

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS - CARVI
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

DANIEL DA SILVA WAGNER

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO
E COLETA DE DADOS DE PRODUÇÃO APLICADO EM COLADEIRA
DE BORDAS**

**BENTO GONÇALVES
2022**

Daniel Da Silva Wagner

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO
E COLETA DE DADOS DE PRODUÇÃO APLICADO EM COLADEIRA
DE BORDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Me. Felipe Augusto Tondo

**Bento Gonçalves
2022**

Ficha catalográfica.

DA SILVA WAGNER, Daniel

Desenvolvimento de um protótipo para monitoramento e coleta de dados de produção aplicado em coladeira de bordas/Daniel Da Silva Wagner; Orientador: Prof. Me. Felipe Augusto Tondo

81 folhas, 30 cm.

Trabalho de conclusão do curso de CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA — Universidade de Caxias do Sul, Campus Universitário da Região dos Vinhedos - CARVI ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA, 2022

Inclui referências bibliográficas.

1. Aquisição de dados. Indústria moveleira. Dados de produção. Coladeira de Borda . I. REFERENCIAR ORIENTADOR II. Universidade de Caxias do Sul. III. Desenvolvimento de um protótipo para monitoramento e coleta de dados de produção aplicado em coladeira de bordas.

Daniel Da Silva Wagner

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO
E COLETA DE DADOS DE PRODUÇÃO APLICADO EM COLADEIRA
DE BORDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado no Campus Universitário da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Me. Felipe Augusto Tondo

Aprovado em: 07/12/2022

Banca Examinadora

Prof. Me. Felipe Augusto Tondo (orientador)
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Me. Ricardo Leal Costi
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dra. Marilda Machado Spindola
Universidade de Caxias do Sul - UCS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente pelas inúmeras bênçãos concedidas, aos meus pais, Ildo Wagner e Leonete Wagner, e a minha irmã Andreia Wagner, que sempre estiveram do meu lado oferecendo auxílio e apoio incondicional.

Agradeço também ao carinho, apoio e paciência de minha companheira, amiga e namorada, Erica Scheuer, aos seus pais, Anir Scheuer e Lucy Scheuer e sua irmã Bruna Scheuer pelos conselhos e auxílios ao longo dessa caminhada.

A empresa Dalmóbile, em especial ao Sr. Juvenal Dalcin e Romeu Dalcin por propiciarem oportunidade de crescimento e aprendizado ao longo dos anos de serviço prestado. Aos meus colegas de trabalho, em especial, ao amigo Emerson Bohrer pelo auxílio e compartilhamento de informações.

Agradeço ao Prof. Me Felipe Augusto Tondo pelas orientações ao longo desse trabalho e da graduação, aos demais professores e colegas do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Caxias do Sul, pelos bons momentos de troca de informações e aprendizado.

RESUMO

As indústrias estão sujeitas a constantes preocupações de aproveitamentos de matéria-prima e mão-de-obra. Em sua maioria, as empresas procuram acompanhar os dados referentes ao processo com intuito de mitigar desperdícios. A coleta de dados de produção das máquinas é, normalmente, feita de forma manual, tornando as medições suscetíveis a erros e apontamentos retroativos, dificultando o entendimento e tomada de decisões no momento certo. No campo da produção moveleira, uma das etapas importantes no processo é a colagem de borda (tarefa indispensável e que atribui uma importante parcela na formação do custo final do móvel). Dessa forma, torna-se fundamental acompanhar o desempenho de alguns indicadores de produção dos equipamentos desse processo. Essa necessidade revela a importância do desenvolvimento de mecanismos inteligentes capazes de monitorar em tempo integral dados do ambiente de produção. Com o objetivo de acompanhar as informações do processo de fabricação, esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo capaz de monitorar e coletar dados de produção de uma máquina coladeira de bordas. O sistema implementado é capaz de disponibilizar parâmetros de demanda de potência elétrica, quantidade de peças produzidas e metros lineares produzidos, coletados de forma automatizada. O protótipo também possibilita apontamentos de forma manual através do terminal e ainda envia os dados coletados para consulta remota, possibilitando análises de desempenho no software Power BI. O protótipo propicia à empresa o registro e estudo de dados, criando históricos do equipamento e contribuindo para posicionamentos estratégicos e melhor aproveitamento do ativo.

Palavras-chave: Aquisição de dados. Indústria moveleira. Dados de produção. Coladeira de Borda .

ABSTRACT

Industries are subject to constant concerns about the use of raw materials and labor. For the most part, companies seek to monitor the data relating to the process in order to mitigate waste. The collection of machine production data is usually done manually, making measurements susceptible to errors and retroactive notes, making it difficult to understand and make decisions at the right time. In the field of furniture production, one of the important steps in the process is edge gluing (an essential task that plays an important part in the formation of the final cost of the furniture). Thus, it is essential to monitor the performance of some production indicators of the equipment in this process. This need reveals the importance of developing intelligent mechanisms capable of full-time monitoring of data from the production environment. In order to monitor the manufacturing process information, this work presents the development of a prototype capable of monitoring and collecting production data from an edge banding machine. The implemented system is able to provide parameters of electrical power demand, quantity of produced parts and linear meters produced, collected in an automated way. The prototype also allows for manual notes via the terminal and even sends the collected data for remote consultation, enabling performance analysis in the Power BI software. The prototype enables the company to record and study data, creating equipment histories and contributing to strategic positioning and better use of the asset.

Keywords: Data acquisition. Furniture industry. Production data. Edge gluer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hierarquia da pirâmide da automação industrial	17
Figura 2 – Partes da máquina coladeira de bordas EDGETEQ S-500 profiLine.	21
Figura 3 – Aquisição e tratamento de dados	23
Figura 4 – Sensores, blocos de funcionamento	25
Figura 5 – Sensor PNP e NPN- Esquemas de ligação 3 e 4 fios	25
Figura 6 – Sequência de acionamento encoder incremental	26
Figura 7 – Estrutura microcontrolador ESP 32	28
Figura 8 – Configuração de um SGBD simplificado.	31
Figura 9 – Conjunto de comandos SQL.	32
Figura 10 – União de dados <i>dashboard</i>	33
Figura 11 – Diagrama de blocos das etapas de funcionamento	34
Figura 12 – Sinais monitorados medição de peça	35
Figura 13 – Sinais monitorados medição de borda	36
Figura 14 – Circuito leitura das entradas digitais de sensores	38
Figura 15 – Circuito leitura do canal do Encoder	39
Figura 16 – Sensor SCT-013 100A	39
Figura 17 – Circuito condicionador SCT-013 100A	40
Figura 18 – Circuito condicionador de tensão	42
Figura 19 – Circuitos de condicionamento, aquisição e comunicação dos dados do protótipo.	44
Figura 20 – Configuração utilizada para aferição das leituras de corrente	45
Figura 21 – Verificação fase R,S,T, corrente multímetro x valor corrente lida e convertida	45
Figura 22 – Configuração utilizada para aferição das leituras de tensão	46
Figura 23 – Curva de calibração fases R,S,T, tensão multímetro x valor AD	47
Figura 24 – Calibração Encoder	48
Figura 25 – Projeto do pedestal para display e Raspberry Pi	49
Figura 26 – Local de instalação da placa de condicionamento	49
Figura 27 – Fluxograma código ESP 32	50
Figura 28 – Fluxograma <i>software</i> do terminal	51
Figura 29 – Formato das tabelas construídas no banco de dados	52
Figura 30 – Pedestal construído para Raspberry Pi e <i>display</i>	53
Figura 31 – Tela do Coletor de dados	54
Figura 32 – <i>Dashboard</i> tela produção	55
Figura 33 – <i>Dashboard</i> tela de análises	56
Figura 34 – Motivos de parada 09/11/2022 a 11/11/2022	57
Figura 35 – Produção 10/11/2022 a 11/11/2022	58
Figura 36 – Média de produção 14/11/2022 a 18/11/2022	59
Figura 37 – Disponibilidade 14/11/2022 a 18/11/2022	60

Figura 38–Motivos de parada 14/11/2022 a 18/11/2022	61
Figura 39–Tempo produtivo e tempo improdutivo 14/11/2022 a 18/11/2022 . . .	61
Figura 40–Metros de peça x metros de borda 14/11/2022 a 18/11/2022	62
Figura 41–Consumo de energia dia 14/11/2022 a 18/11/2022	63
Figura 42–Sinal entrada Digital	76
Figura 43–Sinal de saída do circuito leitura do encoder	77
Figura 44–Formato da ligação do protótipo ao equipamento	78
Figura 45–Raspberry Pi e <i>display touch screen</i>	78
Figura 46–Esquemático completo	79
Figura 47–Mesa pantográfica antes da reforma	80
Figura 48–Mesa pantográfica depois da reforma	80
Figura 49–Multímetro Fluke 325	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo microcontroladores	29
Tabela 2 – Características Raspberry Pi 3 Model B+	30
Tabela 3 – Sinais monitorados	37
Tabela 4 – Valores verificados fase R	70
Tabela 5 – Valores verificados fase S	71
Tabela 6 – Valores verificados fase T	72
Tabela 7 – Função de transferência fase R	73
Tabela 8 – Função de transferência fase S	74
Tabela 9 – Função de transferência fase T	75
Tabela 10 – Calibração encoder	77

LISTA DE SIGLAS

ABS	<i>Acrilonitrila Butadieno Estireno</i>
AC	<i>Corrente alternada</i>
ADC	<i>Conversor analógico - digital</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
APP-CPU	<i>Unidade de Processamento Central Aplicativo</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
BP	<i>Baixa Pressão</i>
CI	<i>Circuito integrado</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
CNC	<i>Comando numérico computadorizado</i>
DC	<i>Corrente contínua</i>
DCL	<i>Data Control Language</i>
DDL	<i>Data Definition Language</i>
DMA	<i>Memória de Acesso direto</i>
DML	<i>Data Manipulation Language</i>
DQL	<i>Data Query Language</i>
DSI	<i>Interface de display serial</i>
DTL	<i>Data Transaction Language</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
EVA	<i>Ethylene Vinyl Acetate</i>
FF	<i>Finish Foil</i>
IDE	<i>Ambiente de desenvolvimento integrado</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JIT	<i>Just-in-time</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MMU	<i>Unidade de Gerenciamento de Memória</i>
NA	<i>Normal aberto</i>
NF	<i>Normal Fechado</i>
NPN	<i>Negativo-Positivo-Negativo</i>
PCP	<i>Planejamento e Controle da Produção</i>
PNP	<i>Positivo-Negativo-Positivo</i>

PO	<i>Polioléfina</i>
PUR	<i>Poliuretano Reativo</i>
PRO-CPU	<i>Unidade de Processamento central de Protocolo</i>
PVC	<i>Policloreto de Vinila</i>
RFID	<i>Radio Frequency IDentification</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SGBD	<i>Ambiente de desenvolvimento integrado</i>
SQL	<i>(Structure English Query Language</i>
TC	<i>Transformador de corrente</i>
UART	<i>Universal asynchronous receiver/transmitter</i>
VAC	<i>Tensão em corrente alternada</i>
VDC	<i>Tensão em corrente contínua</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3	ESCOPO E RESTRIÇÕES	15
1.4	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	ESTRUTURA DA INDÚSTRIA 4.0	17
2.1.1	TECNOLOGIAS APLICADAS A INDÚSTRIA 4.0 NO RAMO MOVELEIRO	18
2.2	MÁQUINA COLADEIRA DE BORDAS-APRESENTAÇÃO E FUNCIONAMENTO	20
2.2.1	Componentes do equipamento	20
2.3	SISTEMAS DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS	23
2.3.1	SENSORES	23
2.3.2	Sensores foto reflexivos e indutivos — Características e funcionamento	24
2.3.3	Encoders	25
2.3.4	Tipos de medidores de corrente	26
2.3.5	Tipos de medidores de tensão	27
2.4	MICROCONTROLADORES	28
2.4.1	ESP32	29
2.5	MINI COMPUTADOR RASPBERRY	30
2.6	ACESSO REMOTO	30
2.6.1	Banco de dados	31
2.6.2	Painel de visualização remota (<i>dashboard</i>)	33
3	METODOLOGIA DO TRABALHO	34
3.1	PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE SINAIS DA MÁQUINA	34
3.1.1	Sinais e sensores monitorados	35
3.1.2	Condicionamento dos sinais monitorados	37
3.2	INTERFACE DE APONTAMENTO MANUAL	42
3.3	ACESSO REMOTO E SERVIDOR WEB	43
3.4	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	44
3.4.1	Prototipagem e validação do <i>hardware</i> de condicionamento de sinais elétricos	44
3.4.2	Construção do painel com <i>display</i> e formato de ligação dos <i>hardwares</i>	48
3.4.3	Implementação do <i>software</i> de monitoramento, banco de dados e <i>dashboard</i>	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO E ENSAIO INICIAL DE FUNCIONAMENTO	53
4.2	ANÁLISE ESTENDIDA DO FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO	59
4.2.1	Dados de produção	59
4.2.2	Dados de consumo de energia e potência	62
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	64

REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE A	70
APÊNDICE B	73
APÊNDICE C	76
APÊNDICE D	77
APÊNDICE E	78
APÊNDICE F	80
ANEXO A	81

1 INTRODUÇÃO

Em virtude da crescente preocupação em otimizar a utilização da matéria-prima, insumos e mão-de-obra, se faz necessária a inserção de mecanismos inteligentes capazes de acompanhar e armazenar dados referentes aos processos de produção. Com o surgimento das demandas de eficiência produtiva, o conceito da indústria 4.0, também denominada como A Quarta Revolução industrial, permite a integração de tecnologias de comunicação e controle com o processo de produção. Essa união propicia ganhos de produtividade, qualidade, e um melhor gerenciamento, proporcionando análises capazes de reposicionar estratégico e competitivamente as empresas (COELHO, 2019).

Para Sacomano et al. (2018), a indústria conectada na prática necessita de equipamentos com capacidade de conexão à internet. Nessa perspectiva, a IoT (*Internet of Things*), ou internet das coisas, tem como premissa a conexão de objetos. Essa tecnologia envolve a interação entre os diferentes sistemas conectados a rede. De forma semelhante, Santos et al. (2018) menciona que a indústria busca conectar os sistemas físicos ou equipamentos mensuráveis à internet. A implantação da indústria 4.0 necessita da interação entre alguns sistemas do meio produtivo. Iniciando com sensores e atuadores até os sistemas integrados de controle e manufatura (CONCEITO.DE., 2013).

Para monitorar as condições de equipamentos são necessários sensores, cuja função é detectar ações ou determinados estímulos externos e transformar em grandezas físicas, químicas, ou elétricas (CONCEITO.DE., 2013). A leitura das grandezas elétricas medidas pelos detectores pode ser enviada ao CLP (controlador lógico programável) ou CNC (comando numérico computadorizado), responsáveis por condicionar e tratar estes sinais elétricos, além de armazenar instruções para executar funções e controlar atuadores e conjuntos mecanizados específicos (CRAVO, 2022).

Considerando as novas tecnologias de conectividade, a indústria exerce papel fundamental no desenvolvimento e implementação, seja para monitoramento da produção ou mesmo dos equipamentos e máquinas nos mais diversos setores de manufatura (COELHO, 2019). Segundo Abimovel (2020), o setor moveleiro brasileiro é composto por cerca de 18,5 mil empresas, gerando mais de 270,3 mil empregos diretos e indiretos. Os dados listam o país como o 6^o maior produtor mundial. Os volumes financeiros de exportação chegaram a US\$ 644,0 milhões, deste total, 35% tem como destino os Estados Unidos. O segundo maior importador do mobiliário brasileiro é o Reino Unido, com 10%, seguidos de Uruguai e Peru, 7,8% e 5,7%, respectivamente. Vale destacar a participação do polo moveleiro de Bento Gonçalves. Conforme Solda (2021), no ano de 2019, a participação representava 26,7% do total do segmento gaúcho, passando para 27,2% em 2020 e atingindo 29% em 2021, números esses que expressam a importância e o potencial do setor na região.

Diante do contexto apresentado, este trabalho propõe o desenvolvimento de um pro-

tótipo capaz de monitorar e coletar dados relacionados ao processo de produção de uma máquina coladeira de bordas, disponibilizando essas informações remotamente para tratativa e análise.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral a implementação de um protótipo capaz de monitorar as condições de operação de uma máquina coladeira de bordas. Além disso, o protótipo compreende uma interface com o usuário e a disponibilização das informações da máquina utilizando o *software* Power BI.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, é necessário o desenvolvimento dos seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo das tecnologias aplicadas a indústria 4.0 no ramo moveleiro;
- Desenvolver o projeto elétrico e confeccionar a placa para aquisição dos sinais monitorados;
- Desenvolver o algoritmo utilizado na placa de aquisição de sinais;
- Desenvolver o banco de dados para armazenamento, projetar e montar o *dashboard* em Power BI para exibição das informações coletadas pelo protótipo;
- Projetar e construir o terminal de interface com o usuário;
- Instalar o protótipo, realizar os testes e validações do trabalho na máquina coladeira de bordas escolhida.

1.3 ESCOPO E RESTRIÇÕES

Com finalidade de restringir aos objetivos específicos, o protótipo a ser desenvolvido nesse trabalho terá seu funcionamento restrito à coladeira de bordas escolhida marca HOMAG modelo EDGETEQ S-500 profiLine.

1.4 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, o primeiro capítulo trata a introdução do assunto abordado. O segundo capítulo apresenta a literatura para embasamento das teorias necessárias para desenvolvimento do protótipo. O capítulo três apresenta

os métodos para desenvolvimento do protótipo de monitoramento e coleta de dados da coladeira de bordas. O quarto capítulo trata dos resultados alcançados após o desenvolvimento e testes do protótipo. O quinto capítulo conclui o trabalho embasado nos resultados obtidos.

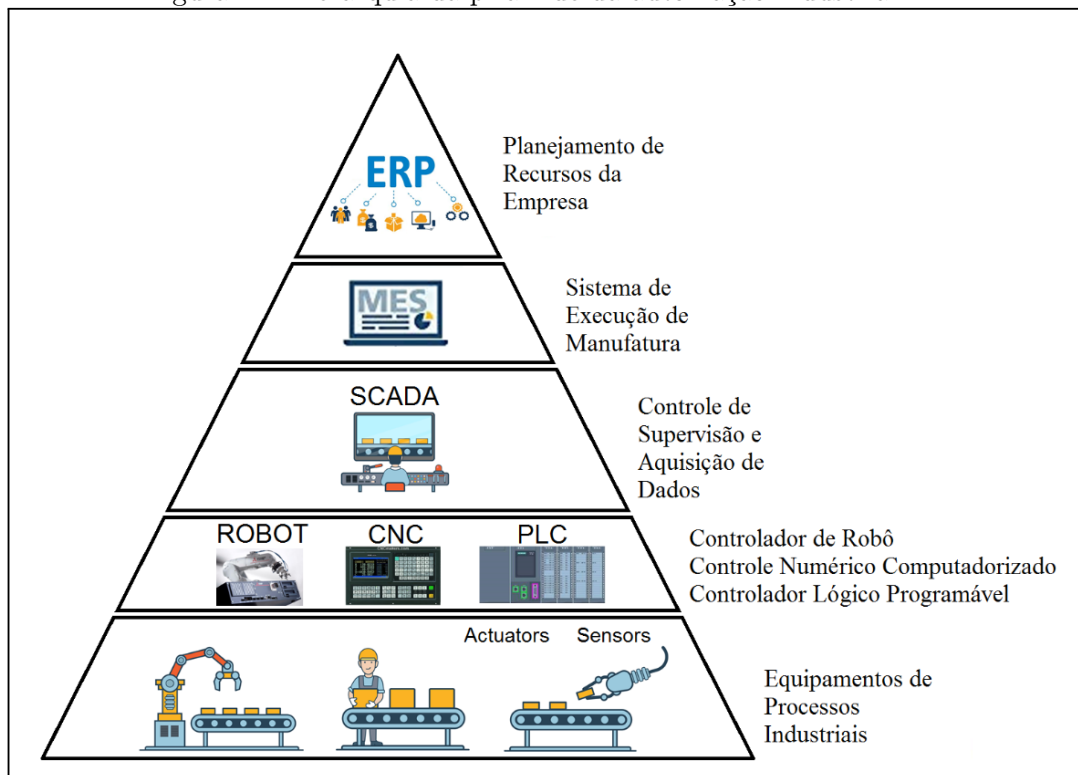
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados alguns conceitos sobre máquinas do tipo coladeira de bordas, assim como o processo de colagem realizado pelo equipamento. O referencial teórico também apresentará as características técnicas do equipamento, bem como uma breve pesquisa sobre a indústria.

2.1 ESTRUTURA DA INDÚSTRIA 4.0

A indústria 4.0 necessita da interação entre alguns sistemas do meio produtivo, deste modo, pode-se dividi-la em 5 níveis: o primeiro é compreendido pelos sensores e atuadores, o segundo é composto pelo CLP (Controlador Lógico programável), responsável por receber os dados dos sensores e transformá-los em grandezas conhecidas. O terceiro nível é conhecido como SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ou sistema de supervisão e aquisição de dados, o quarto nível é o do MES (Manufacturing Execution System) ou sistemas de execução de manufatura. O quinto nível é o denominado ERP (Enterprise Resource Planning) ou planejamento dos recursos da empresa (CONCEITO.DE., 2013). Uma ideia de funcionamento da hierarquia do processo de automação industrial pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Hierarquia da pirâmide da automação industrial



Fonte: Dornelles (2021).

Após a aquisição de dados é possível realizar diversas análises, desde que exista uma manipulação e união das informações. O sistema automático para esse propósito é denominada SCADA. Esse tipo de *software* tem a finalidade de supervisionar e adquirir os dados colhidos pelo CLP ou CNC, podendo também controlar algumas variáveis do processo. Além de acompanhá-los, o SCADA pode armazenar e disponibilizar estes dados para consulta, proporcionando intervenções de forma manual ou automática. A exibição dos dados pode ser apresentada em gráficos, consultas a dados, sinalização de falhas e alarmes de forma associada (FAGUNDES, 2021).

A automação das intervenções depende de um sistema de execução de manufatura (MES) responsável por sincronizar as atividades fabris em tempo real, fornecendo verificações de desempenho. Além de possibilitar o rastreamento de lotes e de informações detalhadas do produto, coletam e despacham eletronicamente ordens ou instruções de trabalho para o pessoal do chão de fábrica (SIEMENS, 2022). Por fim, a última interação entre os elementos da indústria 4.0 é feita pelo ERP, que possibilita a integração de todas as áreas organizacionais de uma empresa em um único sistema, sejam sistemas de contabilidade, estoque, comercial, RH, produção, entre outras, com foco no registro de dados (CRUZ et al., 2021).

2.1.1 TECNOLOGIAS APLICADAS A INDÚSTRIA 4.0 NO RAMO MOVELEIRO

A quarta revolução industrial evidencia a necessidade de entrega de informações em tempo real nos parques fabris, trata-se de um conjunto de tecnologias para tornar a indústria mais eficiente e inteligente. Entretanto, a adoção dessas novas tecnologias exige empenho, visto que existem dificuldades de implementação e visualização de benefícios, necessitando de capital humano para desenvolvimento, planejamento e principalmente análise (GAZIERO; CECCONELLO, 2019).

Um dos pilares da indústria 4.0 é a simulação computacional. Gaziero e Cecconello (2019) desenvolveram e validaram uma metodologia utilizando conceitos já existentes na indústria tradicional como o *Lean production*,¹ aliada a simulações de eventos discretos². Com a ferramenta do *Lean production* foram verificados problemas existentes, procurando fórmulas para sua correção.

A fim de mitigar problemas em um cenário futuro, foram utilizadas simulações de fluxo de produção para redução de atividades desnecessárias ou que não agregam valor. Ainda, os autores empregaram esses conceitos em uma indústria de móveis, em um processo de

¹Filosofia de melhoria de produção, sua premissa é a redução de desperdícios (GAZIERO; CECCONELLO, 2019).

²Modelagem da operação de um sistema como uma sequência de eventos discretos no tempo. Cada evento ocorre em um determinado instante de tempo e marca uma mudança de estado no sistema (GAZIERO; CECCONELLO, 2019).

pintura considerado gargalo de produção, obtiveram melhora de 19% na produtividade aplicando as correções apontadas pela junção das técnicas citadas acima (GAZIERO; CECCONELLO, 2019).

No mesmo contexto, um estudo de caso realizado por Galera (2020), sobre práticas da indústria 4.0, elencou os pontos de aplicação dos conceitos da quarta revolução industrial, atribuindo percentuais com base em um desempenho ideal esperado pela empresa. A indústria moveleira com cerca de 200 funcionários está situada no estado do Paraná. O estudo concluiu que o conhecimento dos dados fabris em tempo real resultou em apenas 20% da meta ideal. Outra prática empregada pela quarta revolução industrial, analisado por Galera (2020) foi a de IoT. Na empresa analisada, mesmo com máquinas conectadas à internet, faltam meios para comunicação entre os equipamentos e integrações com sistemas, funcionários e *softwares*. Para esse estudo de caso, o conceito de internet das coisas representou 30% de adesão perante ao total esperado.

Ainda, segundo Galera (2020), a técnica mais aplicada na indústria moveleira é a de fluxo de produção de forma digital. Trata-se da otimização da compra com fornecedores sob demanda, e da produção dos produtos aplicando métodos de JIT (just-in-time) cujo intuito é produzir somente a quantidade necessária para abastecer o próximo processo fabril. Outra tecnologia que se mostrou de ampla utilização foi a de armazenamento em nuvem, representando 70% de adesão sobre o esperado. O estudo feito revelou que a indústria do ramo moveleiro em questão atingiu um índice percentual de desempenho em práticas da indústria 4.0 em torno de 48%, ou seja, embora os conceitos da quarta revolução industrial sejam amplos, a difusão da tecnologia, principalmente nas áreas de fluxo de informação e comunicação, e a de IoT precisam de ações para atingir maior alcançabilidade.

Diversas empresas moveleiras estão iniciando estudos voltados para a quarta revolução industrial. Recentemente, segundo Dornelles e Kerber (2022), uma indústria moveleira de porte expressivo situada em Flores da Cunha iniciou a elaboração de um Roadmap³ para identificar em quais momentos as tecnologias novas devem ser implementadas. A primeira etapa do roteiro buscou entender a maturidade dos processos e conceitos desta empresa na indústria 4.0, o segundo módulo do roteiro levantou as tecnologias para aplicar no atual processo, a conclusão dessas etapas de análise foi de utilizar a integração vertical de sistemas da empresa com os módulos MES. O terceiro módulo levantou oportunidades de melhorias prioritárias pela visão desta indústria.

³Mapa ou fluxograma que visa organizar as metas de desenvolvimento de um projeto de forma visual (DORNELLES; KERBER, 2022).

2.2 MÁQUINA COLADEIRA DE BORDAS-APRESENTAÇÃO E FUNCIONAMENTO

As máquinas coladeiras de bordas ou bordatrizes são utilizadas na produção de mobiliários. Segundo Piva (2006), são desenvolvidas para trabalhar com fitas de borda retas, perfiladas, arredondadas e softformadas⁴. Essas máquinas, através de alimentação automática de borda, realizam a fixação das fitas de borda de PVC (Policloreto de vinila), ABS (acrilonitrila butadieno estireno), lâminas de madeira, ou bordas de papel melamínico.

A aplicação da fita de borda é efetuada normalmente em madeira reconstituída do tipo MDF (Medium Density Fiberboard), trata-se de um painel formado por fibra de madeira combinada com resina sintética sob calor e pressão, ou MDP (Medium Density Particleboard) que se trata de um painel formado por partículas de madeira combinada com resina sintética sob calor e pressão. Ambos os materiais podem ser revestidos superficialmente com revestimento de BP (Baixa Pressão) ou FF (Finish Foil). Esses revestimentos cumprem função de proteção e embelezamento do MDF ou MDP (KRIEGER; WOBETO, 2021).

O processo de colagem é feito com colas do tipo EVA *Hot Melt* (Ethylene Vinyl Acetate), PO *Hot Melt* (Polioléfina) ou PUR *Hot Melt* (Poliuretano Reativo), as temperaturas de colagem podem variar de 130 a 200°C dependendo do tipo de cola e condições ambientes (JOWAT, 2021).

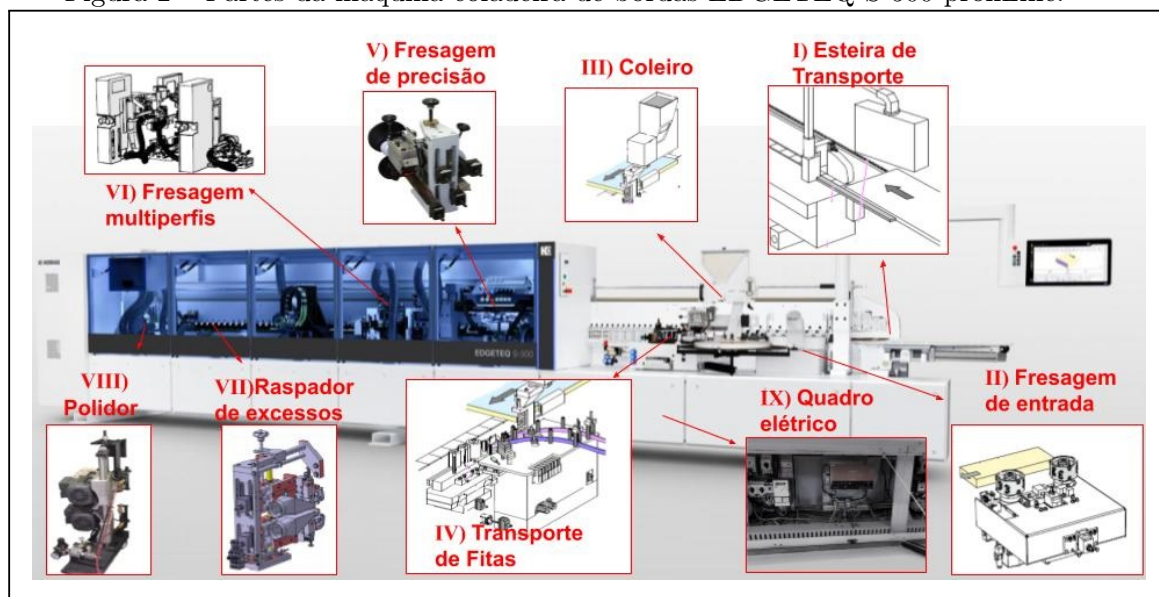
2.2.1 Componentes do equipamento

Para fazer a aplicação da fita de borda a máquina bordatriz realiza diversos processos (mecanicamente esses processos são separados) e seus sistemas são denominados grupos. Cada grupo é composto por uma junção de sistemas elétricos, pneumáticos e mecânicos, são comumente denominados grupos de colagem e grupos de acabamento. Os grupos de colagem são os responsáveis por unir a fita de borda à peça, enquanto os grupos de acabamento efetuam a remoção de excessos e tratamento final.

A Figura 2 demonstra os grupos de colagem e acabamento da peça. Cada etapa de processamento do painel de madeira segue numerada com sua respectiva descrição. Uma breve descrição das características de cada parte da coladeira de bordas pode ser observada a seguir, e auxiliará como base conceitual para o projeto do protótipo.

⁴Bordas curvas (PIVA, 2006).

Figura 2 – Partes da máquina coladeira de bordas EDGETEQ S-500 profiLine.



Fonte: Adaptado de HOMAG (2022).

- I-Esteira de transporte de peças: é responsável por conduzir a peça de madeira reconstituída para os grupos de beneficiamento. Este grupo é, basicamente, constituído por um sistema de correntes e correias com a finalidade de fornecer a estabilidade no deslocamento da peça pelos grupos. A esteira efetua a medição de velocidade através de um encoder incremental, o controle da velocidade do motor é feito por inversor de frequência, e o comprimento da peça é medido através de um sensor digital fixado no início da esteira. O cálculo de medição considera o número de pulso capturado pelo encoder, enquanto o sensor digital está acionado (EGURKO, 2008).
- II-Grupo fresagem de entrada: este grupo conta com dois motores de alta frequência, que impõem as ferramentas de fresagem cilíndricas, rotações próximas a 9000 rpm, o posicionamento da unidade é efetuado por servomotores. As peças, ainda em formato de chapas de painel com suas respectivas medidas, precisam ser retificadas antes da aplicação da fita, tornado a superfície de aplicação uniforme (IMA, 2015).
- III-Grupo coleiro: o sistema de colagem tem como finalidade derreter a cola e conduzi-la até o rolo de contato que efetivamente realiza a aplicação da cola a placa de aglomerado, a potência combinada das resistências do conjunto de derretimento é de cerca de 2kW (EGURKO, 2008).
- IV-Grupo transporte de fita de borda: é responsável pela condução da fita para o casamento e colagem na peça. A fita é pressionada por um rolo emborrachado pilotado pneumáticamente e tracionado por motor elétrico com velocidade modulada de acordo com a velocidade da esteira de transporte de peças. A quantidade de borda

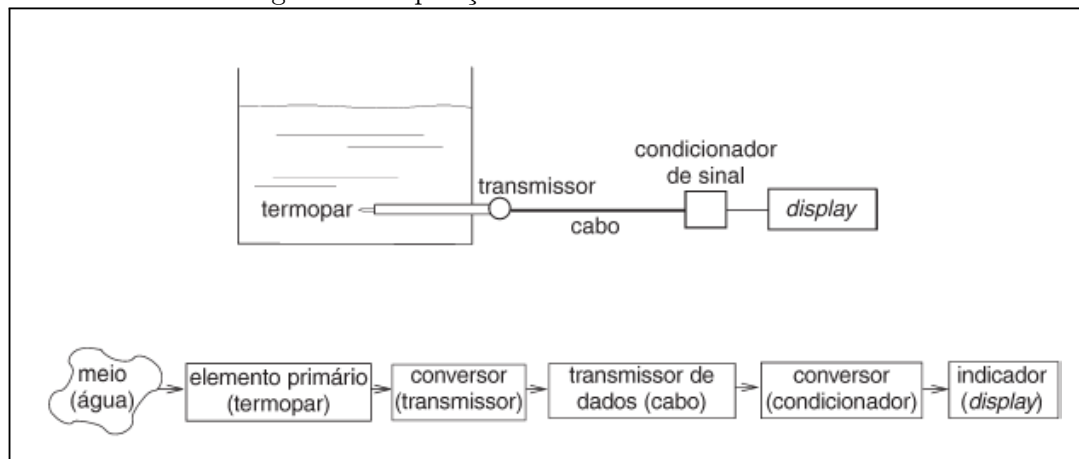
a ser enviada é respectiva ao comprimento da peça inserida na coladeira, a medição do comprimento da borda pode ser feita por encoder ou sensor digital. Por questões mecânicas, sempre são deixadas sobras na frente e atrás da peça. O corte da borda é realizado de forma mecânica por um facão pilotado pneumáticamente. Este grupo também é responsável pelo encosto da fita na peça. O encosto é feito por uma série de rolos que impõe pressão da fita contra a peça (IMA, 2015).

- V-Grupo de fresagem de precisão: também conhecido como grupo de destopo, é responsável por aparar o excesso de fita no comprimento da peça, excesso este deixado pelo grupo transportador de fita. Este conjunto conta com motores de alta frequência, com ferramentas apropriadas para a função. As regulagens de posicionamento podem ser realizadas manualmente ou de forma automática por servomotores (HOMAG, 2019).
- VI-Grupo de fresagem de multiperfis: este grupo é responsável por realizar o acabamento final da fita, retirando os excessos provenientes, instituindo a peça acabamentos arredondados. Utiliza motores de alta frequência e ferramentas adequadas ao processo, as movimentações são mecanizadas e atuadas pneumáticamente com regulagens automatizadas por servomotores (HOMAG, 2019).
- VII-Grupo raspador de excessos: o raspador de excessos tem como finalidade deixar a fita de borda nivelada com a peça, retirando quaisquer pontas de fita que restem dos processos anteriores. Este grupo não conta com servoacionamentos ou motorizações. Trata-se de um processo mecânico de raspagem, realizado por ferramentas (IMA, 2015).
- VIII-Grupo polidor: efetua a limpeza e uniformiza a fita aplicada a borda, retirando aspectos de opacidade ou riscos. Trata-se de um motor superior e um inferior à peça com um dispositivo de polir (IMA, 2015).
- IX-Alimentação e comandos elétricos e pneumáticos: a unidade de controle e comando é formada pelo computador, quadro de força elétrico e de comando. O computador é responsável pela interface entre o usuário e a máquina. No *software* utilizado nesse processo estão contidos os programas com regulagens dos grupos e cadastros dos insumos. O quadro de força e comando localizado na parte inferior do equipamento é responsável pelos acionamentos elétricos de motores e válvulas pneumáticas. O comando é efetuado pelo CLP que, além de comandar inversores, contadores, relés, recebe informações de sensores, relés de segurança e demais dispositivos. Além desses equipamentos, conta com dispositivos de proteção como relés térmicos, disjuntores motor, disjuntores, fusíveis, relés falta de fase, entre outros (IMA, 2015).

2.3 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

A aquisição de dados consiste no processo de transformação dos dados do mundo real para medição. Praticamente todos os eventos reais são de natureza analógica, ou seja, os dados orgânicos do mundo real são digitalizados em um processo que necessita de dispositivos sensores e transdutores (AGUIRRE, 2013). Esses dispositivos transdutores precisam capturar as variáveis de interesse, e transformá-las em sinal elétrico que possua relação aceitável com o mensurado, disponibilizando a um microcontrolador com capacidade de processamento, modelando o valor mensurado em grandezas físicas conhecidas. A arquitetura de aquisição e tratamento de dados pode ser observada na Figura 3 (AGUIRRE, 2013).

Figura 3 – Aquisição e tratamento de dados



Fonte: Adaptado de Aguirre (2013).

2.3.1 SENSORES

Nessa seção serão abordados conceitos básicos sobre sensores, com enfoque em dispositivos que serão mensurados pelo protótipo.

Segundo Balbinot e Brusamarello (2010), sensoriamento é um processo de transmissão de informação com transferência de energia. Trata-se, portanto, de um sistema de medição perturbado por um corpo, fenômeno ou uma substância com uma grandeza a ser mensurada. Quanto a indicação de saída, esses sensores podem ser analógicos ou digitais. Sensores com saída analógica apresentam variação em amplitude ou magnitude e necessitam normalmente de um condicionador analógico digital para tratamento e adequação do sinal lido ou de algum tipo de tratamento ou adequação. Já, um sensor digital é formado por sinais discretos ou por estados. Esses sensores não precisam de conversores analógicos-digitais e são mais facilmente transmitidos em relação aos sensores analógicos (BALBINOT et al., 2007).

Sensores podem ser destinados à medição de posição, deslocamento, velocidade, ace-

lação, entre outros. Dentre estes podem ser classificados em sensores de contato eletromecânico e sem contato eletromecânico. Os sensores sem contato eletromecânico podem ser do tipo indutivo, capacitivo, efeito hall, fotoelétricos, ultrassônicos, *laser*, de imagem, barreira foto elétricas, encoders, RFID(Radio-Frequency IDentification), entre outros. Já, os de contato eletromecânico são geralmente do tipo fim de curso, detectores de nível de líquido, vazão de fluido, temperatura e pressão (BALBINOT et al., 2007).

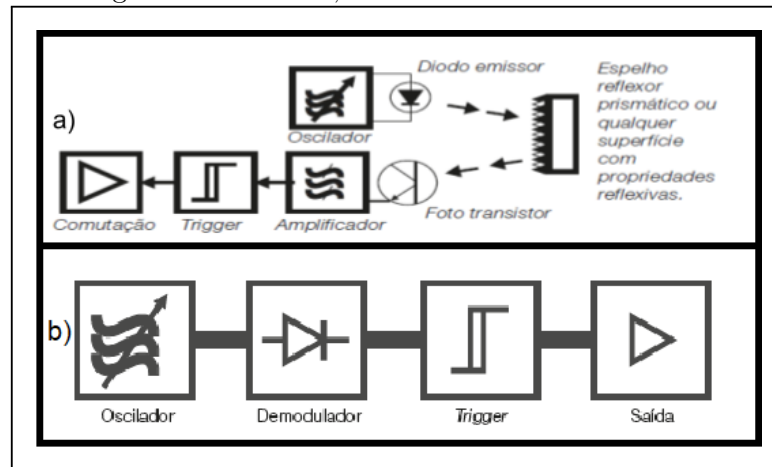
Com relação à máquina coladeira de borda escolhida, utiliza para as medições de comprimento de peça e bordagraa, sensor indutivo com mecanismo fim de curso e foto-reflexivo. Para deslocamentos e medições de velocidades de esteiras são normalmente usados encoders. Para realizar a leitura de parâmetros de energia é necessário conhecer grandezas de corrente e tensão elétricas. Para medir corrente podem ser utilizados sensores não invasivos. A detecção de tensão pode ser efetuada por transformadores. É necessário, portanto, uma revisão sobre o comportamento e características dos sensores que serão adotados pelo protótipo.

2.3.2 Sensores foto reflexivos e indutivos — Características e funcionamento

Os sensores digitais de sinais discretos que são utilizados para detecção de objetos, podem medir diversos tipos e formas de materiais. O formato da comutação é normalmente de estado sólido, permitindo que esses sensores trabalhem em diversos ambientes e condições, podem ser de corrente contínua ou alternada, do tipo indutivo, capacitivo, óptico, magnético.

- **Sensor foto-reflexivo:** Os sensores foto-reflexivos são da família dos sensores ópticos, são compostos por um dispositivo emissor de luz e um dispositivo receptor montados no mesmo conjunto. Neste caso, o feixe de luz emitido é refletido em uma superfície reflexiva, que retorna ao ponto de origem, atingindo o receptor que está ao lado do emissor. O funcionamento pode ser observado na Figura 4.a (WEG, 2021).
- **Sensor Indutivo:** os sensores indutivos utilizam um oscilador de rádio frequência. Quando um objeto metálico é colocado na frente do sensor, a oscilação é modificada, retornando ao normal quando se retira o objeto. As modificações do comportamento do oscilador são demoduladas e interpretadas pelo *trigger* de modo a obter-se uma saída de sinais alto-baixo, formando uma onda quadrada, capaz de excitar um circuito de potência, que efetuam o chaveamento elétrico, modificando o estado de saída do sensor. O funcionamento pode ser observado na Figura 4.b (WEG, 2021).

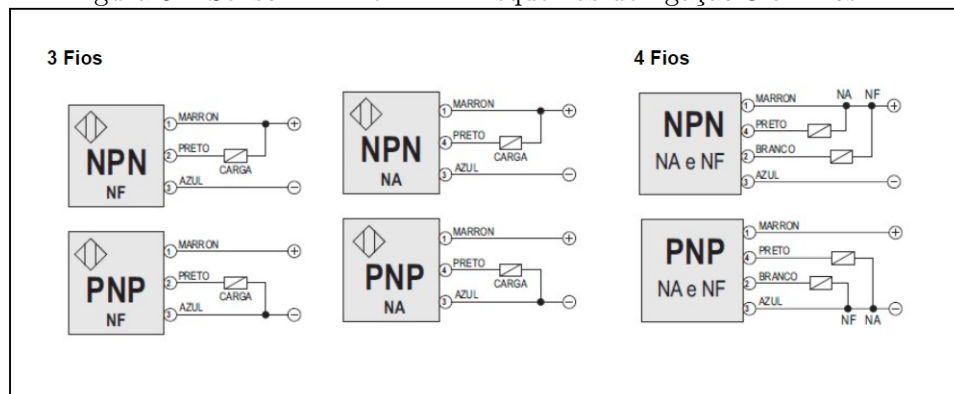
Figura 4 – Sensores, blocos de funcionamento



Fonte: Adaptado de Weg (2021).

Quanto ao formato de alimentação e comportamento dos sinais de saída, podem ser de alimentação AC (Corrente alternada) ou DC (Corrente contínua), normalmente tem faixa de tensão de alimentação de 10 a 30VDC (tensão contínua). As saídas podem ser PNP (Positivo-Negativo-positivo) com saída positiva ou NPN (Negativo-Positivo-negativo) com saída negativa, as lógicas de saída de contato podem ser NA (Normal Aberto), NF (Normal-Fecahdo) ou NA+NF para sensores com 4 fios (WEG, 2021). Os esquemáticos mais comuns para sensores de saída digital podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 – Sensor PNP e NPN- Esquemas de ligação 3 e 4 fios



Fonte: Harde (2022).

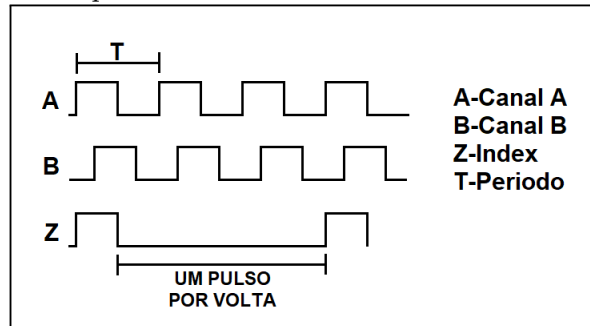
2.3.3 Encoders

Conforme Thomazini e Albuquerque (2019), os encoders são equipamentos que convertem um deslocamento linear ou angular em trem de pulsos. Existem duas categorias de encoders, os incrementais e absolutos.

- Encoder incremental: esse tipo de encoder indica o deslocamento em relação a um

ponto inicial de referência externo. Quanto a princípios de construção, podem ser por condução elétrica (utilizam contato mecânico para mudança do estado lógico dos canais) ou passagem de luz (utilizam o princípio de transmissão de luz emissor-receptor eliminando a necessidade de contatos mecânicos susceptíveis a desgaste). Os sinais gerados pelos encoders tipo incremental podem ser observados na Figura 6 (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2019).

Figura 6 – Sequência de acionamento encoder incremental



Fonte: Adaptado de Thomazini e Albuquerque (2019).

- Encoder absoluto: os encoders absolutos realizam medição através de incrementos codificados discretamente em seus discos. Esse tipo de encoder não necessita de referência, já que a posição mecânica do encoder lida pelos fotodetectores determina um valor do tipo binário ou *gray*⁵ (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2019).

2.3.4 Tipos de medidores de corrente

Conforme Balbinot e Brusamarello (2010), dentre os tipos mais usados de medidores de corrente ou amperímetro, existem os analógicos, digitais, do tipo alicate e os eletrônicos. Para implementação microprocessada o mais interessante é o tipo amperímetro digital, pois depende apenas de um conversor analógico-digital e de uma fonte de visualização dos dados coletados. Os tipos destacados são os sensores resistivos, sensores com transformador de corrente, sensores magnetorresistivos, sensores de efeito hall, sensores CMOS de campo magnético (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2010):

- Sensores resistivos: sua principal vantagem é a simplicidade de implementação, apresenta como desvantagem o fato de gerar perdas elétricas dissipadas na forma de calor. Apresentam método invasivo de medição, pois precisam ser inseridos ao circuito, não apresentam isolamento elétrico. Possuem capacitâncias e indutâncias parasitas limitando a aplicação a frequências altas.

⁵Sistema de codificação semelhante ao binário que somente modifica um algarismo a cada incremento decimal (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2019).

- Sensores com transformador de corrente: apresentam vantagens por não necessitarem de contato para realizar a medição. São sensores não invasivos, ideais para aplicações em altas tensão e corrente. Apresentam perdas desprezíveis e sua principal desvantagem é a medição apenas em correntes alternadas.
- Sensores magnetorresistivos: os sensores magnetorresistivos são sensíveis a variações de campo magnético, tornando-o apto a medir corrente elétrica, entretanto, apresentam relação de linearidade baixa e dependem de temperatura.
- Sensores de efeito *hall*: da mesma forma que os magnetorresistivos são sensores sensíveis à variação de campo magnético, e dependentes de temperatura, tem como vantagens a medição de corrente AC e DC, baixo custo e facilidade de implementação.
- Sensores CMOS de campo magnético: são sensores de alta sensibilidade, apresentam baixa potência de consumo e pouca sensibilidade a temperatura. As desvantagens desse tipo de sensor são relacionadas a dificuldades de uso e calibração.

2.3.5 Tipos de medidores de tensão

Para as medições de tensão com microcontroladores são usados voltímetros digitais, todas as categorias de medidores podem ser entendidos como eletrônicos, com circuitos analógicos ou digitais. A forma de conexão deve ser paralela aos pontos medidos para que a corrente que circula pelo voltímetro seja praticamente nula (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2019).

- Sensores Resistivos: O divisor resistivo é utilizado para medição de tensão DC e AC, não apresentam isolamento do circuito de medição, fáceis de implementar e de baixo custo. Nesse tipo de medidor a tensão que será medida é aplicada aos terminais de dois resistores ligados em série e a medição é feita em um dos sensores, a proporção da medida é feita pela razão dos resistores (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2019).
- Sensores Capacitivo: O divisor Capacitivo é utilizado para medição de tensão AC, sua implementação é igual a do divisor resistivo, com vantagem para menores perdas dissipativas em forma de calor. Não apresenta isolamento e é de fácil implementação (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2019).
- Transdutor de tensão baseado em efeito *Hall*: Esse tipo de transdutor fornece isolamento galvânica entre o circuito primário e secundário e funciona baseado no efeito hall. Sua saída é uma corrente proporcional à tensão medida (LEM, 2014).
- Sensor com transformador de potência: O Transformador de Potencial, conforme, Thomazini e Albuquerque (2019), é um dos métodos de medição AC mais usados.

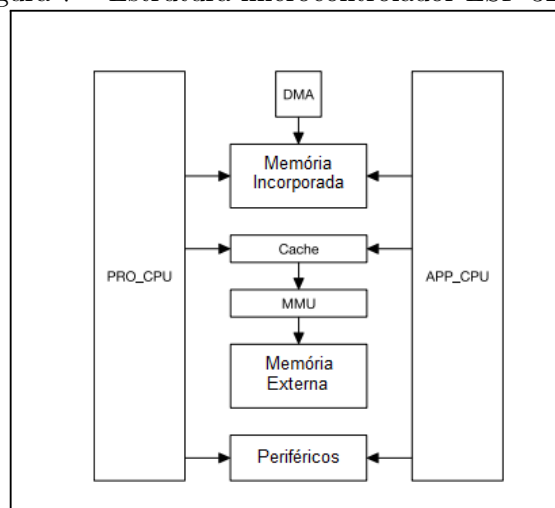
Existem diversos modelos com diferentes tensões de saída e sua principal vantagem é a isolação galvânica. A tensão do secundário pode ser escolhida para adequar ao circuito de controle.

2.4 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são circuitos integrados capazes de controlar atuadores ou objetos através de informações recebidas. São aplicados a todos os dispositivos eletrônicos, são utilizados em veículos, máquinas de lavar, micro-ondas, telefones, rádios, televisores, aviões. Na indústria, são aplicados em controladores, sensores inteligentes, soft starters e inversores. Praticamente todos os equipamentos que utilizam de inteligência e processamento de entradas e saídas.

A estrutura dos microcontroladores, de maneira geral, possui um microprocessador, uma memória de dados e de programa e diversos periféricos como *clock*, temporizadores, contadores, interfaces de entrada e saída. Um exemplo de estrutura de sistema para um microcontrolador ESP32 pode ser observada na Figura 7, onde o microprocessador PRO-CPU (Unidade de Processamento central de Protocolo) e APP-CPU (Unidade de Processamento Central Aplicativo). Esses microcontroladores possuem memórias DMA (Memória de Acesso direto) e MMU (Unidade de Gerenciamento de Memória), além de circuito de *clock*, temporizadores, contadores e interfaces de entrada e saída (KERSCHBAUMER, 2018).

Figura 7 – Estrutura microcontrolador ESP 32



Fonte: Adaptado de Espressif (2021).

Segundo Kerschbaumer (2018), o mercado dispõe de uma variedade de microcontroladores para fins didáticos ou para composição de equipamentos eletrônicos, de diferentes fabricantes. Esses microcontroladores são diferenciados pela estrutura de funcionamento e capacidade de processamento, além de periféricos e particularidade específicas. Na Tabela

1 são apresentados CI's(Circuitos integrados) usados de forma didática e para produtos profissionais.

Tabela 1 – Comparativo microcontroladores

CARACTERÍSTICAS			
Microcontrolador	ESP 32 WROOM	ATmega 328	PIC 18F4550
CPU	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 , Clock:240MHZ	AVR® 8-Bit, Clock:16MHZ	PIC 18F Clock:40MHZ
Memória Flash	4MB	32KB	32KB
Memória RAM	520KB	2KB	2KB
Memória ROM	448KB	1KB	256 Bytes
Pinos	GPIOs:25, ADC(12bits):18, PWM:16, DAC:2, I2C:	GPIOs:14, ADC(10bits):8, PWM:6, DAC:2, I2C:1	GPIOs:35, ADC(10bits):13, PWM:2, I2C:1
Interrupções	Todos GPIOs	2	20
Wi-fi	802.11 B/G/N 2.4ghZ	X	X
Bluetooth	4.2 BR/EDR BLE	X	X

Fonte: Adaptado de Espressif (2021), Microchip (2006) e Arduino (2021).

2.4.1 ESP32

O ESP 32 é utilizado em projetos IoT devido às suas vantagens de periféricos como o módulo de Wi-Fi integrado (RIOS et al., 2020). Apesar de existirem diversos módulos e microcontroladores com mesmas funcionalidades, em sua maioria possuem custo elevado. Outra vantagem é que a plataforma do ESP 32 possui código aberto e não tem restrições no propósito da operação, trata-se de um produto de baixo custo com excelente desempenho (KERSCHBAUMER, 2018).

Para o desenvolvimento de aplicações no ESP 32 o *framework* utilizado é o ESP-IDF, utiliza linguagens de programação C/C++. Outra opção para desenvolvimento da aplicação com C/C++ é a utilização da plataforma Arduino IDE (Integrated Development Environment) ou ambiente de desenvolvimento integrado com a utilização de pacote compatível para ESP 32. Além disso, possibilita a programação através da IDE do arduino que contém uma variedade de bibliotecas disponíveis (ESPRESSIF, 2022).

A proposta do trabalho em questão depende do desenvolvimento de uma banco de dados e uma interface gráfica. Os microcontroladores tratados na Tabela 1, ficam limitados ao processamento de entradas e saídas, dessa forma, torna-se relevante o estudo de um computador para realizar a integração entre os dados adquiridos e o banco de dados (OLIVEIRA, 2017).

2.5 MINI COMPUTADOR RASPBERRY

O Raspberry é um computador de placa única, utiliza o sistema operacional Raspberry Pi OS, ou raspbian, o projeto de *hardware* é de sistema aberto. Foi inicialmente concebido para funcionar como um sistema operacional Linux, mas suas características são amplamente utilizadas em sistemas embarcados. Outra vantagem dessa placa é a disponibilidade de diversos ambientes de programação para desenvolvimento de interface gráfica, integração com dispositivos, servidores de bancos de dados (OLIVEIRA, 2017). As características de *hardware* seguem apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características Raspberry Pi 3 Model B+

Raspberry Pi 3 Model B+	
CPU	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64 bits SoC @ 1,4 GHz
Memória	1GB LPDDR2 SDRAM
Pinos	40 pinos
Wi-Fi	LAN sem fio de 2,4 GHz e 5 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac
Bluetooth	Bluetooth 4.2, BLE
HDMI	1 porta HDMI
DSI	Porta para conectar uma tela sensível ao toque Raspberry Pi
USB	4 portas USB 2.0

Fonte: Adaptado de Pi (2022).

O Raspberry Pi possui uma porta DSI (Display Serial Interface) ou interface de display serial dedicado a utilização de um *display touch screen*. Dessa forma, é possível integrar projetos que necessitem de interface e eliminar o uso de mouse e teclado (LTD, 2021).

2.6 ACESSO REMOTO

Para possibilitar a consulta de dados é necessário que um servidor realize o armazenamento para os diversos computadores que realizarão requisição de informações. Os computadores ou dispositivos com acesso ao banco são denominados clientes (FLORENTINO, 2018).

Os servidores fornecem serviços a uma rede de computadores. Eles podem ser locais ou na nuvem, e de diferentes tipos, servidores de arquivos, e-mail, impressão, banco de dados, entre outros. Basicamente, um servidor consegue executar programas de forma centralizada, armazenar e compartilhar arquivos, dados e filas de impressão, além de executar serviços para clientes conectados através de uma rede local ou remota (FLORENTINO, 2018).

Ainda, segundo Florentino (2018), os diversos dados que podem ser gravados e que

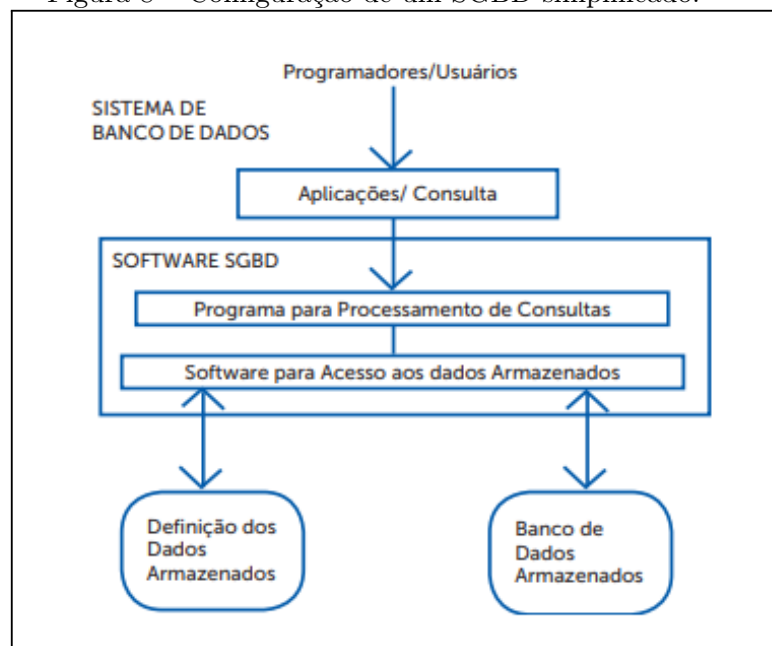
possuem um significado, precisam ser alocados em formatos que facilitem a programação. Para armazenar e organizar os dados em formatos que facilitem a programação surgiram os sistemas de gerenciamento de banco de dados (SGBD's).

2.6.1 Banco de dados

Segundo Machado (2014), entende-se como banco de dados um conjunto de dados que podem ser armazenados e possuem um significado implícito. É construído para alocar valores de dados para propósitos específicos, para um conjunto de usuários e aplicações. O banco de dados mais conhecido é o que utiliza abordagem relacional, a principal característica do banco relacional é utilização de tabelas, os usuários manipulam os dados dispostos nas linhas e colunas da tabela que contem o assunto manipulado de forma estruturada e organizada (MACHADO, 2014).

Para ser possível inclusão, alteração ou gravação de dados é necessário que um *software* efetue a manipulação e organização dos dados, o gerenciamento das informações é feito por um SGBD. A estrutura pode ser observada na Figura 8 (FLORENTINO, 2018).

Figura 8 – Configuração de um SGBD simplificado.



Fonte: Florentino (2018).

A linguagem que assumiu papel importante nos SGBD's é conhecida como SQL (Structure English Query Language), foi tornada padrão ANSI (American National Standards Institute) ou Instituto Nacional Americano de Padrões em 1982 para ambientes relacionais. Pode ser usada com diferentes propósitos como: linguagem interativa de consulta, linguagem de programação para acesso a banco de dados, linguagem de administração de banco de dados, linguagem cliente/servidor, linguagem para banco de dados distribuído e

caminho de acesso a outros bancos de dados em diferentes máquinas (MACHADO, 2014). A linguagem SQL é dividida em conjuntos de comandos conforme representa a Figura 9.

Figura 9 – Conjunto de comandos SQL.



Fonte: Nunes e Moura (2018).

Segundo Nunes e Moura (2018), o conjunto de dados pode ser subdividido como:

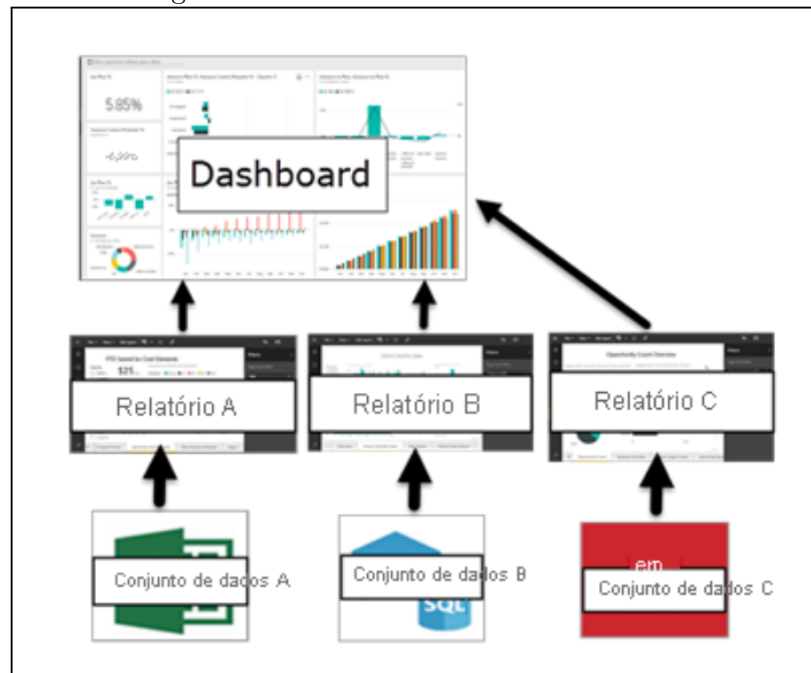
- Data Definition Language (DDL): A definição de dados permite a criação dos dados e a estrutura através dos comandos CREATE (cria banco de dados, tabelas e colunas), DROP (exclui banco de dados, tabelas, colunas), ALTER (altera banco de dados, tabelas, colunas), TRUNCATE (esvazia toda a tabela).
- Data Manipulation Language (DML): A manipulação dos Dados permite a manutenção dos dados através dos comandos INSERT (insere dados em uma tabela), UPDATE (atualiza os dados existentes em uma tabela), DELETE (exclui registros de uma tabela).
- Data Query Language (DQL): A Consulta de dados e suas relações utiliza os comandos SELECT (principal instrução de consulta do SQL), SHOW (exibe todas as informações além dos dados (metadata)), HELP (exibe informações do manual de referência do MySQL)
- Data Control Language (DCL): O Controle de Dados gerencia as autorizações de acesso e seus níveis de segurança, são usados os comandos GRANT (essa instrução concede privilégios às contas de usuário), REVOKE (essa instrução permite revogar os privilégios da conta de usuário).
- Data Transaction Language (DTL): O conjunto de instruções para transações lógicas que serão executadas pela DML, usa os comandos START TRANSACTION (inicia uma nova transação), SAVEPOINT (identifica um determinado ponto em

uma transação), COMMIT (é uma instrução de entrega ao SGBD, fazendo com que todas as alterações sejam permanentes), ROLLBACK TO SAVEPOINT (é uma instrução ao SGBD para reverter toda a transação, cancelando todas as alterações ou até determinado ponto da transação) RELEASE SAVEPOINT (instrução para remoção de um SAVEPOINT).

2.6.2 Painel de visualização remota (*dashboard*)

Conforme Microsoft (2021), um *dashboard* é uma página comumente chamada de tela, que apresenta ao usuário as informações mais importantes de determinado conjunto de dados. As visualizações em *dashboard's* são originadas de relatórios ou conjuntos de dados conforme Figura 10, oferecem visualização interativa das informações e podem receber dados de diferentes locais e diferentes *softwares*, de informações locais e da nuvem.

Figura 10 – União de dados *dashboard*



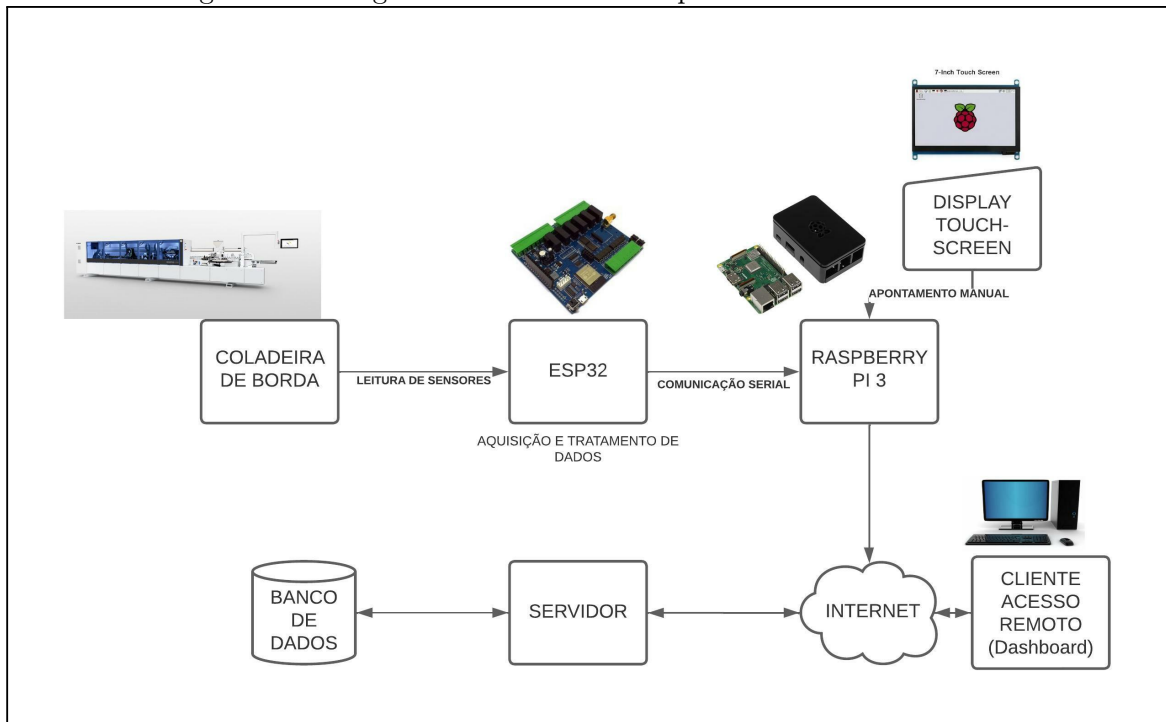
Fonte: Adaptado de Microsoft (2021).

Dentre as alternativas de construir *dashboards*, podemos citar o Tableau, QlikView, Board, Google Data Studio, dentre outras, entretanto um dos mais comuns é o Power BI. Conforme Microsoft (2021), esse *software* oferece serviços de análise de negócios, fornecendo visualizações interativas, facilitando a criação de relatórios e *dashboard's*. Oferece algumas vantagens em quesitos como capacidade de acesso a informações em tempo real e acesso de informação em qualquer aplicativo móvel.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Nesse capítulo são abordadas as etapas construtivas para implementação do protótipo de monitoramento de dados de produção respectivos ao projeto em questão. A Figura 11 apresenta o diagrama em blocos para a metodologia do trabalho.

Figura 11 – Diagrama de blocos das etapas de funcionamento



Fonte: O próprio autor (2022).

A coladeira de bordas escolhida para desenvolvimento e implementação do protótipo é da marca HOMAG, modelo EDGETEQ S-500 profiLine, apresentada na Figura 2. A máquina cedida para estudo e instalação pertence à empresa Dalmóobile LTDA, situada no município de Bento Gonçalves-RS. A escolha deste equipamento foi motivada pelas características produtivas da máquina e pelo interesse da empresa em explorar as informações do processo e o funcionamento do protótipo. O equipamento utiliza tensão de comando de 24VDC, a alimentação de força é trifásica feita em corrente alternada com tensão nominal de 380VAC, do tipo três fases, neutro e terra. A corrente de máxima carga do equipamento é 40A.

3.1 PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE SINAIS DA MÁQUINA

Para a aquisição, tratamento de sinais e comunicação com o Mini computador Raspberry Pi Model 3 b+, a escolha foi motivada pela disponibilidade do hardware na empresa e a utilização de interface desenvolvida em visual Studio, que precisa de um computador para que possa ser exibida. Para adquirir sinais eletrônicos foi escolhido o módulo Esp32

Wroom Devkit v1, mencionado na Figura 11 da metodologia proposta descrito como “ESP32”¹.

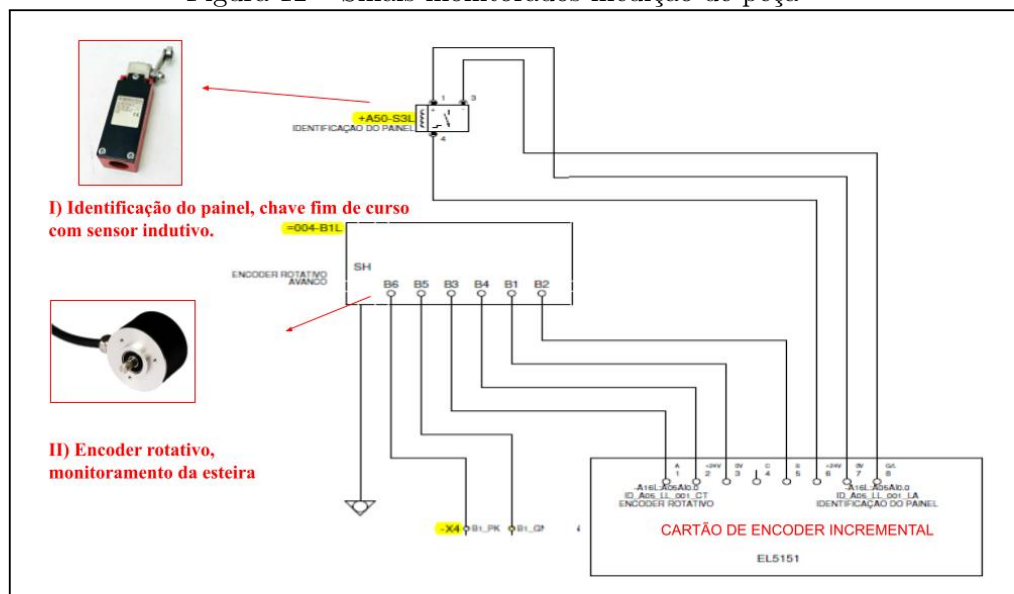
O motivo da escolha se deu pelos periféricos disponíveis, conforme evidenciado na Tabela 1 da revisão bibliográfica, além de fornecer periféricos como Wi-Fi que facilitam a comunicação, em caso de adição de mais *hardwares* em projetos futuros, para monitoramento de diversos equipamentos desse tipo, a comunicação com um Raspberry Pi seria facilitada. Essa plataforma conta com ADC’s de 12 bits e pinos de interrupção necessários para leitura dos encoders.

3.1.1 Sinais e sensores monitorados

Dentre os sensores monitorados pelo protótipo na coladeira de bordas, os da esteira de transporte são necessários para determinar a medida da peça. A medida é efetuada através da leitura dos sinais do encoder e de um micro fim de curso com sensor indutivo (quantidade de pulsos informada pelo encoder enquanto o sensor estiver acionado). Com essas informações é possível estimar quantidade de peças e metros lineares produzidos.

O sensor indutivo do tipo chave fim de curso da marca Bernstein modelo GC PNP AHSRK 1, conforme (BERNSTEIN, 2010) trabalha com tensão de operação de 24VDC com sinal de saída PNP, ou seja, em nível lógico alto. Já o encoder rotativo é da marca Siemens modelo 1XP8022-12 HTL 512 AK, conforme SIEMENS (2007), é de 512 pulsos por revolução.

Figura 12 – Sinais monitorados medição de peça



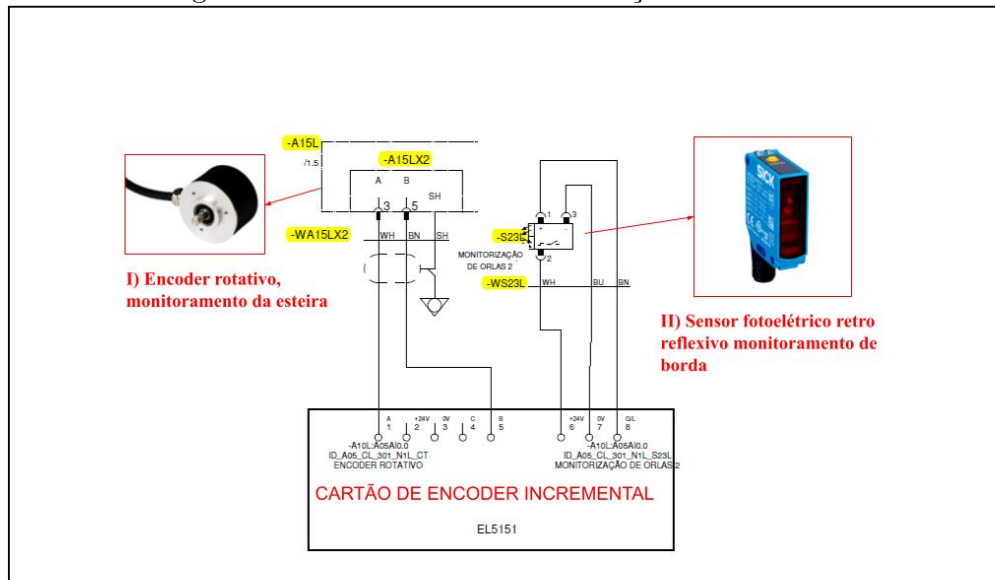
Fonte: Adaptado de HOMAG (2019).

¹A partir dessa página, serão realizadas referências a itens contidos em imagens, destacando-se o texto entre aspas duplas.

A interpretação da leitura desses sensores é efetuada pelo microcontrolador, que realiza o cálculo do comprimento do painel, inserido na coladeira, conforme a quantidade de pulsos da esteira informada pelo encoder, durante o período que o sensor detectar a peça. O esquemático adaptado segue na Figura 12, em que estão representados o sensor e o encoder mencionado e o cartão de encoder incremental do módulo de CLP da máquina, ao qual os sinais de leitura do ESP 32 serão ligados em paralelo.

A medida de borda (número de pulsos detectado pelo encoder enquanto o sensor de borda ficou em nível alto) é calculada no mesmo formato da medida de peça, com diferença no modelo do sensor. Para verificar o comprimento de borda o sensor de medição de peça é do tipo fotoelétrico retro reflexivo da marca SICK, modelo WL12GC-3P2472B01, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 – Sinais monitorados medição de borda



Fonte: Adaptado de HOMAG (2019).

Esse sensor, de acordo com SICK (2021), trabalha em tensão de 24VDC com saída de comutação PNP. Para retirar o dado de comprimento da borda, o sensor será usado em conjunto com o número de pulsos lido pelo encoder da esteira mostrado anteriormente. A representação do esquemático, conforme Figura 13, representa o sensor que verifica a passagem da borda, e o cartão de encoder incremental do módulo de CLP da máquina, ao qual os sinais de leitura do ESP 32 serão ligados em paralelo.

Além dessas grandezas, o módulo ESP32 fará aquisição dos dados de corrente e tensão elétrica do equipamento, calculando a potência instantânea e consumo de energia. Todos os dados lidos serão enviados por comunicação UART (Universal asynchronous receiver/transmitter) ou recepção e transmissão assíncrona universal, para o mini computador Raspberry Pi responsável pela execução da aplicação que fará armazenamento dos dados no banco. A Tabela 3 mostra os sinais que serão monitorados, bem como o tipo de leitura e entrada necessária.

Tabela 3 – Sinais monitorados

DADO DE INTERESSE	SINAL MONITORADO	TIPO DE MEDIÇÃO
Numero de pulsos da peça	Encoder incremental esteira	Digital 24VDC
Tempo medido de borda	Fim de curso(sensor indutivo)	Digital 24VDC
Numero de pulsos de borda	Encoder incremental borda	Digital 24VDC
Tempo medido de peça	Sensor Foto reflexivo	Digital 24VDC
Corrente	3x Sensor de corrente	Analógica 0-3,30V
Tensão	3x Sensor de tensão	Analógica 0-3,30V

Fonte: O próprio autor (2022).

Para leitura dos sinais 24VDC providos pelos sensores do equipamento, será necessária a utilização de isoladores, já que o microcontrolador ESP 32 utiliza portas digitais com nível lógico 0-3,30VDC. Para as leituras realizadas de tensão e de corrente elétrica, será necessário realizar o condicionamento desses sinais. A seguir serão apresentados os respectivos circuitos condicionadores.

3.1.2 Condicionamento dos sinais monitorados

- Adequação de sinais 24VDC sensores digitais: para isolar as entradas do microcontrolador dos sinais de sensores do equipamento são utilizados optoacopladores. O esquemático para implementação do circuito isolador dos sensores digitais segue na Figura 14. A equação utilizada para calcular os resistores do optoacoplador e led seguem na Equação 3.2. Os valores de I_L e V_L foram retirados do datasheet do optoacoplador PC817. O resistor comercial adotado foi o de $1,5k\Omega$. Para garantir o nível lógico da entrada do microcontrolador foi adotada a utilização de um resistor de pull-up, nomeado como “R3” na Figura 14. Foi incorporado ao circuito mencionado um led e um resistor limitador de corrente denominados como “D1” e “R2” respectivamente, sua função é indicar visualmente o estado da entrada digital.

$$R = \frac{(V_{cc} - V_L)}{I_L} \quad (3.1)$$

$$R = \frac{(30,0 - 1,20)}{20 \cdot 10^{-3}}$$

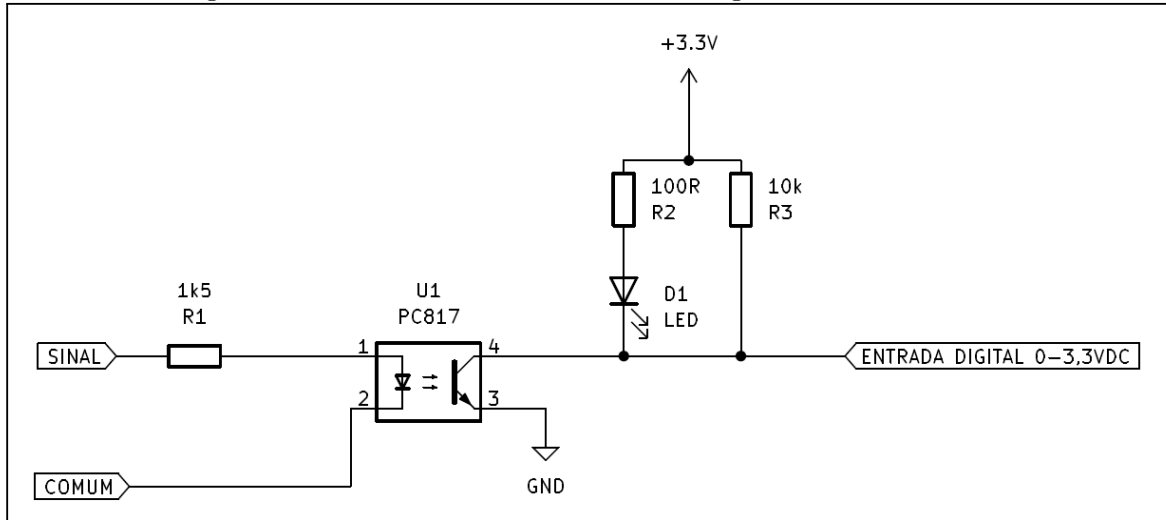
$$R = 1k44 \Omega$$

Onde:

- R: Valor do resistor[Ω];
- Vcc: Tensão de alimentação[V];

- V_L : Tensão do led ou optoacoplador[V];
- I_L : Corrente máxima direta do optoacoplador[A].

Figura 14 – Circuito leitura das entradas digitais de sensores



Fonte: O próprio autor (2022).

- Adequação de sinais 24VDC encoder: para isolar as entradas do microcontrolador dos sinais de 24VDC do encoder são utilizados optoacopladores de alta velocidade. O esquemático implementado do circuito isolador do canal A do encoder segue na Figura 15. A equação utilizada para calcular os resistores do optoacoplador segue na Equação 3.2. O resistor comercial adotado foi o de $5.6k\ \Omega$. Para garantir o nível lógico da entrada do microcontrolador foi adotada a utilização de um resistor de pull-up, nomeado como “R2” na Figura 15.

$$R = \frac{(V_{cc} - V_L)}{I_L} \quad (3.2)$$

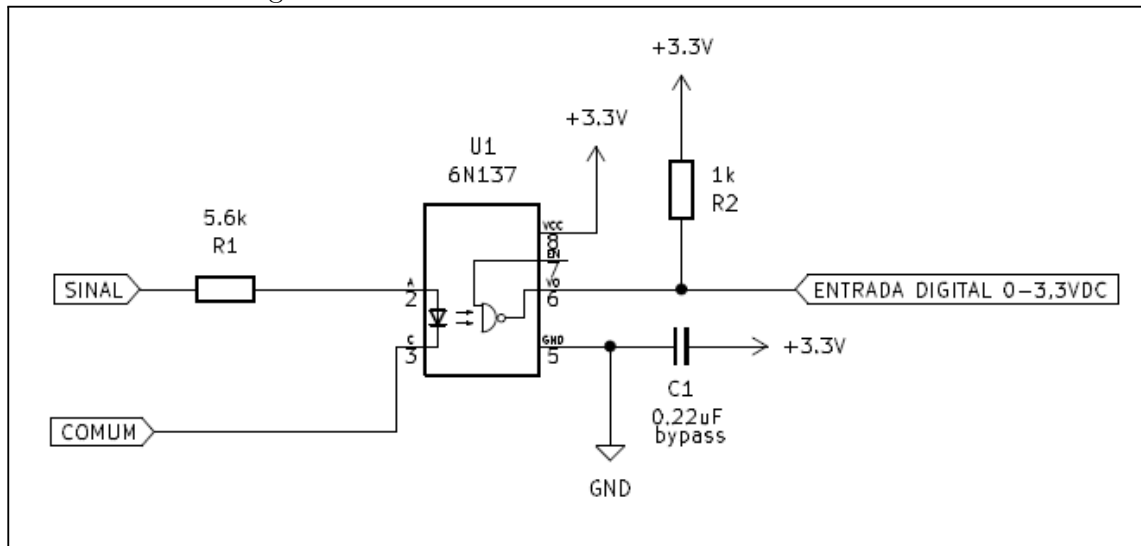
$$R = \frac{(30,0 - 1,4)}{5 \cdot 10^{-3}}$$

$$R = 5k72\ \Omega$$

Onde:

- R: Valor do resistor[Ω];
- V_{cc} : Tensão de alimentação[V];
- V_L : Tensão do led ou optoacoplador[V].
- I_L : Corrente máxima direta do optoacoplador[A].

Figura 15 – Circuito leitura do canal do Encoder



Fonte: O próprio autor (2022).

- Adequação de medições de corrente: o medidor de corrente proposto é o módulo SCT-013 100A, trata-se de um sensor de corrente não invasivo que utiliza o princípio de TC (transformador de corrente). A medição do sensor compreende valores de 0 a 100A em corrente alternada, variando proporcionalmente a saída de 0 a 50mA, o sensor pode ser observado na Figura 16 (YHDC, 2022).

Figura 16 – Sensor SCT-013 100A

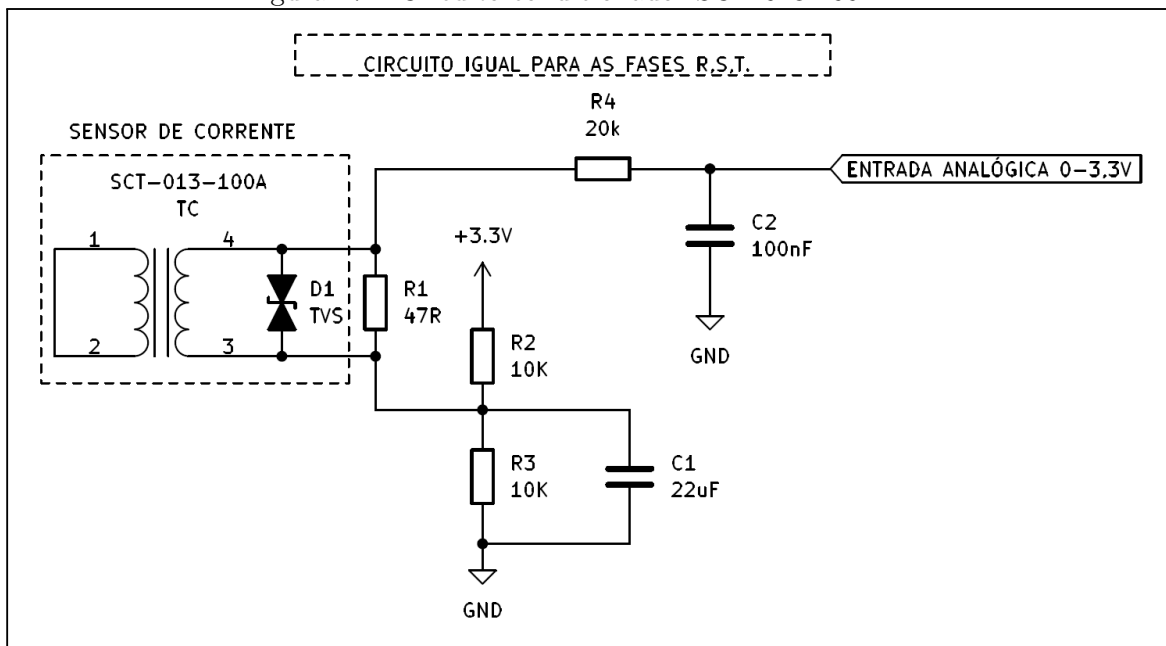


Fonte: YHDC (2022)

Desta maneira, será necessário um circuito capaz de transformar os valores de corrente da saída do sensor, para valores de tensão, possibilitando a leitura pelo microcontrolador. Para esse condicionamento é possível utilizar um resistor em paralelo com o secundário do TC, dessa forma, usando a lei de Ohm, pode-se coletar a corrente elétrica que passa pelo resistor, desde que o valor de resistência seja conhecida. O resistor, quando percorrido por uma corrente elétrica, provocará em seus terminais uma diferença de potencial, proporcional a corrente.

Além de transformar em tensão elétrica é necessária um *offset* para deslocar a onda senoidal até o ponto médio de leitura das entradas analógicas do microcontrolador, pois este só efetua amostragens de tensões de 0 a 3,30VDC. Para adquirir o semiciclo positivo e o negativo, com margem de segurança, deslocaremos a referência com uma tensão de *offset* de 1,62 VDC, esse será o nível 0 da onda senoidal. O circuito proposto para essa implementação segue na Figura 17, e o formato para obtenção dos valores da corrente de pico do secundário podem ser observados na Equação 3.3. O valor de corrente será limitado a correntes de até 50A.

Figura 17 – Circuito condicionador SCT-013 100A



Fonte: O próprio autor (2022).

$$100A - 50mA \cdot$$

$$50A - 25mA \cdot$$

$$I_{Spico} = I_{Srms} \cdot \sqrt{2} \quad (3.3)$$

$$I_{Spico} = 25 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2}$$

$$I_{Spico} = 35,35mA$$

Onde:

- I_{Spico} : Corrente máxima do secundário do sensor[mA];
- I_{Srms} : Corrente eficaz no secundário do sensor[mA].

Conhecendo os valores máximos de corrente do secundário, e a tensão de pico do secundário, é possível obter o valor do resistor R1 paralelo à bobina do transformador. A

tensão de pico é 1,625 VDC que, acrescida ao valor de *offset*, resultará na escala máxima de leitura do ADC do microcontrolador. Dessa forma, a lógica pode ser mostrada com a Equação 3.4.

$$\begin{aligned} V_{ADC} &= (R1 \cdot I_S) + V_{offset} \\ V_{ADC} &= (R1 \cdot I_S) + 1,62 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Onde:

- V_{ADC} : Tensão leitura analógica [V];
- R1: Valor do resistor 1 [Ω];
- I_S : Corrente de saída lida pelo sensor [mA];
- V_{offset} : Tensão de *offset* [V].

Para determinar o valor do resistor, portanto, utiliza-se a da Lei de Ohm, conforme Equação 3.5.

$$\begin{aligned} R &= \frac{V_p}{I_p} \\ R &= \frac{1.625}{35,35 \cdot 10^{-3}} \\ R &= 45,96 \ \Omega \end{aligned} \quad (3.5)$$

Onde:

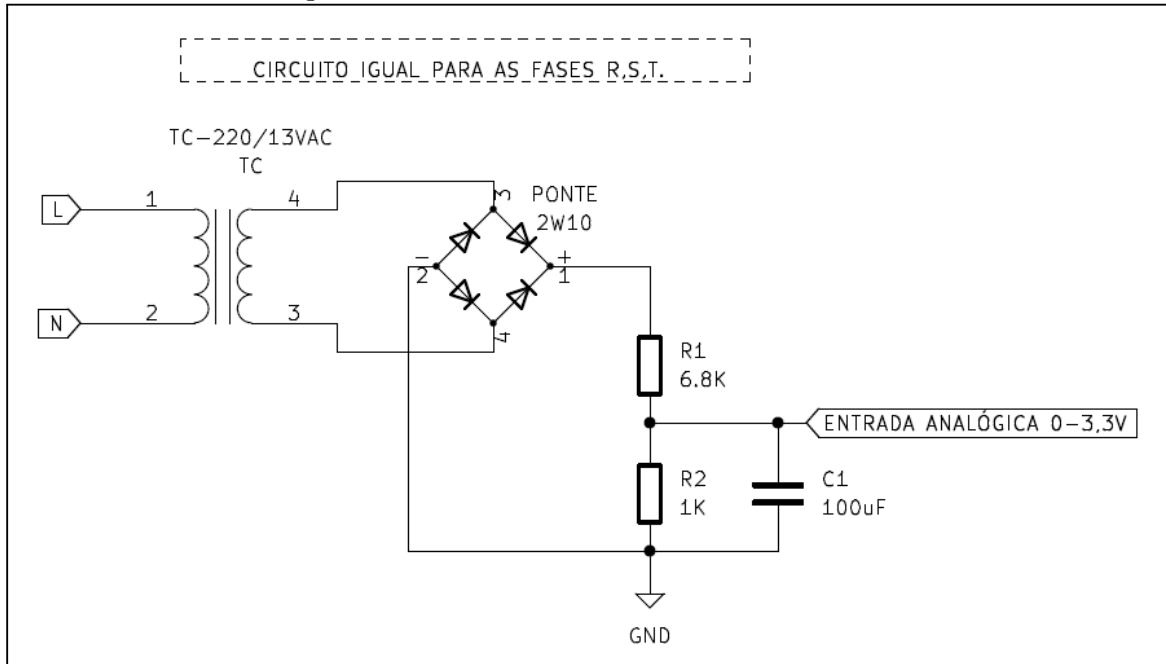
- V_p : Tensão de pico leitura analógica [V];
- I_p : Corrente de saída pico lida pelo sensor [mA].
- R: Valor do resistor [Ω];

De modo a garantir que os valores de leitura não ultrapassem a escala do ADC, optou-se por utilizar um resistor de valor comercial de 47 Ohms, que resultará em valores de pico, conforme Equação 3.4 de 3,30 VAC com 50,50A.

- Adequação de medições de tensão: a tensão de fase do equipamento a ser medido é de 220V RMS. Para isolar e condicionar o sinal para níveis compreendidos pelo conversor analógico-digital do microcontrolador, o circuito da Figura 18 foi implementado, o transformador realiza o rebaixamento da tensão através da relação de

transformação e tem a função de isolador galvânico entre a rede e o circuito de medição. O sinal do secundário do transformador é posteriormente retificado e filtrado para corrigir a tensão de ripple.

Figura 18 – Circuito condicionador de tensão



Fonte: O próprio autor (2022).

3.2 INTERFACE DE APONTAMENTO MANUAL

Para possibilitar que ao detectar paradas do equipamento pelo ESP32 seja possível identificar o motivo, é necessária uma interface que de forma intuitiva permita ao operador da coladeira de bordas justificar a parada do equipamento. A leitura dessas informações pode ser feita através de um terminal com um *display touch screen* rodando em Raspberry Pi, através de um *software* apropriadamente desenvolvido em Visual Studio. O *software* manipulará as informações pertinentes apontadas pelo operador e pelo ESP32, enviando-as a um banco de dados remoto, hospedado no servidor da empresa. Essa etapa está descrita como “RASPBERRY PI3” na Figura 11 da metodologia proposta e esta atrelada ao DISPLAY “TOUCH SCREEN” mostrados na mesma imagem.

- Raspberry Pi 3: Para implementação é necessário a utilização de um sistema operacional em um *hardware*, o equipamento escolhido para essa finalidade foi o Raspberry Pi, com linux ubuntu. Nesse sistema, para ser possível a coleta de informações, é necessário o desenvolvimento de um *software*. Este deve possibilitar ao usuário informar através de um display interativo os motivos de parada do equipamento e realizar alocação dos dados recebidos em um documento.

- Interface VisualStudio e *display* Raspberry Pi: para possibilitar os apontamentos, é proposta a utilização de um *display touch screen* que possibilitará a navegação no sistema operacional da Raspberry Pi e *softwares* instalados. Para que os apontamentos possam ser efetuados e enviados a nuvem, é necessário o desenvolvimento de uma aplicação inteligente capaz de se comunicar com as informações recebidas do módulo ESP 32 e possibilite o envio de dados a nuvem. A plataforma proposta para construção do *software* é o Visual Studio. Trata-se de um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) para desenvolvimento multi linguagens (MICROSOFT, 2022).

3.3 ACESSO REMOTO E SERVIDOR WEB

Após coletados, os dados serão enviados a nuvem para que os setores de PCP (Planejamento e Controle da Produção) e setores gerenciais possam consultar através de acesso remoto, para possibilitar a visualização pelas telas interativas do *dashboard* pode ser feito consulta por bancos de dados. A etapa está descrita como “CLIENTE ACESSO REMOTO (*dashboard*)” na Figura 11 da metodologia proposta e está atrelada ao “SERVIDOR” e “BANCO DE DADOS” mostrados na mesma imagem.

- Banco de dados na nuvem: para criar e manipular um banco de dados, além de um servidor, é necessário um SGBD, conforme mencionado no subcapítulo 2.8 da revisão bibliográfica. Para tal finalidade o *software* escolhido foi o Firebird, conforme Team (2021) trata-se de um gerenciador de banco de dados do tipo relacional de código aberto. O servidor utilizado será o da empresa a qual o protótipo será instalado, trata-se de um servidor Dell R730, sistema operacional windows server 2016, com 128gb de RAM e capacidade de armazenamento de 4TB.
- Acesso remoto: a consulta dos dados registrados pelo SGBD Firebird no servidor necessita da criação de um *dashboard*, dessa forma, os dados coletados podem ser apresentados para o utilizador realizar análises necessárias. A ferramenta escolhida para essa finalidade foi o Power BI, pois a empresa ao qual o protótipo será instalado tem licença para o *software*, além de que existem materiais em abundância para auxílio no desenvolvimento. Essa ferramenta, conforme Microsoft (2021), pode ser utilizado para conexão e visualização dos dados em uma plataforma unificada e escalonada para BI (Business intelligence), possibilitando a criação de diferentes modelos de visualização e de relatórios.

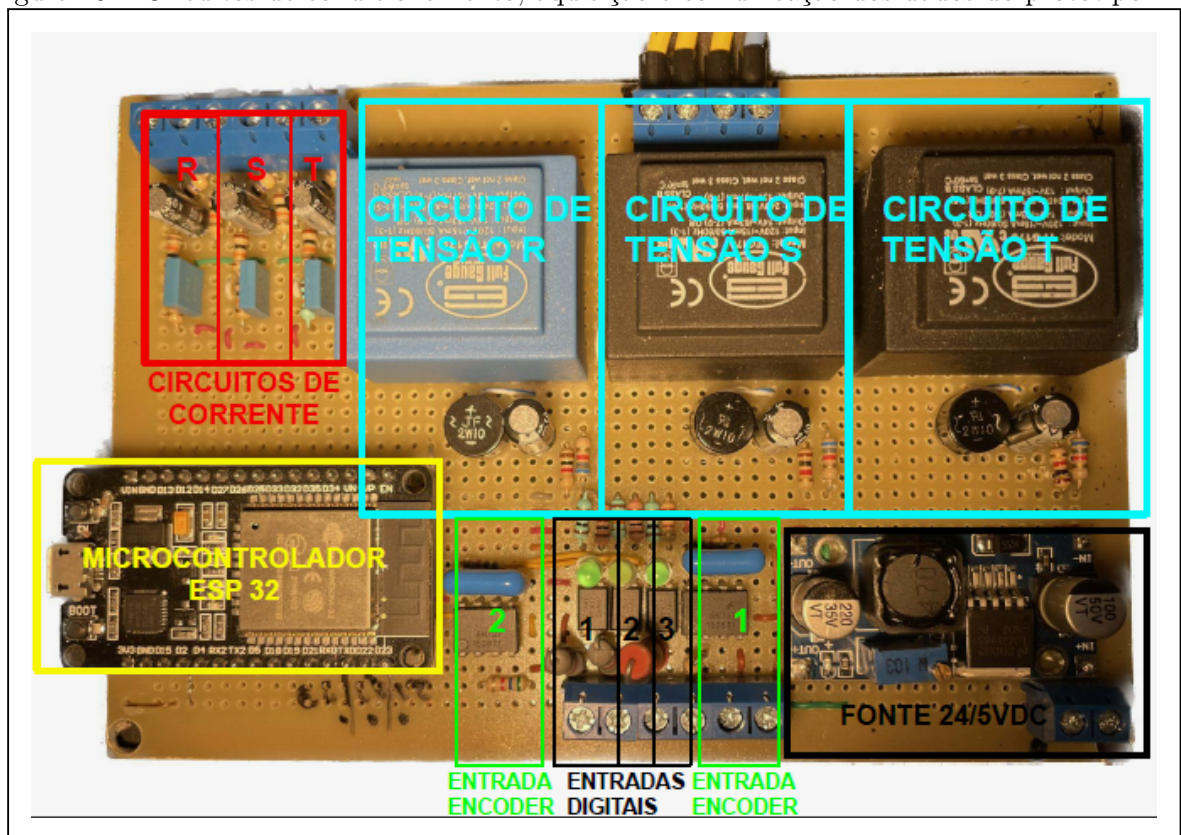
3.4 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Nesta seção são abordadas as etapas de construção do *hardware* e *software* para funcionamento do protótipo. A primeira etapa trata da construção do *hardware*, calibração dos circuitos condicionadores de tensão e corrente, e do circuito de aquisição do sinal do encoder e dos sinais dos sensores. A segunda etapa mostra a estrutura e o formato de ligação dos *hardwares* na coladeira de bordas. A terceira etapa demonstra a construção do *software*, banco de dados e *dashboard* para registro e monitoramento dos dados.

3.4.1 Prototipagem e validação do *hardware* de condicionamento de sinais elétricos

Os circuitos de condicionamento, aquisição e a plataforma do microcontrolador e periféricos foram implementados em placa de fenolite perfurada. A placa instalada na máquina para validação do protótipo segue apresentada na Figura 19. O diagrama eletrônico completo é apresentado na Figura 46 do Apêndice F.

Figura 19 – Circuitos de condicionamento, aquisição e comunicação dos dados do protótipo.

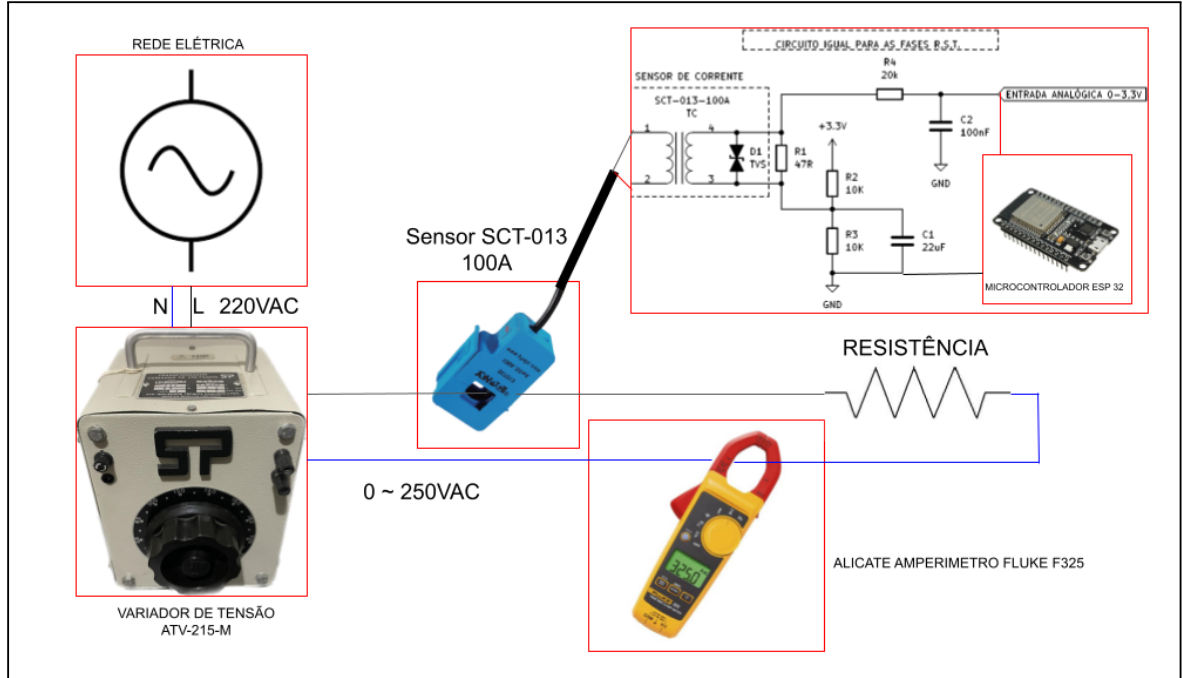


Fonte: O próprio autor (2022).

A implementação do circuito está apresentado na Figura 19, destacados em vermelho estão os “CIRCUITOS DE CORRENTE R, S, T”, a Figura 21 mostra os valores de

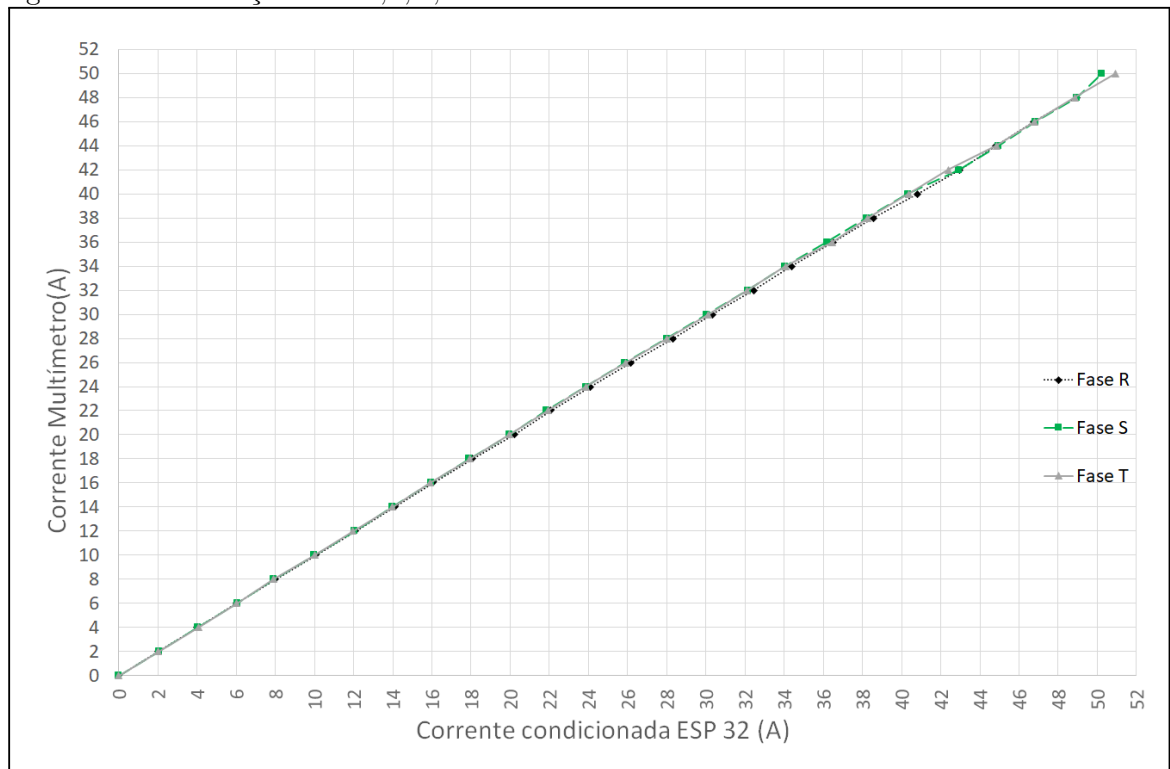
corrente verificados com multímetro e a respectiva leitura obtida pelo sistema para cargas do tipo resistiva. A configuração de aferição do circuito segue na Figura 20.

Figura 20 – Configuração utilizada para aferição das leituras de corrente



Fonte: O próprio autor (2022).

Figura 21 – Verificação fase R,S,T, corrente multímetro x valor corrente lida e convertida

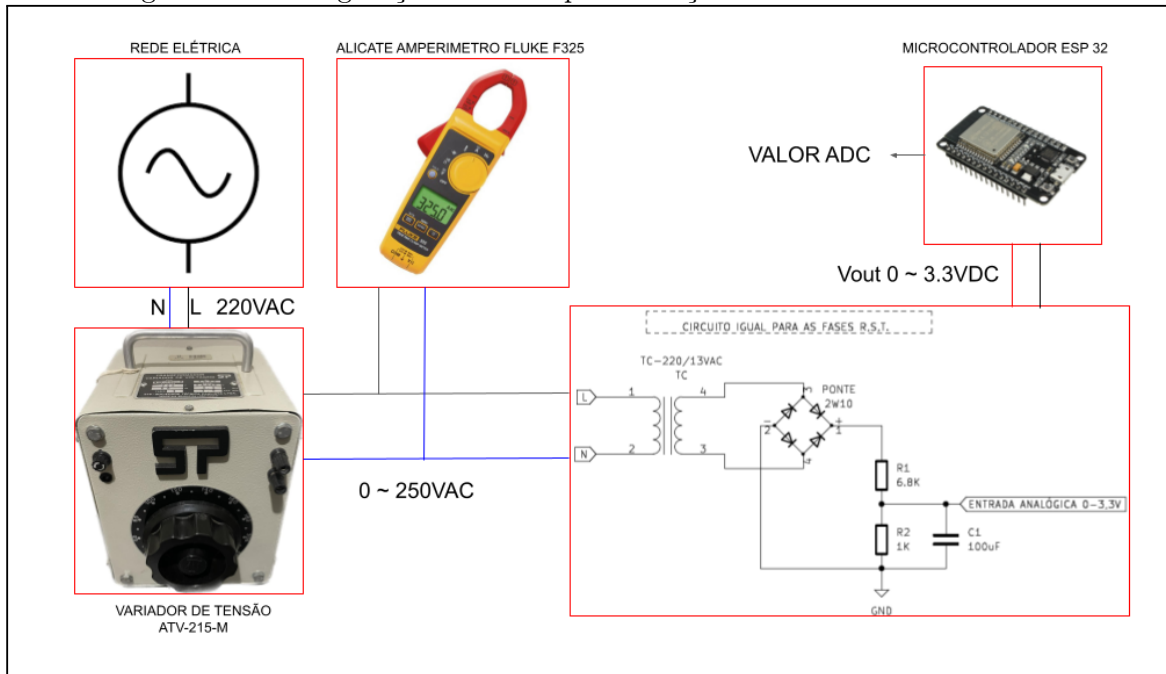


Fonte: O próprio autor (2022).

O multímetro utilizado para as leituras foi o Fluke 325 1.5 % ± 5 dígitos. A Figura 49 do Anexo A mostra o equipamento utilizado para verificação dos valores, as Tabelas 4, 5, 6 do Apêndice A contém as medições efetuadas na verificação do funcionamento dos medidores de corrente.

Para validação dos circuitos de leitura de tensão, conforme Figura 18, foi realizada a implementação do circuito em placa de fenolite perfurada, demonstrado na Figura 19 destacado como circuito de tensão R, S, T. Para a calibração do sensor e verificação da curva de linearidade, foi utilizado um variador de tensão marca STP, modelo ATV-215-M, variação de 0 a 250VAC. Os ensaios foram realizados para os três circuitos monofásicos, de acordo com a Figura 22.

Figura 22 – Configuração utilizada para aferição das leituras de tensão



Fonte: O próprio autor (2022).

Os valores de tensão foram verificados com multímetro Fluke 325 1.5% ± 5 dígitos. As funções de transferência obtidas seguem na Figura 23, e os valores contendo as medições efetuadas no processo de calibração estão nas Tabelas 7, 8, 9 do Apêndice B.

As Equações 3.6 , 3.7 , 3.8 representam as funções características do gráfico da Figura 23, e junto as equações seguem apresentados os de correlação de Pearson².

$$y = 0.0724 \cdot x + 22.763 \quad (3.6)$$

$$R = 0,9964$$

²O coeficiente de Pearson é uma medida adimensional que intensifica a correlação entre a variável de entrada e de saída da função característica. Quanto mais próximo dos extremos do intervalo, (-1 e +1) mais forte é a correlação (USP, 2020).

$$y = 0.0721 \cdot x + 22.544 \quad (3.7)$$

$$R = 0,9965$$

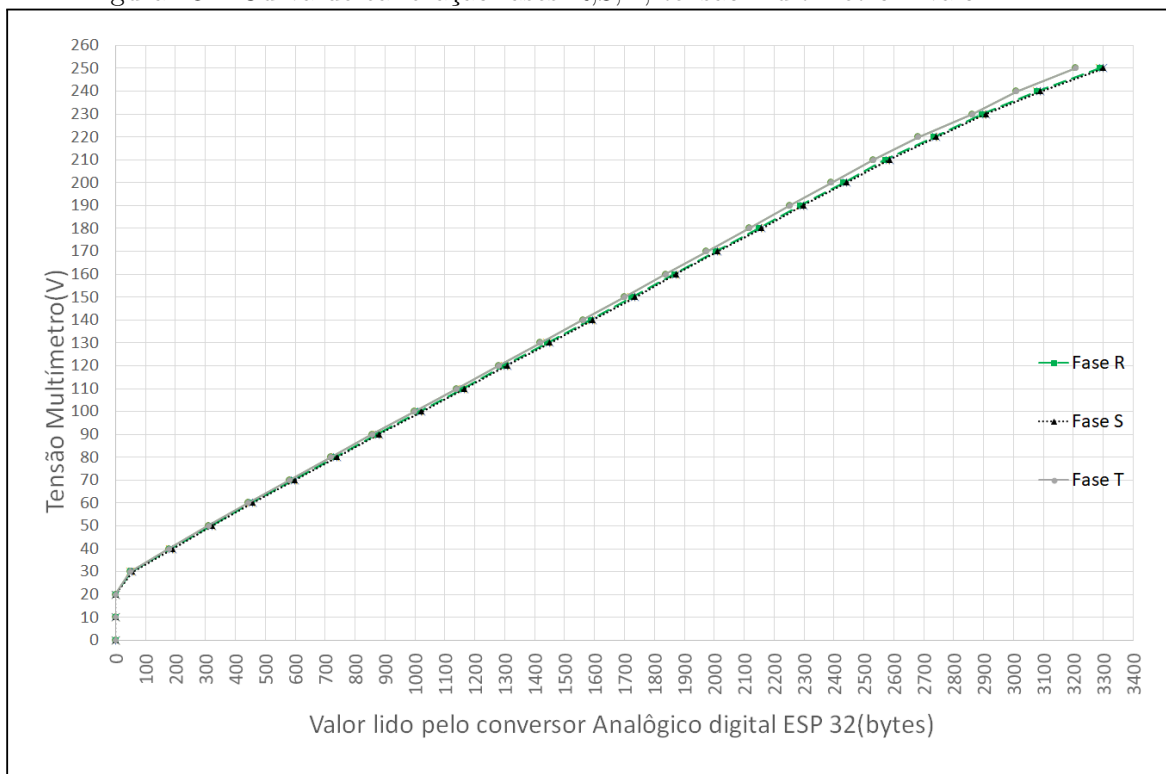
$$y = 0.0737 \cdot x + 22.693 \quad (3.8)$$

$$R = 0,9965$$

Onde:

- y: Tensão [V];
- x: Valor lido em bits pelo AD [bits];
- R: Coeficiente de correlação de Pearson.

Figura 23 – Curva de calibração fases R,S,T, tensão multímetro x valor AD



Fonte: O próprio autor (2022).

O circuito de leitura e condicionamento dos sensores usados para detecção de entrada de peça e borda, de acordo com a Figura 14, foram implementados em placa de fenolite perfurada, conforme Figura 19, destacados como “ENTRADAS DIGITAIS 1,2 e 3”. A fim de ilustrar o comportamento desse circuito, o sinal de uma das entradas digitais pode ser observado na Figura 42 do Apêndice C.

O circuito de leitura do encoder da esteira foi implementado de acordo com a representação da Figura 15, descrito como “ENTRADAS ENCODER 1 e 2” na Figura 19. A fim

de ilustrar o comportamento desse circuito, pode ser observada a Figura 43 do Apêndice D.

Devido a aspectos mecânicos apresentados pela máquina, tais como atrito, desgaste do equipamento e questões dinâmicas da movimentação da peça, observa-se, pela Figura 24, apresentada abaixo, que não manteve-se uma proporcionalidade entre o tamanho da peça em teste na máquina e as leituras executadas pelo protótipo. No entanto, pode-se mostrar que, através da função característica conseguiu-se monitorar com êxito a variável do comprimento. A Tabela 10 do Apêndice D apresenta os valores usados para representação gráfica.

Figura 24 – Calibração Encoder

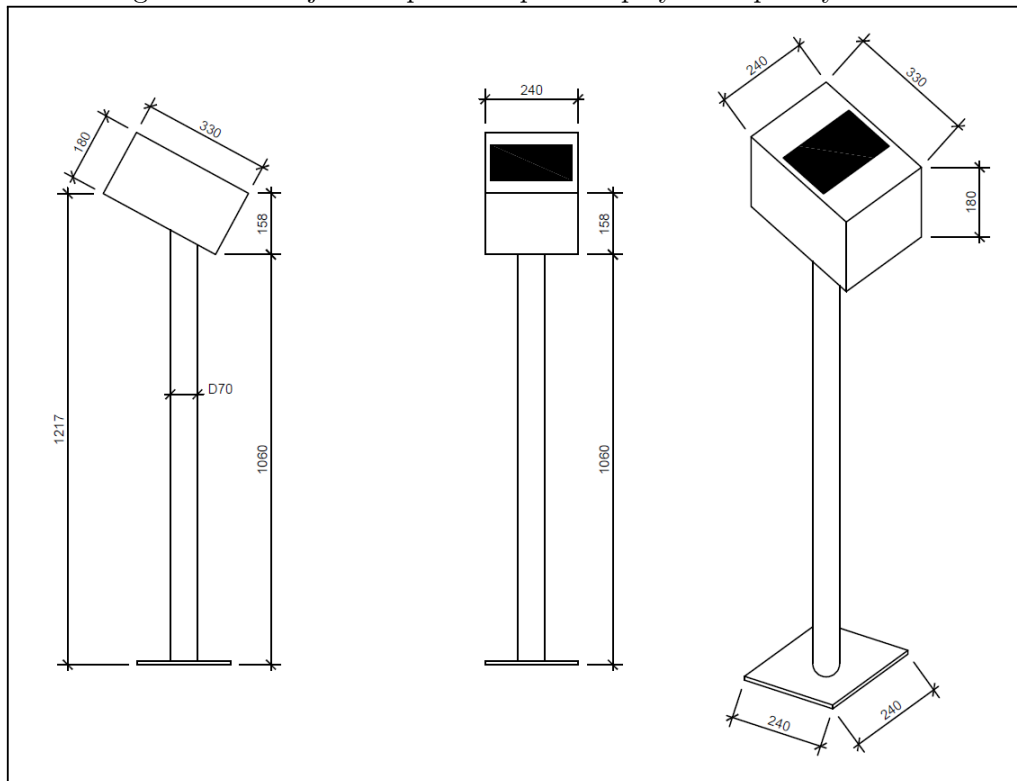


Fonte: O próprio autor (2022).

3.4.2 Construção do painel com *display* e formato de ligação dos *hardwares*

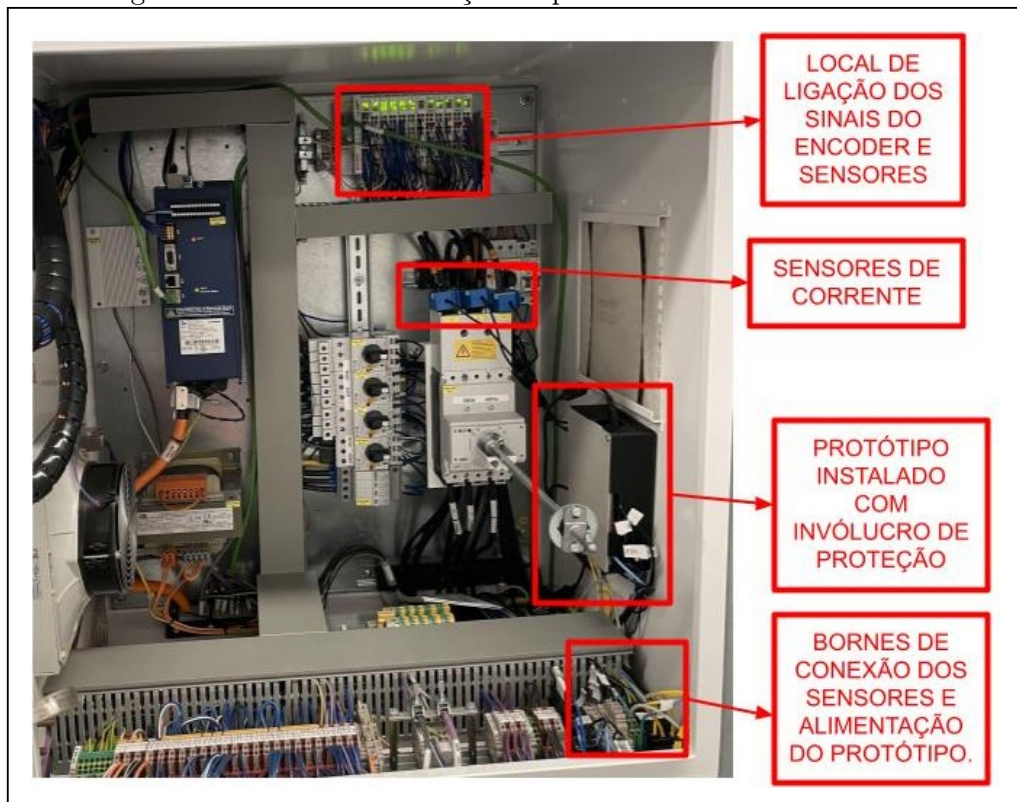
A fim de garantir ergonomia para o usuário do coletor, mantendo a tela a altura e ângulo coerente a utilização, além de prever uma proteção e isolamento adequada do equipamento, foi projetado em Autocad o pedestal, conforme Figura 25. Para execução do projeto foram utilizados tubos e chapas de aço, e uma caixa plástica para proteção mecânica e isolamento elétrica. A Figura 30 demonstra o coletor de dados montado e a Figura 45 do Apêndice E mostra a fixação do Raspberry Pi e do display a caixa.

Figura 25 – Projeto do pedestal para display e Raspberry Pi



Fonte: O próprio autor (2022).

Figura 26 – Local de instalação da placa de condicionamento



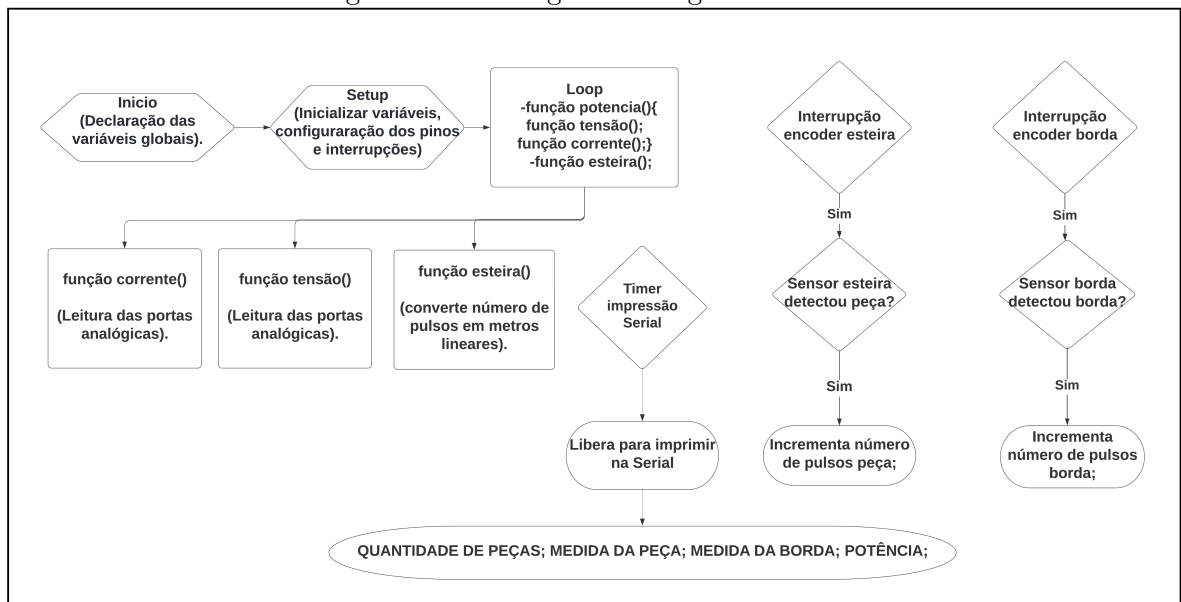
Fonte: O próprio autor (2022).

A conexão da placa, mostrada na Figura 19, à coladeira de bordas seguiu o formato apresentado na Figura 44 do Apêndice F e o local de instalação está apresentado na Figura 26. Para a ligação dos sinais de tensão foram inseridos fusíveis de vidro de 500mA, garantindo a proteção contra possíveis curto-circuitos, protegendo os circuitos do equipamento e do protótipo. Além disso, a alimentação do protótipo é importada da fonte 24VDC da coladeira. Nessa alimentação foi inserida proteção com fusível de vidro de 500mA, a placa foi alocada em caixa plástica para garantir proteção mecânica e foi posteriormente fixada na lateral do quadro. A escolha desse local se deu pela proximidade da conexão dos diversos sinais monitorados, pois se situa próximo à alimentação elétrica da máquina, facilitando a alocação dos transformadores de corrente e medidores de tensão, além de ficar próximo a um dos CLP's da máquina que contém o encoders e sensores monitorados.

3.4.3 Implementação do *software* de monitoramento, banco de dados e *dashboard*

A construção do *software* para aquisição dos dados de supervisão do equipamento seguiu a lógica, conforme demonstrado no fluxograma da Figura 27, a sequência de dados enviada do ESP 32 para o Raspberry Pi via comunicação UART segue representada na parte inferior da mesma figura com o seu respectivo separador de dados.

Figura 27 – Fluxograma código ESP 32

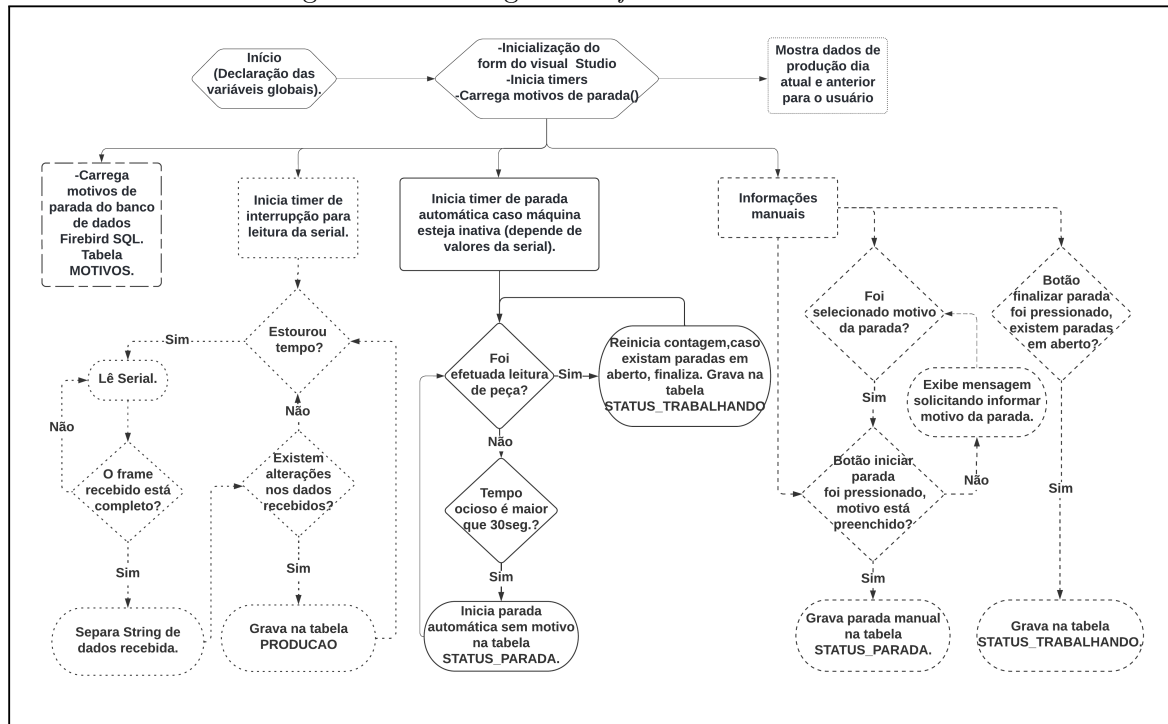


Fonte: O próprio autor (2022).

Após aquisição, os dados são enviados a cada segundo para o Raspberry Pi. Nessa etapa, a aplicação desenvolvida em Visual Studio realiza a aquisição e separação do pacote de dados. São tratados também os dados de motivos de parada do coletor e a aplicação, então, direciona as tabelas para o banco de dados. A descrição do formato de funciona-

mento do *software* desenvolvido em Visual Studio segue na Figura 28.

Figura 28 – Fluxograma *software* do terminal



Fonte: O próprio autor (2022).

O armazenamento é feito em um banco de dados SQL alocado no servidor da empresa, e o gerenciamento do banco de dados é feito pelo *software* Firebird. A inclusão de biblioteca Firebird no desenvolvimento do *software* do terminal permite o envio dos dados para o servidor de forma organizada. No banco de dados foram criadas quatro tabelas, conforme demonstrado pela Figura 29:

- Tabela “PRODUCAO”: a tabela de monitoramento de produção armazena os dados de quantidade de peças, metros lineares de peças, metros de bordas utilizadas e a potência do instante de envio dos dados. Com o intuito de verificar os dados de produção são enviados também a data e hora das aquisições.
- Tabela “MOTIVOS”: essa tabela foi construída com objetivo de armazenar no banco os motivos de parada, cadastrados pelo administrador do sistema. Esses motivos cadastrados são carregados para a interface coletora na inicialização do aplicativo.
- Tabela “STATUS PARADA”: armazena os dados de parada informados pelo usuário ou vindos do ESP 32 (ausência de leitura de peças em período de 30 segundos). Nessa tabela são arquivados o ID da parada, data e hora, bem como o motivo registrado e a informação do código da máquina.
- Tabela “STATUS TRABALHANDO”: essa tabela demonstra os dados de finalização de paradas informados pelo usuário ou vindos do ESP 32 (caso sejam verificadas

leituras de peças após uma parada). Nessa tabela são arquivados o ID da parada, data e hora, informação do código da máquina e origem da finalização da parada (se foi realizada pelo usuário, ou pelo registro de passagem de peça).

Figura 29 – Formato das tabelas construídas no banco de dados

PRODUCAO						
SEQ	DATA	HORA	QTD_PECA	MT_PECA	MT_BORDA	ENERGIA
21	14/10/2022	19:19:33	11	10	10.8	4.5
22	14/10/2022	19:27:21	15	13	13.6	4.8
23	14/10/2022	19:29:38	18	14	14.8	4.2
24	14/10/2022	19:30:46	20	16	16.5	4
25	14/10/2022	19:32:57	22	18	18.9	5.2
:
:

STATUS_PARADA				
ID	DATA	HORA	MAQUINA	MOTIVO
21	14/10/2022	19:19:33	511	FALTA DE PROGRAMAÇÃO
22	14/10/2022	19:27:21	511	LIMPEZA
23	14/10/2022	19:29:38	511	LIMPEZA DO COLEIRO
24	14/10/2022	19:30:46	511	TREINAMENTO
25	14/10/2022	19:32:57	511	REUNIÃO
:
:

MOTIVOS	
COD_MOTIVO	DESC_MOTIVO
1	FALTA DE PROGRAMAÇÃO
2	LIMPEZA
3	LIMPEZA DO COLEIRO
4	TREINAMENTO
5	REUNIÃO
:
:

STATUS_TRABALHANDO					
ID	DATA	HORA	MAQUINA	ORIGEM	ID_ULTIMA_PARADA
21	14/10/2022	19:19:33	511	BTN_FINALIZA	20
22	14/10/2022	19:27:21	511	PASSOU PECA	21
23	14/10/2022	19:29:38	511	PASSOU PECA	22
24	14/10/2022	19:30:46	511	BTN_FINALIZA	23
25	14/10/2022	19:32:57	511	BTN_FINALIZA	24
:
:

Fonte: O próprio autor (2022).

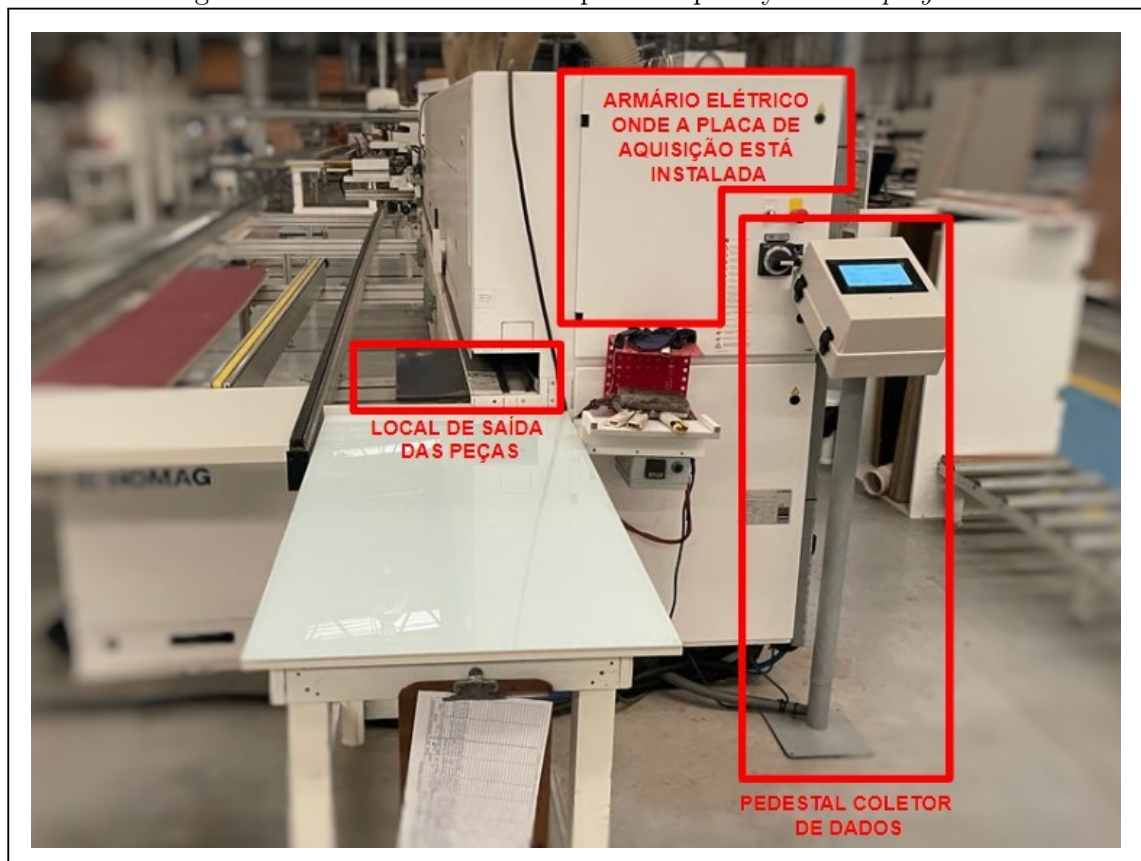
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são abordados os tópicos referentes a instalação do protótipo, ensaios de funcionamento e resultados coletados no período de 14/11/2022 a 18/11/2022, respectivos a uma semana de aquisição de dados.

4.1 INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO E ENSAIO INICIAL DE FUNCIONAMENTO

A instalação do pedestal foi realizada na parte traseira do equipamento. O local foi escolhido por ser comum aos operadores e auxiliares, que realizam o trabalho de descarga das peças, facilitando, pela proximidade, o preenchimento e acompanhamento dos dados, conforme demonstra a Figura 30. Outra motivação da escolha desse local é de que se encontra próxima ao painel elétrico em que a placa de aquisição está instalada, de acordo com a Figura 26.

Figura 30 – Pedestal construído para Raspberry Pi e *display*

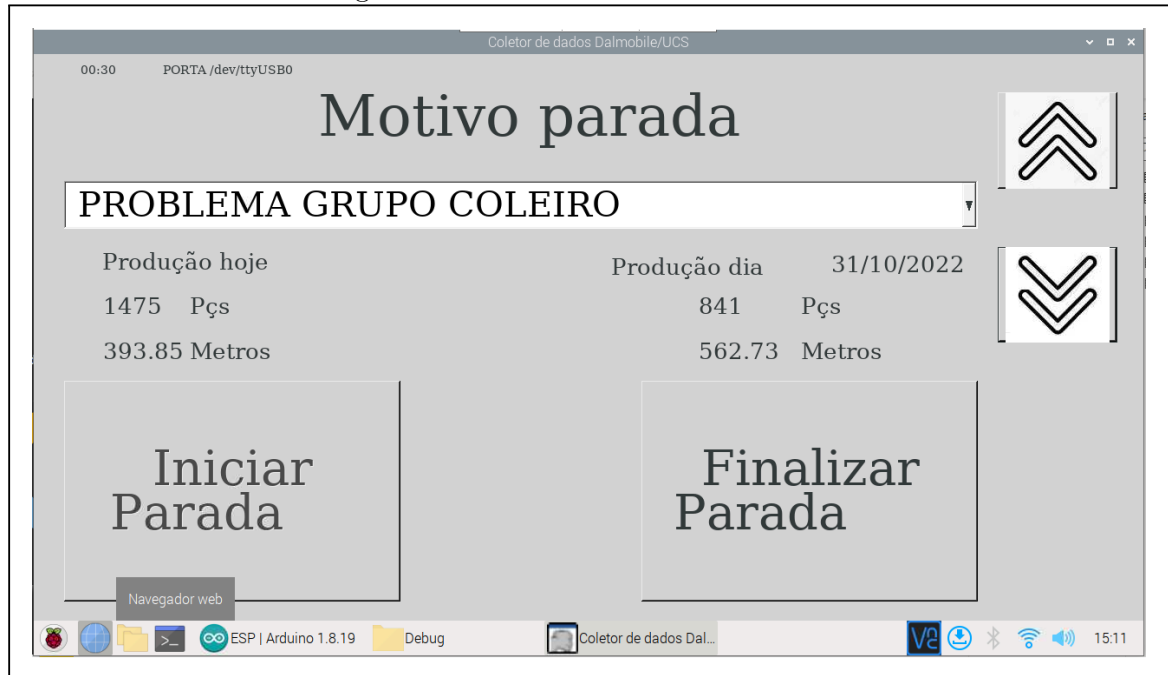


Fonte: O próprio autor (2022).

A interface apresentada na Figura 31 é responsável por disponibilizar as informações de produção do dia atual e dia anterior, possibilitando que o operador do equipamento visualize a sua performance. O *software* desenvolvido conta com uma área de interação,

onde os motivos da parada podem ser selecionados através dos botões com as flechas para cima e para baixo. Além desse campo de interação, existem dois botões que possibilitam que se inicie e que se fechem paradas do equipamento.

Figura 31 – Tela do Coletor de dados

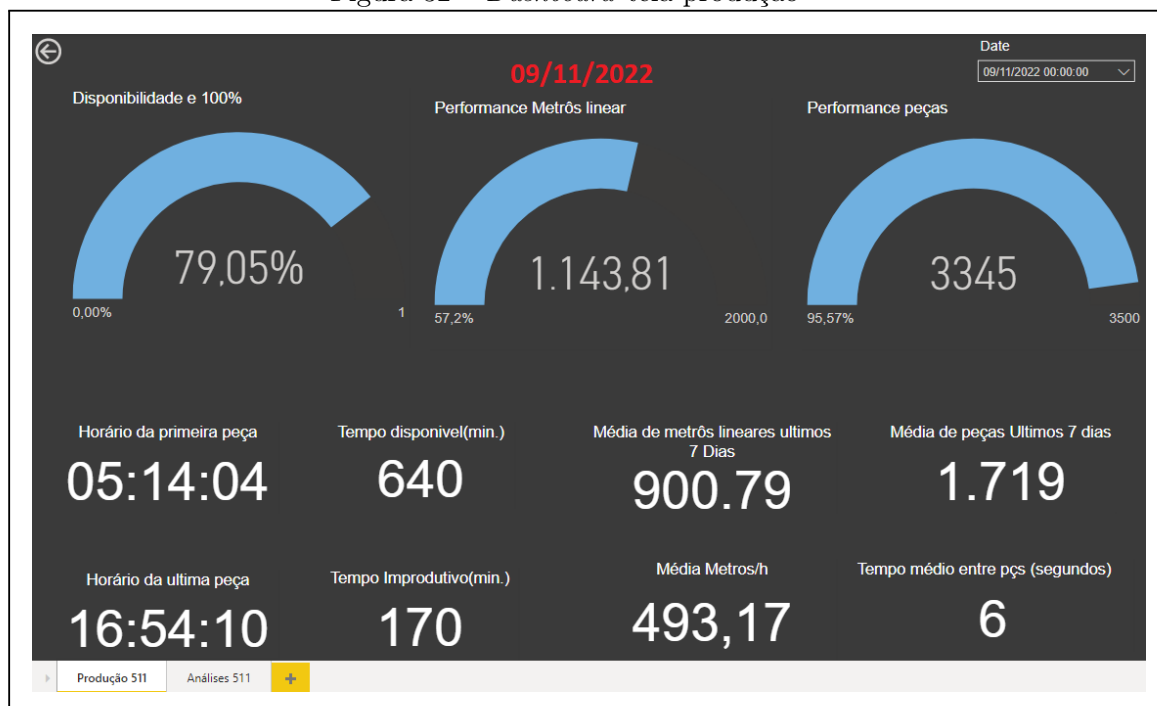


Fonte: O próprio autor (2022).

O *dashboard* desenvolvido em Power BI, conforme mostram as Figuras 32 e 33, serve para que os analistas possam visualizar diversos cruzamentos de dados. Na empresa onde o sistema foi instalado, essa análise será feita, posteriormente, pelo setor de planejamento e controle da produção. Para facilitar a visualização e manter os dados separados, foram criadas duas abas de dados. A primeira aba, nomeada como “Produção 511”, mostrada na Figura 32, demonstra indicadores de desempenho e dados de produção extraídos pelo protótipo. Nessa tela são apresentados indicadores de disponibilidade do equipamento, performance de produção em metros lineares de peças e quantidade de peças. Vale ressaltar que nesses indicadores é estipulada uma meta de produção diária que poderá ser corrigida após testes do protótipo.

Além dos dados mencionados acima, também são computados o horário em que o equipamento começou a funcionar no dia, e o horário que passou a última peça. São calculados também o tempo disponível do equipamento, tempo improdutivo, média de produção da semana, média em metros/hora e o intervalo médio entre a colagem de uma peça e outra no dia.

Figura 32 – Dashboard tela produção



Fonte: O próprio autor (2022).

A segunda aba, nomeada como “Análise 511”, segue mostrada na Figura 33. O gráfico nomeado como “Borda aplicada x Borda usada” evidencia o consumo de borda em relação à produção de peças para os últimos 7 dias, que possibilita a verificação da quantidade de fita de borda utilizada.

Ainda na Figura 33, no gráfico “Tempo de parada por motivo” são mostradas as paradas do equipamento. Nesse gráfico são unidos os dados de paradas informadas no coletor como, por exemplo, parada para limpeza ou reunião com os tempos improdutivo ou sem atividade de inserção de peças no equipamento. Para o dado de inatividade, foi considerado que, se o equipamento permanecer 30 segundos sem ler nenhuma peça, automaticamente se inicia uma parada por inatividade.

Além dos gráficos mencionados acima, a aba mostrada na Figura 33 conta com dois visualizadores do tipo Funil, nomeados como “Últimos 7 dias qtd. de peças” e “últimos 7 dias mts. lineares”, em que é possível observar a produção em metros lineares e quantidade de peças dos últimos 7 dias, verificando a oscilação de produção na semana. A aba ainda conta com dois gráficos de colunas que mostram o consumo de energia do equipamento e o maior valor de potência para cada hora do dia.

Foram também adicionados ao visual mostrado na Figura 33 duas tabelas, com as quais é possível extrair relatórios em formato CSV para análise posterior. Essas tabelas trazem dados de produção e de motivos de parada com horários, possibilitando análises mais aprofundadas a respeito dos dados coletados.

Figura 33 – Dashboard tela de análises



Fonte: O próprio autor (2022).

Analisando as informações coletadas no ensaio inicial de funcionamento, relativos ao período de 09/11/2022 a 11/11/2022 foi observado que, no dia 09/11/2022 a máquina iniciou os processos de colagem às 05:14 conforme Figura 32. Por motivos ligados ao planejamento da produção, foi solicitado que a equipe iniciasse os trabalhos às 05:00. Foi possível observar que, de fato, a produção se iniciou próxima ao horário combinado. A última peça do dia foi registrada às 16:54, respeitando os horários e tolerâncias definidos pela empresa. Vale salientar que o horário de trabalho normal da empresa é das 07:10 às 12:00 horas, e das 13:05 às 16:53 horas.

Os motivos de paradas analisados, do dia 09/11/2022 a 11/11/2022, são demonstrados na Figura 34. O principal motivo de paradas no período é o “tempo de inatividade”. Englobam as causas dessas paradas: as trocas de cores de borda, tempo separando peças por cores, deslocamento do operador para pegar peças, tempo para repor cola no equipamento e possíveis paradas sem motivos informados. As paradas por motivos não informados foram as maiores, resultando em 112 minutos no dia 09/11/2022. O segundo principal motivo no mesmo dia foi “limpeza”. A limpeza é necessária para manter o bom funcionamento do equipamento e a organização do setor. O terceiro e quarto motivos foram “reunião” e “problema na mesa elevadora”.

O motivo tratado como “problema mesa elevadora” faz referência a um mecanismo agregado a máquina que facilita a elevação das pilhas de peça. O funcionamento inadequado desse mecanismo implica em perda de produtividade, visto que, quando a mesa elevadora não pode ser descarregada (pilha de peças não pode ser trocada) o equipamento

acaba parando. Apresentando os dados dos três primeiros dias para a direção, somada com as reclamações anteriores ao início do monitoramento, foi liberada pela empresa a reforma do mecanismo, antes dotado de bomba hidráulica de acionamento pneumática por uma bomba hidráulica de acionamento elétrico, melhorando a confiabilidade e agilizando o processo. As imagens da mesa elevadora antes e depois da reforma podem ser observadas nas Figuras 47 e 48 do Apêndice F.

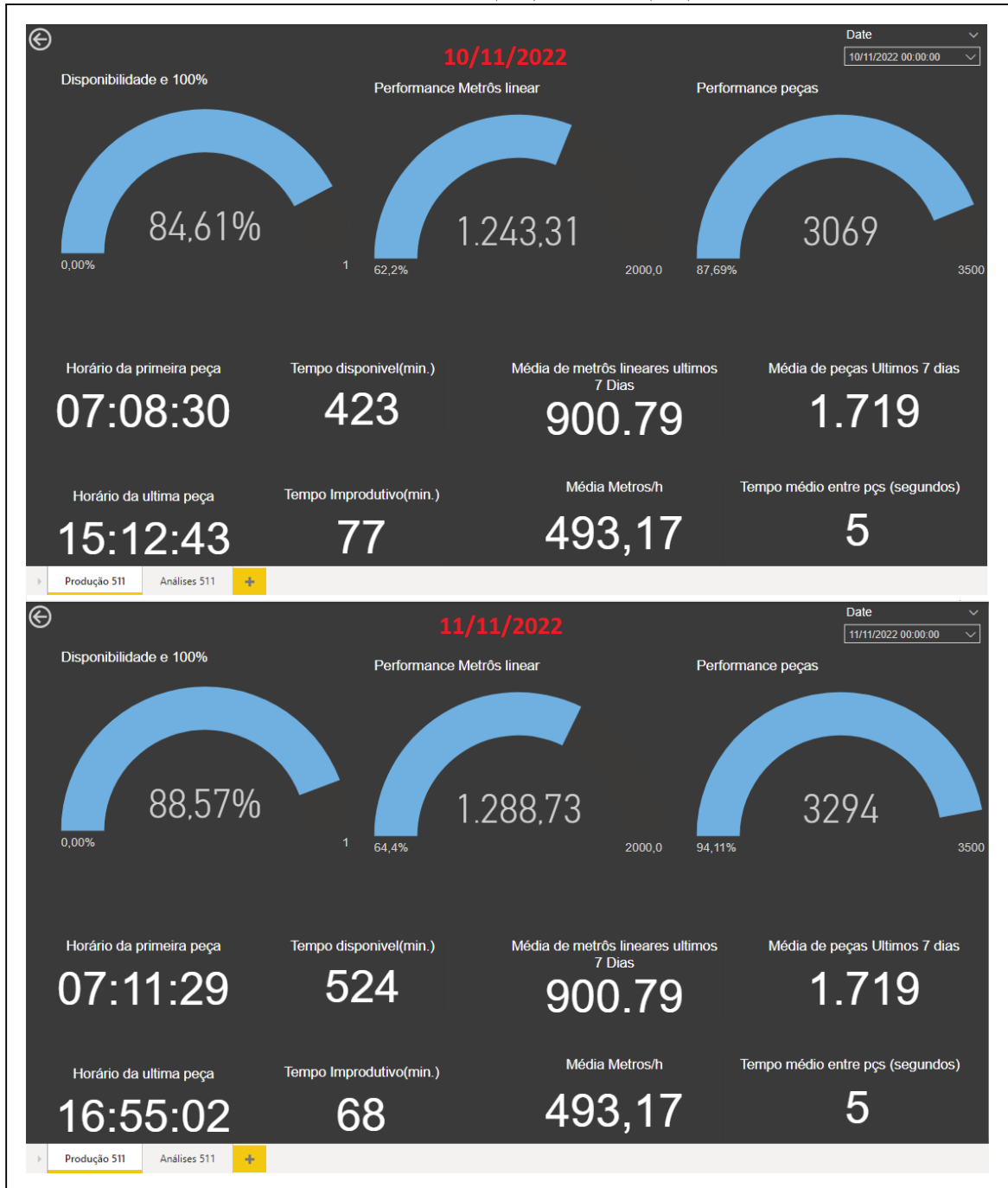
Figura 34 – Motivos de parada 09/11/2022 a 11/11/2022



Fonte: O próprio autor (2022).

Verificando ainda os dados do ensaio inicial de funcionamento, conforme Figura 32 e Figura 35, pode-se constatar que, nesse período, ocorreram dois problemas relacionados a operação do terminal. Nas ocasiões, o operador foi informar paradas no terminal e acabou, por acidente, fechando o programa, implicando em perda da coleta de dados, no dia 09/11/2022, das 11:20 às 12:00, e do dia 10/11/2022, das 15:12 às 16:53. Mesmo assim, foi possível verificar que no dia 09/11/2022, apesar de o turno ter iniciado antes, a produção em metros lineares foi menor que no dia 10/11/2022 e 11/11/2022.

Figura 35 – Produção 10/11/2022 a 11/11/2022



Fonte: O próprio autor (2022).

Uma das hipóteses do menor desempenho na produção em metros lineares pode ser explicada pelo tempo improdutivo que foi superior no dia 09/11/2022, motivado por paradas, conforme mostra a figura 34. Observando esses dados, é possível verificar que no dia 10/11/2022 não foi apontada ou efetuada limpeza no equipamento. Ainda, é possível observar que os tempos de inatividade nos dias 10 e 11/11/2022 foram 75 e 65 minutos, respectivamente. Já, no dia 09/11/2022, o período contabilizado foi de 112 minutos. Outra motivação foram as paradas para reunião e problemas na mesa elevadora

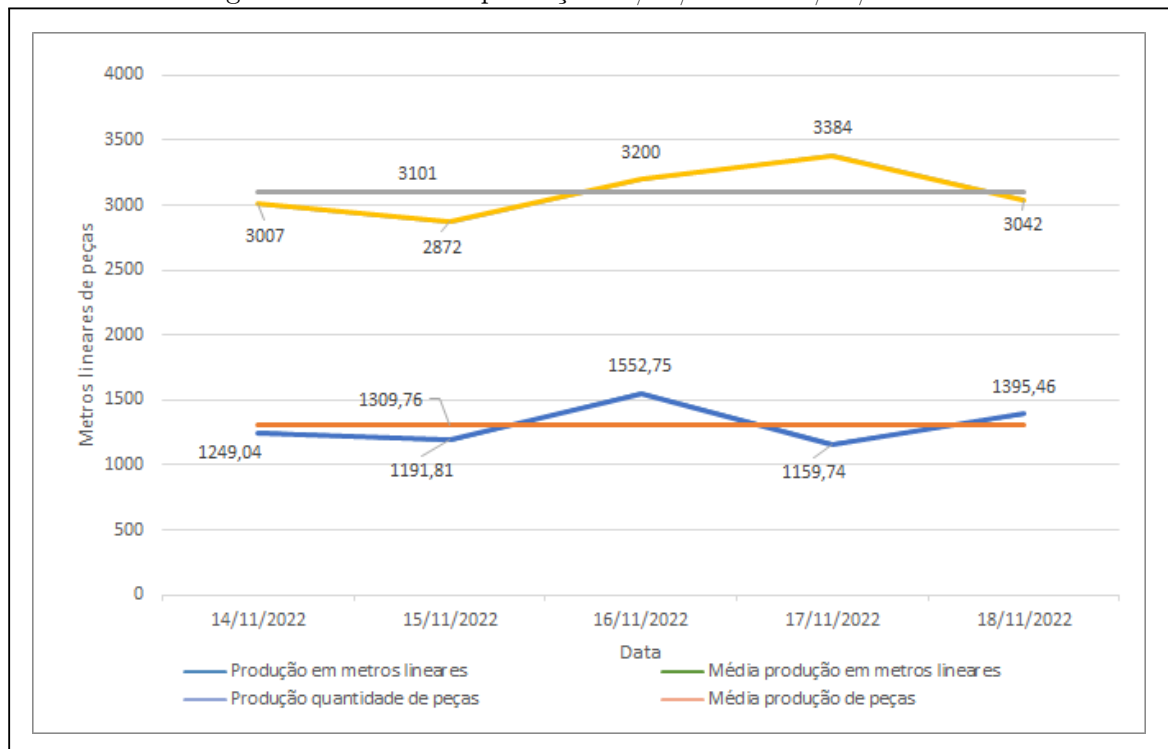
que resultaram, somados com a limpeza, 58 minutos. Outro dado que pode ser analisado é a disponibilidade, que no dia 09/11/2022 foi de 79,05% e nos dias 10 e 11/11/2022 foram de 84,61% e 88,57%, respectivamente.

4.2 ANÁLISE ESTENDIDA DO FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

4.2.1 Dados de produção

Extraíndo relatórios dos dados do período referente aos dias 14/11/2022 a 18/11/2022, pode-se verificar o valor médio de produção, conforme demonstra a Figura 36. Com esse valor é possível traçar uma meta de produção ligeiramente superior à média, o valor obtido foi de 1309 metros lineares. Foi possível analisar que ambos os tipos de controle de produção, ou seja, quantidade de peças produzidas e metros lineares produzidos, apresentaram pouca variação no decorrer dos dias comparado a média. Um dado de interessante análise, é que no dia 16/11/2022 foram produzidos 1552,75 metros lineares, e 3200 colagens de borda. Em contraponto, no dia 17/11/2022 foram produzidos 1159,74 metros lineares e 3384 colagens de borda, demonstrando que o comprimento das peças influencia diretamente nesses dados, sendo mais aconselhado o controle de produção em metros lineares.

Figura 36 – Média de produção 14/11/2022 a 18/11/2022



Fonte: O próprio autor (2022).

É possível também verificar os valores de disponibilidade do equipamento. Durante o

período analisado foi observada uma disponibilidade média de 84,33%, conforme mostra a Figura 37. No valor do dia 15/11/2022 foi possível observar uma disponibilidade menor do equipamento, caracterizando mais paradas, ou ainda menor eficiência da operação. Esses dados conferem com os dados plotados na Figura 36, que mostram que no dia 15/11/2022 a produção foi uma das menores dos 5 dias analisados. O gráfico demonstra que, no dia 17/11/2022 foi registrado o maior período de disponibilidade da semana. Analisando a Figura 36, pode-se verificar que o número de colagens foi o mais alto da semana, totalizando 3384 colagens de borda. Entretanto, a quantidade de metros lineares foi a menor da semana, demonstrando que nesse dia o equipamento efetuou colagens em peças de comprimento menor.

Figura 37 – Disponibilidade 14/11/2022 a 18/11/2022

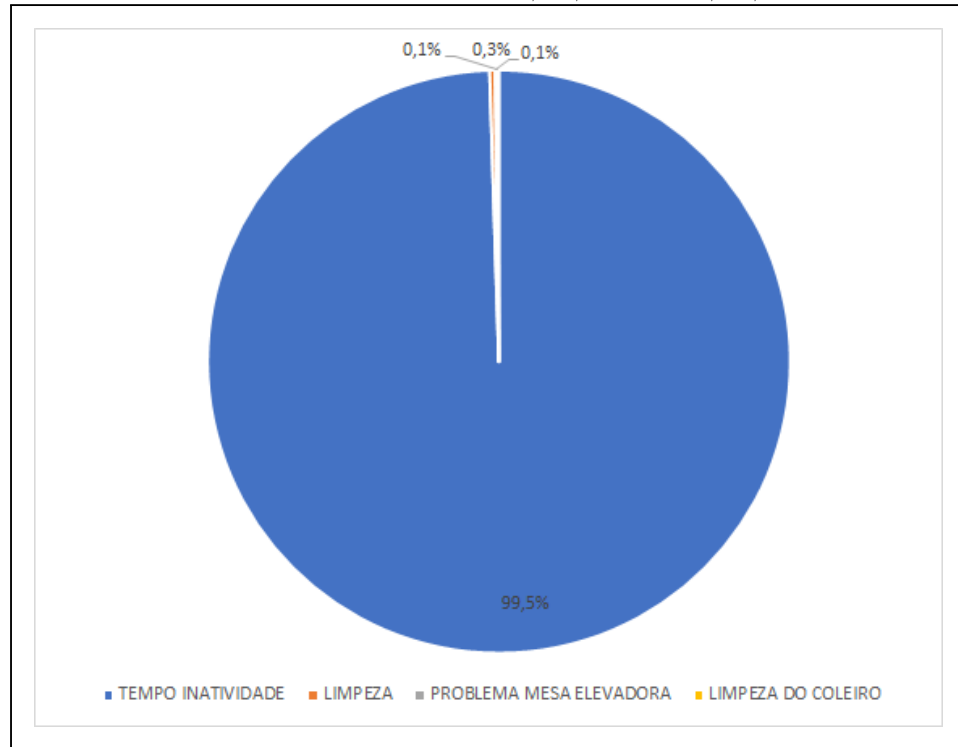


Fonte: O próprio autor (2022).

Os motivos de parada que resultaram nos valores de disponibilidade apresentados acima são mostrados na Figura 38, pode-se observar que, predominantemente, o tempo de inatividade é o maior deles, motivados por paradas não informadas ou tempos improdutivos durante *setups* do processo.

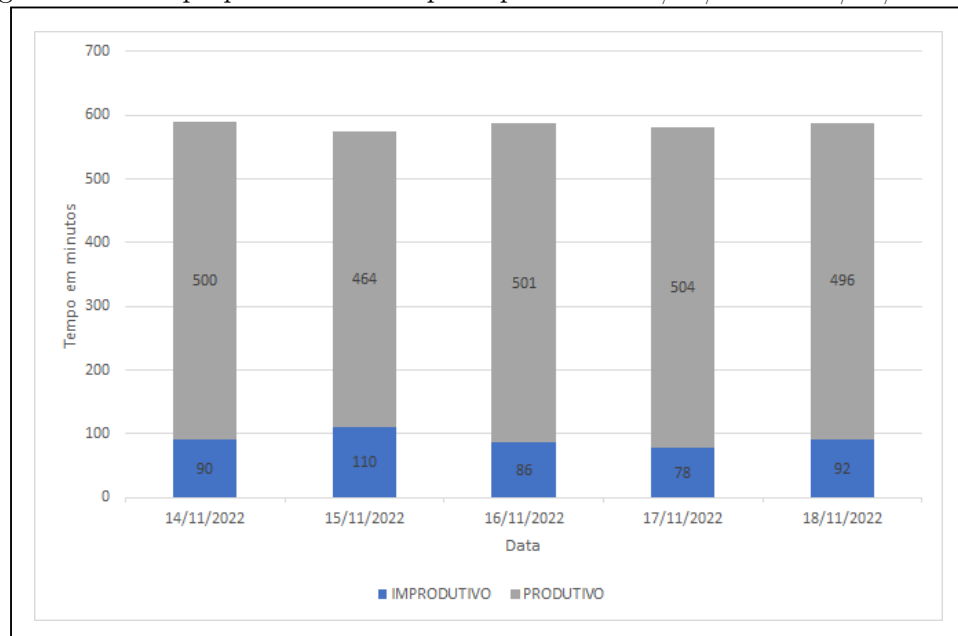
Os valores de disponibilidade em minutos, mostrados na Figura 37, podem ser analisados de forma a se verificar os tempos produtivos e improdutivos, conforme mostra a Figura 39.

Figura 38 – Motivos de parada 14/11/2022 a 18/11/2022



Fonte: O próprio autor (2022).

Figura 39 – Tempo produtivo e tempo improdutivo 14/11/2022 a 18/11/2022



Fonte: O próprio autor (2022).

O consumo de borda comparado a produção de peças pode ser observado na Figura 40. Analisando os dados é verificado um consumo de borda cerca de 5% superior à produção de peças, motivado por características mecânicas do equipamento.

Figura 40 – Metros de peça x metros de borda 14/11/2022 a 18/11/2022



Fonte: O próprio autor (2022).

4.2.2 Dados de consumo de energia e potência

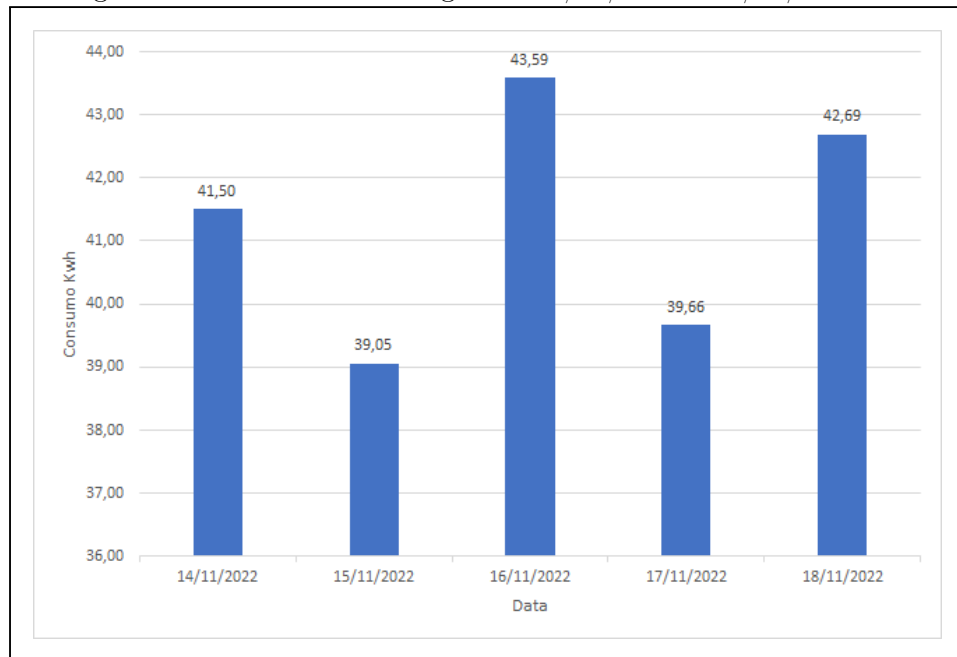
Após análise dos relatórios de dados de consumo de energia e demanda de potência elétrica, foi constatado que existe uma variação que depende do comprimento das peças que a máquina está aplicando fita, e do intervalo entre as peças, de forma que peças com maior comprimento acabam demandando mais potência do equipamento.

Uma variável que não é observada pelo protótipo e influencia diretamente no consumo de energia são os grupos da máquina que estão em uso, de forma que mais grupos com motores e mecanismos sendo acionados demandam mais potência.

Além disso, a análise dos relatórios evidencia que, em momentos em que a máquina está mais carregada, ou seja, um maior número de peças na esteira com certa proximidade, o consumo é maior.

Os dados analisados na semana remetem a um consumo médio de 41.3 kWh, o gráfico ainda demonstra uma relação com as quantidades de produção demonstradas na Figura 36, em que o dia 16/11/2022, além de apresentar maior produção em metros lineares, também apresenta maior consumo de energia. O menor consumo de energia foi registrado no dia 15/11/2022, dia em que a máquina apresenta menor disponibilidade e menor produção em quantidade de colagens.

Figura 41 – Consumo de energia dia 14/11/2022 a 18/11/2022



Fonte: O próprio autor (2022).

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou o desenvolvimento de um protótipo para monitoramento e coleta de dados de produção aplicado a uma máquina moveleira do tipo coladeira de bordas.

Através do desenvolvimento de uma placa para aquisição de sinais de encoders e sensores foi possível monitorar o desempenho de produção referente a metros lineares produzidos e quantidade de peças. O tratamento e envio dos sinais foi efetuado por microcontrolador na plataforma ESP 32 WROOM e enviado via comunicação UART para um Raspberry Pi 3 Model B+.

Os dados foram tratados através de um *software* desenvolvido em Visual Studio. O algoritmo do *software*, além de receber os dados da serial, apresenta em um coletor diversos motivos de paradas, passíveis de seleção através de *display touch screen*. Realiza, ainda, manipulações das informações recebidas, alocando tudo em tabelas no banco de dados do servidor da empresa.

Por meio de *dashboard* desenvolvido em Power BI é possível visualizar gráficos e relatórios relacionados aos dados extraídos, possibilitando adoção de metas alcançáveis e tomadas de decisão com base em valores obtidos no equipamento.

A placa com os circuitos de aquisição instalada no equipamento se mostrou funcional, e teve ótimo desempenho, não caracterizando falhas. O coletor de dados desenvolvido com Raspberry Pi e *display touch screen* se mostrou efetivo, juntamente com a aplicação desenvolvida em Visual Studio, possibilitando ao operador justificar as paradas e verificando o desempenho do equipamento e da equipe.

A análise estendida do protótipo propiciou conhecer a média de produção do equipamento que ficou em 3101 peças por dia. Além disso, foi possível observar que a média de produção em metros lineares para a semana analisada foi de 1309,76 metros lineares. O tempo disponível do equipamento para trabalho ficou em 84,33% na semana analisada, evidenciando que o principal motivo de paradas do equipamento foi por inatividade, ou seja, período em que a máquina estava disponível e ficou sem receber peças. O consumo de energia do equipamento apresentou média de 41.3kWh na semana analisada, valores que devem ficar próximos para períodos maiores.

A análise dos dados coletados propiciou a verificação de um problema relacionado a mesa elevadora, que gerava perdas produtivas e transtornos, demonstrando a necessidade de melhoria e auxiliando no aumento da confiabilidade do equipamento.

Um ponto negativo da implementação foi a baixa adesão por parte dos operadores e auxiliares do equipamento, que negligenciam o apontamento dos motivos de parada, dificultando melhorias relacionadas ao processo de produção.

O protótipo propicia à empresa o registro e estudo de dados, criando históricos do equipamento e contribuindo para posicionamentos estratégicos e melhor aproveitamento

do ativo.

De maneira geral, as informações obtidas trouxeram dados valiosos para a empresa, informando os horários de início e parada de funcionamento do equipamento, tempo entre peças, diversos parâmetros de desempenho de produção, estimativa de consumo de energia elétrica da máquina, motivos de paradas e tempos de ociosidade.

Como considerações finais podem ser propostas algumas mudanças para projetos futuros:

- Realizar a construção da placa em PCI garantindo confiabilidade ao projeto;
- Envolver a placa PCI em caixa com fixação em trilho DIN, permitindo flexibilidade da instalação em ambiente industrial;
- Garantir, através de treinamentos e palestras, que os operadores e usuários compreendam os benefícios da utilização do sistema;
- Projetar um sistema que impeça o funcionamento do equipamento em caso de paradas sem justificativa apontada;
- Realizar um estudo de caso instalando o sistema desenvolvido em outras máquinas do processo produtivo.

REFERÊNCIAS

- ABIMOVEL. **Dados do Setor**. 2020. Disponível em : <http://abimovel.com/dados-do-setor>, Acesso em : 26-03-2022.
- AGUIRRE, L. A. **Fundamentos de instrumentação**. [S.l.]: Pearson, 2013. ISBN 978-85-430-1427-2.
- ARDUINO. **Arduino Nano**. 2021. Disponível em : <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano?selectedStore=us#>, Acesso em : 28-04-2022.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas v.1**. [S.l.]: LTC, 2010.
- BALBINOT, A. et al. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas v.2**. [S.l.]: LTC, 2007.
- BERNSTEIN. **Technische Daten Metallschalter**. [S.l.], 2010. Disponível em :<https://sarmaxx.de/pdf/bernstein/6122785892de.pdf>.
- COELHO, P. M. N. **Rumo à indústria 4.0**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em :<https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>. Acesso em : 18 - 04 2022.
- CONCEITO.DE., E. editorial de. **Conceito de sensor**. 2013. Disponível em : <https://conceito.de/sensor>, Acesso em : 16-04-2022.
- CRAVO, E. **O que é Controlador Lógico Programável (CLP) e como funciona**. 2022. Disponível em : <https://blog.kalatec.com.br/controlador-logico-programavel/>, Acesso em : 16-04-2022.
- CRUZ, F. B. da et al. Iot e computação na nuvem: O aproveitamento de sistemas legados para industria 4.0. ago. 2021. Disponível em :<https://www.cadernosuninter.com/index.php/progressus/article/view/1993> Acesso em : 05 - 04 2022.
- DORNELLES, J. **Internet das Coisas na Manufatura Industrial: uma ferramenta da Indústria 4.0 para interação dos processos**. 2021. Disponível em :<https://redeindustria40.com.br/internet-das-coisas-na-manufatura-industrial-uma-ferramenta-da-industria-4-0-para-interacao-dos-processos/>, Acesso em : 25-05-2022.
- DORNELLES, J.; KERBER, V. **Jornada 4.0 na Florense Móveis**. 2022. Disponível em : <https://redeindustria40.com.br/jornada-4-0-na-florense-moveis/>, Acesso em : 16-04-2022.
- EGURKO. **MANUAL DE INSTRUÇÕES**. [S.l.], 2008.
- ESPRESSIF, S. **Technical Reference Manual**. [S.l.], 2021. Disponível em :https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual em : 25-04-2022,.
- _____. **Arduino-ESP32**. [S.l.], 2022. Disponível em :https://docs.espressif.com/_/downloads/arduino-esp32/en/latest/pdf/ ,Acesso em : 01-05-2022,.

FAGUNDES, P. J. **O que é um sistema SCADA?** 2021. Disponível em : <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-e-um-sistema-scada/>, Acesso em : 16-04-2022.

FLORENTINO, P. T. **Gerenciamento e desenvolvimento em banco de dados.** [S.l.]: Educacional, 2018. ISBN 978-85-522-1132-7.

GALERA, N. M. **Método para identificar e analisar as práticas da indústria 4.0 no setor moveleiro.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020. Disponível em : <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5342> . Acesso em : 05 - 04 2022.

GAZIERO, C.; CECCONELLO, I. Simulação computacional do fluxo de valor: uma proposta de integração da indústria 4.0 e lean production. **SCIENTIA CUM INDUSTRIA**, 2019. Disponível em : <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/7158/pdf>. Acesso em : 05 - 04 2022.

HARDE. **Sensores indutivos.** 2022. Disponível em : <https://harde.com.br/sensor-indutivo.php>, Acesso em : 16-04-2022.

HOMAG. **Manual de instruções original EDGETEQ S-500 profiLine.** [S.l.], 2019.

_____. **Coladeiras de bordas EDGETEQ S-500 Optimat e profiLine.** 2022. Disponível em : <https://www.homag.com/pt/detalhes-do-produto/coladeiras-de-bordas-edgeteq-s-500-optimat-e-profiline>, Acesso em : 01-04-2022.

IMA. **Manual de instruções original.** [S.l.], 2015.

JOWAT. **Colagem de fitas de borda.** [S.l.], 2021. Disponível em : <https://www.jowat.com/pt-BR/aplicacoes/industria-moveleira/armarios/colagem-de-fitas-de-borda/>, Acesso em : 31-03-2022,.

KERSCHBAUMER, R. **Programação Aplicada a Microcontroladores.** IFC, 2018. Disponível em: <<https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-Microcontroladores.pdf>>.

KRIEGER, Y. G. A.; WOBETO, R. Comparativo entre cnc nesting e seccionadora para produção de móveis planejados em lotes unitários. **SINACEN**, out. 2021. Disponível em : <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/SINACEN/article/view/7618/3777> =, Acesso em : 30-03-2022.

LEM. **Voltage transducer LV 25-P.** 2014. Disponível em : <https://www.farnell.com/datasheets/1866272.pdf>, Acesso em : 01-05-2022.

LTD, R. P. **Raspberry Pi 7" Touch Screen Display.** [S.l.], 2021. Disponível em : <https://datasheets.raspberrypi.com/display/7-inch-display-product-brief.pdf> , Acesso em : 26-05-2022,.

MACHADO, F. N. R. **Banco de Dados Projeto e Implementação.** [S.l.]: Érica, 2014. ISBN 978-85-365-0984-6.

MICROCHIP, T. I. **PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet**. [S.l.], 2006. Disponível em :<https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>, Acesso em : 25-04-2022,.

MICROSOFT. **O que é o Power BI**. 2021. Disponível em :<https://powerbi.microsoft.com/pt-br/what-is-power-bi/>, Acesso em : 26-05-2022.

_____. **Visual Studio**. 2022. Disponível em : <https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/>, Acesso em : 22-05-2022.

NUNES, S. E.; MOURA, R. A. P. **Programação em Banco de Dados**. [S.l.]: Educacional S.A, 2018. ISBN 978-85-522-1165-5.

OLIVEIRA, S. de. **Internet das coisas com ESP 8266, Arduino e raspberry pi**. [S.l.]: Novatec, 2017. ISBN 978-85-7522-582-0.

PI, R. **Raspberry Pi 3 Modelo B+**. 2022. Disponível em : <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>, Acesso em : 01-05-2022.

PIVA, R. D. **Processo de Fabricação de Móveis Sob Encomenda**. [S.l.], 2006. Disponível em :<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-technico/downloadsDT/MTE=>, Acesso em : 30-03-2022.

RIOS, A. de A. et al. Comparativo entre plataformas de desenvolvimento de sistemas microcontrolados para aplicações em internet das coisas. 2020. Disponível em :https://peteetricaufu.com.br/static/ceel/artigos/artigo_567.pdf Acesso em : 06 - 04 2022.

SACOMANO, J. et al. **Indústria 4.0**. Blucher, 2018. ISBN 9788521213710. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=PNCuDwAAQBAJ>>.

SANTOS, B. P. et al. Industry 4.0: Challenges and opportunities. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111–124, Mar. 2018. Disponível em: <<https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento/article/view/e316>>.

SICK. **WL12GC-3P2472B01**. [S.l.], 2021. Disponível em :https://cdn.sick.com/media/pdf/4/44/444/dataSheet_WL12GC-3P2472B01_1070335_en.pdf.

SIEMENS. **Montageanleitung**. [S.l.], 2007. Disponível em :<https://support.industry.siemens.com/forum/ww/en/postattachments/download/?attachmentId=3>

_____. **Sistemas de execução de produção (Manufacturing Execution Systems, MES)**. 2022. Disponível em : <https://www.plm.automation.siemens.com/global/pt/our-story/glossary/manufacturing-execution-systems-mes/38072>, Acesso em : 16-04-2022.

SOLDA, S. **Desempenho do polo moveleiro de Bento Gonçalves em 2021**. 2021. Disponível em : <https://emobile.com.br/site/varejo/desempenho-do-polo-moveleiro-de-bento-goncalves-em-2021/>, Acesso em : 26-03-2022.

TEAM, D. **Features**. 2021. Disponível em :<https://firebirdsql.org/en/features/>, Acesso em : 25-05-2022.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. urbano braga de. **Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações**. [S.l.]: ÈRICA, 2019. ISBN 9788536500713.

USP. **Coeficiente-de-correlação-de-Pearson**. 2020. Disponível em :http://www5.eesc.usp.br/saate/index.php/saate/Indicar-a-T_C3_A9cnica/Associar/2.-_C3_81rvore-de-decis_C3_A3o/Gloss_C3_A1rio/Coeficiente-de-correla_C3_A7_C3_A3o-de-Pearson, Acesso em : 08-11-2022.

WEG. **SENSORES INDUSTRIAIS**. [S.l.], 2021.

YHDC. **Split core current transformer**. [S.l.], 2022. Disponível em :<https://en.yhdc.com/product/SCT013-401.html> ,Acesso em : 16-05-2022,.

APÊNDICE A

Tabela 4 – Valores verificados fase R

CORRENTE R			
MEDIÇÃO Nº	CORRENTE MULTIMETRO(A)	VALOR ESP(A)	ERRO EM RELAÇÃO A CORRENTE REAL(%)
1	0	0	#DIV/0!
2	2	2	0,00%
3	4	4	0,00%
4	6	6	0,00%
5	8	8	0,00%
6	10	10,08	-0,80%
7	12	12,09	-0,75%
8	14	14,1	-0,71%
9	16	16,05	-0,31%
10	18	18,08	-0,44%
11	20	20,22	-1,10%
12	22	22,08	-0,36%
13	24	24,11	-0,46%
14	26	26,17	-0,65%
15	28	28,32	-1,14%
16	30	30,32	-1,07%
17	32	32,45	-1,41%
18	34	34,37	-1,09%
19	36	36,5	-1,39%
20	38	38,55	-1,45%
21	40	40,83	-2,08%
22	42	42,98	-2,33%
23	44	44,83	-1,89%
24	46	46,75	-1,63%
25	48	48,93	-1,94%
26	50	50,64	-1,28%

Fonte: O próprio autor (2022).

Tabela 5 – Valores verificados fase S

CORRENTE S			
MEDIÇÃO Nº	CORRENTE MULTIMETRO(A)	VALOR ESP(A)	ERRO EM RELAÇÃO A CORRENTE REAL(%)
1	0	0	#DIV/0!
2	2	2,05	-2,50%
3	4	4,02	0,00%
4	6	6,04	-0,67%
5	8	7,91	0,00%
6	10	9,98	0,20%
7	12	12,06	-0,75%
8	14	13,97	0,21%
9	16	15,94	-0,31%
10	18	17,91	0,50%
11	20	19,97	-1,10%
12	22	21,85	0,68%
13	24	23,87	-0,46%
14	26	25,87	0,50%
15	28	28,01	-1,14%
16	30	30,05	-0,17%
17	32	32,13	-1,41%
18	34	34,05	-0,15%
19	36	36,19	-1,39%
20	38	38,21	-0,55%
21	40	40,31	-2,08%
22	42	42,93	-2,21%
23	44	44,96	-1,89%
24	46	46,84	-1,83%
25	48	48,96	-1,94%
26	50	50,24	-0,48%

Fonte: O próprio autor (2022).

Tabela 6 – Valores verificados fase T

CORRENTE T			
MEDIÇÃO Nº	CORRENTE MULTIMETRO(A)	VALOR ESP(A)	ERRO EM RELAÇÃO A CORRENTE REAL(%)
1	0	0	#DIV/0!
2	2	2,03	-1,50%
3	4	4,06	-1,50%
4	6	6,02	-0,33%
5	8	7,89	1,38%
6	10	10	0,00%
7	12	11,97	0,25%
8	14	13,98	0,14%
9	16	15,9	0,62%
10	18	17,94	0,33%
11	20	19,94	0,30%
12	22	21,93	0,32%
13	24	23,87	0,54%
14	26	25,92	0,31%
15	28	28,02	-0,07%
16	30	30,13	-0,43%
17	32	32,11	-0,34%
18	34	34,08	-0,24%
19	36	36,46	-1,28%
20	38	38,26	-0,68%
21	40	40,37	-0,92%
22	42	42,38	-0,90%
23	44	44,84	-1,91%
24	46	46,8	-1,74%
25	48	48,85	-1,77%
26	50	50,94	-1,88%

Fonte: O próprio autor (2022).

APÊNDICE B

Tabela 7 – Função de transferência fase R

TENSÃO R - $\{V=0,0724.b+22,763\}$			
TENSÃO MULTIMETRO(V)	MÉDIA DAS 3 MEDIÇÕES DO ADC (bit)	TENSÃO PELA EQUAÇÃO(V)	ERRO EM RELAÇÃO A TENSÃO DO MULTÍMETRO(%)
0	0	22,76	
10	0	22,76	-127,63%
20	0	22,76	-13,82%
30	50,5	26,42	-11,94%
40	182,5	35,98	-10,06%
50	320,5	45,97	-8,07%
60	451	55,42	-7,64%
70	593	65,70	-6,15%
80	733	75,83	-5,21%
90	874	86,04	-4,40%
100	1013,5	96,14	3,86%
110	1159,5	106,71	2,99%
120	1299,5	116,85	-2,63%
130	1442,5	127,20	-2,15%
140	1586,5	137,63	-1,70%
150	1724,5	147,62	-1,59%
160	1865,5	157,83	1,36%
170	2004,5	167,89	1,24%
180	2148,5	178,31	0,94%
190	2288	188,41	0,83%
200	2431	198,77	0,62%
210	2570,5	208,87	0,54%
220	2733	220,63	-0,29%
230	2894,5	232,32	1,01%
240	3077,5	245,57	2,32%
250	3287,5	260,78	4,31%

Fonte: O próprio autor (2022).

Tabela 8 – Função de transferência fase S

TENSÃO S - $\{V=0,0721.b+22,544\}$			
TENSÃO MULTIMETRO(V)	MÉDIA DAS 3 MEDIÇÕES DO ADC (bit)	TENSÃO PELA EQUAÇÃO (V)	ERRO EM RELAÇÃO A TENSÃO DO MULTÍMETRO(%)
0	0	22,54	
10	0	22,54	-125,44%
20	0	22,54	-12,72%
30	55	26,51	-11,64%
40	191	36,32	-9,21%
50	322,5	45,80	-8,41%
60	457,5	55,53	-7,45%
70	599	65,73	-6,10%
80	739	75,83	-5,22%
90	880	85,99	-4,45%
100	1021,5	96,19	3,81%
110	1166	106,61	3,08%
120	1308	116,85	-2,62%
130	1450	127,09	-2,24%
140	1594	137,47	-1,81%
150	1735	147,64	-1,58%
160	1872	157,52	1,55%
170	2010	167,47	1,49%
180	2158	178,14	1,04%
190	2298	188,23	0,93%
200	2441	198,54	0,73%
210	2585	208,92	0,51%
220	2742	220,24	-0,11%
230	2907	232,14	0,93%
240	3090,5	245,37	2,24%
250	3300,5	260,51	4,20%

Fonte: O próprio autor (2022).

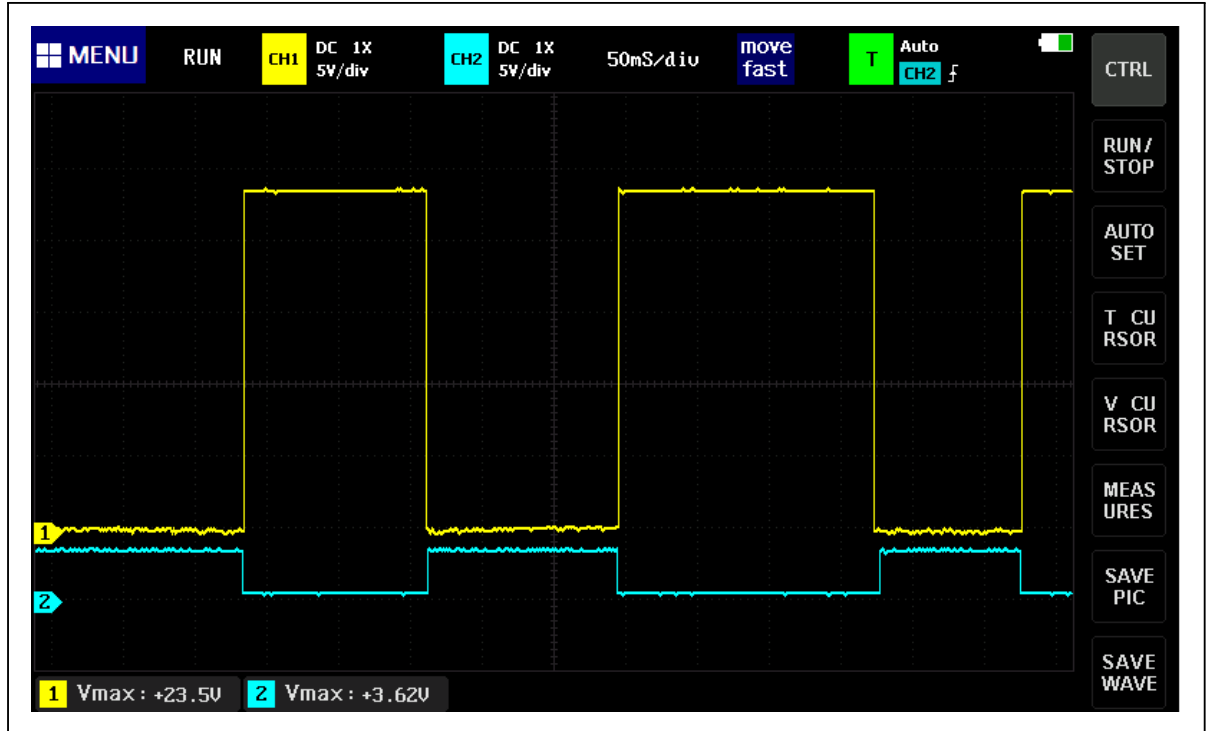
Tabela 9 – Função de transferência fase T

TENSÃO S - $\{V=0,0737.b+22,693\}$			
TENSÃO MULTIMETRO(V)	MÉDIA DAS 3 MEDIÇÕES DO ADC (bit)	TENSÃO PELA EQUAÇÃO (V)	ERRO EM RELAÇÃO A TENSÃO DO MULTÍMETRO(%)
0	0	22,69	
10	0	22,69	-126,93%
20	0	22,69	-13,47%
30	48	26,23	-12,56%
40	178,5	35,85	-10,38%
50	309,5	45,50	-8,99%
60	443	55,34	-7,76%
70	581,5	65,55	-6,36%
80	719	75,68	-5,40%
90	856,5	85,82	-4,65%
100	997,5	96,21	3,79%
110	1140,5	106,75	2,96%
120	1281	117,10	-2,41%
130	1419	127,27	-2,10%
140	1561	137,74	-1,62%
150	1700	147,98	-1,34%
160	1837,5	158,12	1,18%
170	1973,5	168,14	1,09%
180	2116	178,64	0,75%
190	2253	188,74	0,66%
200	2391,5	198,95	0,53%
210	2531,5	209,26	0,35%
220	2681	220,28	-0,13%
230	2863	233,70	1,61%
240	3010	244,53	1,89%
250	3207	259,05	3,62%

Fonte: O próprio autor (2022).

APÊNDICE C

Figura 42 – Sinal entrada Digital



Fonte: O próprio autor (2022).

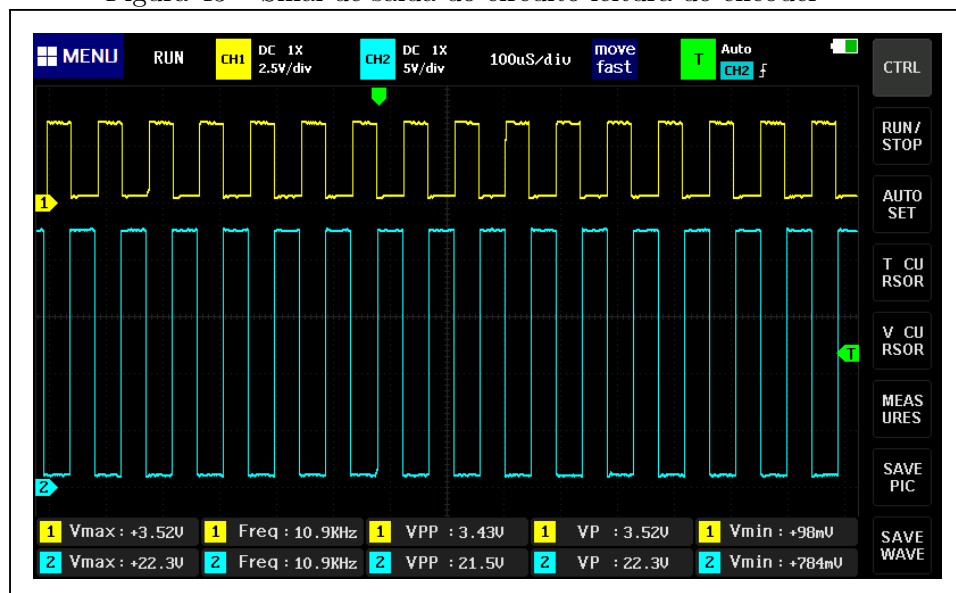
APÊNDICE D

Tabela 10 – Calibração encoder

COMPRIMENTO ENCODER C=0,0126.p -16,744				
MEDIÇÃO Nº	COMPRIMENTO PEÇA(mm's)	PULSOS	COMPRIMENTO PELA FORMULA(mm's)	ERRO EM RELAÇÃO A MEDIÇÃO REAL(%)
1	338	28301	339,90	-0,56%
2	355	29611	356,40	-0,39%
3	400	32940	398,35	0,41%
4	431	35619	432,10	-0,26%
5	500	41202	502,45	-0,49%
6	603	49419	605,98	-0,49%
7	660	53893	662,35	-0,36%
8	815	66148	816,77	-0,22%
9	898	72825	900,90	-0,32%
10	942	76392	945,84	-0,41%
11	1000	81005	1003,97	-0,40%
12	1362	109788	1366,63	-0,34%
13	1525	122740	1529,83	-0,32%
14	1599	128700	1604,92	-0,37%
15	2101	168628	2108,02	-0,33%
16	2750	220215	2758,01	-0,29%

Fonte: O próprio autor (2022).

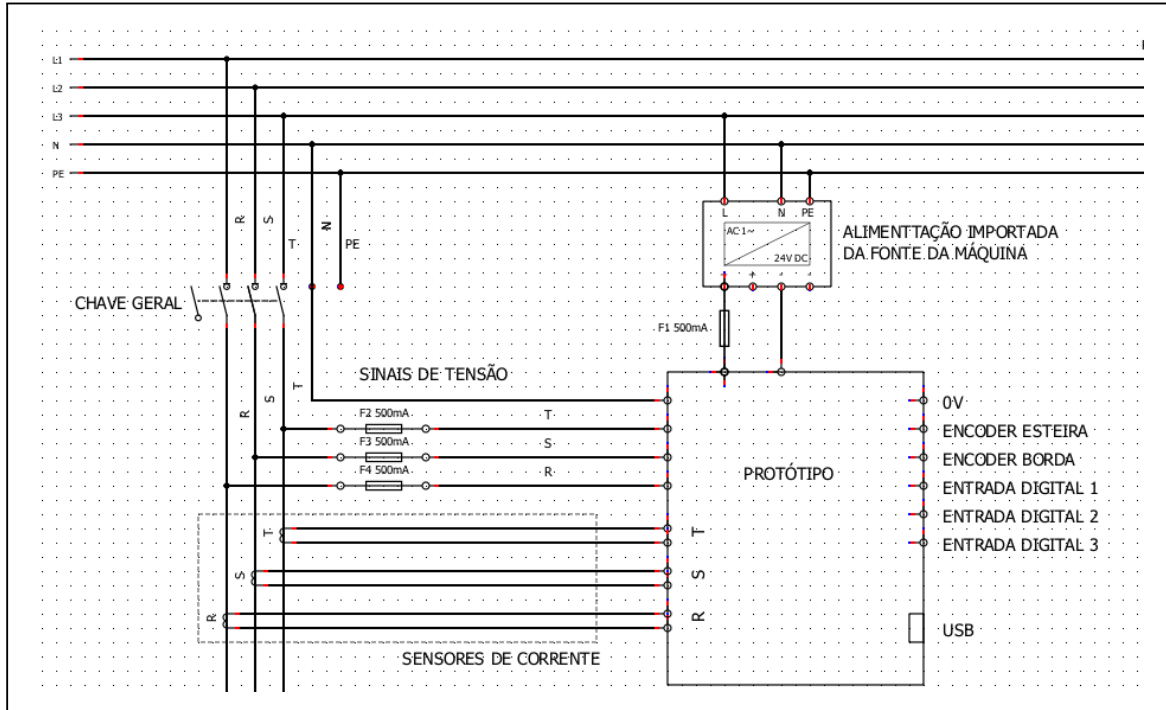
Figura 43 – Sinal de saída do circuito leitura do encoder



Fonte: O próprio autor (2022).

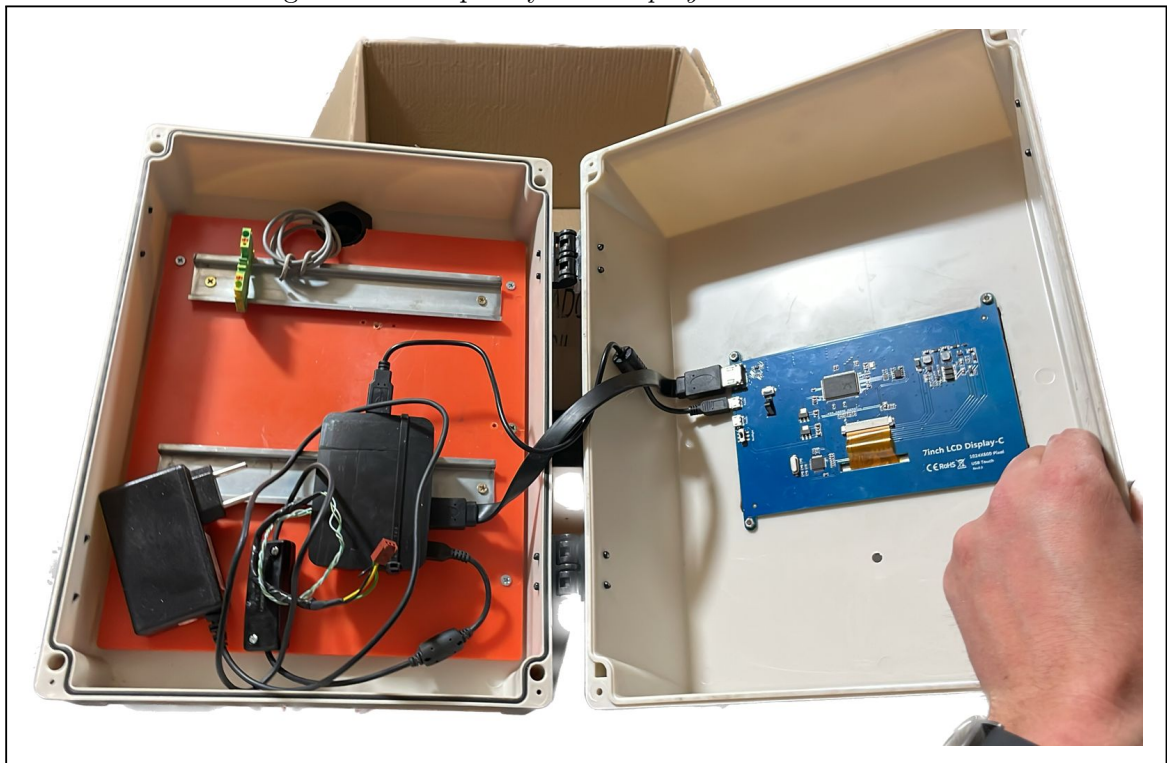
APÊNDICE E

Figura 44 – Formato da ligação do protótipo ao equipamento



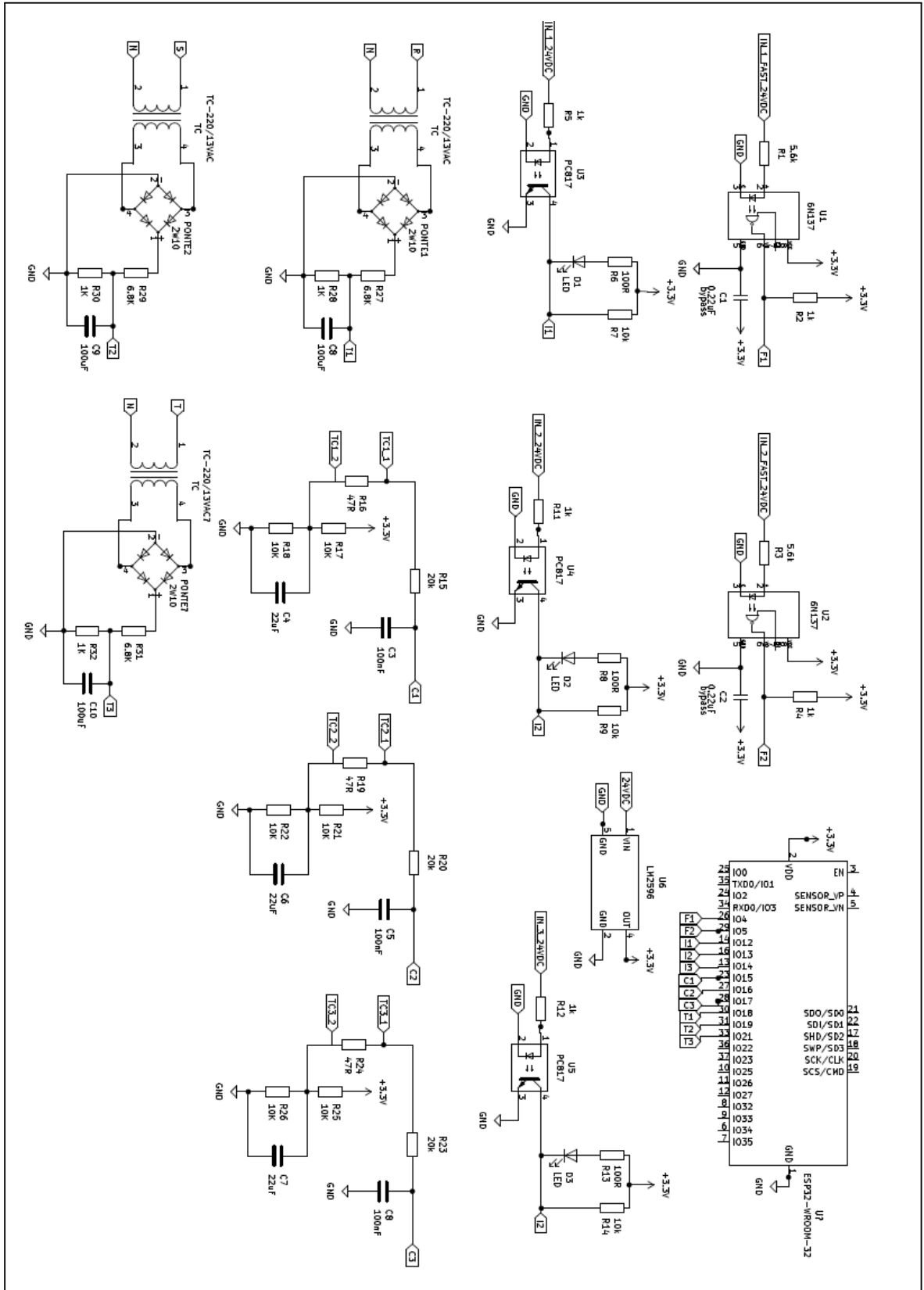
Fonte: O próprio autor (2022).

Figura 45 – Raspberry Pi e *display touch screen*



Fonte: O próprio autor (2022).

Figura 46 – Esquemático completo



Fonte: O próprio autor (2022).

APÊNDICE F

Figura 47 – Mesa pantográfica antes da reforma



Fonte: O próprio autor (2022).

Figura 48 – Mesa pantográfica depois da reforma



Fonte: O próprio autor (2022).

ANEXO A

Figura 49 – Multímetro Fluke 325



Fonte: O próprio autor (2022).