



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**

DYONATHAN EMANUEL DE ARAUJO MORAIS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RASTREABILIDADE COM
VALIDAÇÃO DE ACESSO E CONTROLE DE SEGURANÇA PARA MÁQUINAS
INDUSTRIAIS**

Manaus – AM

2022

DYONATHAN EMANUEL DE ARAUJO MORAIS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RASTREABILIDADE COM
VALIDAÇÃO DE ACESSO E CONTROLE DE SEGURANÇA PARA MÁQUINAS
INDUSTRIAIS**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Jozias Parente de Oliveira, Dr.

Manaus – AM

2022

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice-Reitora:

Kátia do Nascimento Couceiro

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Israel Gondres Torné

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: <27/05/2022>.

Prof. Jozias Parente de Oliveira (Orientador)

Prof. Walter Prado De Souza Guimaraes

Prof. Fabio de Sousa Cardoso

CIP – Catalogação na Publicação

Morais, Dyonathan Emanuel de Araujo

Desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade com validação de acesso e controle de segurança para máquinas industriais / Dyonathan Emanuel de Araujo Moraes; [orientado por] Jozias Parente de Oliveira. – Manaus: 2022.

Número de Páginas p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica).
Universidade do Estado do Amazonas, 2022.

1. Indústria 4.0. 2. Rastreabilidade de processos industriais.

3. Segurança de máquinas.

I. Oliveira, Jozias Parente de.

DYONATHAN EMANUEL DE ARAUJO MORAIS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RASTREABILIDADE COM
VALIDAÇÃO DE ACESSO E CONTROLE DE SEGURANÇA PARA MÁQUINAS
INDUSTRIAIS**


Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Nota obtida: 9,7 (Nove vírgula sete)

Aprovada em 27 / 05 / 2022.

Área de concentração: Industrial 4.0

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Jozias Parente de Oliveira, Dr.


Avaliador: Walter Prado De Souza Guimaraes, Dr.


Avaliador: Fabio de Sousa Cardoso, Dr.

Manaus

2022

Dedico este trabalho a minha mãe pelo apoio, cuidado e confiança durante a minha vida. A Jenniffer por estar comigo do início ao fim dessa jornada.

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha mãe, Carleandra Souto de Araújo, pelo carinho, amor e cuidado durante toda minha vida, principalmente durante essa etapa.

Agradeço a minha companheira, Jenniffer Bulhosa, pelo carinho, companheirismo, cuidados e sempre estar comigo na minha jornada.

Agradeço ao meu pai, Roosevelt Morais, pelo investimento nos meus estudos e os ensinamentos passados.

Agradeço aos meus amigos, Fernando Henrique, Leonardo Souza e Samuel Yoran, pelos seus apoios desde sempre.

Agradeço aos meus amigos, Renato Klehm, Robert Farias e Eldo Marcolino, pelos momentos de alegria e companheirismo durante o curso.

Agradeço ao meu orientador, Jozias Parente, pelos ensinamentos em salas de aulas e me orientar na formulação deste trabalho.

Agradeço ao professor Roberto Higino, que me proporcionou uma grande oportunidade profissional, pelos seus conselhos e ensinamentos.

Agradeço a equipe do Hub - Tecnologia e inovação, especialmente ao Gabriel Lima, Syra Murabac e Paulo Santos, por serem a primeira equipe no meu âmbito profissional, proporcionando um desenvolvimento técnico e pessoal.

Agradeço a equipe da Digiboard, por me proporcionar uma oportunidade de trabalho e permitir o desenvolvimento deste trabalho, especialmente ao Edson Farias de Oliveira, George Braga e Franciselma Farias.

Obrigado!

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade, que pode ser integrado a diversos tipos de máquinas industriais. O sistema consiste em: Um *hardware* desenvolvido, que embarca um microcontrolador ESP32 que é responsável pela aquisição dos valores RFID, de um leitor MFRC522 e pelo monitoramento dos sensores de segurança da máquina; um *software*, na linguagem programação Python, que está contido em um raspberry, responsável por realizar a leitura, gerenciar e interfacear o sistema. O Raspberry realiza comunicação com uma API que, por sua vez, realiza consultas e registros dos produtos do posto no banco de dados. A comunicação entre a API e o raspberry tem como objetivo: Realizar a validação de acesso à máquina; realizar a validação dos produtos; fazer o registro dos processos da máquina; consultar se o *checklist* de segurança diário foi feito; registrar o processo de validação dos sensores de segurança e realizar o controle do CLP. O sistema foi instalado e adaptado para uma máquina chamada de transferidor automático de *motherboards* fase XPF para forno REFLOW, que foi desenvolvida em uma empresa no Polo Industrial de Manaus. A máquina tem como função realizar a transferência automática *motherboards*, durante o processo de uma linha de produção, em cima de *pallets* antes do processo de soldagem no forno. A instalação do sistema resultou em um aprimoramento da empresa em requisito da indústria 4.0, aumentando a integração às máquinas, o monitoramento dos processos fabris e aumento da produção com a redução de falhas humanas.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Rastreabilidade de processos industriais. Segurança de máquinas e equipamentos.

ABSTRACT

The present work had as objective the development of a traceability system which can be integrated to different types of industrial machines. The system consists of: A developed hardware, which embeds an ESP32 microcontroller that is responsible for acquiring the RFID values, an MFRC522 reader and for monitoring the machine's safety sensors; a software, in the Python programming language, which is contained in a raspberry, responsible for reading, managing and interfacing the system. The Raspberry communicates with an API that, in turn, performs queries and records the gas station's products in the database. The communication between the API and the raspberry aims to: Perform the validation of access to the machine; carry out product validation; register the machine's processes; consult whether the daily safety checklist has been completed; record the validation process of the safety sensors and carry out the PLC control. The system was installed and adapted to a machine called Automatic Transfer of Motherboards XPF phase to REFLOW Oven, which was developed in a company in the Industrial Pole of Manaus. The machine's function is to perform the automatic transfer of motherboards, during the process of a production line, on top of pallets before the welding process in the oven. The installation of the system resulted in an improvement of the company in an industry 4.0 requirement, expanding the systems of integration of machine systems, the monitoring of manufacturing processes and the increase of processes with reduction of human errors.

Keywords: Industry 4.0. Traceability of industrial processes. Machine and Equipment safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pilares da indústria 4.0.	18
Figura 2 - Elementos da indústria 4.0.....	19
Figura 3- Elementos básicos de construção IOT.	20
Figura 4 - Leitor de código de barras.	21
Figura 5 - Aplicabilidade de interface de programação.	23
Figura 6 - Conexões realizadas pela API.	24
Figura 7 - Pinos de conexão USB.....	25
Figura 8 - Comunicação síncrona.	25
Figura 9 - Comunicação SPI.....	26
Figura 10 - Camadas do protocolo TCP/IP.	27
Figura 11 - Comunicação HTTP.	28
Figura 12 - Etapas do desenvolvimento da solução	30
Figura 13 - ESP32.	31
Figura 14 - Leitor MFRC522.	32
Figura 15 - 7inch HDMI Display-B.	33
Figura 16- Raspberry.....	34
Figura 17 – Esquema de interação dos sistemas da máquina.	36
Figura 18- Escopo do projeto.	36
Figura 19 - Processo manual de colocar a placa sobre o <i>pallet</i>	37
Figura 20 – Linha de produção após a inserção da máquina <i>transfer</i>	38
Figura 21- Máquina Transfer com as Indicação das entradas e saídas na máquina.	39
Figura 22 – Protocolos de comunicação utilizados.	40
Figura 23 - Rotina do sistema.....	41
Figura 24 - Rotina controle de acesso.	42
Figura 25 - Rotina checklist de segurança.....	43
Figura 26 - Rotina de leitura e validação das etiquetas.	44
Figura 27 - Rotina do modo de operação.	45
Figura 28 - Ordem das interfaces.	46
Figura 29 - Localização do leitor de RFID.....	47
Figura 30 - Diagrama de operação da tela de identificação do usuário.....	47
Figura 31 - Tela do <i>checklist</i>	48
Figura 32 - Localização dos sensores de segurança da máquina.....	48

Figura 33 - janela de leitura e registro.....	49
Figura 34 - Janela de configuração.....	48
Figura 35 – Interação dos modos de configuração da IHM e Raspberry.	49
Figura 36 - Esquema elétrico da placa CPU.....	51
Figura 37 - Conexões no ESP32.....	52
Figura 38 - Saídas de comunicação da placa.....	53
Figura 39 - Circuito <i>output</i>	54
Figura 40 – Circuitos <i>Input</i>	55
Figura 41 - Layout da PCB da CPU ESP32.	56
Figura 42 - 3D da CPU ESP32.	57
Figura 43 - Placa CPU ESP32.....	57
Figura 44 - Painel Interno.....	58
Figura 45 - Proteção do circuito.	59
Figura 46 - Painel da máquina.....	60
Figura 47 - Indicação dos Leitores de Código de barras.	61
Figura 48 - Esquema de ligação elétrica.....	62
Figura 49 - Teste do sistema de validação de usuário.	63
Figura 50 - Teste do Sistema de checklist.	64
Figura 51- Teste de leitura das etiquetas.	64
Figura 52 - Modo de operação.....	65
Figura 53 - Finalização do processo.	65
Figura 54 - Rastreamento realizado em um computador.....	67
Figura 55 - Sistema instalado na máquina de limpeza	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros do display.	33
Tabela 2 - Parâmetros do Raspberry.....	34
Tabela 3 - Custo do projeto.	66

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

API	<i>Application Programming Interface</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
ID	<i>Identity</i>
IHM	Interface Homem Máquina
IoT	<i>Internet of things</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MISO	<i>Master Output Slave Input</i>
MOSI	<i>Master Input Slave Output</i>
NR	Norma Regulamentadora
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
SCK	<i>Serial Clock</i>
SS	<i>Slave Select</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 REFERENCIAL TEÓRICO	17
1.1 INDÚSTRIA 4.0	17
1.3 SISTEMAS DE RASTREABILIDADE	21
1.4 NR12	22
1.5 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	24
1.5.1 Serial	24
1.5.3 TCP/IP	26
1.5.2 HTTP - <i>Hypertext Transfer Protocol</i>	27
2 MÉTODO PROPOSTO	29
2.1 METODOLOGIA ADOTADA	29
2.2 DISPOSITIVOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS NO PROJETO	30
2.2.1 Esp32	30
2.2.3 Leitor de RFID Mfrc522	31
2.2.2 Tela LCD HDMI Touch Screen	32
2.2.4 Raspberry Pi 3 Modelo B+	34
2.4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DO PROJETO	35
2.5 ESTUDO DE CASO	37
2.5.1 Máquina <i>transfer</i>	37
3 IMPLEMENTAÇÃO	40
3.1 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	40
3.2 ROTINA DO SISTEMA	41
3.2.1 Controle de acesso	42
3.2.2 Checklist de segurança	43
3.2.3 Leituras das etiquetas	44
3.2.4 Máquinas operando	45
3.3 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE COM USUÁRIO	46
3.3.1 Janela de identificação do usuário	47
3.3.2 Janela de realização do <i>checklist</i> de segurança.	48
3.3.3 Janela de registro e leitura dos produtos	49
3.3.4 Janela de configuração	48
3.4 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE	51
3.4.1 Esquema elétrico da CPU ESP-32	51
3.4.2 Desenvolvimento da PCB	56

4	RESULTADOS E TESTES	58
4.1	INTEGRAÇÃO NA MÁQUINA	58
4.1.1	Instalação do painel interno	58
4.1.2	Instalação do painel externo	60
4.1.3	Instalação dos leitores das etiquetas	60
4.2	Esquema de ligação elétrica	61
4.2	TESTE DE FUNCIONALIDADE.....	63
4.3	OBSERVAÇÕES GERAIS DOS RESULTADOS	66
	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

INTRODUÇÃO

A integração de sistemas, um dos pilares da indústria 4.0, consiste em realizar uma maior conexão entre os dispositivos de um processo produtivo através de sistemas eletrônicos embarcados que permitem uma maior automatização de transmissão de dados. O principal fator, que leva a evolução da integração é a internet das coisas que permite o desenvolvimento de sistemas ciber-físicos formados por máquinas, equipamentos e sensores. (MARCIANO, Erica Moreira et al, 2019). O presente trabalho visa aplicar a integração de três sistemas existentes, quais sejam: sistemas de rastreabilidade, controle de acesso e segurança de máquinas.

A rastreabilidade é o acompanhamento de um produto desde sua origem até o seu consumo. O sistema de rastreabilidade em uma linha de produção permite saber a localização de um item no sistema produtivo e quais processos foram realizados em suas etapas de produção, podendo oferecer uma melhoria significativa no processo produtivo, dentre elas, redução de custos, prevenção de problemas, maior confiança do consumidor na empresa, operações mais eficientes, definição de cronogramas mais precisos, monitorar o ritmo de produção, diagnóstico de problemas, alto nível de organização empresarial e controle de qualidade.(SANKHYA, 2020).

Grande parte dos produtos de diferentes ramos industriais, são rastreados com a utilização de códigos de barras ou etiquetas RFID realizando os registros através de um computador ou *tablets*. A maior parte desses sistemas não são incorporados às máquinas, necessitando de um leitor externo para realizar a rastreabilidade aumentando o custo de produção. De acordo com a NR 12 de segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, publicado no diário oficial da união, as máquinas e equipamentos, cujo acionamento por pessoas não autorizadas que possam oferecer risco à saúde ou integridade física de qualquer pessoa, devem possuir um sistema que possibilite o bloqueio de seus dispositivos de acionamento. A NR 12 estabelece diretrizes e princípios fundamentais que imprimem requisitos mínimos de prevenção a acidentes, doenças do trabalho nas fases de produção, utilização, importação, comercialização e exposição.

Baseados nos pontos citados, foi desenvolvido esse trabalho de pesquisa visando desenvolver e implementar um sistema de rastreabilidade de *motherboards* com controle de

acesso, para máquinas industriais. O trabalho desenvolvido teve como objetivos específicos, projetar um sistema embarcado que possua o controle de acesso a máquina utilizando leitor de RFID, desenvolver uma interface embarcada em um raspberry de modo a realizar a leitura das etiquetas de código de barras dos produtos, realizar a validação se o produto deve ser processado na máquina, informar o *status de* operação da máquina ao colaborador, e por fim monitorar e registrar o funcionamento dos sensores de segurança da máquina. Essa integração permite reduzir custos, aumentar a confiabilidade dos itens de segurança e controlar e restringir acessos a máquinas e equipamentos.

Para ordenação dos assuntos abordados, este trabalho foi dividido em quatro capítulos a seguir:

Capítulo 1 - Referencial teórico: Neste capítulo, são apresentados conceitos, indústria 4.0, rastreabilidade, NR12, IoT, protocolos de comunicação.

Capítulo 2 - Método proposto: Neste capítulo são descritas as etapas e a metodologia que foram necessárias para a implementação do sistema proposto e o estudo de caso da máquina *transfer*.

Capítulo 3 - Implementação do Projeto: É realizada uma descrição detalhada dos Procedimentos executados durante a implementação do projeto.

Capítulo 4 - Resultados Obtidos: Apresenta os resultados da pesquisa com base nos objetivos deste trabalho.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 INDÚSTRIA 4.0

Ao longo das revoluções industriais houve inovações tecnológicas nos modelos de produção e nos processos de manufatura, e assim à medida que avançavam os conhecimentos e tecnologias os processos tornavam-se mais independentes, em decorrência do uso de máquinas e equipamentos autônomos. Propiciando que os processos e sistemas fabris pudessem usar a automação Industrial. Assim, a medida que essas diretrizes foram estabelecidas, tornou-se crucial que esses equipamentos e máquinas utilizadas, fossem controladas por sistemas de informação inteligentes e gerenciáveis, que possibilitasse gerar e gerenciar dados, e assim transformá-los em informações, passíveis de análises gerenciais e assertivas, tornando o sistema produtivo “inteligente”, melhorando as tomadas de decisões baseadas em informações em tempo real, havendo desse modo a quarta revolução industrial, denominada de indústria 4.0.

De acordo com (HOFFMANN et. Al., 2017), a indústria 4.0 surgiu na Alemanha, pois, o Governo tinha como interesse tornar-se líder em áreas tecnológicas. Assim conforme destaca (VENTURELLI. 2016; HARRISON et.al, 2016), o mundo vivencia o uso em escala de sistemas de informação em tempo real, não apenas no ambiente fabril, mas também fora de grandes indústrias. Ainda no ambiente industrial as informações obtidas, são geradas através de dados oriundos de máquinas e equipamentos integrados ao sistema de informação, no qual dentro dos conceitos da indústria 4.0 denomina-se ciber-físicos.

A indústria 4.0, de acordo com (NETO, et al Gabriel), agrupa tecnologias existentes implementando nos processos e sistemas produtivos de grandes indústrias, recursos tecnológicos que possibilitam aperfeiçoar de forma significativa os seus processos produtivos. As principais tecnologias presentes, foram chamadas de pilares da indústria 4.0, são eles:

- Robôs
- *Big data*
- Realidade aumentada
- Manufatura aditiva
- Nuvem
- Segurança cibernética
- Internet industrial

- Integração de sistemas
- Simulação

Figura 1 – Pilares da indústria 4.0.



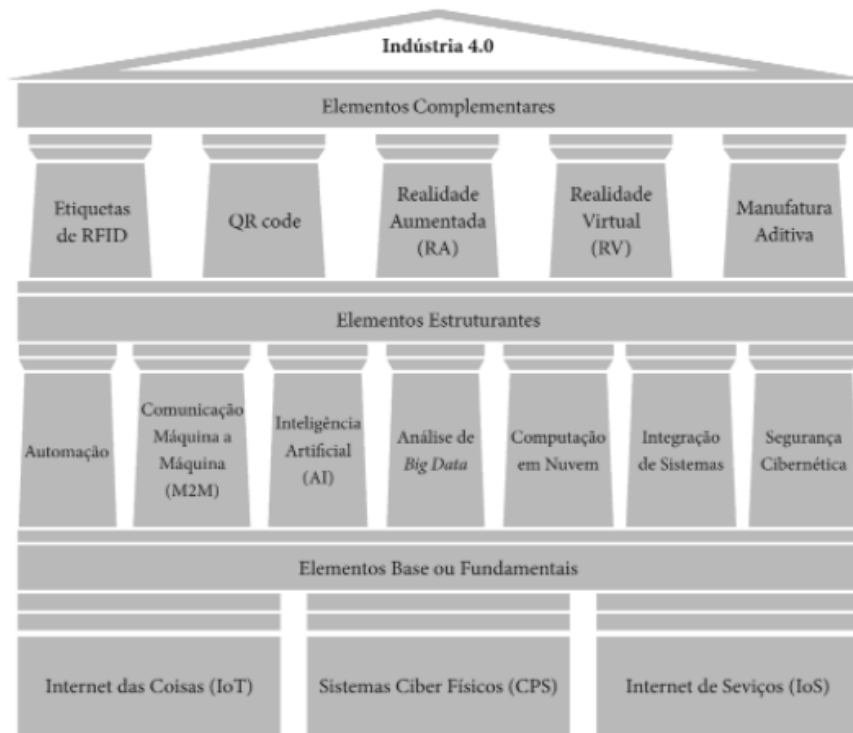
Fonte: (FLUIPRESS AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 2022).

A indústria 4.0 tem como objetivo gerar estímulos para informatização de sistemas de produção, não substituindo pessoas que utilizam processos manuais e sim trazendo capacitação técnica e multidisciplinar relativo às tecnologias implantadas em processos produtivos de grande escala. (JUNIOR, Maciel dos Santos Bispo et al, 2022).

De acordo com (SACOMANO, José Benedito, et al. Indústria 4.0, 2018), uma das formas de classificar os elementos que formam a indústria 4.0 são: Elementos básicos ou fundamentais; elementos estruturantes e elementos complementares. Nos quais cada um desses, detém as tecnologias abrangidas pela indústria 4.0. Assim de acordo, com essa classificação entram no primeiro elemento bases sistemas ciber físicos, internet das coisas (IOT) e internet de serviço (IOS), nos elementos estruturantes estão a automação, comunicação máquina a máquina, inteligência artificial, *Big data analytics*, computação em nuvem, integração de sistemas e segurança cibernética. Nos elementos complementares Etiquetas RFID, QR CODE, realidade aumentada, Realidade virtual e Manufatura Aditiva.

Seguindo os elementos formadores da indústria 4.0, na Figura 2, as tecnologias envolvidas por essa revolução industrial são apresentadas, mostrando cada elemento assim classificado.

Figura 2 - Elementos da indústria 4.0.



Fonte: (SACOMANO, José Benedito et al. Indústria 4.0, 2018).

1.2 INTERNET DAS COISAS

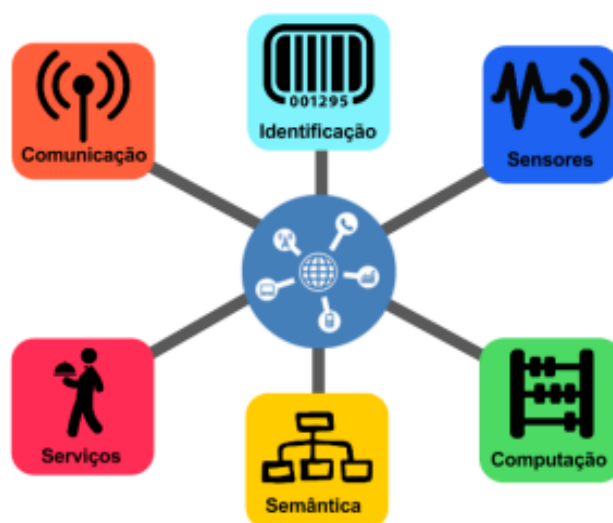
Internet das coisas é classificada como uma rede interconectada de diversos tipos de dispositivos ou equipamentos, controlados e gerenciados por um sistema ou software desenvolvido para enviar comandos a esses a fim de executar tarefas específicas, previamente programadas, compartilhando assim informações. (Oliveira, A. H. Neves, et al (2016)).

O uso de dispositivos conectados de IOT tem início no ano de 1991, oriundo do processo de facilitação ao acesso do protocolo TCP/IP e da internet, tornando essa interação possível, entretanto no ano de 1999, essa interconexão é conceituada de internet das coisas após a publicação do artigo “internet das coisas”, no qual o autor cita que “no mundo real, coisas são mais importantes do que as ideias”, mostrando ao longo da publicação a necessidade de conexão entre diferentes tipos de dispositivos, pois, as pessoas precisavam se conectar à internet por uso

de dispositivos. Os componentes da tecnologia IOT são: dispositivos, máquinas, internet e softwares que controlam e gerenciam as informações compartilhadas em tempo real (Oliveira, A. H. Neves, et al (2016)).

Em virtude do uso de diversos tipos de tecnologias a internet das coisas, é formada por elementos básicos de construção, sendo esses classificados em: identificação; sensores/atuadores, comunicação, computação, serviços e semântica, conforme apresenta a figura 3.

Figura 3- Elementos básicos de construção IOT.



Fonte: (SANTOS, Bruno P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. 2016).

Identificação: São os elementos mais importantes da internet das coisas, visto que a partir dessas é possível rastrear e identificar o objeto. (SANTOS, Bruno P. et al. 2016).

Sensores/Atuadores: São classificados como dispositivos físicos, que servem de agente de integração tendo como objetivo o envio de dados aos sistemas de controle gerenciáveis, esses dispositivos são responsáveis por coletar dados.

Comunicação: São classificados como as técnicas de comunicação utilizadas no processo de troca de informações, pode-se exemplificar WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4.

Computação: Esses elementos estão nas unidades de processamento de dados, como exemplo de microcontroladores e processadores.

Semântica: Está relacionado à extração de conhecimento dos objetos da IOT, refere-se a forma de manipulação de dados existentes e os obtidos no processo de troca de informações.

Serviços: Dentro da IOT podem ser providos diversas classes de serviços, dentre elas pode-se destacar: serviços de identificação, serviços de agregação de dados, serviços de colaboração e inteligência e serviços de ubiquidade.

1.3 SISTEMAS DE RASTREABILIDADE

A rastreabilidade segundo a norma ABNT ISO 9001 (2008), classifica a rastreabilidade como um processo de identificação. Assim, visando aperfeiçoar os seus processos industriais, diversos ramos do setor investem nesse tipo de tecnologia, provendo assim dinamismo às etapas de manufatura de seus produtos e serviços. (MOURA, SANTOS e OLIVEIRA, 2017). Além de trazer registros e informações, essa tecnologia permite aumento de competitividade, alta confiabilidade, redução de custos, qualidade e segurança de produtos fabricados. (BASTOS, 2006).

Em decorrência da velocidade de mudanças industriais e de processos, torna-se crucial que empresas invistam em sistemas de rastreabilidade, trazendo confiabilidade aos seus produtos, além de informações de custos, processo logístico, armazenagem inicial, final, além de rastreabilidade em tempo real por seus clientes. (CORRÊA, CARDOSO, CHAVES, 2006).

Técnicas de um sistema de rastreabilidade:

RFID (identificação por rádio frequência), utiliza ondas de rádio frequência para o processo de comunicação. É possível instalar RFID em cartões para a identificação de uma pessoa, assim atrelar um funcionário a um *tag* RFID.

Identificação por etiquetas e códigos de barras, que são representações numéricas que são atribuídas a produtos, unidades, ativos fixos, documentos dentre outros, que possibilitam eficiência, controle e confiabilidade a empresa que utiliza esse tipo de identificação. (GSI, 2020).

Figura 4 - Leitor de código de barras.



Fonte: (C3TECHNOLOGY, 2018).

1.4 NR12

A NR12 é denominada de norma regulamentadora destinada à proteção e resguardo da saúde e integridade física dos trabalhadores, estabelecendo requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, (manual norma regulamentadora, 2015).

De acordo com a norma (ABNT, 1994), todo equipamento precisa ter controles de partida e de acionamento, assim como meios de interromper ou cancelar as operações devido a falhas ou conclusão da atividade. A normativa publicada no ano de 2010, exige que as máquinas sejam equipadas com um sistema de segurança capaz de prover segurança em caso de ocorrência de falhas, denominado essa falha de falha segura.

Ao ser estabelecido os pontos de segurança, a (ABNT NBR 12100), estabelece os seguintes passos:

1. Definição dos limites da máquina / equipamento;
2. Determinação das áreas perigosas;
3. Identificação dos perigos de acordo com ABNT NBR 12100(2013);
4. Estimativa dos riscos de acordo com ABNT NBR 12100(2013);
5. Avaliação e minimização (se necessário) dos riscos.

1.5 API - *Application Programming Interface*

A Interface de programação de aplicação, é classificada como um conjunto de padrões que fazem parte de uma interface que possibilitam aos desenvolvedores a criação de plataformas mais simples e práticas. Segundo Schmitt, P. R. M. (2013), as APIs são imperceptíveis, pois funcionam por trás de tudo. O usuário utiliza os recursos e funcionalidades dos aplicativos, sites e demais sistemas conectados a ela. Na Figura 5, é demonstrado como é feito a ponte entre sistemas, por uso dessa interface.

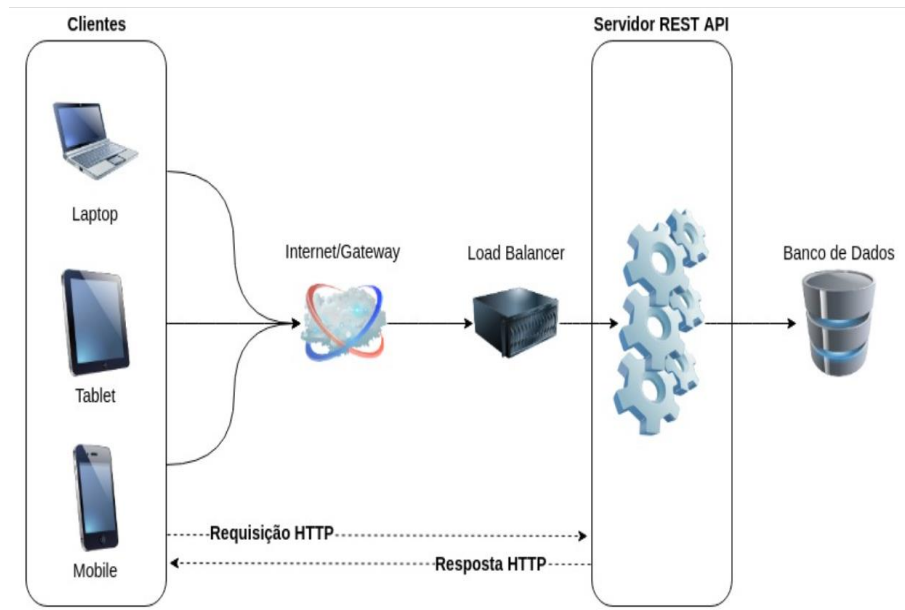
Figura 5 - Aplicabilidade de interface de programação.



Fonte: (QUINTAGROUP 2022)..

API é a maneira mais simples de integrar dois sistemas distintos, essa ponte funciona como um tradutor de um software para o outro, permitindo a comunicação entre eles. O uso dessa tecnologia reduz o tempo da integração e consequentemente o uso da aplicação desenvolvida. As vantagens do uso das API 's são: segurança, menor volume de dados e aumento da eficiência de sistemas e aplicativos fazendo com que as modificações dos sistemas ocorram de forma mais simplificadas. A Figura 6 ilustra de como é feita a interação de API com outros dispositivos.

Figura 6 - Conexões realizadas pela API.



Fonte: (BETRYBE, 2020).

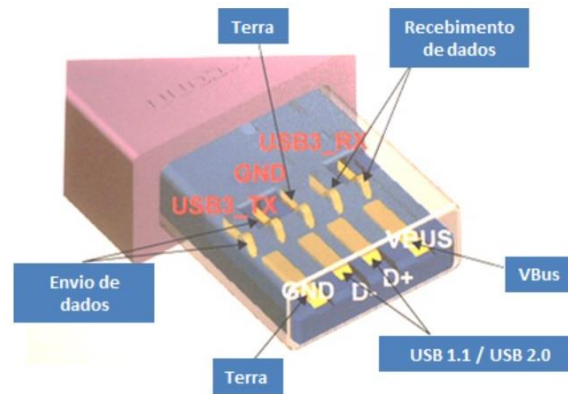
1.5 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

1.5.1 Serial

A comunicação Serial é um método de comunicação que é caracterizado por enviar e receber a informação em sequência, permitindo que a quantidade de fios em um barramento seja menor. Alguns exemplos são os protocolos USB e SPI. (ROBOCORE, 2021).

O barramento USB é um protocolo que utiliza o método assíncrono, onde não é necessário um sinal de *clock* para realizar a comunicação, elevando o grau de dificuldade e a sucessão ao erro. Para realizar a comunicação assíncrona é necessário definir a taxa de velocidade de comunicação, chamada de *Baud Rate*, fazendo com que seja necessário que os dispositivos conectados utilizem a mesma taxa de transmissão. O USB 2.0 possui um sentido de transmissão chamado de *Half-Duplex*, permitindo que o dispositivo envie ou receba dados, mas não executa essas funções simultaneamente, diferente do USB 3.0 que possui comunicação *Full-Duplex*, capaz de enviar e receber dados ao mesmo tempo. (ROBOCORE, 2016). O *baud Rate* utilizado entre a comunicação dos dispositivos do projeto foi de 115200. A Figura 7 ilustra o barramento USB, onde os pinos D- e D+, são responsáveis por realizar a comunicação Serial.

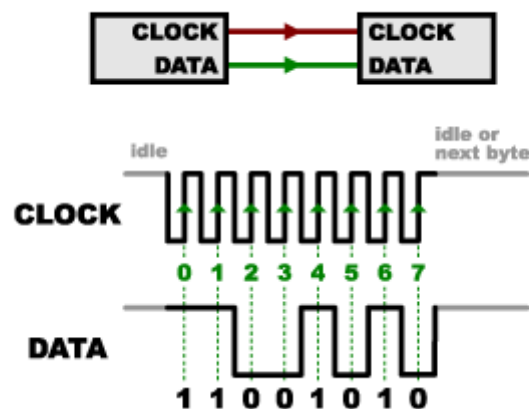
Figura 7 - Pinos de conexão USB.



Fonte: (INFOWESTER, 2019).

A comunicação SPI possui um sentido de transmissão *Full-Duplex* e apesar de ser um protocolo Serial, apresenta características diferentes da comunicação USB. O método utilizado é chamado de síncrono, visto na Figura 8, onde há necessidade de um sinal de *clock* de comunicação, ou seja, os dados transmitidos são sincronizados de acordo com um outro sinal. A principal vantagem desse método é sua velocidade de transmissão, mas para isso é necessário um fio extra para o sinal do relógio. (ROBOCORE, 2016).

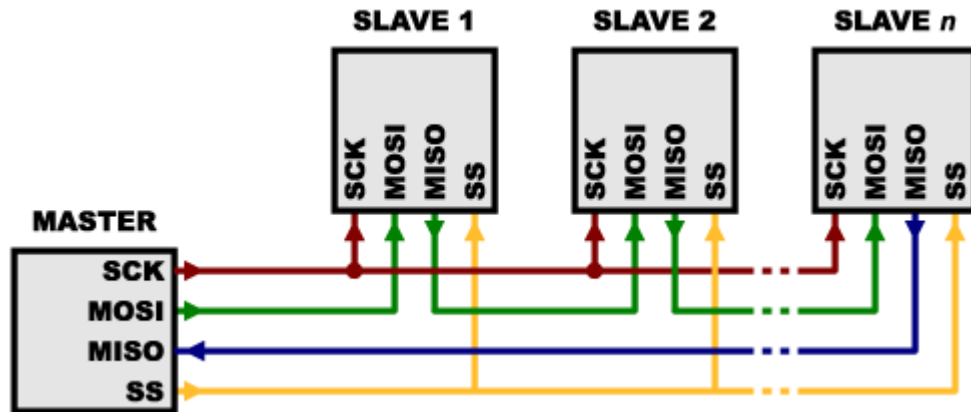
Figura 8 - Comunicação síncrona.



Fonte: (ROBOCORE, 2021).

Sendo uma comunicação Síncrona, um mestre gera o sinal de *clock* para os escravos através do pino SCK. Os dados são transmitidos, para os escravos, pelo pino MOSI e recebidos através do pino MISO. O pino SS serve para fazer a seleção dos escravos, como mostrado da Figura 9.

Figura 9 - Comunicação SPI



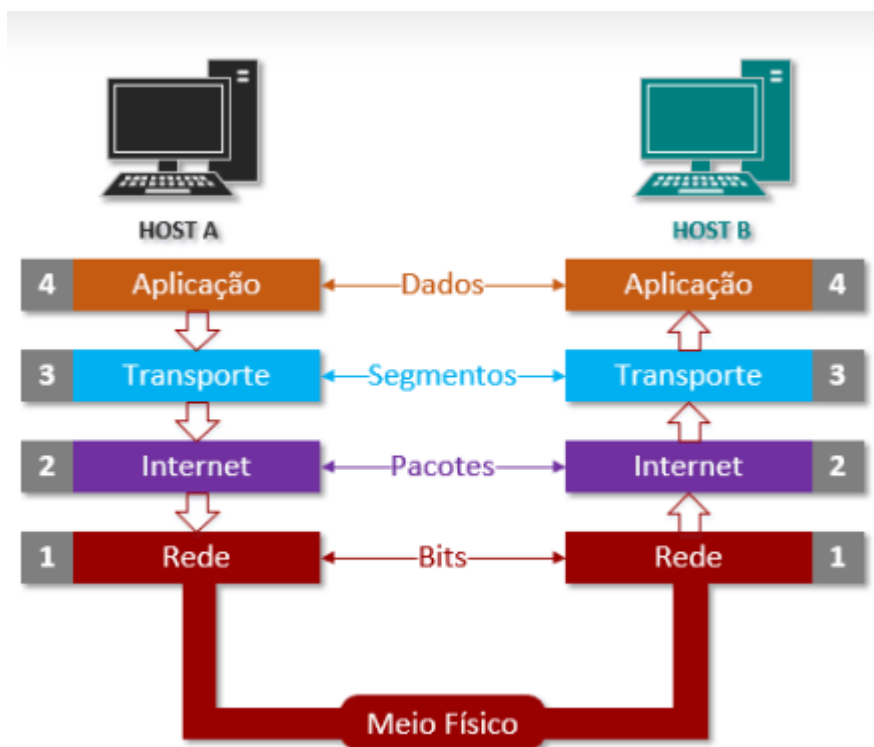
Fonte: (ROBOCORE, 2021).

1.5.3 TCP/IP

A arquitetura TCP/IP é um conjunto de protocolos que permite realizar a conexão e comunicação de dispositivos, independente da marca ou produto, através da rede, levando esse nome pelos principais protocolos utilizados, TCP (*Transmission Control Protocol*) e IP (*Internet Protocol*).

A arquitetura TCP/IP é composta por quatro camadas, Camada de Aplicação, Camada de Transporte, Camada de Internet, Camada de Rede.

Figura 10 - Camadas do protocolo TCP/IP.



Fonte: (DATARAIN, 2021).

O protocolo TCP é responsável por realizar a transferência de dados entre diferentes máquinas, compondo a camada de transporte da arquitetura. O protocolo IP realiza o endereçamento dos pacotes recebidos da camada de transporte, adicionando os endereços virtuais, chamados de IP. (SOARES, Inaiê Alves et al., 2019).

Muitos protocolos fazem o uso da arquitetura TCP/IP, é o caso da comunicação HTTP e MODBUS.

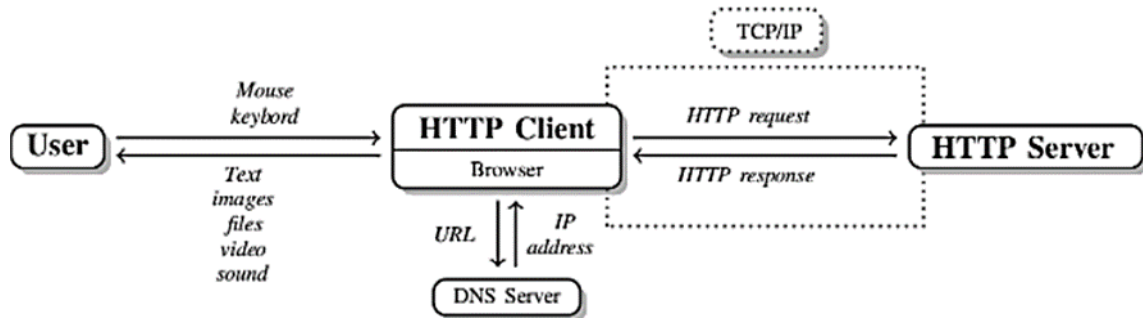
1.5.2 HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*

Segundo (KUROSE, 2006), a estrutura e o modo entre a troca de mensagens entre um programa cliente e um programa servidor em máquinas diferentes através de um endereço eletrônico, ou URL, é chamado de HTTP.

A linguagem HTML (HyperText Markup Language, que significa Linguagem de Marcação de Hipertexto), utilizada na construção e programação das páginas webs, é traduzida pelo protocolo HTTP, como arquivos e documentos a serem acessados pelos clientes. (LIMA, Leandro, 2010). A Figura 11 mostra a existência de um servidor que permite que os clientes,

ou usuários, possam fazer requisições para o servidor e receber a resposta através de uma URL através do protocolo de rede TCP/IP.

Figura 11 - Comunicação HTTP.



Fonte: (ZEVIANI, Walmes Marque, Web Scraping, 2019).

No projeto desenvolvido, o raspberry funcionou como *HTTP Cliente* realizando requisições através de URLs pelo método GET, em Python, e a API como *HTTP Server* respondendo as requisições e enviando os conteúdos solicitados.

2 MÉTODO PROPOSTO

2.1 METODOLOGIA ADOTADA

No presente trabalho foi realizada uma Pesquisa Aplicada e teve como objetivo a realização de uma Pesquisa Exploratória sobre o material bibliográfico e sobre o assunto tratado. Os procedimentos técnicos utilizados foram de pesquisa bibliográfica, pesquisa-ação e Estudo de caso. O método de abordagem utilizado foi o hipotético-dedutivo e a elaboração seguiu o método de procedimento monográfico em sua construção. A coleta de dados foi por meio da documentação indireta e a análise e interpretação dos dados foram descritas de forma qualitativa em ocorrência global.

Foram realizadas pesquisas bibliográficas para o levantamento das formas modernas de rastreabilidade, protocolos de comunicação, norma regulamentadora de segurança de trabalho em máquinas NR12, Indústria 4.0, construção e desenvolvimento de placas de circuitos.

Para o desenvolvimento do sistema, foram necessárias quatro etapas conforme descrito nos parágrafos posteriores.

A primeira etapa consistiu no desenvolvimento do sistema de captura de RFID para o controle de acesso a máquina, construindo um script em C++ utilizando um microcontrolador ESP32 com o leitor de RFID MFRC522. O programa desenvolvido em C++ foi desenvolvido utilizando a IDE Arduino com a instalação da plataforma ESP32.

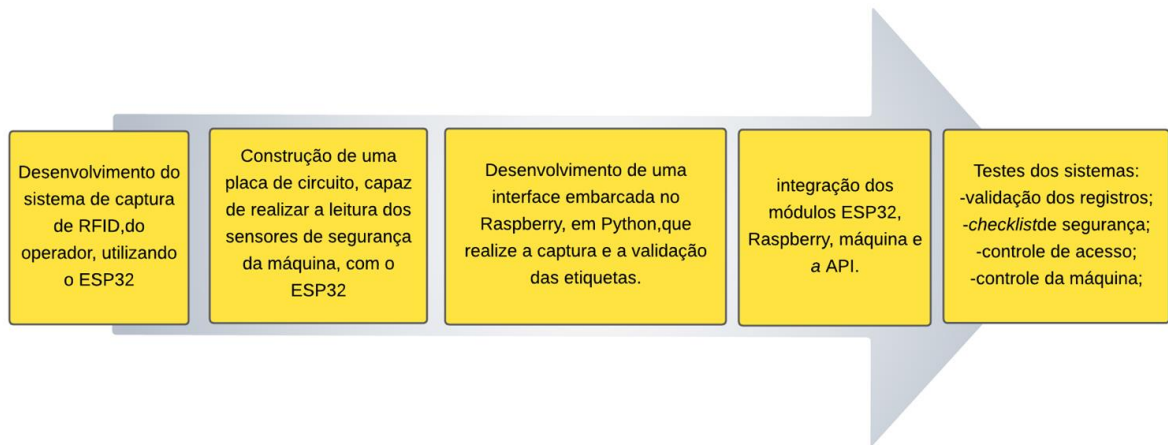
A segunda etapa consistiu no projeto e construção de uma placa de circuito, utilizando o software *PCB Design and Circuit Simulator Software – Proteus*, capaz de realizar a leitura dos sensores de segurança da máquina com rotina em C++ para o ESP32.

A terceira etapa consistiu no desenvolvimento de uma interface embarcada no Raspberry utilizando a ferramenta Tkinter, da linguagem de programação Python, que permite a captura e a validação dos valores lidos da etiqueta de código de barras.

A quarta etapa consiste na integração dos módulos ESP32, Raspberry, máquina e *Application Programming Interface - API*.

A quinta etapa compreendeu nos testes de funcionamento do sistema da máquina, do estudo de caso, com os testes e validação dos registros, observando o funcionamento do sistema de *checklist* de segurança, controle de acesso e controle da máquina. A Figura 12 ilustra as etapas de desenvolvimento.

Figura 12 - Etapas do desenvolvimento da solução



Fonte: (Autor, 2022).

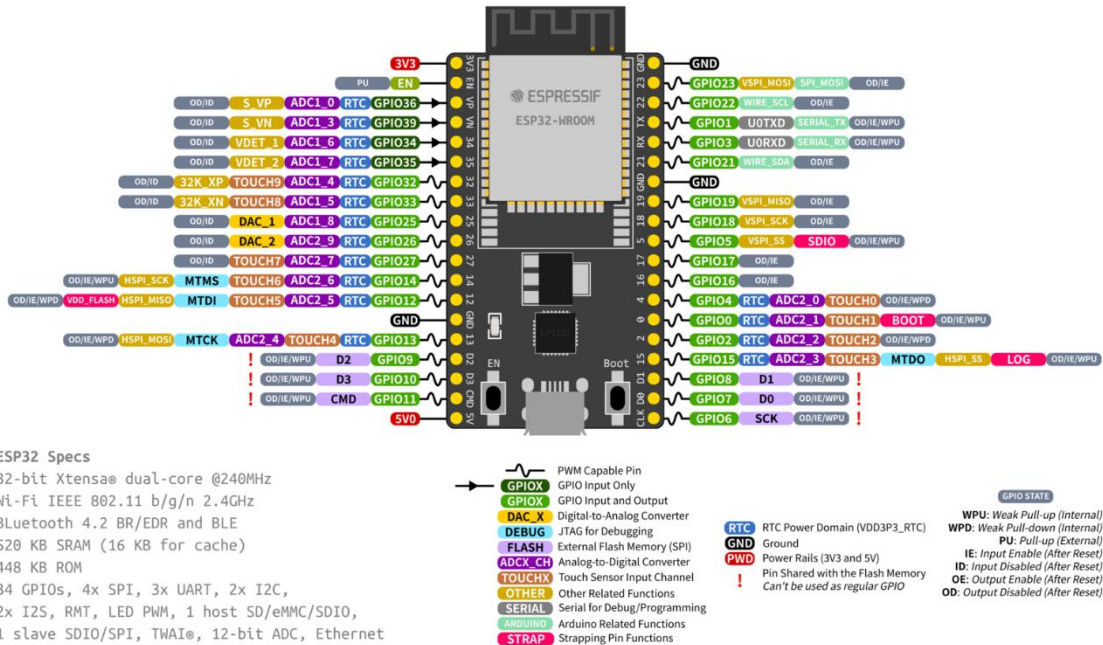
2.2 DISPOSITIVOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS NO PROJETO

2.2.1 Esp32

ESP32-DevKitC V4 visto na Figura 13 é uma placa de desenvolvimento baseada em ESP32 de pequeno porte produzida pela ESPRESSIF que possui comunicação SPI, comunicação Serial que fará a comunicação com o Raspberry (ESPRESSIF, 2019). A placa possui um microprocessador 32-bit Xtensa® dual-core com *clock* de 240MHz, com Wi-Fi IEEE 802.11 2.4GHz, Bluetooth 4.2, 520 KBytes de memória RAM, 448 KBytes de memória ROM e 4MB de memória Flash (ESPRESSIF, 2019).

Figura 13 - ESP32.

ESP32-DevKitC

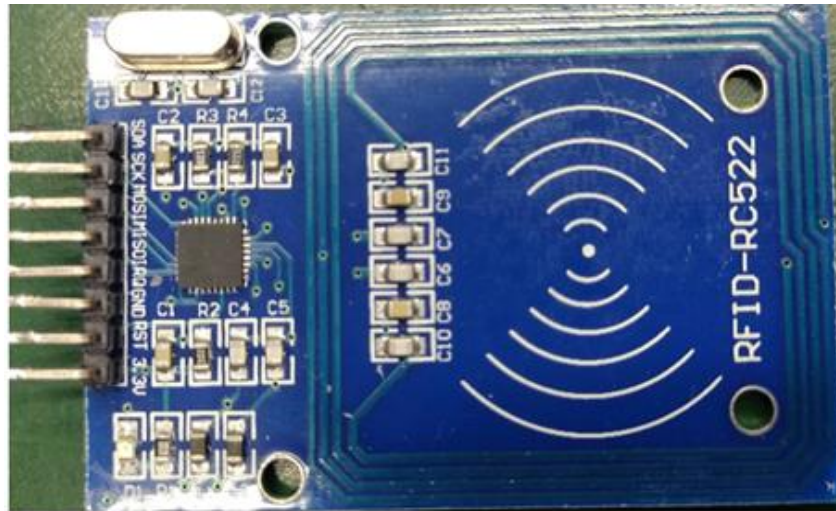


Fonte: (ESPRESSIF, 2019).

2.2.3 Leitor de RFID Mfrc522

O leitor MFRC522 mostrado na Figura 14 é um leitor e gravador altamente integrado para comunicação sem contato a 13,58 MHz. O leitor MFRC522 suporta o modo ISO 14443A/MIFARE®, ou RFID. A parte interna do transmissor do MFRC522 é capaz de acionar uma antena leitora/gravadora projetada para se comunicar com cartões ISO/IEC 14443A/MIFARE® sem circuitos adicionais. A parte do receptor fornece uma implementação robusta e eficiente de um circuito de demodulação e decodificação para sinais de ISO/IEC 14443A/MIFARE® (NXP Semiconductors, 2007).

Figura 14 - Leitor MFRC522.



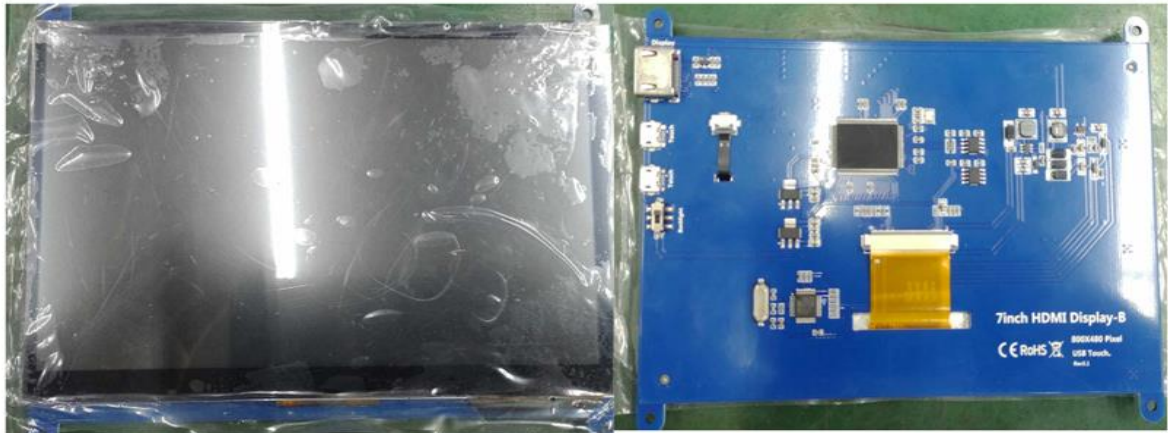
Fonte:(Autor, 2022).

O leitor MFRC522 possui comunicação SPI para a comunicação com o ESP32 e foi utilizado para a aquisição dos valores de RFID dos crachás dos operadores para o sistema de controle de acesso.

2.2.2 Tela LCD HDMI Touch Screen

Tela 7inch HDMI Display-B, mostrado na Figura 15, possui funcionalidade *touch screen* suportada pelo Raspberry. O display conta com duas entradas micro USB para alimentação de energia e para a funcionalidade *touch screen*. Para realizar a função *touch* no Raspberry é necessário a instalação do drive para o display *touch screen*. A Tabela 1 indica as configurações do produto:

Figura 15 - 7inch HDMI Display-B.



Fonte: (Autor, 2022).

Tabela 1 - Parâmetros do display.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
Tamanho	7,0 (polegadas)
SKU	MPI7001
Resolução	800*480 (pixel)
Touch	Touch capacitivo de cinco pontos
Tamanho do produto	164,9 X 124,27 (mm)
Tamanho do pacote	211 X 150 X 53 (mm)
Peso	405 (g)
Área ativa	153,84*85,63(mm)
Dissipação de Energia	0,74A X 5V

Fonte: (LCDWIKI, 2021)

Por necessidade de usabilidade, a interface contém botões de interação com o operador, para evitar que seja necessário a utilização de um mouse, foi escolhido um display LCD Touch para que a interação seja feita sem um hardware externo.

2.2.4 Raspberry Pi 3 Modelo B+

O Raspberry Pi 3 Modelo B+, visto na Figura 16, é o mais recente produto da linha Raspberry Pi 3, com um processador quadro core de 64 bits rodando a 1,4 GHz, dual-band 2.4GHz e 5GHz wireless LAN, Bluetooth 4.2/BLE. Vem com certificação de conformidade modular, permitindo que a placa seja projetada em produtos com testes de wireless LAN. (RASPBERRYPI, 2018). A tabela 2 descreve as configurações do modelo do Raspberry 3 B+.

Figura 16- Raspberry.



Fonte:(RASPBERRY PI, 2018)

Tabela 2 - Parâmetros do Raspberry.

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
PROCESSADOR	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
MEMÓRIA	1GB LPDDR2 SDRAM
CONECTIVIDADE	2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput300Mbps) 4 × USB 2.0 ports
ACESSO	BARRAMENTO COM 40 PINOS GPIO
VÍDEO E ÁUDIO	1 × HDMI em tamanho real Porta de exibição MIPI DSI Porta da câmera MIPI CSI Saída estéreo de 4 polos e porta de vídeo composto

MULTIMÍDIA	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
ARMAZENAMENTO	Formato Micro SD para carregar o sistema operacional e armazenamento de dados
ALIMENTAÇÃO	5V/2.5A DC via conector micro USB 5V DC via cabeçalho GPIO Habilitado para Power over Ethernet (PoE) (requer CHAPÉU de PoE separado)

Fonte:(RASPBerry PI, 2018).

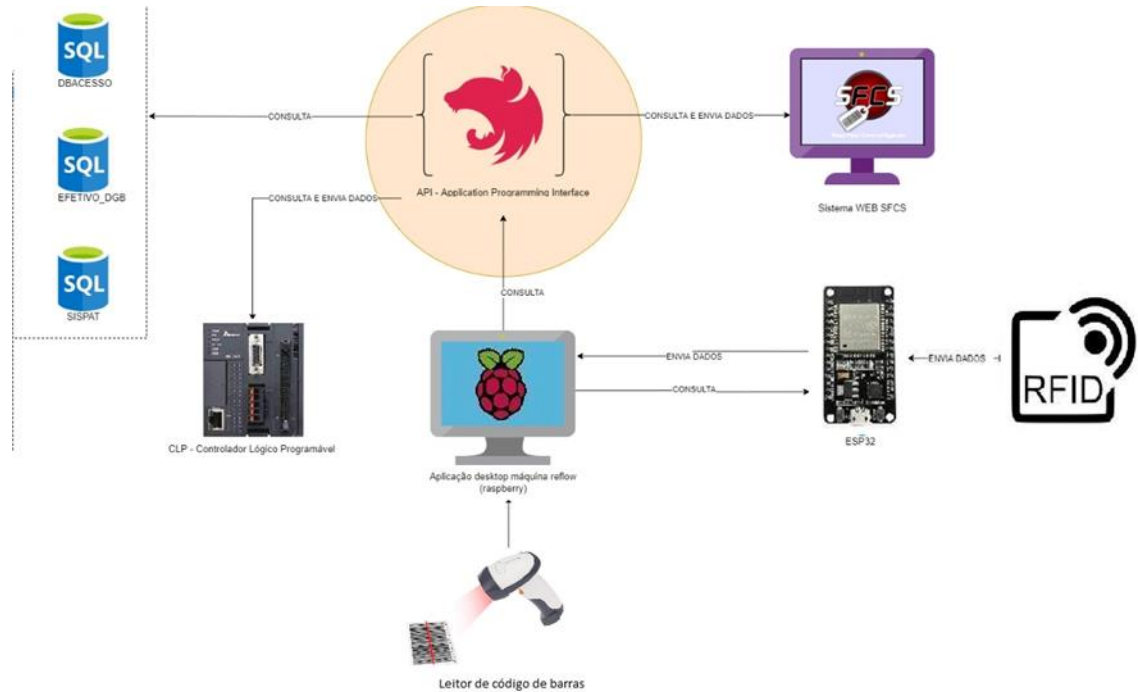
2.4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DO PROJETO

O sistema da máquina apresentado utiliza-se de um Raspberry, um microcontrolador ESP32 com um circuito de implementação de segurança, um CLP AS332 para o controle da máquina e uma API.

O diagrama em blocos mostrado na Figura 17, ilustra o funcionamento do sistema da máquina. O diagrama é composto pelos seguintes dispositivos:

- I. Banco de dados: Responsável pelo armazenamento das informações;
- II. API: Programação em Nodejs para realizar a comunicação com o banco de dados;
- III. CLP e IHM: Responsável pelo controle da máquina;
- IV. Raspberry: Aplicação em Python com interface para a interação com o usuário e os leitores de códigos de barra;
- V. ESP32: Microcontrolador que realiza a coleta dos dados RFID e monitora os sensores de segurança da máquina.
- VI. Leitor de código de barra: Realiza a leitura das etiquetas da placa e dos pellets
- VII. SFCS – Sistema WEB de registro da produção.

Figura 17 – Esquema de interação dos sistemas da máquina.



Fonte: (Autor, 2022).

O desenvolvimento do sistema máquina pode ser subdividido em dois trabalhos que foram posteriormente integrados. O presente trabalho realizou o desenvolvimento da interface no *Raspberry*, e a programação do ESP32. O desenvolvimento da API e o controle do funcionamento da máquina, como a programação do CLP e IHM, foram realizados pela equipe de desenvolvimento da empresa Digiboard e não fazem parte do escopo desta pesquisa.

Figura 18- Escopo do projeto.

DESENVOLVIDOS DURANTE O TRABALHO	OUTROS TRABALHOS
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> RASPBERRY (INTERFACE) PROGRAMAÇÃO PYTHON </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ESP32 PROGRAMAÇÃO C++ </div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> API(SERVIDOR) PROGRAMAÇÃO JAVASCRIPT </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> MÁQUINA (CLP E IHM) PROGRAMAÇÃO LADDER </div> </div>

Fonte: (Autor, 2022).

2.5 ESTUDO DE CASO

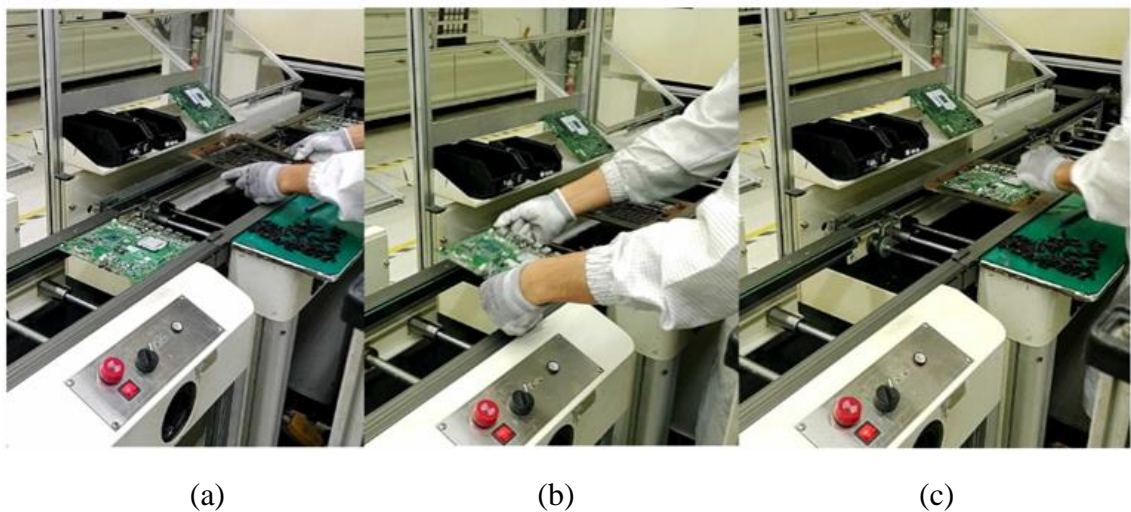
Em uma empresa brasileira situada no Polo Industrial de Manaus, que tem como especialidade a fabricação de placas do tipo *motherboards* para computadores e notebooks, foi desenvolvida uma máquina chamada de transferidor de *motherboards* fase XPF para forno REFLOW, cognominada de *transfer*, com o objetivo de alocar as placas nos *pallets* para evitar o contato do operador com a placa. A instalação do dispositivo desenvolvido ocorreu de forma que seja adaptada para a *transfer*, seguindo as solicitações feitas pela máquina como, leitura de etiquetas de *pallets* e placas.

2.5.1 Máquina *transfer*

Em uma das etapas de produção de uma placa *motherboards*, os componentes são inseridos pelas máquinas SMT e PHT e em seguida passam pelo processo de soldagem no forno, mas há uma necessidade de colocar as placas em cima de *pallets*, antes de adentrar no forno, para que durante o processo de soldagem, a placa permaneça imóvel para que não haja risco de falhas durante o processo.

O processo de colocar as placas em cima do *pallet* era realizado pelo operador manualmente conforme Figura 19. Primeiro, o operador posicionava o *pallet* na esteira (a), logo em seguida pegava a placa de forma manual (b) e, por fim, posicionava no *pallet* (c).

Figura 19 - Processo manual de colocar a placa sobre o *pallet*.

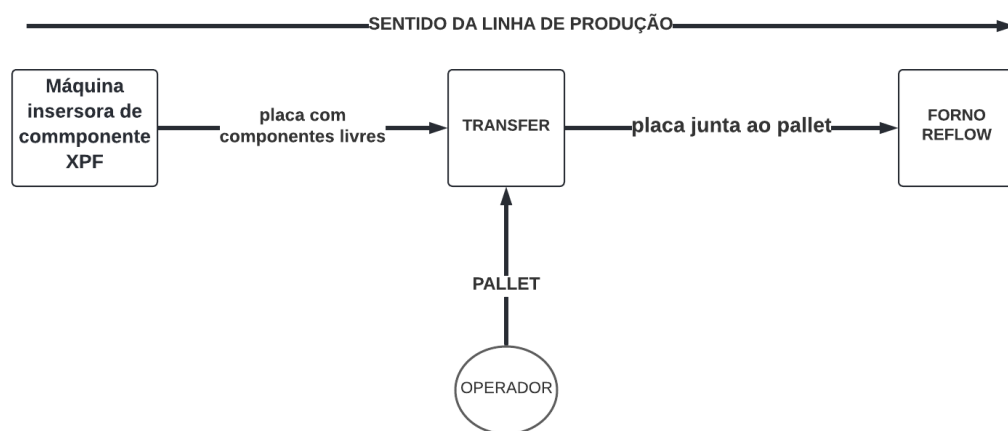


Fonte: (Autor, 2022).

Os processos manuais podem acarretar diversos problemas para a linha de produção, podendo danificar ou descartar o produto. É comum, que durante esta etapa o operador derrube a placa, desloque algum componente ou entorte a placa.

Dito isto, a máquina *transfer* deve ser posicionada entre a máquina PHT e o forno REFLOW. As placas devem sair da máquina insersora de componentes, passar pelo processo da *transfer* onde é inserido o *pallet* e por fim, as placas fixadas ao *pallet* irão para o processo de solda no forno, conforme a Figura 20.

Figura 20 – Linha de produção após a inserção da máquina *transfer*.



Fonte: (Autor, 2022).

A máquina *transfer* é mostrada da Figura 21, junto com as indicações de entrada de placa, entrada de pallet e a saída da placa sobre o pallet.

Figura 21- Máquina Transfer com as Indicação das entradas e saídas na máquina.



Fonte: (Autor, 2022).

3 IMPLEMENTAÇÃO

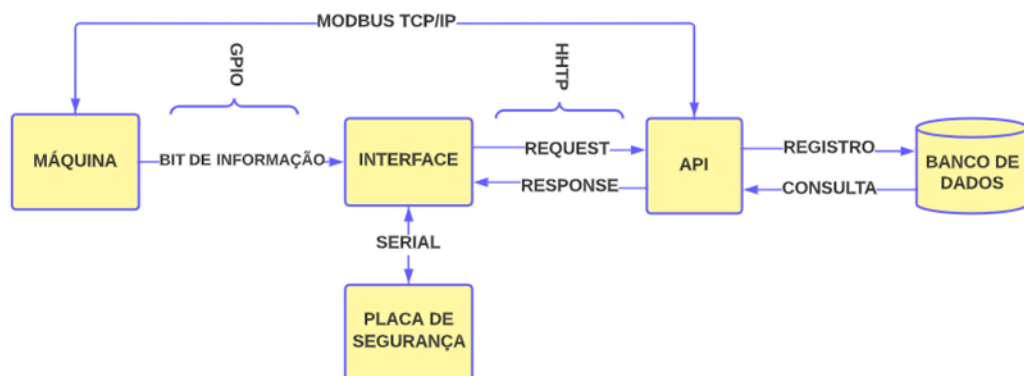
3.1 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

O sistema da máquina, por possuir diversos dispositivos distintos é necessário que as comunicações entre eles possuam protocolos de comunicação que melhor se adaptam entre si.

O Raspberry se comunica com a máquina (CLP), com o ESP32, com a API e com o usuário. A interface desenvolvida, embarcada no Raspberry, realiza comunicação com a API através do protocolo HTTP, realizando requisições e aguardando as respostas de acordo com as solicitações. É utilizado o protocolo serial USB para realizar a comunicação com placa de segurança contendo o ESP32, através do envio de mensagens de comando e recebimento das informações. O envio dos sinais de inicialização e término de operação da máquina é feito através das GPIO dos Raspberry e CLP.

A API é responsável por enviar comandos e informações para o CLP através do protocolo MODBUS TCP/IP, realizando o controle das memórias do CLP. E por fim, a API utilizando o serviço MySQL, realiza consulta de registros dos processos realizados pela máquina. O Esquema da Figura 22, ilustra como é feita a comunicação entre os dispositivos do sistema.

Figura 22 – Protocolos de comunicação utilizados.



Fonte: (Autor, 2022).

3.2 ROTINA DO SISTEMA

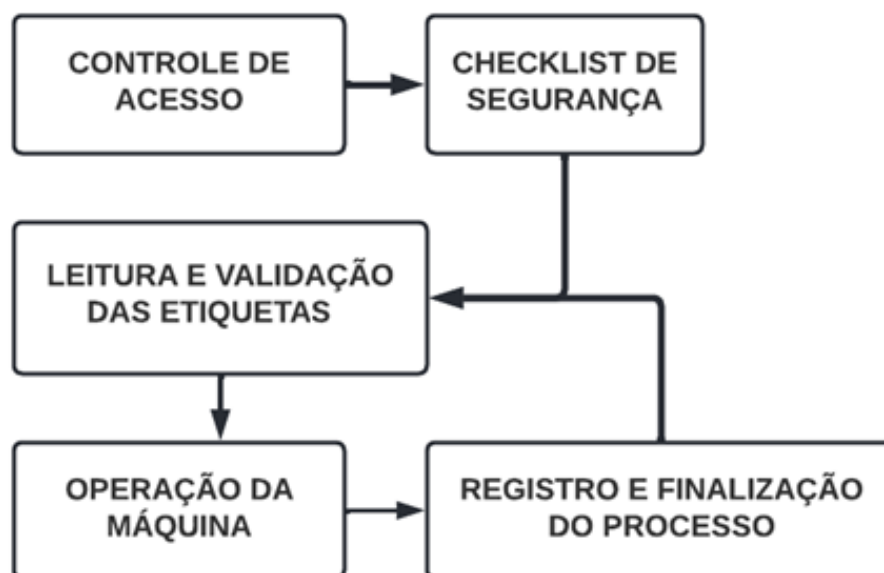
Quando a máquina é ligada, automaticamente entra no modo de *setup*. O *Setup* pode ser subdividido em outras duas etapas, a primeira faz a validação do usuário através do crachá, a segunda é responsável pelo *checklist* de segurança. Vale ressaltar que as configurações iniciais da máquina, ocorrem uma única vez.

Após a realização do *setup*, o sistema entra no modo de leitura. Neste modo a interface fica no aguardo da inserção do *pallet* na máquina, ação que deve ser realizada pelo operador. Feita a leitura das etiquetas da placa e do *pallet*, o sistema envia um sinal de início do processo que é enviado para CLP, onde a máquina começa a realizar sua rotina entrando no modo de máquina operando.

Após a finalização do processo, o Raspberry recebe um sinal de finalização do processo da máquina e associa a placa ao *pallet*, realizando o registro na API. E por fim, o sistema volta para o modo de leitura, aguardando a entrada dos próximos produtos.

O diagrama de blocos da Figura 23 ilustra o funcionamento da rotina do sistema.

Figura 23 - Rotina do sistema.



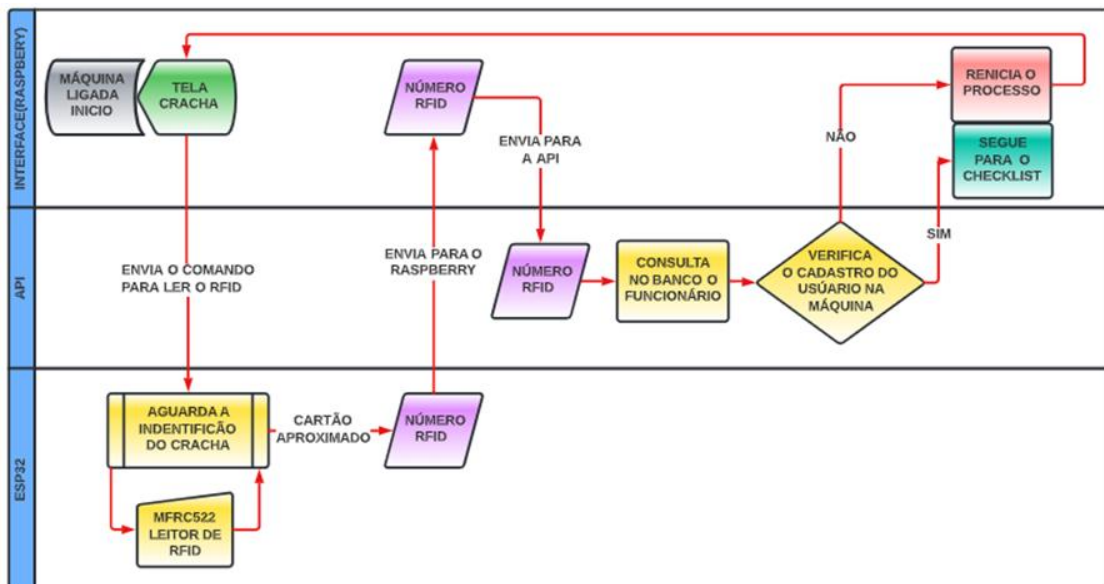
Fonte: (Autor, 2022).

3.2.1 Controle de acesso

A primeira etapa a ser realizada no sistema, é o controle de acesso à máquina. O controle de acesso é necessário para que haja uma segurança de operação da máquina, permitindo que apenas os funcionários capacitados possam realizar a operação dela.

Assim que é aberta a janela de identificação do usuário, o Raspberry envia um comando ao ESP32 para iniciar a leitura do RFID. O ESP32 fica aguardando a aproximação do cartão no leitor de RFID MFRC522. Quando o cartão for identificado, o ESP32 captura o valor RFID e envia para o Raspberry, que por sua vez envia para API. Quando recebido o valor do número RFID, a API consulta no banco de dados se o valor está atrelado com algum funcionário e verifica se o funcionário está cadastrado para operar a máquina. Feita análise, a API retorna para o Raspberry o nome do funcionário, apenas se tiver cadastrado para operar a máquina, se o usuário não for cadastrado ou o valor não for atrelado a nenhum funcionário, a API retorna um valor vazio. E por fim o Raspberry analisa o retorno da API, se a resposta for o nome do funcionário, segue para a janela do *checklist* de segurança se não, é solicitada uma nova requisição do valor RFID ao ESP32 e reinicia o processo. A Figura 24 ilustra o sistema de controle de acesso a máquina.

Figura 24 - Rotina controle de acesso.



Fonte: (Autor, 2022).

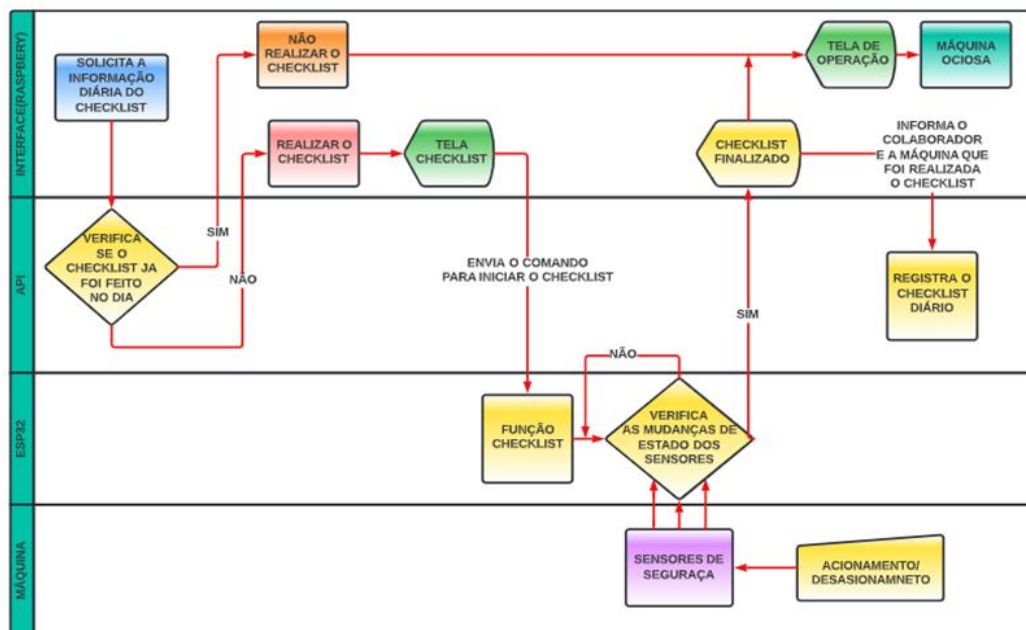
3.2.2 Checklist de segurança

O *Checklist* de segurança realiza a verificação se todos os sensores de segurança e proteção da máquina estão funcionando corretamente. É importante fazer essa verificação diariamente para que seja seguro para o operador utilizar a máquina.

Antes de iniciar a rotina, é verificado se há registro do *checklist* diário, pois é necessário que seja feito uma vez por dia. Assim que é chamado a função *checklist*, o Raspberry envia um comando para o ESP32 iniciar a rotina. No momento que a função é chamada no ESP32, é informado ao usuário quais são as etapas que devem ser feitas para realizar o *checklist*. A placa de segurança verifica as alterações feitas nos sensores de segurança na máquina que informa ao ESP32. A cada alteração feita nas chaves de segurança, o ESP32 informa ao Raspberry para que seja mostrado na interface os passos seguintes. Para máquina *transfer* os passos são: Acionar o botão de emergência; Desacionar o botão de emergência; abrir porta superior; fechar a porta superior; ativar cortina de entrada e desativar cortina de entrada.

Assim, quando for finalizado o *checklist* o ESP32 informa para o Raspberry que o todos os sensores estão funcionando corretamente e por fim o Raspberry envia o registro do *checklist* diário para API e fecha a janela do *checklist* de segurança colocando o sistema no modo leitura, conforme a Figura 25.

Figura 25 - Rotina checklist de segurança.



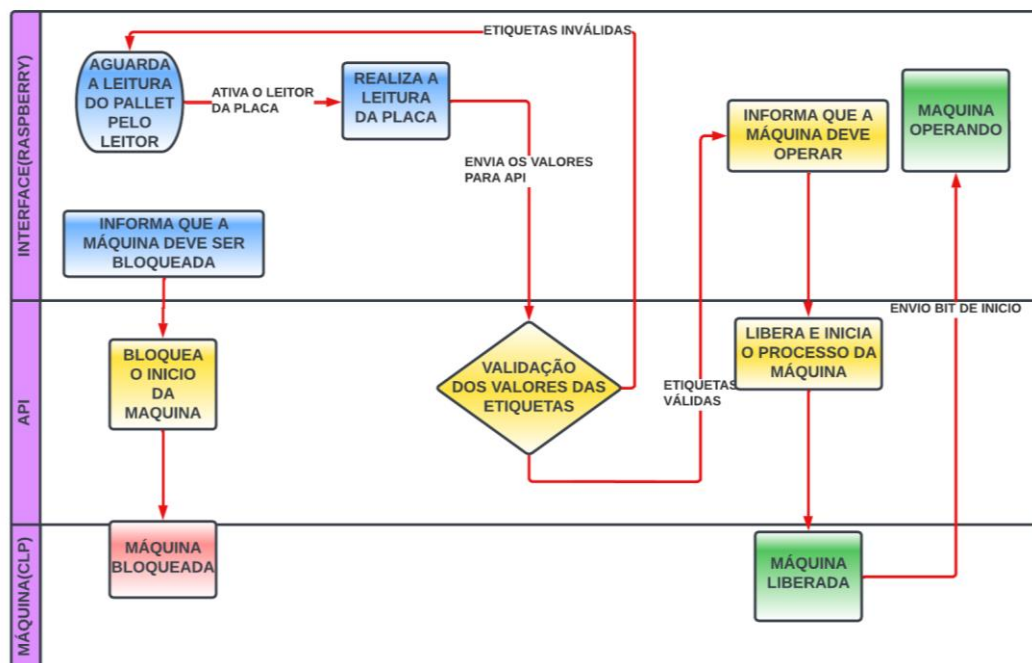
Fonte: (Autor, 2022).

3.2.3 Leituras das etiquetas

Essa é a etapa em que é feita a leitura e validação das etiquetadas dos *pallets* e da placa. Nesse modo, o Raspberry envia um sinal de bloqueio para API informando que a máquina não pode iniciar. A API envia esse sinal para a máquina (CLP), bloqueando o seu funcionamento e o leitor para código do *pallet* é ativado.

A rotina se inicia quando o operador posiciona o *pallet* para que seja realizada a leitura do código de sua etiqueta. Quando a leitura for realizada, o leitor do código da placa é ativado. Assim que as leituras forem realizadas os valores dos códigos são enviados para a API para que seja feita a validação dos produtos. A API retorna se a operação pode ser feita, se a validação for aprovada, a máquina se inicia automaticamente, mudando seu estado para o modo de operação, se a validação for reprovada os campos de entradas são limpos fazendo com que seja necessária uma nova leitura. O diagrama da Figura 26 ilustra a rotina de leitura e validação das etiquetas.

Figura 26 - Rotina de leitura e validação das etiquetas.



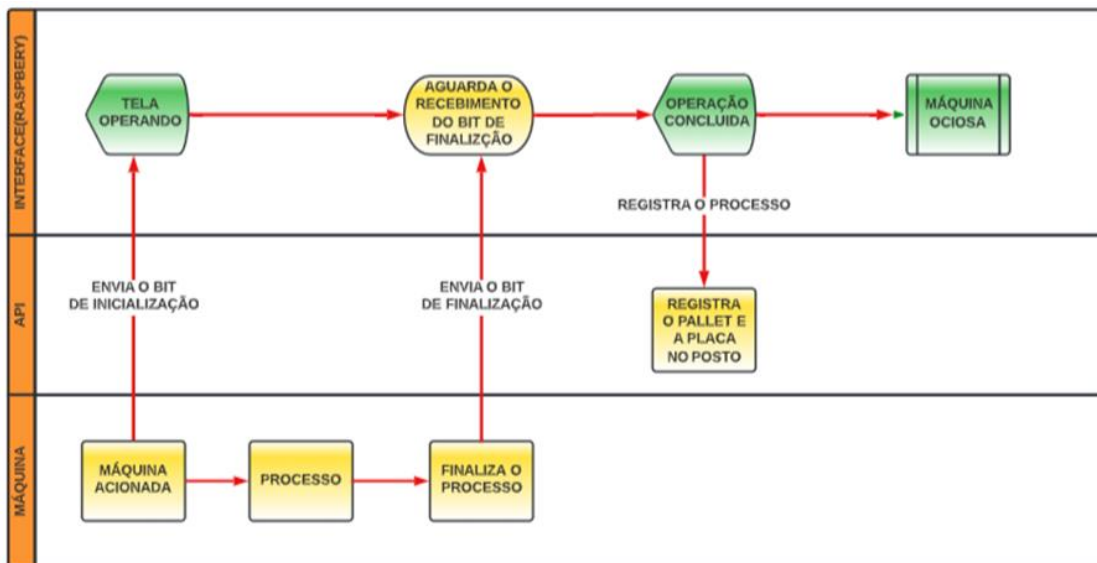
Fonte: (Autor, 2022).

3.2.4 Máquinas operando

Essa é a última etapa do ciclo. Essa etapa se inicia quando as validações das etiquetas são aprovadas e dando início ao processo da *transfer*.

Quando o processo da máquina é iniciado, o CLP é responsável de enviar um sinal para o Raspberry, informando que a máquina foi iniciada. Durante o ciclo de operação da máquina o Raspberry fica aguardando o sinal de finalização da rotina, quando a placa sai da máquina já sobreposta ao pallet, o CLP envia o sinal para o Raspberry. Quando o Raspberry receber o sinal, ele irá realizar o registro da placa e do *pallet* para API e por fim retorna ao estado de leitura aguardando um novo início de rotina. A Rotina do modo de operação pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 - Rotina do modo de operação.



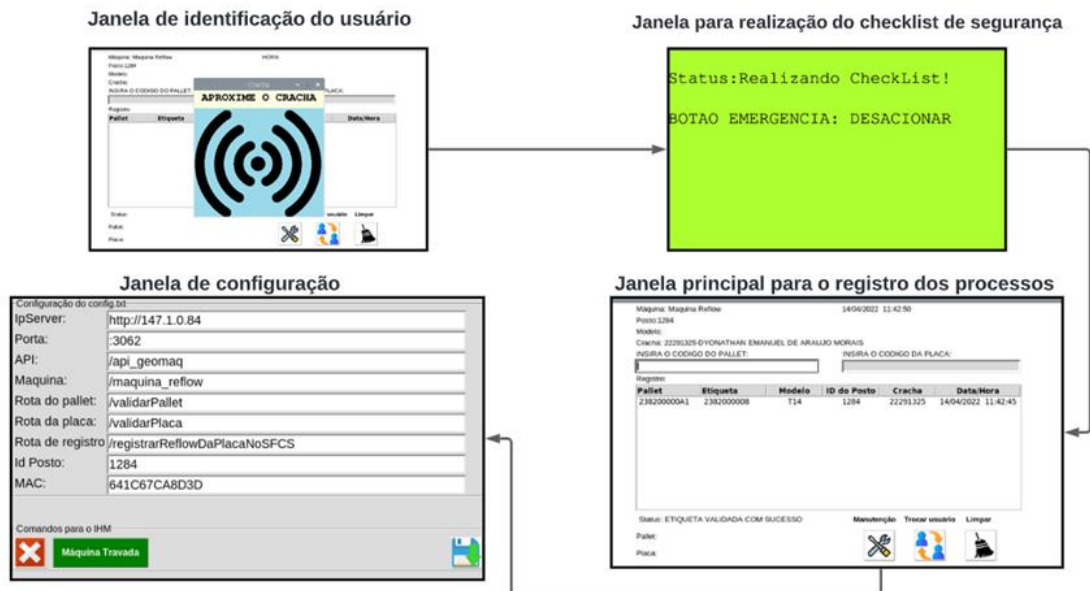
Fonte: (Autor, 2022).

3.3 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE COM USUÁRIO

O desenvolvimento da interface foi realizado utilizando a ferramenta Tkinter da linguagem de programação Python, com o objetivo de informar ao usuário as operações que devem ser realizadas. Foram desenvolvidas quatro janelas principais que possuem ordem de aparição conforme a Figura 28:

- Janela de identificação do usuário;
- Janela para realização do checklist de segurança;
- Janela principal para o registro dos processos;
- Janela de configuração.

Figura 28 - Ordem das interfaces.

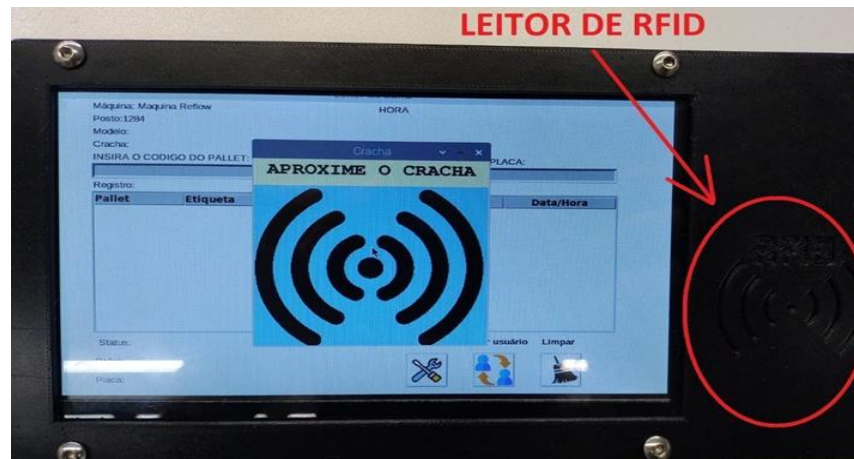


Fonte: (Autor, 2022).

3.3.1 Janela de identificação do usuário

Esta janela tem a finalidade de verificar se o colaborador possui a permissão de operar a máquina. Para isso, ele deve aproximar seu crachá, que possui RFID, no leitor localizado ao lado do display, conforme a Figura 29.

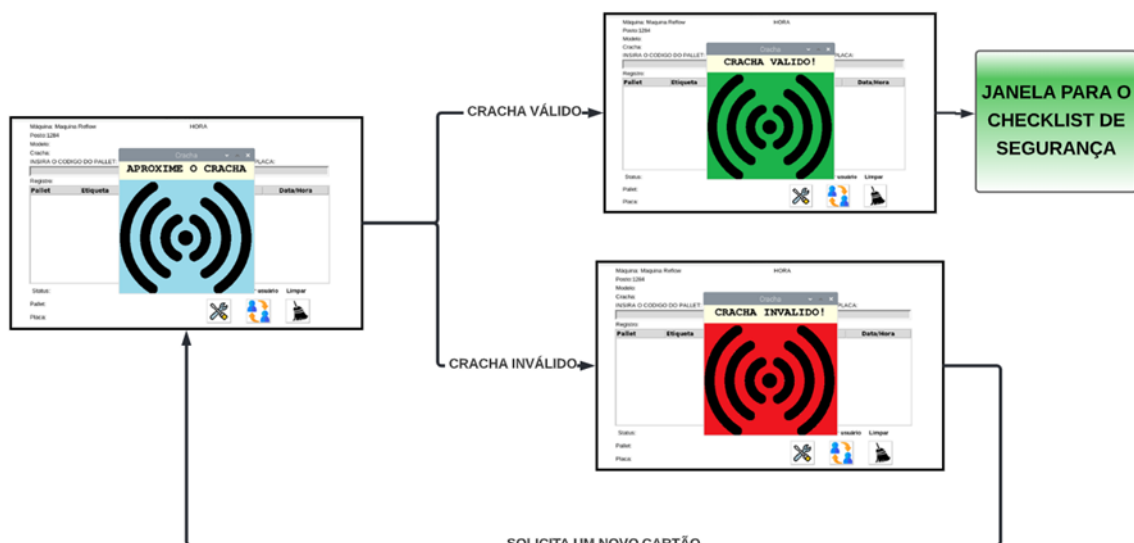
Figura 29 - Localização do leitor de RFID.



Fonte: (Autor, 2022).

O resultado da validação é exibido na tela por meio da alteração da cor da imagem, sendo azul para aguardar a leitura do crachá, verde para válido e vermelho para inválido, conforme visto na Figura 30. Se a validação for negada, o sistema abre outra requisição de cartão RFID, se a validação for aprovada, seguirá para a tela do *checklist* de segurança.

Figura 30 - Diagrama de operação da tela de identificação do usuário.

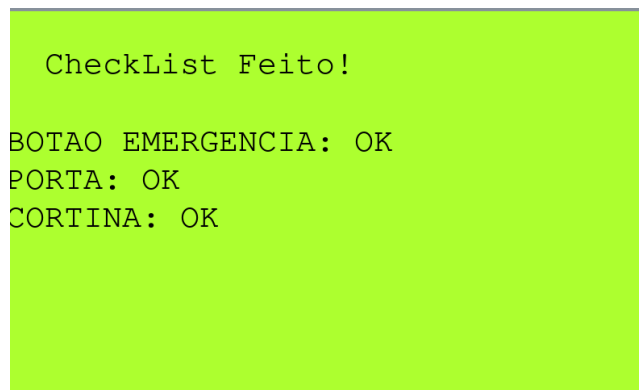


Fonte: (Autor, 2022).

3.3.2 Janela de realização do *checklist* de segurança.

A Tela do *checklist* é responsável por informar ao operador quais são as etapas que devem ser seguidas para realizar o teste de segurança, informando os estados de cada sensor, A Figura 31 mostra as informações quando todos os sensores forem testados.

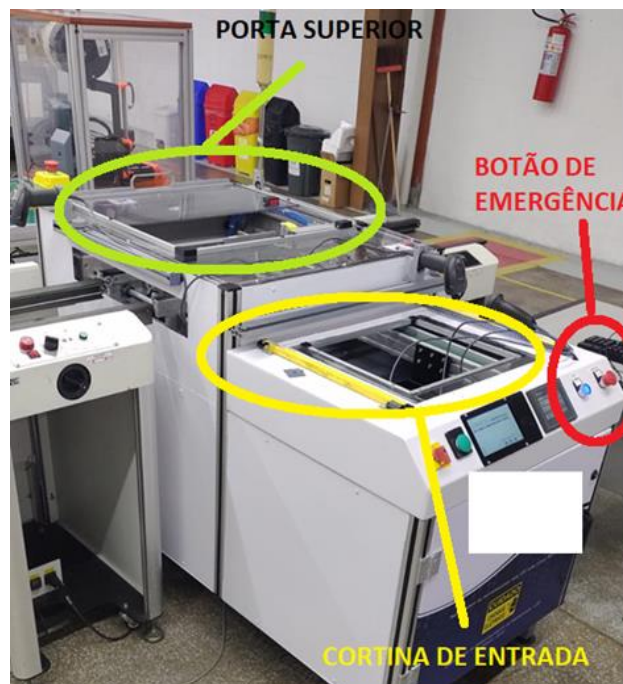
Figura 31 - Tela do *checklist*.



Fonte: (Autor, 2022).

Para a máquina *transfer* é feita a checagem de três sensores de segurança da máquina, o botão de emergência, a porta superior e a cortina de entrada. Para realizar a checagem dos sensores, o operador deve acionar e desativar as chaves de segurança, indicadas na Figura 32.

Figura 32 - Localização dos sensores de segurança da máquina.

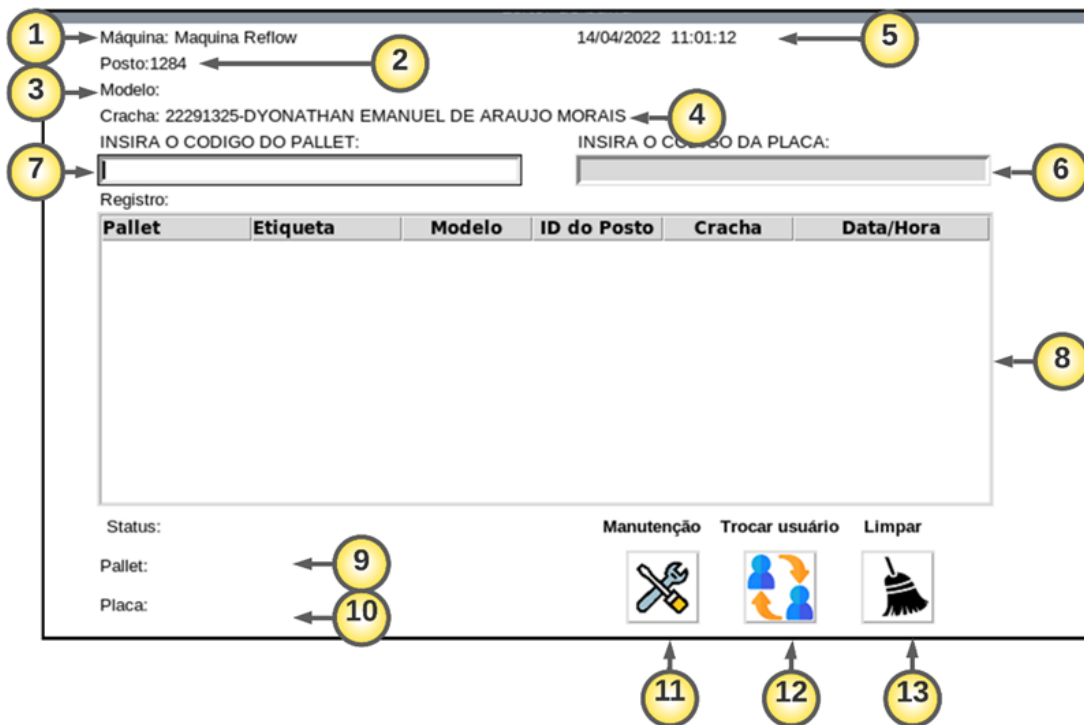


Fonte: (Autor, 2022).

3.3.3 Janela de registro e leitura dos produtos

Após as operações iniciais de *setup* a janela principal é aberta. A janela de leitura é responsável pelas ações de interação das atividades que a máquina realiza, nela está contida as informações de operação, as caixas de entrada para leitura das etiquetas e o quadro de registro feitos, conforme a Figura 33.

Figura 33 - janela de leitura e registro.



Fonte: (Autor, 2022).

- | | |
|---|---|
| 1. Nome da máquina; | 8. Caixa de armazenamento das informações dos processos realizados; |
| 2. Número do posto de trabalho; | 9. Código do último pallet lido; |
| 3. Modelo da placa do posto; | 10. Código da última placa lida; |
| 4. Nome do operador; | 11. Botão de acesso à manutenção |
| 5. Data e Hora; | 12. Botão de acesso a troca de usuário; |
| 6. Entrada do código da etiqueta da placa; | 13. Botão de limpeza. |
| 7. Entrada do código da etiqueta da pallet; | |

3.3.4 Janela de configuração

A janela de configuração é aberta quando o botão de acesso a manutenção é pressionado, antes da janela abrir é feita uma validação de acesso do usuário atual da máquina, apenas usuários da engenharia e cadastrados podem ter acesso a essa janela.

A janela é composta por 9 entradas de configuração que fazem a alteração em um arquivo de texto que é lido pelo script em Python para realizar as configurações indicadas na Figura 34.

Figura 34 - Janela de configuração.

Configuração do config.txt

1. IpServer:

2. Porta:

3. API:

4. Máquina:

5. Rota do pallet:

6. Rota da placa:

7. Rota de registro:

8. Id Posto:

9. MAC:

Comandos para o IHM

10. Máquina Travada

12.

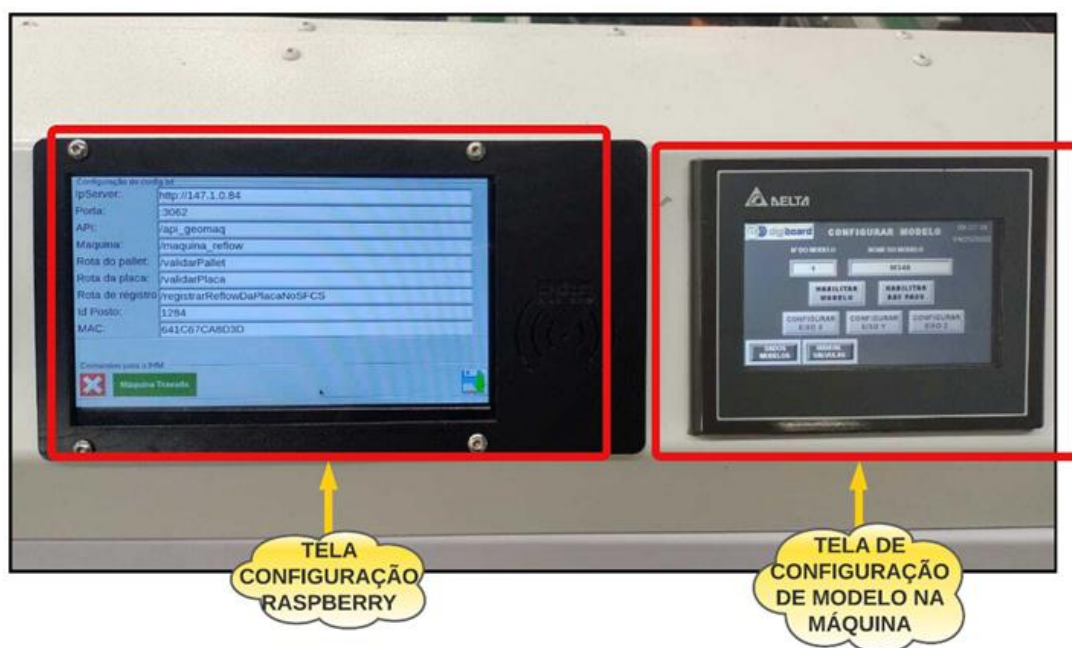
Fonte: (Autor, 2022).

1. IpServer: IP do servidor para comunicação com a API, configuração necessário para o caso de troca do servidor;
2. Porta: Porta de comunicação com a API, configuração necessário para o caso de troca da porta do servidor;
3. API: Caminho para o servidor de identificação do script da API;
4. Máquina: Caminho para o servidor de identificação do tipo máquina;
5. Rota do pallet: Caminho responsável pela validação do pallet na API;
6. Rota: da Placa: Caminho responsável pela validação da placa na API;
7. Rota de registro: Responsável para passar os parâmetros de registro para API;

8. ID Posto: Posto de trabalho;
9. MAC: Identificação da Máquina.
10. Botão de saída do modo de configuração
11. Botão para desativar a integração da máquina
12. Botão para salvar as alterações feitas

Quando a janela de configuração do sistema é aberta, é enviada uma informação para API dizendo que o usuário solicita acesso a configuração da máquina, nesse momento a IHM, localizada ao lado do display do Raspberry, indicado na Figura 35, entra no modo de configuração do modelo.

Figura 35 – Interação dos modos de configuração da IHM e Raspberry.



Fonte: (Autor, 2022).

O botão indicado pelo número 10, na Figura 34, é responsável para sair do modo de configuração na IHM e no Raspberry fazendo com que sempre haja uma comunicação entre as duas telas, se o Raspberry estiver no modo de configuração a IHM também vai estar, assim como no modo de operação.

O botão de número 11, na Figura 34, é um botão para alternar os estados entre máquina travada e máquina destravada. Na opção de máquina travada, a máquina precisa receber o bit de inicialização do Raspberry para iniciar o processo, isso evita que a máquina opere sem

nenhum *pallet* ou placa. Na opção de máquina destravada, o bit de inicialização deixa de ser necessário e a máquina passa funcionar independentemente da validação das etiquetas, essa opção é necessária pois em caso de manutenção é importante que a máquina não esteja atrelada a validação.

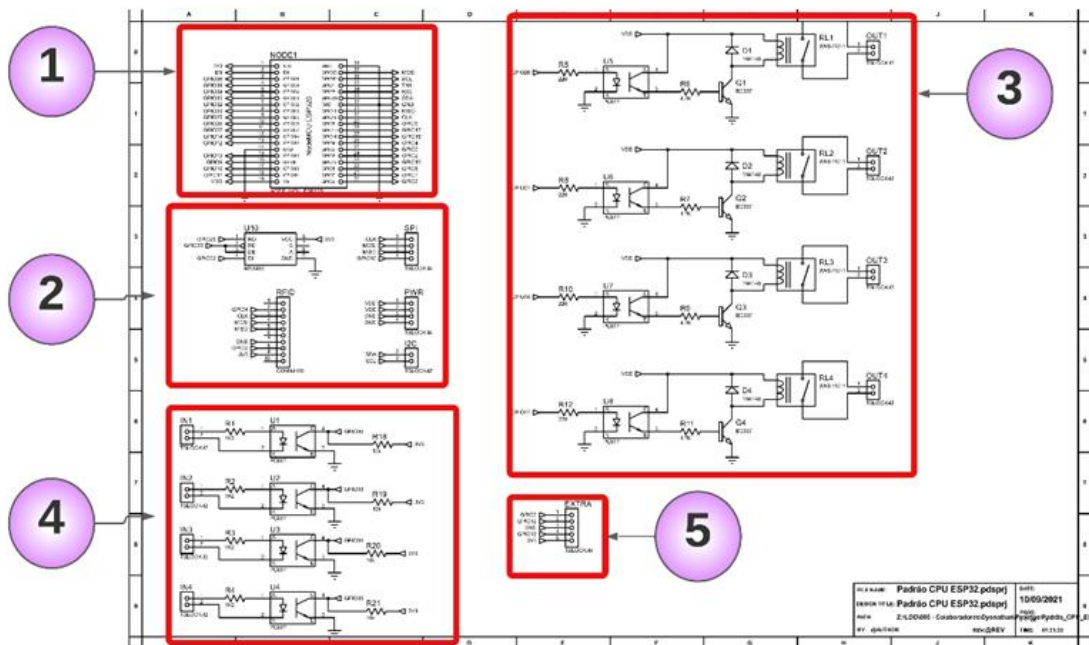
E por fim o botão de número 12, salva as alterações feitas nas entradas de 1 a 9.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE

3.4.1 Esquema elétrico da CPU ESP-32

Foi desenvolvido um hardware capaz de suportar a instalação independente da máquina, assim fica a critério da programação do microcontrolador quais portas e comunicação devem ser utilizadas. A placa se adapta de acordo com a necessidade. Utilizando o software Proteus professional 8, foi montado o esquema elétrico para a placa que suportará o ESP32. A Figura 36 indica as principais partes do esquema elétrico.

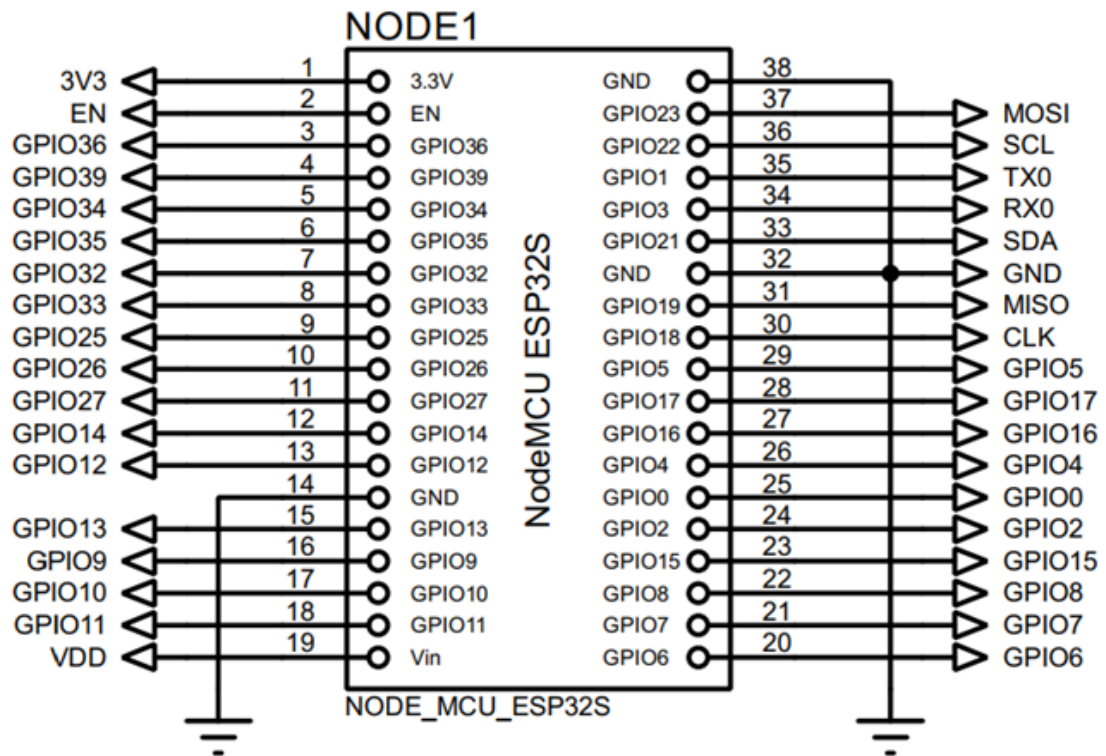
Figura 36 - Esquema elétrico da placa CPU.



Fonte: (Autor, 2022).

O número 1 representa o microcontrolador ESP32 com as suas saídas destacadas. As conexões no ESP32 são vista na Figura 37.

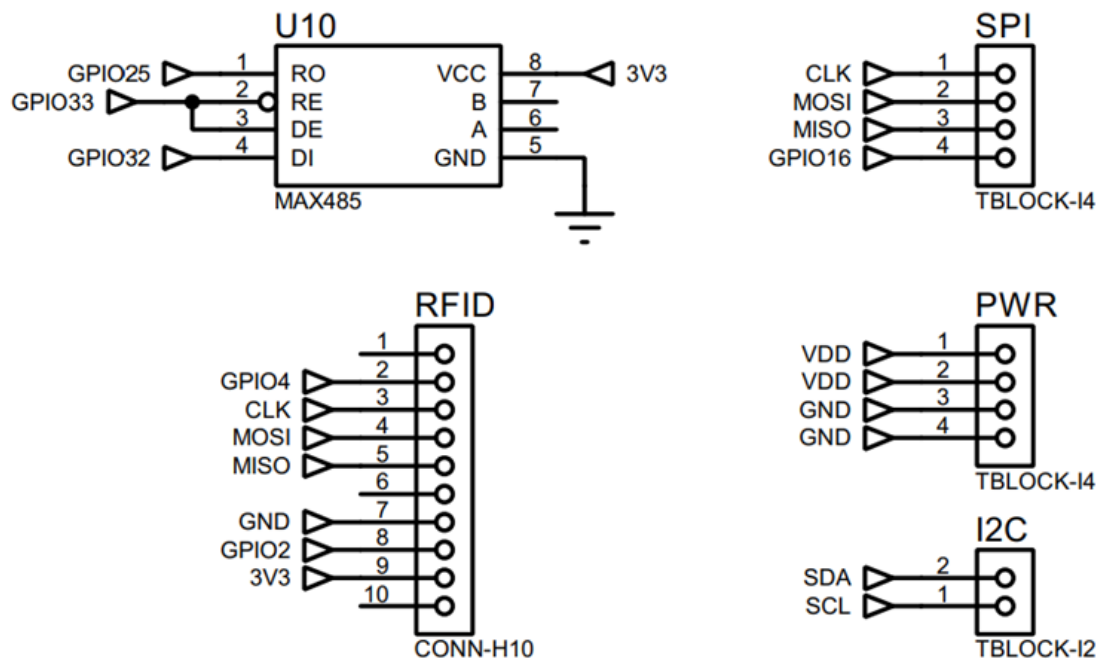
Figura 37 - Conexões no ESP32



Fonte: (Autor, 2022).

A indicação 2, mostra as saídas dos protocolos de comunicação suportadas pelo ESP32, as saídas estão dispostas na placa para a utilização conectadas por bornes do tipo T BLOCK. É possível observar, na Figura 38, que existe saída para o protocolo SPI, utilizado no leitor de RFID, mas para a facilitar a utilização do leitor foi feito um barramento com as conexões necessárias para a utilização do leitor de RFID MFRC522 com a alimentação e o protocolo SPI. Na PCB estão presentes os protocolos de comunicação I²C e RS485, que não foram utilizados na máquina *transfer*.

Figura 38 - Saídas de comunicação da placa.

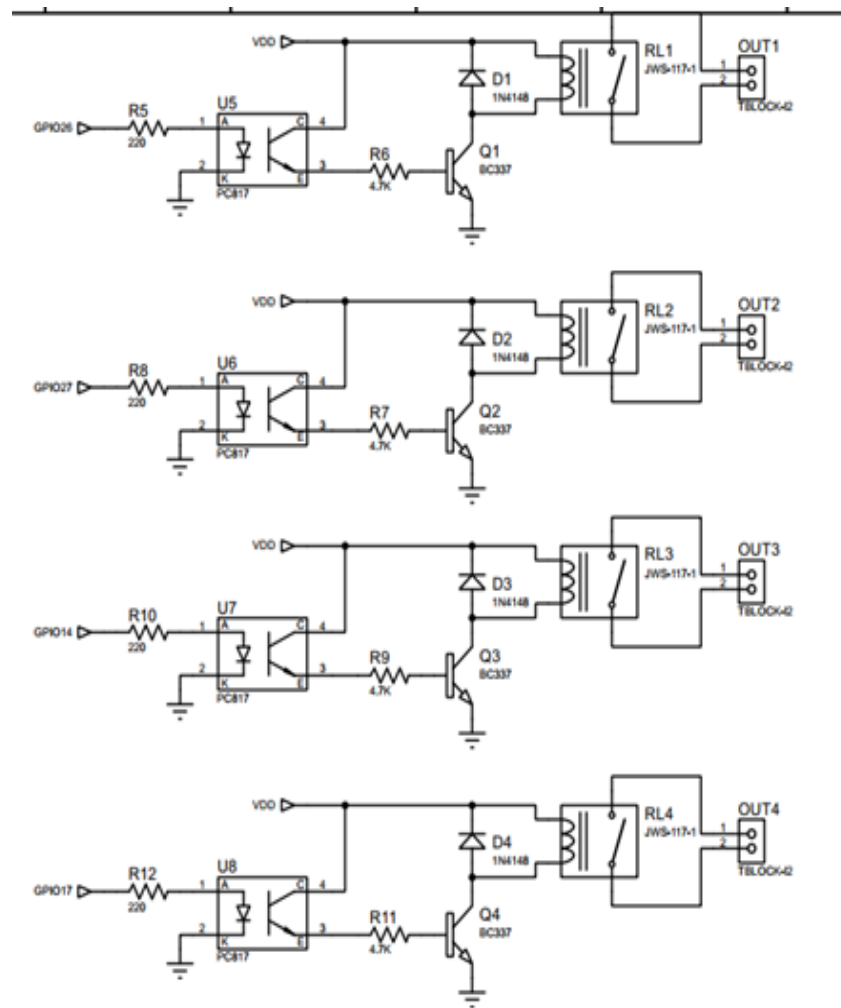


Fonte: (Autor, 2022).

A placa possui quatro circuitos de saídas, indicados pelo número 3, na Figura 36. Esses circuitos são responsáveis pelo envio do sinal da placa para dispositivos externos.

Os circuitos de saídas são compostos por fotoacopladores, transistores e relés, permitindo que não seja necessário um tratamento na tensão entre os dispositivos. As saídas estão conectadas a bornes de conexão do tipo TBLOCK.

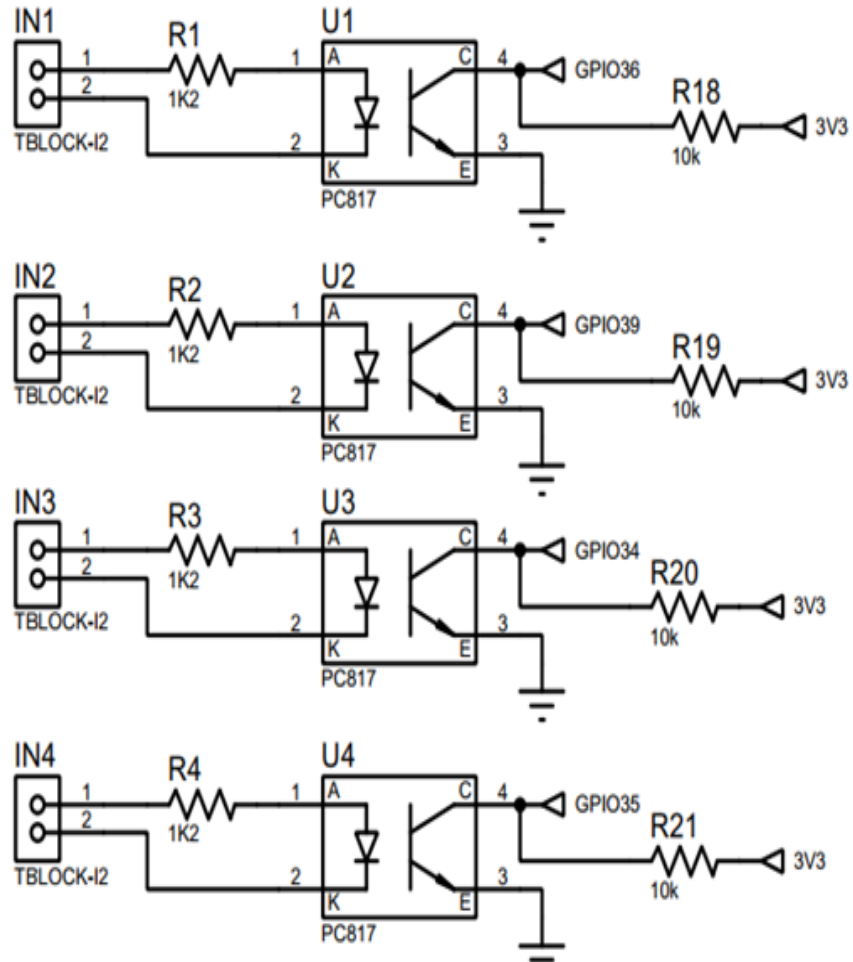
A configuração do circuito é baseada na ativação da GPIO do ESP32 que envia um sinal de corrente para o fototransistor, que por sua vez, alimenta a base do transistor, polarizando-o, permitindo passagem de corrente no Relé que é ativado, fechando o contato entre os pinos 1 e 2 do borne. O circuito *output* pode ser observados na Figura 39.

Figura 39 - Circuito *output*.

Fonte: (Autor, 2022).

A indicação 4, representa o circuito de entrada de sinal, funciona diferente do sistema de saída, a diferença é que a ativação do fototransistor é feito pelos dispositivos externos a placa, fazendo com que o sinal chegue nas GPIO do ESP32 através do chaveamento dos fototransistor. O circuito de entrada, visto na Figura 40, não possui o circuito de ativação do Relé visto que não é necessário a escolha de tensão de entrada no ESP 32, que possui valor fixo de 3,3V.

Foram utilizadas três entradas desse circuito, sendo eles os sensores de segurança da máquina, que são, o botão de emergência, sensor de cortina de luz e um sensor magnético.

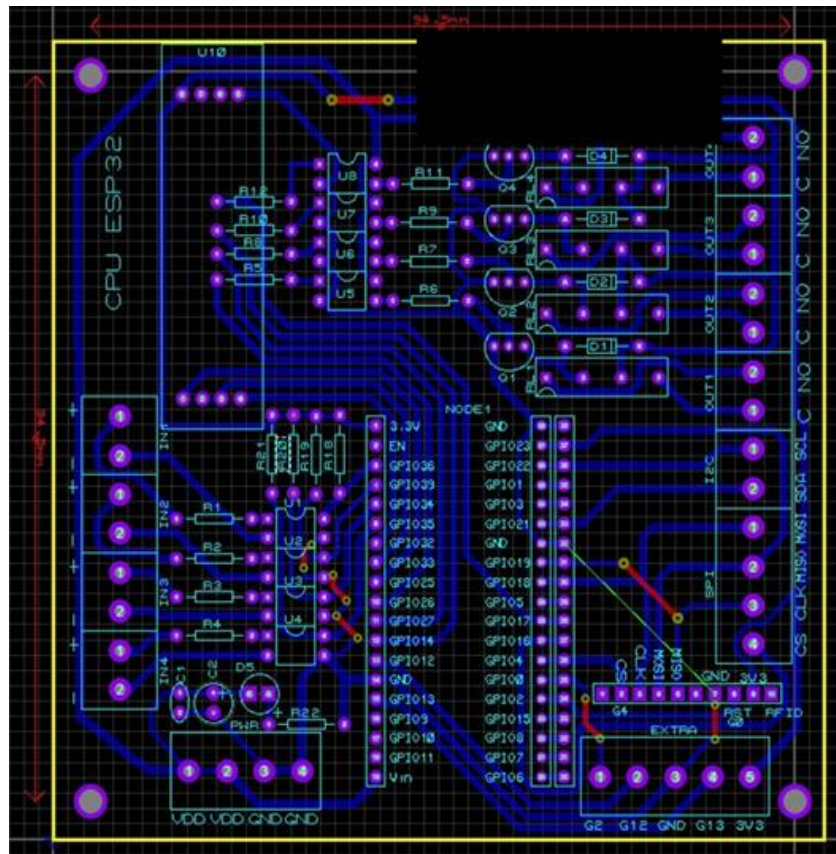
Figura 40 – Circuitos *Input*.

Fonte: (Autor, 2022).

3.4.2 Desenvolvimento da PCB

O desenvolvimento do layout da placa foi realizado no software Proteus Professional 8, com a exportação dos componentes do esquemático. Os componentes foram posicionados e as trilhas de conexão foram realizadas e o resultado pode ser visto na Figura 41.

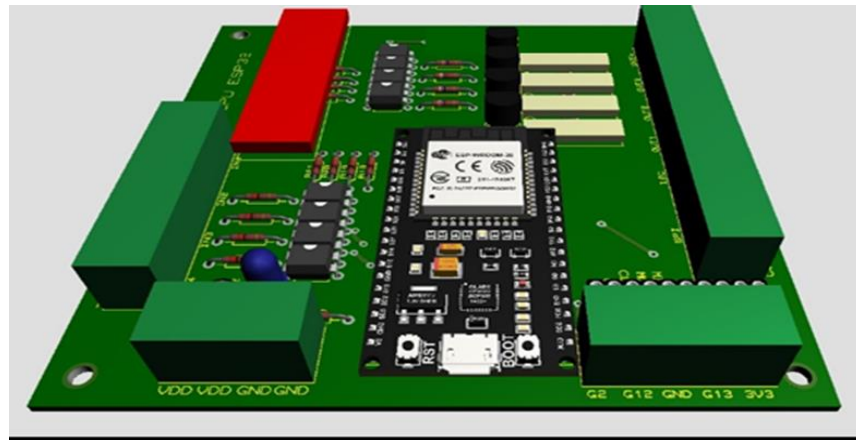
Figura 41 - Layout da PCB da CPU ESP32.



Fonte: (Autor, 2022).

Utilizando a função de visualização 3D da ferramenta, obteve-se o *layout* 3D, para observar o posicionamento dos componentes na placa, visto na Figura 42.

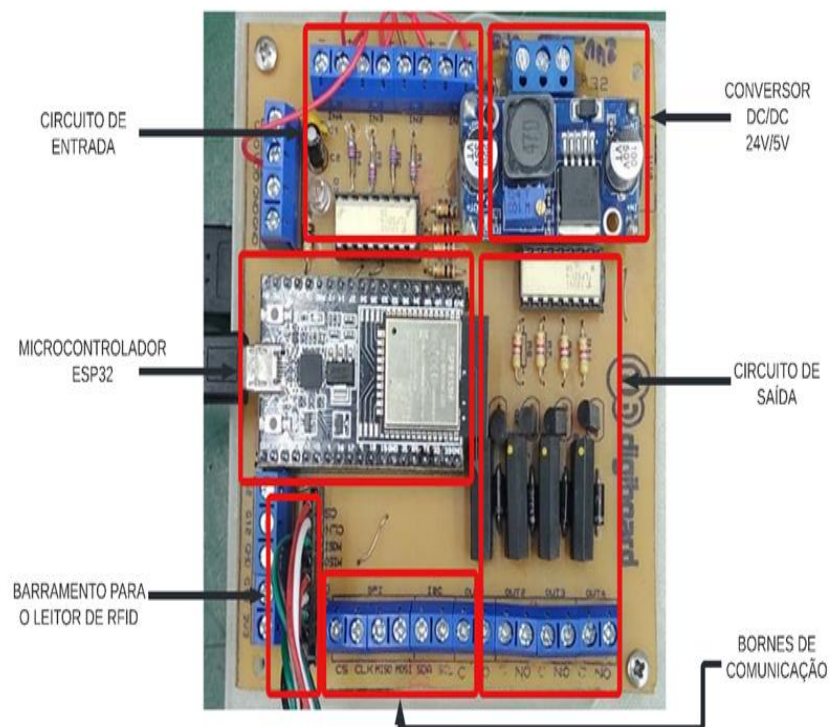
Figura 42 - 3D da CPU ESP32.



Fonte: (Autor, 2022).

Para a montagem da placa, imprimiu-se os lados da placa em um papel de transferência. Com o papel de transferência, foi passado para uma placa de fenolite com uma camada de cobre, as trilhas, na parte que possuía o cobre, e as indicações dos componentes na parte de fenolite. A Figura 43, pode ser vista a placa montada e finalizada.

Figura 43 - Placa CPU ESP32.



Fonte: (Autor, 2022)

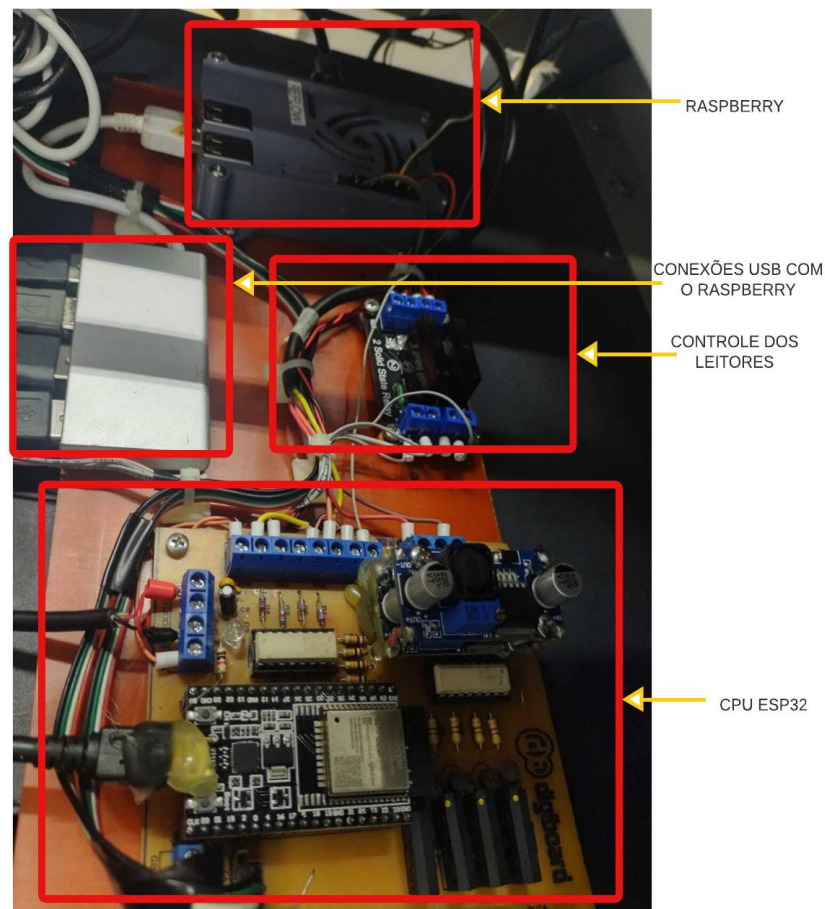
4 RESULTADOS E TESTES

4.1 INTEGRAÇÃO NA MÁQUINA

4.1.1 Instalação do painel interno

Para suportar o conjunto Raspberry e ESP32, foi desenvolvida uma estrutura feita de fenolite, capaz de suportar todos os módulos presentes no desenvolvimento do projeto. Está presente no painel interno: O Raspberry; Um HUB USB ligado ao raspberry onde é conectado os leitores de código de barra, a comunicação serial com ESP32 e o funcionamento do *Touch Screen* para o display; um módulo relé que realiza o controle da ativação dos leitores de código de barra; e por fim, a CPU ESP32. A Figura 44 mostra os componentes presentes no painel interno.

Figura 44 - Painel Interno.



Fonte: (Autor, 2022).

Para a proteção do circuito, foi feita uma cobertura de material plástico, PLA, confeccionada em uma impressora 3D da marca Prusa, visto na Figura 45. A proteção possui cortes na parte da frente para o acesso das portas USB e um furo para entradas de cabo.

Figura 45 - Proteção do circuito.



Fonte: (Autor, 2022).

4.1.2 Instalação do painel externo

Para realizar a instalação do painel externo, foi feito um corte ao lado do IHM para o posicionamento do display *Touch* e do leitor de RFID. Para dar o suporte ao leitor RFID foi feita, na impressora 3D, uma proteção que serviu para a tela e para o leitor de RFID. Como mostrado na Figura 46.

Figura 46 - Painel da máquina.

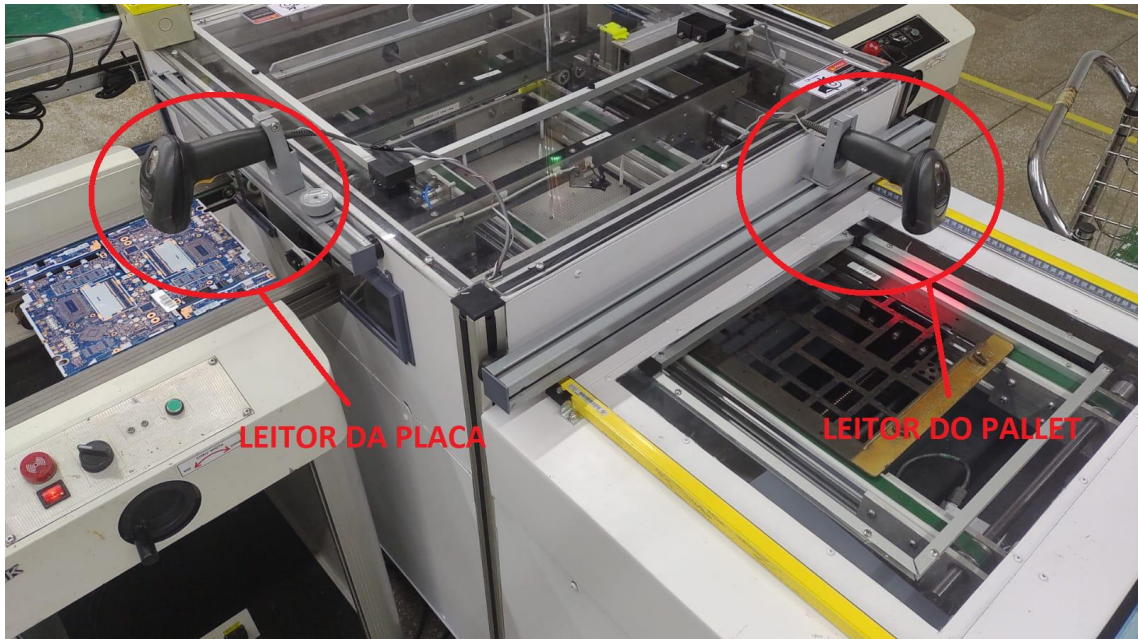


Fonte: (Autor, 2022).

4.1.3 Instalação dos leitores das etiquetas

Os leitores de código de barras foram fixados nas entradas da máquina, de forma que podem ser ajustados conforme a localização da etiqueta dos diferentes produtos. O operador é responsável por realizar o posicionamento do *pallet*, na posição correta, no primeiro leitor, para que a leitura seja feita. Para a placa, a leitura é feita de forma automática, assim que o *pallet* for identificado, como mostrado na Figura 47.

Figura 47 - Indicação dos Leitores de Código de barras.



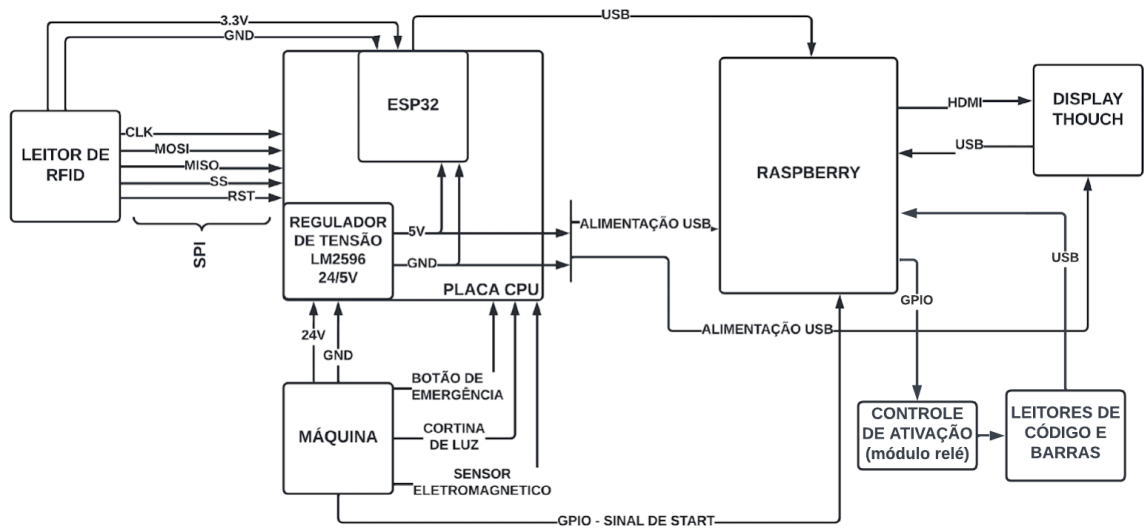
Fonte: (Autor, 2022).

4.2 Esquema de ligação elétrica

Após realizar a integração com a máquina e feitas todas as ligações elétricas, foi desenvolvido o esquema de ligação da Figura 48. Os dispositivos utilizados na montagem, são:

- A placa CPU para o ESP32 possui um regulador de tensão LM2596 que converte 24V para 5V alimentando o ESP32, o raspberry e o display touch;
- O leitor de RFID MFRC522 realiza comunicação SPI com o ESP32;
- A máquina fornece a alimentação do sistema de 24V e os sinais dos sensores de segurança;
- Raspberry realiza comunicação Serial através do cabo USB com o ESP32, recebe o sinal de operação da máquina e envia os sinais de vídeo para o display;
- Os leitores de código de barras são conectados via USB no raspberry
- O módulo de relé de ativação dos leitores, responsável para ativar os leitores ao comando do raspberry;
- Por fim, o display *touch* recebe as informações de vídeo por um cabo HDMI do raspberry e envia o sinal de touch screen através de um cabo micro USB.

Figura 48 - Esquema de ligação elétrica.

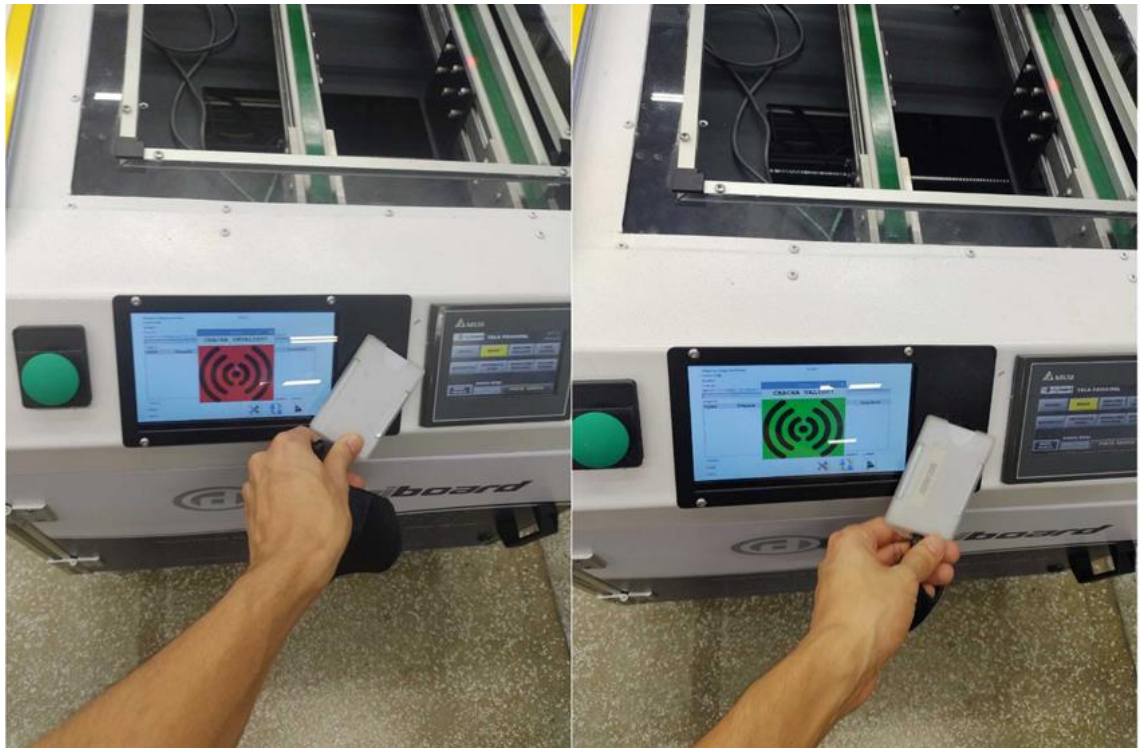


Fonte: (Autor, 2022).

4.2 TESTE DE FUNCIONALIDADE

O primeiro teste realizado no projeto foi em relação ao sistema de controle de acesso. Na Figura 49 é possível observar que ao aproximar um cartão que não possui acesso a máquina, o acesso é negado e o sistema não pode ser iniciado. Ao aproximar um cartão cadastrado o usuário é liberado para realizar o *checklist*.

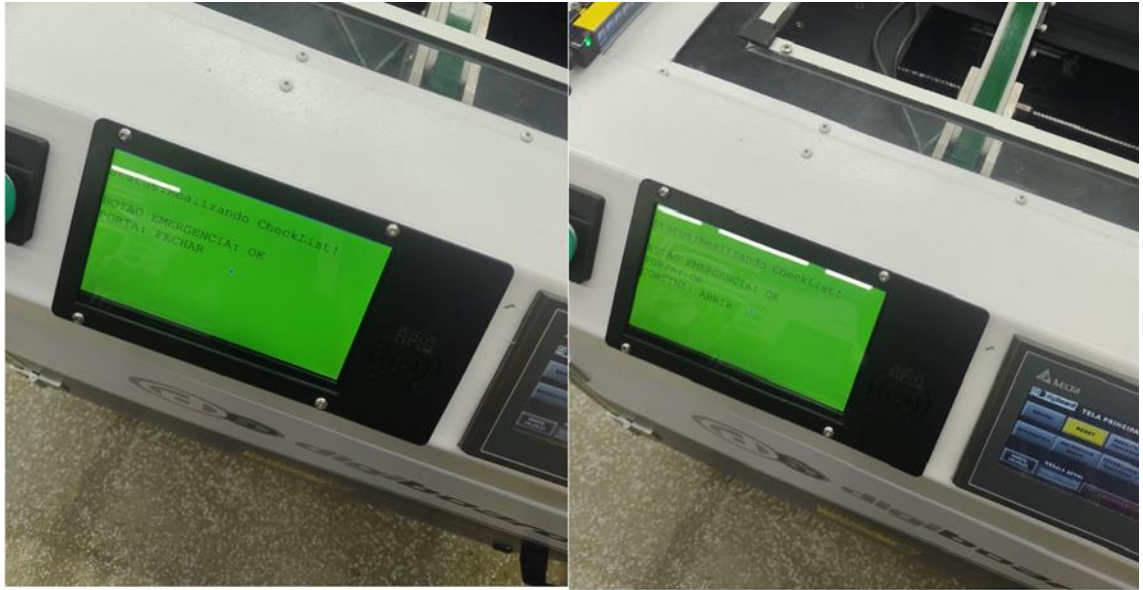
Figura 49 - Teste do sistema de validação de usuário.



Fonte: (Autor, 2022).

Na segunda etapa de teste foi realizado o *checklist* do sistema de segurança. Foi verificado as informações presentes na tela e feito o *checklist* de acordo com as instruções solicitadas, conforme a Figura 50.

Figura 50 - Teste do Sistema de checklist.



Fonte: (Autor, 2022).

Após a realização do teste do *checklist* de segurança, a interface entra no modo de operação, finalizando o procedimento de *Setup*. O processo se inicia com o posicionamento do *pallet*, visto na figura 51 (a), embaixo do leitor, realizando a leitura da etiqueta, se o código for válido, o leitor da placa é ativado e por fim, é feita a validação entre o *pallet* a placa, Figura 51 (b). O processo de leitura ocorre durante 3 segundos.

Figura 51- Teste de leitura das etiquetas.



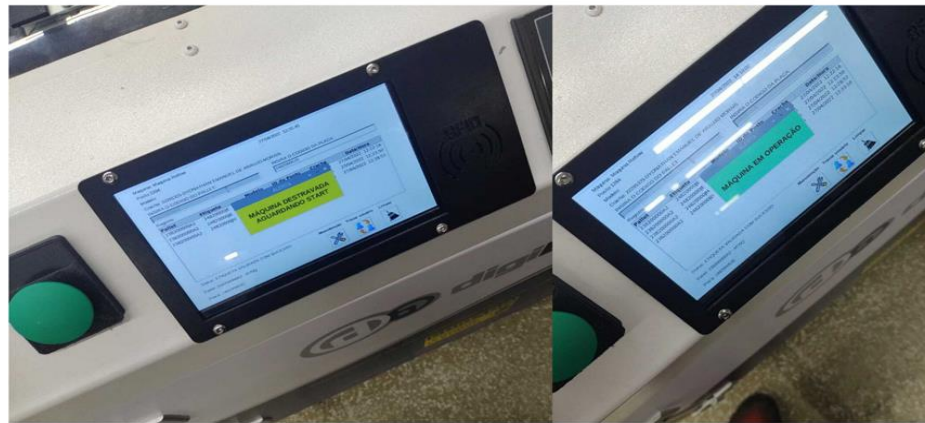
(a)

(b)

Fonte: (Autor, 2022).

Após a leitura e validação das etiquetas, a máquina se iniciará automaticamente. Se houver algum erro na máquina e a rotina não iniciar, é solicitado ao operador que pressione o botão *start*, visto Figura 52 (a), para dar início ao processo da *transfer*. A informação de início da máquina é visto na Figura 52 (b).

Figura 52 - Modo de operação.



(a)

(b)

Fonte: (Autor, 2022).

E por fim o ciclo, com o ciclo finalizado com a placa sobre o pallet, realizando o registro da associação, visto na Figura 53. O ciclo do processo da máquina tem duração de 18 segundos. No momento que o *pallet* é posicionado até o fim do ciclo, passam 22 segundos.

Figura 53 - Finalização do processo.



Fonte: (Autor, 2022).

4.3 OBSERVAÇÕES GERAIS DOS RESULTADOS

Muitos sistemas de rastreabilidade presente no mercado, fazem, somente, a leitura do produto em processo em um posto. As vantagens do sistema desenvolvido incluem, realizar uma comunicação para o controle da máquina, realizar a rastreabilidade e a validação do produto, permitindo com que somente os produtos corretos e cadastrados realizem a operação daquela máquina.

O custo total do sistema foi de R\$1.451,60, no ano de 2022. Os custos dos componentes utilizados podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3 - Custo do projeto.

Custo do projeto		
Unidade	Componente	Preço
1	ESP32 DEVKIT V3	R\$ 44,90
1	Raspberry PI 3 B+	R\$ 599,90
1	Tela LCD Touch 7 inch	R\$ 559,00
2	Regulador LM2596	R\$ 25,90
1	Leitor de RFID MFRC522	R\$ 21,90
1	Componentes da placa	R\$ 200,00
Total		R\$ 1.451,60

Fonte:(Autor, 2022).

Na linha de produção, os postos utilizam notebooks conectados diretamente ao SFCS, para realizar a rastreabilidade. A única função de um notebook é realizar a leitura do código de barras dos produtos. Com o desenvolvimento do projeto, foi feito um sistema que substitui o notebook e acrescenta integração com a máquina. A Figura 54 ilustra como é feita a rastreabilidade na linha de produção utilizando um notebook.

Figura 54 - Rastreamento realizado em um computador.

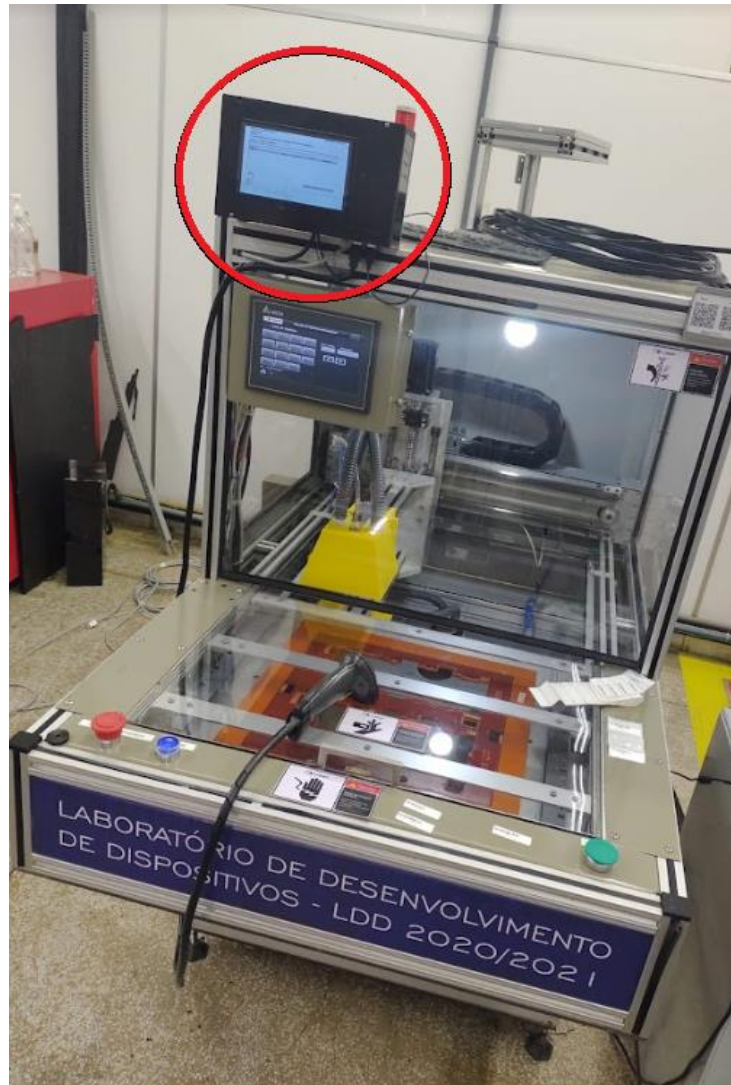


Fonte: (Autor, 2022).

O sistema foi projetado para que seja facilitado a adaptação para diferentes tipos de máquinas, necessitando apenas alterações no software, para que o hardware não seja modificado, dito isto, o sistema foi instalado em uma segunda máquina que possui funcionalidade diferente, a máquina de limpeza de placas, que realiza a limpeza das impurezas presentes na placa após o processo de corte.

Na Figura 55 é destacado a instalação, do sistema desenvolvido, na máquina de limpeza, sendo ajustado para a rotina da máquina.

Figura 55 - Sistema instalado na máquina de limpeza



Fonte: (Autor, 2022)

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto, indicam que é possível desenvolver um sistema integrado aplicando os conceitos de Indústria 4,0 sendo possível identificar os elementos de Automação, Etiquetas RFID, QRCODE, Comunicação Máquina a Máquina, Integração de Sistemas, Internet das Coisas (IoT) e sistemas Ciber-Fiscos com o foco em rastreabilidade, validação de acesso e segurança de máquinas seguindo os padrões solicitados pela NR 12.

Os objetivos específicos estabelecidos foram os seguintes: projetar um sistema embarcado que possua o controle de acesso a máquina utilizando leitor de RFID, desenvolver uma interface embarcada em um raspberry de modo a realizar a leitura das etiquetas de código de barras dos produtos, realizar a validação se o produto deve ser processado na máquina, informa o *status de* operação da máquina ao colaborador e monitorar e registrar o funcionamento dos sensores de segurança da máquina foram todas concluídas. Foi concluído, então, um novo sistema de rastreabilidade que tem interação com outros dispositivos de acordo com as propostas estabelecidas, realizando uma integração de sistemas. Portanto, todos os objetivos supracitados foram atingidos.

O projeto desenvolvido, vem com uma proposta de se tornar um sistema padrão de rastreabilidade integrado às máquinas industriais. Como foi visto, foi possível realizar a instalação em duas máquinas distintas que possuem funcionalidade diferente, alcançando o principal objetivo deste trabalho.

Este trabalho tem a possibilidade de prosseguir com melhoramento do sistema na montagem de um segundo protótipo, principalmente com exclusão do ESP32, pois o Raspberry pode realizar as funções do microcontrolador, reduzindo o hardware envolvido. Outra melhoria que pode ser feita é a extinção remoção do IHM da máquina. Por conta da integração posterior ao desenvolvimento da máquina, a máquina apresentou duas telas de operação, uma para o controle de produtos (raspberry), e a outra para o controle de máquina (IHM). Como a interface embarcada no raspberry pode realizar o controle da máquina, através da API, a IHM pode ser substituída pela interface em python.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação: Referências**. Rio de Janeiro, p. 24. 2002.

COCCUZZO, David. **IMPLANTACAO E ADEQUACAO DA NORMA REGULAMENTADORA NR12 EM SETORES DE PRENSAS E INJETORAS DE ALUMINIO**. Revista Terceiro Setor & Gestão de Anais-UNG-Ser, v. 13, n. 1, p. 17-26, 2019.

Comparação Entre Protocolos de Comunicação Serial. Robocore, 2016. Disponível em:<<https://www.robocore.net/tutoriais/comparacao-entre-protocolos-de-comunicacao-serial.html>>. Acesso em: 12 de abril de 2022.

DIAS, Gustavo Coser Monteiro. **ADEQUAÇÃO à NR12. SITEFA-Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho**, v. 4, n. 1, p. 158-165, 2021.

Drive de instalação para Tela LCD HDMI Touch Screen. Disponível em: http://www.lcdwiki.com/7inch_HDMI_Display-B

Guia de primeiros passos do ESP32-DevKitC. SPRESSIF, 2019. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw_reference/esp32/get-started-devkitc.html>. Acesso em: 12 de abril de 2022.

LIMA, Leandro; PETRICA, Eder. **Protocolo HTTP**. 2010

MARCIANO, Erica Moreira et al. **INDÚSTRIA 4.0–INTEGRAÇÃO DE SISTEMA**. Revista Pesquisa e Ação, v. 5, n. 1, p. 75-92, 2019.

NETO, Gabriel et al. **Desenvolvimento de Um Sistema de Monitoramento de Máquinas CNC Utilizando Conceitos da Indústria 4.0**. 2022.

OLIVEIRA, André Henrique et al. **Aplicações de automação em IOT–Internet of Things**. Revista Científica e-Locução, v. 1, n. 10, p. 19-19, 2016.

OLIVEIRA, Clayton Abel de. **Estudo de viabilidade técnica na implementação de sistemas de rastreabilidade num processo de usinagem de eixos**. 2020.

OREST, Yan. **O que é TCP, UDP e quais as diferenças?**. 2019. Disponível em:<
https://www.alura.com.br/artigos/quais-as-diferencas-entre-o-tcp-e-o-udp?gclid=CjwKCAjwj42UBhAAEiwACIhADhbH7kk6fxjRXXKglleE3t-5meStc-Rv-pOxkGFfb9G1MSbnrJqEA8hoCKb8QAvD_BwE>. Acesso em: 15 de abril de 2022.

Rastreabilidade, o que é e qual a sua importância? SANKHYA, 2020. Disponível em:<
<https://www.sankhya.com.br/blog/rastreabilidade/#:~:text=Rastreabilidade%20%C3%A9%20o%20acompanhamento%20de,padr%C3%B5es%20de%20controle%20de%20qualidade.>>. Acesso em: 16, abril de 2022.

SACOMANO, José Benedito et al. **Indústria 4.0**. Editora Blucher, 2018. ou Sacomano, J. B., Gonçalves, R. F., Bonilla, S. H., da Silva, M. T., & Sátyro, W. C. (2018). *Indústria 4.0*. Editora Blucher.

SALLES, Rafael Pace da Silva. **Sistema supervisorio de automação via protocolo de comunicação MODBUS TCP/IP**. 2018.

SANTOS, Bruno P. et al. **Internet das coisas: da teoria à prática**. 2016.

SCHMITT, Peterson Ricardo Maier. **Aplicação web utilizando api google maps**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SILVA, Helena Schubert IL. **API REST na plataforma A-CDM**. 2019.

SOARES, Inaiê Alves et al. **Sistema de monitoramento remoto de grandezas elétricas baseado em microcontrolador utilizando protocolo TCP/IP**. 2019.