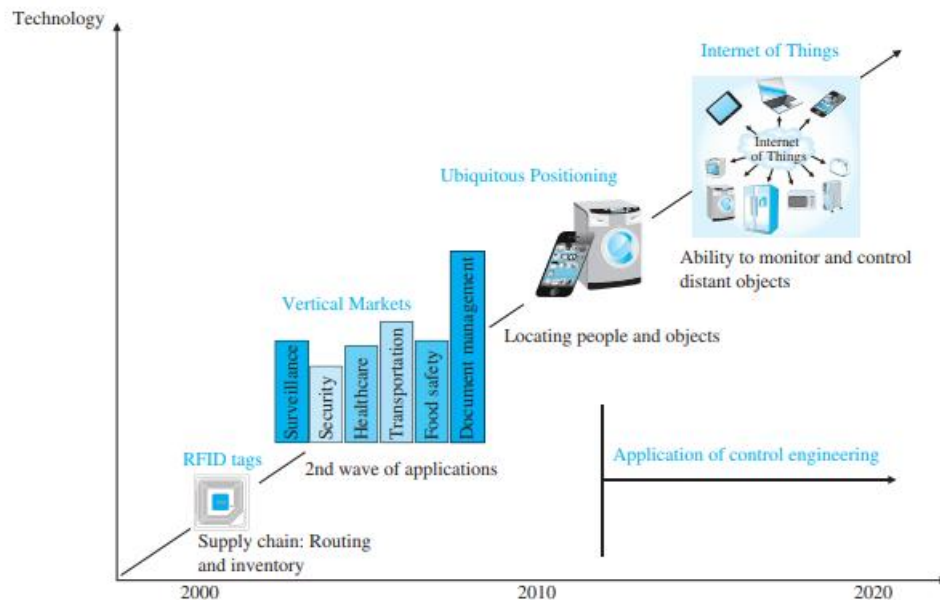
Durante a década de 1940 a utilização de métodos matemáticos e analíticos foram predominantemente utilizadas em relação aos métodos convencionais, tornando-se então uma engenharia de controle, pois antes disso, os sistemas de controle tinham como base o método de tentativa e erro que não tinham muita eficiência. Ao longo dos anos a utilização de métodos matemáticos foram essenciais para chegarmos até a engenharia de controle que se tem nos dias atuais, as técnicas desenvolvidas mais comuns eram a transformada de Laplace, métodos de domínio do tempo e o plano de frequência complexa (DORF; BISHOP, 2016).

Computadores, servomecanismos e controladores programáveis começaram a desempenhar um papel maior na automação no século XX. Para chegar aos computadores que usamos hoje, inúmeros avanços foram utilizados ao longo do tempo, começando com o uso de ábacos nos antigos sistemas de escrita da Babilônia e através da regra de cálculo no século XVII e dos cartões perfurados no século XVIII. Neste período, George Boole criou a álgebra booleana, que apresenta os princípios binários utilizados nas operações internas do computador. Os computadores servem como base para toda a tecnologia de automação atual, e exemplos de seu uso podem ser encontrados em quase todas as áreas do conhecimento (ROGGIA; FUENTES, 2016).

Na Figura 2 pode-se observar uma projeção de como os pesquisadores estimavam o desenvolvimento dos sistemas de automação com a evolução da IoT. A IoT era responsável

por fazer a interação de todos os equipamentos para atuarem juntos de forma automatizada sem interferência manual.

Figura 2 - Evolução da automação ao longo dos anos



Fonte: DORF; BISHOP 2016

O controle de processos mantém as variáveis de um processo em valores desejados para o sistema. Em sistemas de malha fechada, que possuem realimentação da variável de processo, é utilizado um algoritmo de controle analógico discreto. Os sistemas de controle de processos são projetados para monitorar variáveis e tomar decisões com base nas informações obtidas de sensores, de acordo com os objetivos específicos do processo no qual foram pré-programados (ROGGIA; FUENTES, 2016; OGUNNAIKE; RAY, 2010).

## 2.2 Elementos básicos de um sistema automatizado

### 2.2.1 Energia

Para a implementação de sistemas de automação industrial, são necessários elementos fundamentais, sendo a energia elétrica um dos principais, já que ela é responsável por alimentar todo o sistema, desde os equipamentos até os computadores que estão por trás de

toda a lógica que permite o funcionamento da forma que se deseja (MARTELLI, 2012). Na Figura 3 pode-se observar algumas das fontes geradoras de energia elétrica.

Figura 3 - Geração energia elétrica

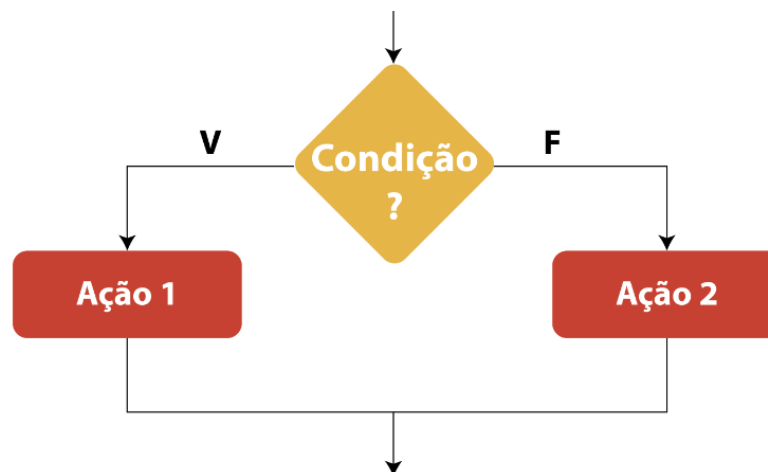


Fonte: Adaptado de MARGIRIUS (2022)

### 2.2.2 Instruções

O programa de instruções é outro elemento essencial para o funcionamento de um sistema de automação industrial, pois ele é o responsável por realizar as instruções para garantir a obtenção de um resultado satisfatório (IMD, 2016; MARTELLI, 2012).

Figura 4 - Programa de instrução



Fonte: Adaptado de IMD/UFRN (2016)

### 2.2.3 Sistema de controle

O sistema de controle é responsável por fazer a parte de automatização de todo o conjunto, onde reúne o conjunto de instruções e a programação lógica para realizar a função desejada. Eles são compostos por diversos componentes incluindo, Controlador Lógico programável (CLP's), sensores, drives, atuadores, redes de comunicação, entre outros. Um dos mais comuns presentes nos sistemas de automação são os CLP's, que são responsáveis por receber as informações dos sensores e atuadores, e a partir da informação obtida ele irá tomar uma decisão com base nas instruções programáveis (KALATEC, 2023; IMD, 2016; SILVA, 2011).

A Figura 5 mostra um exemplo de um CLP TPW04 da marca WEG, uma das grandes fornecedoras de equipamentos eletrônicos.

Figura 5 - Controlador Lógico Programável TPW04



Fonte: Adaptado de WEG (2023)

As principais vantagens da utilização de um CLP no sistema automatizado no meio industrial são monitoramento e segurança do local de operação, parada total do processo de produção, parada total do processo automatizado, acionamento de alarmes sonoros e visuais, tomada de decisão corretivas que retomem o processo de forma automatizada. Todas essas funções se tornam ainda mais precisa com a utilização de IoT em conjunto com o sistema de automação (KALATEC, 2023).

### 2.3 Internet das coisas

A IoT é responsável por fazer a interconectividade entre objetos ou entre objetos e humanos, tornando possível a tomada de decisões autônomas, de acordo com as informações que os objetos captam e processam realizando a identificação, detecção, rede e processamento que permitem que eles se comuniquem uns com os outros e com outros dispositivos e serviços pela Internet para atingir determinados objetivos (TREVISOL, 2022).

A IoT consiste em interconexões digitais. Os dados reais são captados pelos sensores, enviados para a plataforma de processamento são transformados em informações e ações pela plataforma de atendimento. IoT é a rede de objetos físicos, ou “coisas”, combinados com eletrônicos, software, sensores e conectividade de rede, permitindo que esses objetos coletem e troquem dados (TREVISOL, 2022).

Na Figura 6 pode se ter uma percepção de como tudo se conecta através da IoT, tornando possível a interação entre esses dispositivos.

Figura 6 - Internet das coisas



Fonte: Adaptado de SHUTTTTERSTOCK (2023)

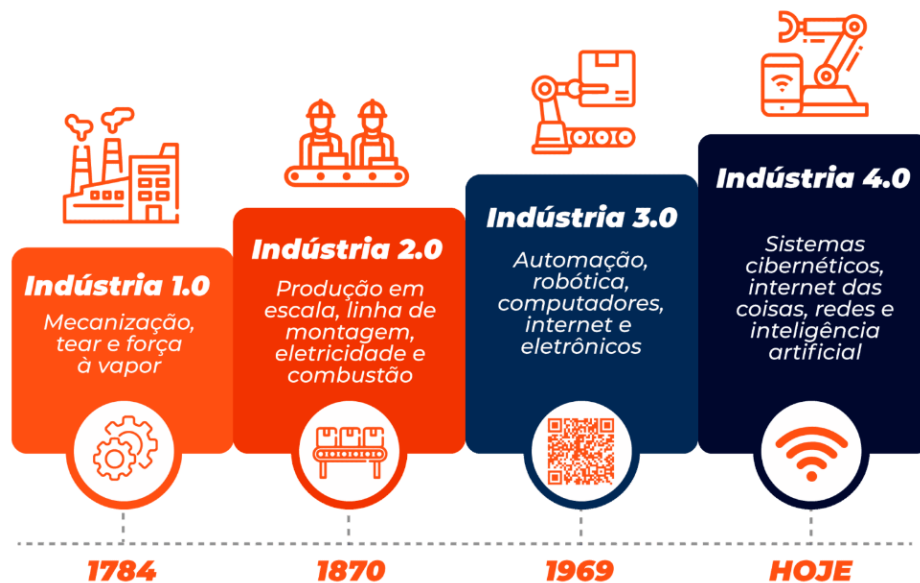
### 2.4 Indústria 4.0

Durante toda a evolução histórica ocorreram diversos avanços tecnológicos até chegar no cenário atual, na indústria não foi diferente, ela passou por diversas revoluções que melhoraram significativamente o modo de vida das pessoas. A Indústria 4.0 como é conhecida, representa a quarta revolução industrial que implementa tecnologias para

personalizar e produzir de maneira mais eficiente. As tecnologias mais comuns de se encontrar na indústria 4.0 são a IoT, Internet of Services (IoS), Aprendizado de Máquina, Cyber-Physical System (CPS) e *Big Data* (MELO, 2020).

A Indústria 4.0 é um conceito que representa a revolução da automação industrial junto com a integração de diferentes tecnologias como inteligência artificial, robótica, IoT, computação em nuvem e análise de dados avançada, que promovem uma maior automação e conectividade na produção industrial com o objetivo de aperfeiçoar as atividades melhorando os processos e aumentando a produtividade. Isso significa que os sistemas de automação industrial estão se tornando cada vez mais interconectados e capazes de coletar, analisar e utilizar dados em tempo real para otimizar a produção e a manutenção (LI et al, 2017). Na Figura 7 pode se observar como essa tecnologia evoluiu ao passar das gerações.

Figura 7 - Evolução da indústria 4.0



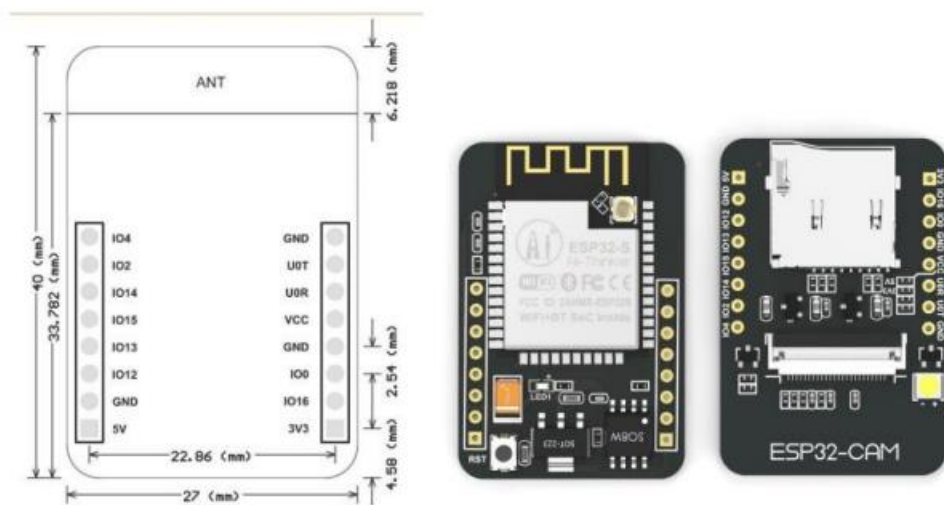
Fonte: Adaptado de 49 EDUCAÇÃO

## 2.5 Microcontrolador ESP32-CAM

O ESP32-CAM é um microcontrolador da família ESP, ele possui uma câmera acoplada que o permite desenvolver projetos com captura de imagens de forma fácil e econômica. Possui também conectividade via Bluetooth e Wi-Fi podendo ser conectado via Wi-Fi para se conectar com outros dispositivos que sejam habilitados (ESP32, 2023).

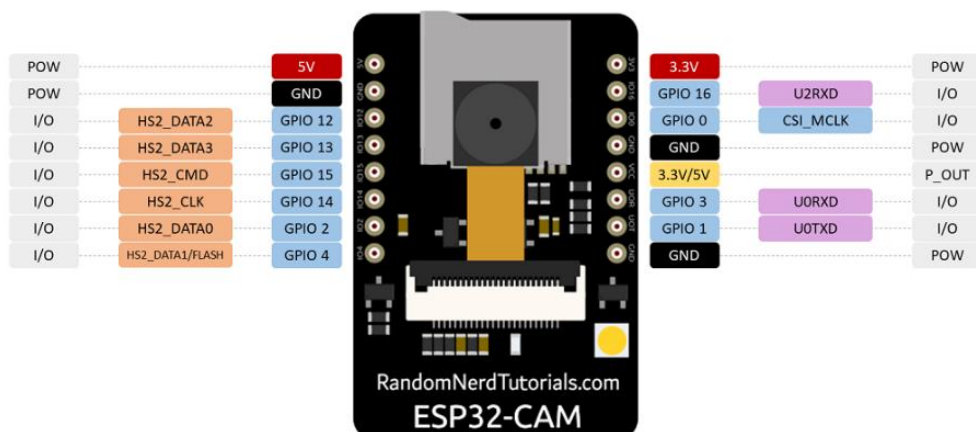
O ESP32-CAM utiliza a plataforma de desenvolvimento Arduino e podendo ser programado usando linguagem C através do *software* Arduino IDE. Esse microcontrolador é um módulo versátil e poderoso que é amplamente utilizado em projetos de monitoramento remoto, sistemas de segurança, reconhecimento facial, captura de imagens e muitas outras aplicações que envolvem conectividade sem fio e processamento de imagem (ESP32, 2023). As Figuras 8 e 9, mostram a estrutura do módulo ESP32-CAM e a ordem dos pinos de conexão que estão presentes no módulo.

Figura 8 - Microcontrolador ESP32-CAM



Fonte: MANUAL ESP32-CAM

Figura 9 - Pinagem do ESP32-CAM



Fonte: Adaptado de RANDOM

## 2.6 Detecção de Objetos através do OpenCV

A detecção de objetos é um desafio complexo. O processo de identificar produtos específicos em imagens é conhecido como visão computacional. Até agora, a detecção de imagens estava limitada a ambientes controlados, mas hoje em dia é necessário lidar com cenários dinâmicos, onde os objetos estão em várias posições e em ambientes com muitas interferências. Para identificar um objeto em um cenário cheio de utensílios e dispositivos existe um nível de dificuldade superior quando comparado com a identificação de um objeto onde não existe nada no fundo da imagem para interferir (KOLHE et al, 2022).

A detecção de objetos e a visão computacional vem sendo pesquisadas com bastante intensidade nos últimos vinte anos. A abordagem comum envolve a segmentação da imagem, o uso de operações morfológicas para extrair informações relevantes e a aplicação de algoritmos como Máquinas de Vetores de Suporte (SVMs) para classificar objetos. A acessibilidade a dados e hardware de alto desempenho permitiu que os sistemas sejam capazes de identificar e separar os objetos por categoria com grande precisão. Termos como classificação de imagens, tradução de objetos e algoritmos de detecção e agrupamento de objetos são discutidos, incluindo o algoritmo "You Only Look Once (YOLO)" para localização de objetos em imagens (KOLHE et al, 2022).

O algoritmo YOLO que a tradução significa “Você só olha uma vez”, é um detector de um estágio, onde é capaz de fazer a detecção com um único algoritmo. Sua popularidade cresceu como resultado de sua excelente qualidade e desempenho em comparação com os métodos de detecção de objetos tradicionais (DHARSHINI; SARANYA; SNEHA, 2022).

YOLO é capaz de reconhecer vários objetos em uma fotografia (em tempo real). O YOLO trata a detecção como um modelo de predição, assim como os cenários da categoria de imagens de identificação são fornecidos. O método utiliza um único espalhamento ascendente com uma arquitetura Redes Neurais Convolucionais (CNN's) para identificar obstáculos, como o nome indica. Isto implica que todo o quadro é projetado para usar uma abordagem única que prevê a linha do tempo de alguns classificadores e classificações de objetos (DHARSHINI; SARANYA; SNEHA, 2022).

### 2.6.1 Blocos Residuais

O algoritmo YOLO faz a detecção dos objetos através de determinados métodos, um deles é o “residual blocks” também conhecido como bloco residual. Nesse método a imagem será primeiro dividida em sistemas de grade, cada grade tem os aspectos  $S \times S$ . Em uma imagem existem numerosas células de grade do mesmo tamanho. Cada célula da grade detectará com precisão quais aparecem nos pontos da grade. Se um centro de item aparecer dentro de uma caixa delimitadora específica, por exemplo, uma determinada célula será encarregada de detectá-lo (DHARSHINI; SARANYA; SNEHA, 2022).

## 2.7 Tecnologias de comunicação

O microcontrolador ESP32 é um componente que possui uma alta versatilidade para realizar comunicação integrada. Apesar desta ampla gama de tecnologias disponíveis, um dos principais e mais utilizados estão a comunicação via Bluetooth e Wi-fi, que são tecnologias que facilitam o processo de interação com outros dispositivos.

### 2.7.1 Wi-fi

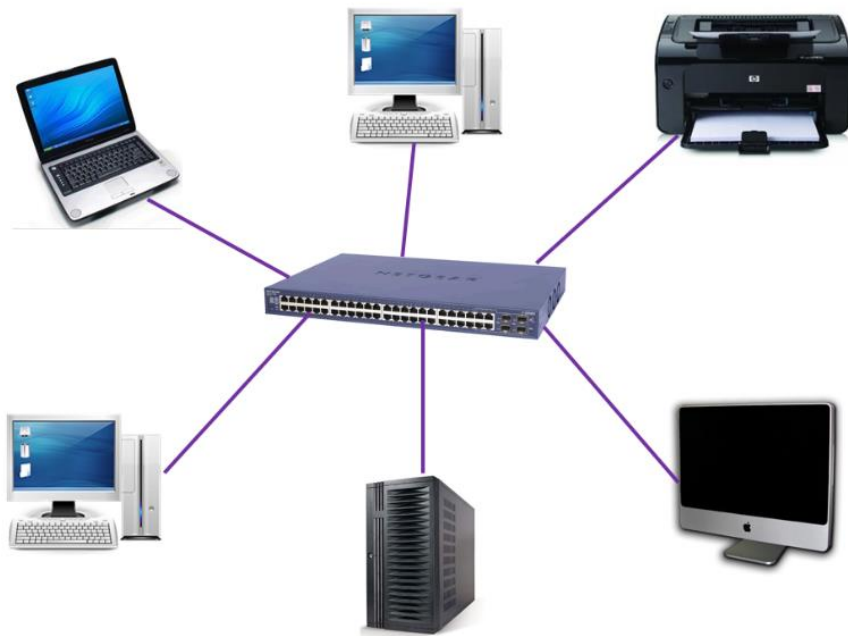
O Wi-fi é um termo abreviado, que vem da expressão em inglês “*Wireless Fidelity*” que significa um conjunto de especificações técnicas para redes locais sem fio. Essa tecnologia surgiu após a padronização das normas específicas, no qual algumas empresas que pretendiam tornar essa tecnologia universal se uniram para desenvolvimento da mesma (ALECRIM, 2008).

O Wi-fi permite a conexão de diversos dispositivos a uma rede local, desde que haja uma WLAN (*Wireless Local Area Network*) sem a necessidade de estar conectado através de cabos. A transmissão de um Wi-fi é feita através de sinais de radiofrequência propagados através do ar e chegam a cobrir uma área de mais de cem metros. Para que não haja interferência de sinais com outros tipos de serviços que também atuam por meio de sinais via rádio, o Wi-fi trabalha com frequências específicas para que o sinal chegue sem nenhum problema ou interferência (ALECRIM, 2008).

O sistema de Wi-fi utiliza um sistema de topologia tipo estrela, onde existe um nó central que fornece sinal para todos os outros dispositivos que estão ao seu redor. Uma das

desvantagens desse sistema é a dependência do nó central que ao surgir qualquer problema no mesmo, irá prejudicar a rede de todos os dispositivos do sistema (CRUZ, 2023). Na Figura 10 pode-se observar o sistema de topologia tipo estrela.

Figura 10 - Topologia Estrela



Fonte: Adaptado de REIS (2016)

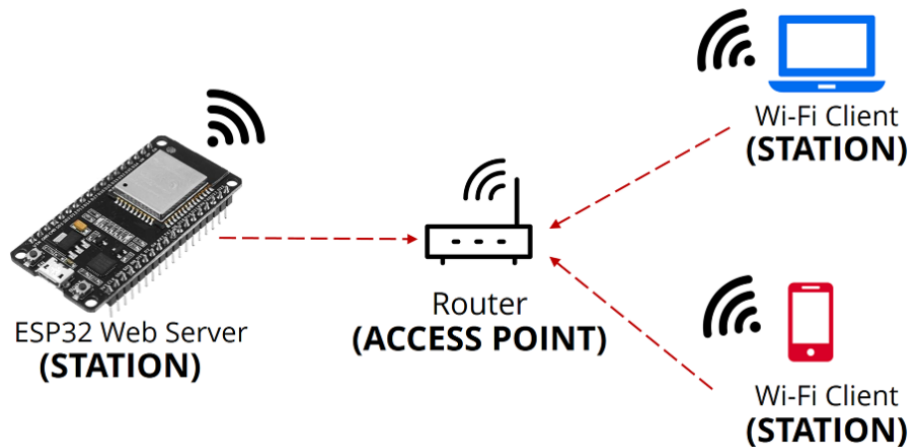
Este ponto de conexão central que distribui o acesso de rede pode ser dos tipos *switch*, *hub* ou roteador. Os pontos de conexão sem fio só podem ser fornecidos com a utilização de um roteador. O roteador Wi-fi é o responsável por fornecer o sinal através da criação de um ponto de acesso no qual os outros dispositivos que estão dentro da área de cobertura podem se conectar (CRUZ, 2023).

Devido a essa facilidade de conexão sem a necessidade de fios que o Wi-fi foi uma das tecnologias de comunicação adotada para integrar o ESP32-CAM, essa tecnologia permite a realização de projetos com IoT de forma mais prática e eficiente.

O ESP32-CAM pode atuar de três diferentes maneiras em relação a sua conectividade Wi-fi. A primeira é se conectando com um ponto de acesso fornecido por um roteador Wi-fi que atuará como o nó central, onde os outros dispositivos que estiverem conectados ao mesmo roteador podem se comunicar com o ESP32-CAM. Esse modo operacional é conhecido como STA (*station*), ele tem uma grande vantagem devido à conexão com a internet, permitindo acessar dados de outros servidores e comunicação com usuários além do

alcance Wi-fi. Tudo isso é permitido ser feito pela lógica programável do ESP32-CAM (CRUZ, 2023). Na Figura 11 pode-se observar o modo operacional do ESP32-CAM do tipo STA (*Station*).

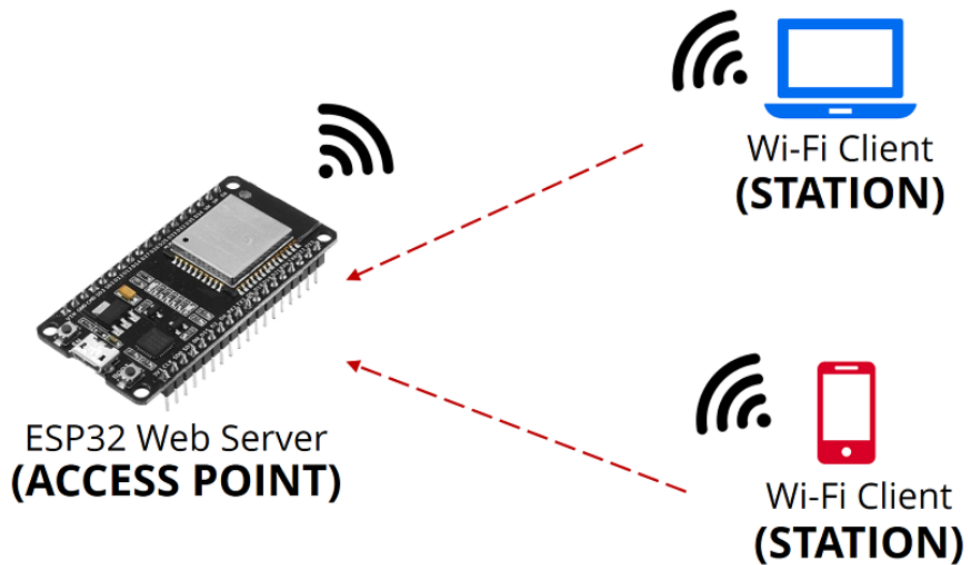
Figura 11 - STA (*Station*)



Fonte: Adaptado de RANDOM (2023)

A segunda forma de conexão é conhecida como AP (*Access Point*), pode ser feita gerando um ponto de acesso pelo próprio microcontrolador que irá criar sua própria rede Wi-fi onde atuará como nó principal e os dispositivos poderão se conectar a ele, esse tipo de conexão não há acesso a internet, logo seus recursos são limitados, mas tem uma grande aplicabilidade em locais que não possuem rede Wi-fi disponível (CRUZ, 2023). Na Figura 12 pode-se observar o modo operacional do ESP32-CAM do tipo AP (*Access Point*).

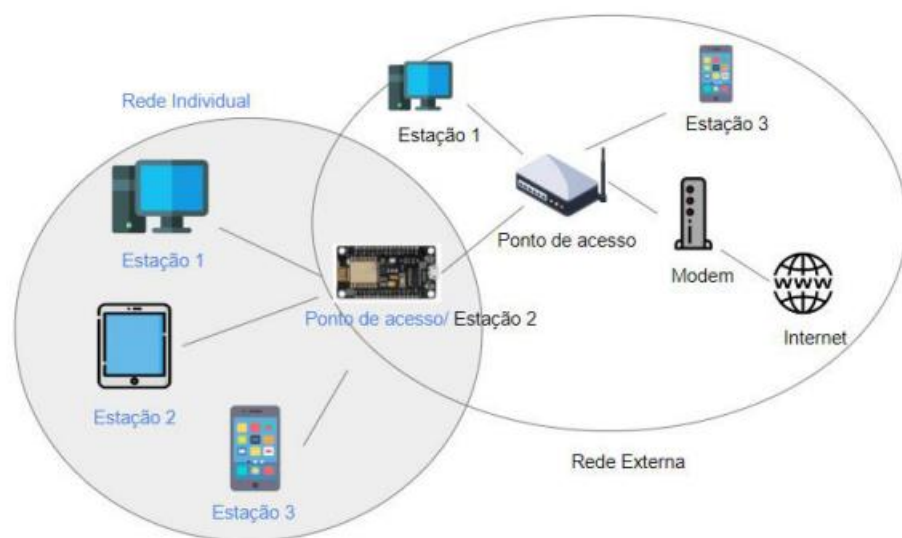
Figura 12 - AP (Access Point)



Fonte: Adaptado de RANDOM (2023)

A outra forma de conexão consiste na união das duas anteriores (AP+STA), onde o microcontrolador tanto irá receber sinal do roteador Wi-fi, quanto irá criar sua própria rede onde permite que outros dispositivos se conectem, tendo a vantagem de se caso o sinal do roteador for interrompido não terá a paralização total do sistema (CRUZ, 2023). Na Figura 13 pode-se observar o modo operacional do ESP32-CAM do tipo STA+AP.

Figura 13 - Modo (STA+AP)



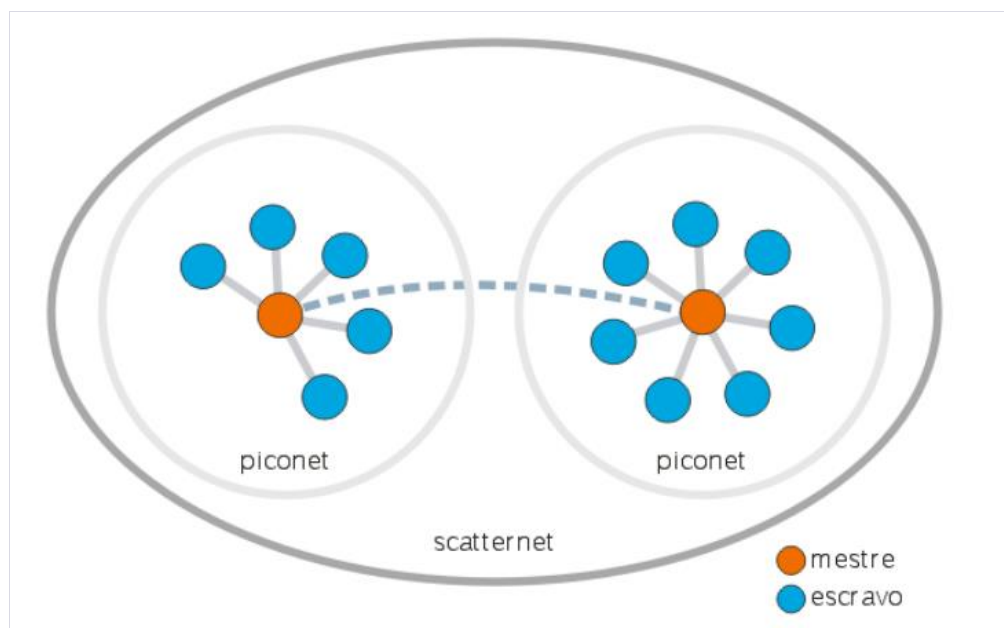
Fonte: Adaptado de CRUZ (2023)

### 2.7.2 Bluetooth

O *Bluetooth* é uma tecnologia de curto alcance bastante utilizada devido a sua conectividade entre dispositivos via radiofrequência e seu baixo custo, viabilizando bastante seu uso para dispositivos que estejam próximos, como celulares, fones de ouvidos, impressoras, caixas de som, entre outros (BRITO, 2021; CRUZ, 2023).

O *Bluetooth* pode atuar em distâncias que variam de 10 metros a 100 metros dependendo de modelo e da necessidade. A topologia utilizada neste tipo de conexão é conhecida como piconet, onde existe um nó mestre que permite a conexão de até sete nós escravos. As conexões do tipo piconet podem ser simples ou ter arranjos com mais de um nó mestre, na simples existe apenas um nó mestre e podem ter até sete nós escravos, quando há mais de um nó mestre e outros nós escravos, temos um scatternet (BRITO, 2021; CRUZ, 2023). Na Figura 14 pode-se observar o sistema de topologia tipo Piconet.

Figura 14 - Topologia Piconet



Fonte: Adaptado de SIQUEIRA (2023)

Essas tecnologias de comunicação tornam o ESP32 um microcontrolador extremamente flexível, capaz de atender a uma ampla variedade de aplicações, desde dispositivos de IoT conectados à internet até sistemas de controle industrial e automação residencial. A

capacidade de combinar várias dessas tecnologias em um único projeto permite uma maior adaptabilidade e criatividade na concepção de soluções eletrônicas (DUSAN).

## 2.8 Sistema de aquisição de dados

O ESP32-CAM é um pequeno módulo que combina uma câmera OV2640 com um microcontrolador ESP32 Espressif. O sistema de aquisição envolve tanto a captura quanto a transmissão de imagens de uma câmera para processamento através de uma variedade de tecnologias de comunicação presentes no módulo, como o Wi-fi. Os principais elementos que compõem o sistema de aquisição de dados do ESP32-CAM estão entre seus periféricos. Um dos principais componentes é o Sensor de Imagem OV2640, que nada mais é do que a câmera responsável por fazer a captura de imagens com resoluções de até 2 megapixels (ESP32.COM, 2019). Na Figura 15 pode-se ser observado o modelo de câmera utilizada no módulo ESP23-CAM.

Figura 15 - Módulo OV2640



Fonte: Adaptado de ARDUCAM (2022)

O módulo ESP32-CAM também possui um microcontrolador ESP32 que é responsável por fazer o controle da câmera, carregar as imagens, realizar o processamento de dados, além de organizar toda a parte de comunicação do módulo. O microcontrolador é capaz de realizar todas essas funções a partir da execução de um código pré-programado e executado através de uma plataforma de desenvolvimento Arduino IDE (NISHAN,2021).

Esse conjunto de captura e processamento de imagens se torna ainda mais eficiente devido ao sistema de comunicação via rede Wi-fi, que ao se conectar a um roteador Wi-fi com acesso à internet, pode ser feito a transmissão de imagens para outros servidores, central de monitoramento ou para uma plataforma de armazenamento em nuvem. No caso da falta de acesso à internet o ESP32-CAM ainda possui um slot de cartão microSD que permite o armazenamento de imagens locais, onde as imagens ficam salvas para um acesso posterior (NISHAN,2021).

## **2.9 Princípio de funcionamento de esteiras industriais**

No setor industrial é comum encontrar esteiras de diferentes proporções de tamanho atuando na área de transporte de objetos. Apesar de não se saber ao certo quando as esteiras industriais surgiram, pode se afirmar que elas estão presentes desde a revolução industrial no século XVIII na Inglaterra. As esteiras atuam amplamente em processos de fabricação e logística para mover produtos, materiais ou objetos de um local para outro de forma eficiente e contínua (LUÍS et al, 2016).

A esteiras são feitas de um material resistente e de grande durabilidade, geralmente compostas por borracha, plástico ou metal, também deve ser composta por uma superfície móvel. Essa superfície é projetada para suportar o peso dos objetos a serem transportados.

As esteiras industriais são compostas por componentes que atuam em conjunto para que ocorra o perfeito funcionamento entre eles, os principais componentes são o motor de acionamento, polia ou correias e os roletes. O funcionamento é feito através da rotação do motor que transmite energia mecânica para a esteira por meio de polias, e os roletes são responsáveis por suportar o peso de carga dos objetos e por manter a tensão na esteira (MULTIBELT, 2023).

As esteiras industriais podem ser projetadas de diversas maneiras, de acordo com os requisitos exclusivos da aplicação. Algumas esteiras são retas, enquanto outras podem ser curvas ou inclinadas. Além disso, existem esteiras com características especiais, como transportadores de correia modulares, esteiras de roletes ou esteiras de corrente (MULTIBELT, 2023).

Devido ao desempenho e eficiência das esteiras, suas aplicações estão presentes em diversos setores, incluindo: manufatura, logística, embalagem e distribuição, se tornando

componente fundamental da infraestrutura no setor industrial de todo o mundo. Na Figura 16 pode-se observar algumas esteiras transportadoras utilizadas no setor industrial para a locomoção de objetos.

Figura 16 - Esteira Transportadora



Fonte: BASTIAN SOLUTIONS (2022)

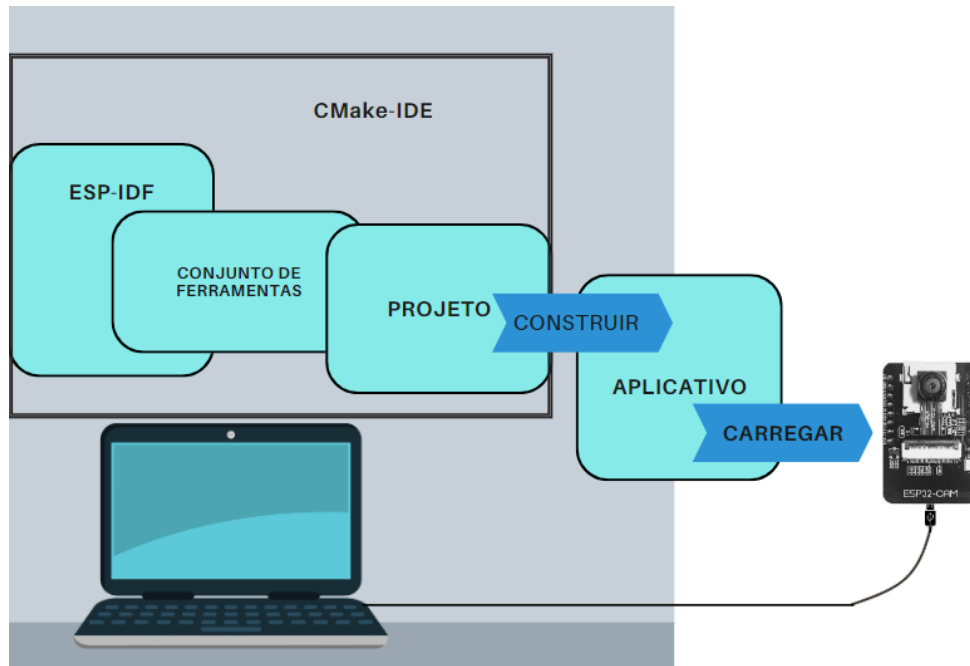
## 2.10 Integração de hardware e software

As integrações de Hardware e Software realizadas pelo microcontrolador ESP32-CAM com dispositivos físicos dependem de suas interfaces GPIO (*General-Purpose Input/Output*) presentes no módulo. Pois são através delas que a conexões com outros dispositivos são realizadas, onde o irá garantir uma comunicação eficaz escolhendo e configurando os pinos adequadamente (ESPRESSIF, 2023).

Para realizar a integração entre o ESP32-CAM e outros dispositivos é necessário que haja uma programação prévia que irá fazer a configuração dos pinos do microcontrolador e estabelecer conexões coma rede Wi-fi, além de definir outros comandos, este código é realizado por linguagem C/C++ utilizando a plataforma Arduino IDE ou em MicroPython. Dentro da plataforma deve ser instalado as devidas bibliotecas necessárias para exercer os

comandos de acordo com a função que o microcontrolador irá executar. Na Figura 17 pode se observar como funciona essa integração de hardware e software.

Figura 17 - Passo a passo de Instalação



Fonte: Adaptado de Espressif (2023)

### 3 METODOLOGIA

A princípio esse trabalho foi realizado no intuito de desenvolver um protótipo que seja capaz de realizar o reconhecimento de objetos de uma esteira industrial e realizar a separação através da IoT. Para a realização do mesmo foi feito um levantamento bibliográfico para adquirir informações sobre os dispositivos e conhecer a origem de cada componente que foi utilizado nesse trabalho.

Devido a alguns imprevistos o trabalho teve que ser reestruturado para um estudo exploratório seguindo as etapas a seguir.

Foi feita uma revisão bibliográfica preliminar para identificar os trabalhos de monografia relevantes nas áreas de engenharia. Utilizando recursos *online*, bases de dados acadêmicas e biblioteca universitária para escolha dos trabalhos de monografia cujo os resultados obtidos nos mesmos.

Na primeira etapa do processo, foram utilizadas duas monografias e um artigo como fontes de referência. Estes materiais foram todos publicados no período entre 2022 e 2023 e foram submetidos a uma coleta de dados minuciosa. O procedimento de coleta de dados começou com uma avaliação inicial para determinar a relevância do conteúdo de cada trabalho em relação ao objetivo do estudo. Isso envolveu uma leitura exploratória abrangente de todo o material selecionado.

Na etapa subsequente foi feito a análise e interpretação dos resultados, no qual foi realizada uma leitura analítica com a finalidade de ordenar as informações contidas nas fontes, de forma que estas possibilitassem a obtenção de respostas ao problema da pesquisa. As categorias que emergiram da etapa anterior foram analisadas e discutidas a partir do referencial teórico relativo à temática do trabalho.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Desde o surgimento da (IoT), tem sido investido bastante em pesquisas e conhecimento sobre essa tecnologia, tanto no setor acadêmico quanto na área comercial com o intuito de solucionar diversos problemas (CADÊNCIA, 2023).

A seguir, serão apresentados três trabalhos que através da IoT se tornam essências na solução de possíveis problemas.

Cruz (2023) explora em sua monografia o desenvolvimento de uma forma de comunicação remota com o ESP8266 como solução viável para automatizar tarefas simples e complexas no contexto da IoT, com a intenção de democratizar o acesso às novas tecnologias e promover inovação acessível a um público mais amplo.

Dharshini (2022) propôs em sua monografia desenvolver um método de detecção e identificação de objetos, como ESP32 CAM Based Object Detection & Identificação com Open CV, que pode ser utilizada em uma ampla variedade de cenários, incluindo câmeras de segurança, bem como visão de máquina, detecção de rosto e direção autônoma.

Já Imperatori (2022) desenvolveu em sua monografia um sistema de segurança voltado ao monitoramento e envio de notificações para residentes de determinada moradia. Como uma alternativa para fugir das grandes corporações, utilizando um software open source, para baratear o sistema afim de não depender de uma corporação. Onde o hardware foi modulado para ser o menos invasivo possível na residência.

Em seus trabalhos, tanto Imperatori (2022), como Cruz (2023), apresentam resultados positivos em relação ao uso do ESP32-CAM, Imperatori atribuiu ao módulo a função de fazer o monitoramento de possíveis ameaças ao domicílio a qual foi implantado o sistema.

Cruz (2022) faz a aplicação da IoT utilizando a comunicação remota do ESP8266 com outros dispositivos através da conexão “STA + AP” onde todos os dispositivos que tiverem conectados na rede Wi-fi podem enviar e receber dados do ESP8266. No exemplo citado por Cruz (2022) ele utiliza a conexão de um NodeMCU, que contém sensores conectados em seus periféricos para realizar a captação de sinais e enviar as informações para um canal de monitoramento por meio da comunicação remota do ESP8266.

Após todos os testes constatou-se que a comunicação entre os dispositivos ocorre de acordo com as descrições das apresentadas nos objetivos do trabalho. Na ocasião os sensores captavam os sinais de temperatura e umidade e realizava o envio dos dados através da comunicação remota do ESP8266, onde tinham os resultados apresentados ao cliente através do acesso *web* que é feito por uma interface HTTP.

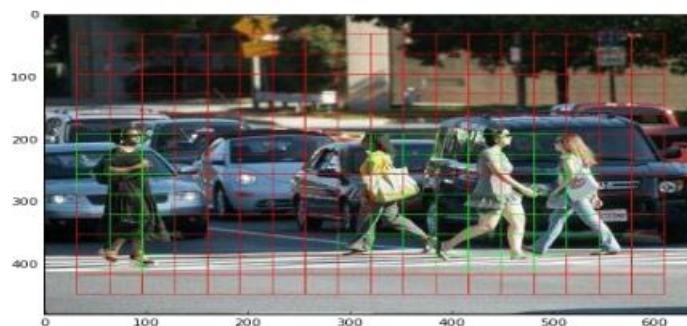
Imperator (2023) fez a aplicação da IoT para implantação de um sistema de segurança e monitoramento para residências, na qual ele utiliza um módulo ESP32-CAM para captura de imagens e transmissão de dados em tempo real, além de outros sensores que ajudam na segurança e prevenção de incidentes. A opção de escolha do ESP32-CAM segundo o Imperatori se deu devido ao custo-benefício e as tecnologias presentes no módulo, tanto de comunicação, quando a variedade de sua lógica programável, e um baixo consumo de energia.

Para transmissão de dados Imperatori desenvolveu dois *Firmwares* para fazer a leitura dos sinais dos sensores e acessar a *streaming* de vídeo do ESP32-CAM, na qual foram desenvolvidos no Arduino IDE. A detecção de movimento é feita através da utilização do *Home Assistant* que com acesso ao *open source* faz gerenciamento das imagens obtidas pela câmera, onde é feito a detecção em tempo real, enviando as notificações para o cliente.

Segundo Imperatori a utilização da IoT para segurança e monitoramento de uma residência é bastante viável, pois sua aplicação se mostrou eficiente atendendo todos os objetivos iniciais, sem contar no seu custo benéfico que comparado a sistemas tradicionais se tornam bem mais acessível. Outro aspecto destacado no projeto reside na sua distinção de possuir um sistema de monitoramento em tempo real integrado, bem como na capacidade de enviar notificações imediatas a qualquer sinal de alerta de segurança.

Segundo Dharshini (2022) A utilização da IoT para detecção de objetos se mostrou bastante eficiente ao realizar sua aplicação com o OpenCV e o ESP32-CAM. O projeto em questão é desenvolvido para reconhecer os objetos presentes nas imagens capturadas pela câmera do módulo em tempo real. O processo que utiliza a metodologia YOLO é feito em três etapas, a primeira delas é a de Blocos residuais, onde é feito a divisão das imagens em blocos, sendo que cada bloco faz a detecção de pontos específicos, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Detecção por blocos residuais



Fonte: Adaptado de DHARSHINI (2022)

Os outros dois métodos são a “Interseção sobre União” e a “Regressão de Caixa Delimitadora”. Depois da combinação dos três métodos o YOLO verifica se os pacotes de partes relevantes são equivalentes, e em seguida o reconhecimento concluído.

Logo Dharshini (2022) apresenta em seu trabalho o funcionamento do protótipo ao mostrar o módulo fazendo o reconhecimento de um aparelho celular, provando assim a funcionabilidade de seu trabalho e atingindo seus objetivos iniciais. Ele ainda afirma que a precisão do reconhecimento dos objetos é possível devido diretamente ao imenso banco de dados de imagens.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho, explorou-se a aplicação de novas tecnologias voltadas para área da IoT em aplicações no controle de processos industriais. Durante o desenvolvimento deste projeto também foi discutido a aplicação destas mesmas tecnologias em outras aplicações, com a finalidade de analisar seus resultados e comprovar sua funcionabilidade e eficiência, através de uma estudo exploratório.

Através deste estudo podemos comprovar a eficiência do módulo ESP32-CAM em suas diversas aplicações, apesar ser um dispositivo de baixo custo, ele desenvolve um papel fundamental em suas aplicações, as tecnologias nele aplicadas o destacam dos demais dispositivos, principalmente devido a sua forma de comunicação remota que permite a conexão com diversos dispositivos desde que também possuam o mesmo meio de conectividade.

De acordo com os resultados obtidos pelos autores Dharshini (2022), Imperatori (2022) e Cruz (2023), em seus trabalhos, pode ser levado em consideração que o módulo ESP32-CAM tem as características necessárias para ser implantado no setor de controle de processos industriais, atuando na detecção e seleção de objetos em uma esteira industrial. O papel desempenhado pelo microcontrolador é essencial para fazer a automatização do controle de processo industrial, através da interação de hardware e software, podendo ter uma melhora significativa na eficiência do sistema, facilidade de supervisão e redução de custos operacionais na implantação do sistema.

No entanto, é importante reconhecer que o desenvolvimento deste trabalho passou por desafios e limitações, como já foi citado em algumas partes do mesmo, diante disto, foram buscadas alternativas cabíveis para que o trabalho fosse concluído, através de resultados testados e comprovados em trabalhos similares a este.

Para trabalhos futuros, sugerimos a realização do procedimento experimental e validação empírica, pois se trata de uma área bastante promissora. A realização de experimentos práticos permitirá a obtenção de dados concretos que podem ser fundamentais para aprimoramento do sistema, além de abrir portas para diversas oportunidades de pesquisa.

Em conclusão, este trabalho nos permitiu compreender a importância da Internet das Coisas e do módulo ESP32-CAM e suas aplicações na área de visão computacional. Os avanços tecnológicos deram um passo significativo em relação a eficiência na indústria, utilizando o ESP32-CAM como uma ferramenta poderosa para supervisão de processos industriais. Com um estudo mais aprofundado e pesquisas adicionais, é possível que as

contribuições possam servir como base para futuros projetos e inovações na automação industrial e no controle de processos, proporcionando benefícios significativos para a sociedade como um todo.

## 6 REFERÊNCIAS

49 EDUCAÇÃO. O que é a Indústria 4.0. [S.l.]: 49 Educação, 2022. Disponível em: <https://49educacao.com.br/inovacao/industria-4-0/>. Acesso em: 04 out. 2023

BASTIAN SOLUTIONS. Sorting Through Sorters: Your Guide to Sortation Conveyor. Disponível em: <https://www.bastiansolutions.com/blog/sorting-through-sorters-your-guide-to-sortation-conveyor/>. Acesso em: 17 SET. 2023.

BÓSON TREINAMENTOS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Topologias de Redes – Curso de Redes de Computadores. [S.l.]: Bóson Treinamentos em Ciência e Tecnologia, 2016. Disponível em: <http://www.bosontreinamentos.com.br/redes-computadores/topologias-de-redes-curso-de-redes-de-computadores/>. Acesso em: 04 out. 2023.

BRITO, Ivana Bomfim. **Mapeamento Sobre o Uso das Tecnologias Wi-Fi, Bluetooth e IoT no Desenvolvimento de Ações de Entretenimento**. 2021. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

CADÊNCIA. A importância da Internet das Coisas (IoT) para marcas e pesquisas de mercado. Kadence, 2023. Disponível em: <https://kadence.com/the-importance-of-iot-for-brands-and-market-research/>. Acesso em: 17 set. 2023.

COMO DEFINIR UM PONTO DE ACESSO (AP) ESP32 PARA SERVIDOR WEB. **Random Nerd Tutorials**. Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-access-point-ap-web-server/>. Acesso em: 25 set. 2023.

CRUZ, Lorena Marques. **ESTUDO SOBRE FORMAS DE COMUNICAÇÃO REMOTA COM O ESP8266 PARA AUTOMAÇÃO DE TAREFAS**. 2023. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

D, Shofia Priya Dharshini; SARANYA, R; SNEHA, S. **Esp32 cam based object detection & Identification with opencv: data analytics and artificial intelligence**. 4: REST Publisher, [S.L.], v. 2, n. 4, p. 166-171, 1 dez. 2022. Semanal. REST Publisher. <http://dx.doi.org/10.46632/daai/2/4/31>. Disponível em: <https://restpublisher.com/wp-content/uploads/2023/01/10.46632-daai-2-4-31>. Acesso em: 11 ago. 2023.

DORF, Richard; BISHOP, Robert. **Modern Control Systems**. 13th ed. Pearson, 2016. Disponível em: <https://files.crazt.moe/temp/Modern%20Control%20Systems%2013th.pdf>. Acesso em: 22 set. 2023.

DUSUN. How ESP32 IoT is changing the game for connected devices. Disponível em: <https://www.dusuniot.com/pt/blog/how-esp32-iot-is-changing-the-game-for-connected-devices/>. Acesso em: 04 out. 2023.

ESP32.COM. ESP32 CAM direct access to image data. Disponível em: <https://www.esp32.com/viewtopic.php?t=10405>. Acesso em: 04 out. 2023.

ESPRESSIF SYSTEMS. Wireless MCUs and AIoT Solutions. Disponível em: <https://www.espressif.com>. Acesso em: 02 out. 2023.

INDUSTRY'S FAST-MOVER ADVANTAGE: ENTERPRISE VALUE FROM DIGITAL FACTORIES. Disponível em: [https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/industrys-fast-mover-advantage-enterprise-value-from-digital-factories#](https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/industrys-fast-mover-advantage-enterprise-value-from-digital-factories#/)/. Acesso em: 11 ago. 2023.

INSTITUTO METRÓPOLE DIGITAL. Material Didático. Natal, RN: IMD/UFRN, 2023. Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/48/2/5>. Acesso em: 04 out. 2023.

KALATEC. **Elementos da automação: lista dos principais componentes**. [S.l.]: Kalatec, 2023. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/elementos-da-automacao/>. Acesso em: 04 out. 2023.

LI, S.; XU, L.; WANG, X. et al. **Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues**. Journal of Industrial Information Integration, v. 6, p. 1-10, 2017.

MAR GIRIUS. Como a energia elétrica é gerada? [S.l.]: MarGirius, 2022. Disponível em: <https://www.margirius.com.br/blog/como-a-energia-eletrica-e-gerada/>. Acesso em: 04 out. 2023.

MELO, Pablo Felipe Soares de. **Dispositivo de Controle para a Indústria 4.0 baseado no RAMI 4.0 e OPC UA**. 2020. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2020.

MENEZES, Afonso Henrique Novaes *et al.* **METODOLOGIA CIENTÍFICA TEORIA E APLICAÇÃO NA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA**. Petrolina: Fundação Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2019. 84 p.

MULTIBELT. Partes de uma esteira transportadora: conheça aqui os componentes. Disponível em: <https://multibelt.com.br/noticia/partes-de-uma-esteira-transportadora--conheca-aqui-os-componentes>. Acesso em: 04 out. 2023

NISHAN C. **What I Learned About ESP32-CAM and Everything You Need to Know**. Medium, 15 mai. 2021. Disponível em: <https://nishanc.medium.com/what-i-learned-about-esp32-cam-and-everything-you-need-to-know-12a9e520a0da>. Acesso em: 04 out. 2023.

NOGUEIRA, Ana Evellyn Freitas; OLIVEIRA, Natália Queiroz da Silva; SILVA, Bruno Queiroz da. IMPLEMENTAÇÃO DE UM ERP EM UMA EMPRESA DE PEQUENO PORTE. Revista de Administração de Roraima - Rarr, Roraima, v. 10, n. 01, p. 1-25, 12 maio 2021. Universidade Federal de Roraima. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8077767.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

OGUNNAIKE, Babatunde; RAY, W. Harmon. **Process Dynamics, Modeling, and Control**. 2nd ed. Oxford University Press, 2010.

OV2640 – SPECS, DATASHEETS, CAMERAS, FEATURES, ALTERNATIVES. **ArduCam**, 2022. Disponível em: <https://www.arducam.com/ov2640/>. Acesso em: 23 set. 2023.

RANDOM NERD TUTORIALS. ESP32 Access Point (AP) for Web Server. [S.l.]: Random Nerd Tutorials, 2023. Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-access-point-ap-web-server/>. Acesso em: 04 out. 2023.

REIS, Fábio. **Topologias de Redes**. Redes de computadores, 2016. Disponível em: <http://www.bosontreinamentos.com.br/redes-computadores/topologias-de-redes-curso-de-redes-de-computadores/>. Acesso em: 14 ago.2023.

ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo Cardozo. **Automação Industrial**. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2016. 102 p.

SHUTTERSTOCK. Imagens, fotos, vetores, vídeos e músicas stock | Shutterstock. 2020. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/>. Acesso em: 04 out. 2023.

SILVA, Clodoaldo. **Parte 01 – Introdução à Automação & Controle**. [S.l.]: [s.n.], 2011. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2271124>. Acesso em: 04 out. 2023.

SIQUEIRA, Thiago. **Bluetooth – Características, protocolos e funcionamento**. Disponível em: <https://ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2006/T2/057642-T.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2023.

TREVISOL, Janyel. **MONITORAMENTO DE ASPECTOS INTANGÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DE MERCADO COM A UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS IOT**. 2022. 212 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

UNIASSELVI. **Automação Industrial**. [S.l.]: UNIASSELVI, 2023. Disponível em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=18733>. Acesso em: 04 out. 2023.

WEG. Controladores Lógicos Programáveis. [S.l.]: WEG, 2023. Disponível em: [https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Control-Industrial/Controle-de-Processos/Controladores-L%C3%B3gicos-Program%C3%A1veis/c/BR\\_WDC\\_IA\\_PC\\_PLCP](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Control-Industrial/Controle-de-Processos/Controladores-L%C3%B3gicos-Program%C3%A1veis/c/BR_WDC_IA_PC_PLCP).