

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA PAGANI

**SISTEMA DE VISÃO VOLTADO PARA LEITURA DE CÓDIGOS 2D NO ÂMBITO DA
RASTREABILIDADE INDUSTRIAL**

FLORIANÓPOLIS, 2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE META-MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA PAGANI

**SISTEMA DE VISÃO VOLTADO PARA LEITURA DE CÓDIGOS 2D NO ÂMBITO DA
RASTREABILIDADE INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro em Engenharia Mecatrônica.

Orientador:
Prof. Mauricio Edgar Stivanello, Dr.

Coorientador:
João Victor Melquiades Satiro, Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2024

Pagani, Luiz Henrique
SISTEMA DE VISÃO VOLTADO PARA LEITURA DE CÓDIGOS 2D NO ÂMBITO DA
RASTREABILIDADE INDUSTRIAL / Luiz Henrique Pagani ; orientador,
Mauricio Stivanello, coorientador, João Melquiades, 2025.
75 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Graduação em Engenharia
mecatronica, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia mecatronica. 2. Rastreabilidade Industrial. 3.
Sistema de visão. 4. Datamatrix. I. Stivanello, Mauricio. II.
Melquiades, João. III. Instituto Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia mecatronica. IV. Título.

SISTEMA DE VISÃO VOLTADO PARA LEITURA DE CÓDIGOS 2D NO ÂMBITO DA RASTREABILIDADE INDUSTRIAL

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA PAGANI

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de Fevereiro, 2025.

Banca Examinadora:

Mauricio Edgar Stivanello, Dr. Eng. (IFSC)

Adriano Regis, Me. Eng (IFSC)

Delcino Picinin Júnior, Dr. Eng (IFSC)

(Dedico este trabalho á minha família.
Que são as pessoas que eu mais admiro, e sempre
me deram todo o apoio necessário para que eu pudesse chegar aqui.)

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste Trabalho representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também a concretização de um sonho que só foi possível graças ao apoio e incentivo de muitas pessoas ao longo desta jornada. É um momento de imensa gratidão, e gostaria de dedicar estas palavras àqueles que foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, foram muitos, mas em especial:

Primeiramente agradecer a Deus, por me permitir a conclusão dessa etapa. A minha família, que são meus exemplos de vida, meus pais que sempre incentivaram os estudos, a ir em busca daquilo que almejava e nunca mediram esforços para me proporcionar o melhor, eles foram a minha primeira escola e sem o esforço deles nada disso seria possível. A minha irmã por me apoiar em todos os momentos e sempre estar comigo.

Aos meus amigos de longa data, que mesmo de longe sempre torceram por mim e estiveram sempre comigo compartilhando experiências e momentos que sem dúvidas me ajudaram a me manter firme durante esses anos de estudo.

Agradeço também aos professores do curso, que contribuíram imensamente para minha formação acadêmica, transmitindo conhecimento e inspiração ao longo dos anos. Aos colegas de curso, pelo companheirismo e troca de experiências, que tornaram essa jornada mais leve e enriquecedora. As discussões, desafios e aprendizados compartilhados foram parte essencial deste processo.

Este TCC não é apenas um trabalho acadêmico, mas um reflexo de uma caminhada repleta de aprendizado, desafios e crescimento profissional e pessoal. Carrego comigo todas as experiências vividas e as pessoas que fizeram parte desta jornada.

Meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma, fizeram parte dessa etapa tão importante na minha vida.

Muito obrigado!

(Dedico este trabalho
À minha querida família, que tanto admiro.
Que sempre me deu todo o apoio necessário para que pudesse alcançar esse
resultado.)

RESUMO

O presente trabalho, visa discorrer sobre o desenvolvimento e aplicação de um sistema de visão voltado a leitura de código 2D, mais especificamente códigos do tipo Data Matrix, os quais são utilizados no âmbito da rastreabilidade industrial, adicionando uma câmera específica para essa funcionalidade e integrando com a máquina de gravação dos códigos. O principal objetivo é implementar diretamente a ação da câmera na linha de produção, efetuando a leitura dos códigos, informando sucesso ou erro na gravação através da internet das coisas (IoT), que anteriormente eram feitos de forma manual. Além disso, controlar a movimentação de placas PCB através da comunicação com o sistema SmartSmema, e permitindo a interação do usuário com a implementação do GenIO, eliminando assim um dos gargalos da produção da fábrica. O desenvolvimento e validação deste projeto foram realizados em parceria com o Centro de Produção Cooperada da Fundação Certi (CPC) e a Fábrica Produza.

Palavras-chave: Rastreabilidade Industrial. Sistema de visão. Internet das coisas (IoT).

ABSTRACT

This paper aims to discuss the development and application of a vision system system for reading 2D codes, more specifically DataMa-type codes. trix codes, which are used in the field of industrial traceability, adding a specific specific camera for this functionality and integrating it with the code recording machine. machine. The main objective is to implement the camera's action directly on the production line, by production line, reading the codes and reporting success or error in the recording through the Internet of Things (IoT), which was previously done manually. In addition, controlling the movement of PCB boards through communication with the SmartSmema system, and allowing user interaction with the implementation of GenIO implementation, thus eliminating one of the factory's production bottlenecks. The development and validation of this project was carried out in partnership with the Certi Foundation's Foundation (CPC) and the Produza Factory.

Keywords: Industrial traceability. Vision systems. Internet of Things (IoT).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fábrica Produza	16
Figura 2 – Montagem de PCs na Produza	19
Figura 3 – Gráfico sobre Crescimento de Sistemas de Visão	20
Figura 4 – Diagrama de Blocos Sistema de Visão	24
Figura 5 – Tipos de DataMatrix	25
Figura 6 – Gravadora a laser Insignium 2000	27
Figura 7 – Leitor de códigos SR-2000W	28
Figura 8 – Interface AutoID Network Navigator	29
Figura 9 – Esquema Elétrico SMEMA	32
Figura 10 – Gen.IO	34
Figura 11 – Datamatrix Gravados em PCI	36
Figura 12 – Fluxograma do Processo	39
Figura 13 – Fixação anterior	40
Figura 14 – Suporte	41
Figura 15 – Fixação	41
Figura 16 – Nova fixação da câmera	42
Figura 17 – SmartSmema instalado	43
Figura 18 – Gen.IO Instalado	44
Figura 19 – Botoeira Gen.IO	45
Figura 20 – Painel elétrico da câmera no chão	46
Figura 21 – Painel elétrico da câmera depois da movimentação	47
Figura 22 – CLP WAGO	48
Figura 23 – Nós de monitoramento de pasta de arquivo	49
Figura 24 – Configuração do nó “watch-directory”	50
Figura 25 – Arquivos recebidos após coleta	51
Figura 26 – Placa Base	52
Figura 27 – Interface InfluxDB	53
Figura 28 – Processo de Tuning	54
Figura 29 – Programação (1)	57
Figura 30 – Programação (2)	58
Figura 31 – Programação (3)	58
Figura 32 – Programação - Comunicação com Gen.io	59
Figura 33 – Programação - Comunicação com SmartSmema	59
Figura 34 – Programação - Comunicação com InfluxDB	60
Figura 35 – Integração dos Periféricos	61
Figura 36 – Teste em produção	62
Figura 37 – Caso de Erro (1)	64

Figura 38 – Caso de Erro (2)	65
Figura 39 – Caso de Erro (3)	66
Figura 40 – Sinalizador LED	70
Figura 41 – Apresentação na Fábrica	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Benefícios da rastreabilidade	22
Quadro 2 – Características Gen.IO	34
Quadro 3 – Características do Leitor SR-2000W	38
Quadro 4 – Principais Características CLP	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> (Placa de circuito impresso)
PTH	<i>Pin Through Hole</i> (Pino Através do Buraco)
SMD	<i>Surface Mounted Device</i> (Dispositivo de Montagem Superficial)
URL	<i>Uniform Resource Locator</i> (Localizador Uniforme de Recursos)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Placas de Circuito Impresso (PCI)	18
2.2	Sistemas de Visão e Rastreabilidade	19
2.3	Internet das Coisas (IoT)	22
2.3.1	Aplicações da IoT na Indústria	23
2.3.2	Sistema de Visão de Códigos 2D para Rastreabilidade Industrial	23
2.4	Datamatrix	24
2.4.1	Aplicações de DataMatrix na Rastreabilidade Industrial	26
2.4.2	Dispositivos Comerciais de Gravação a Laser e Leituras de Códigos 2D	26
2.4.3	AutoID Network Navigator	28
2.5	Tecnologias Importantes para o Desenvolvimento do Trabalho	29
2.5.1	Protocolo ModBus / TCP	29
2.5.2	Node-Red	31
2.5.3	InfluxDB	31
2.5.4	SmartSmema	32
2.5.5	GenIO	33
2.6	Trabalho Correlatos	34
3	METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	36
3.1	Descrição do Processo e Análise dos Requisitos Funcionais	36
3.2	Visão Geral da Solução	38
3.2.1	Estratégia adotada para aspectos mecânicos e de hardware	39
3.2.1.1	<i>Desenvolvimento do suporte 3D</i>	39
3.2.1.2	<i>Implementação SmartSmema</i>	42
3.2.1.3	<i>Implementação Gen.IO</i>	43
3.2.1.4	<i>Movimentar Instalação do Leitor para o Painel da Máquina</i>	45
3.2.2	Estratégia adotada para aspectos de aquisição e envio de dados	47
3.2.2.1	<i>Aquisição de dados via ModBus</i>	47
3.2.2.2	<i>Aquisição e Conversão de Coordenadas</i>	49
3.2.2.3	<i>Interface de Armazenamento de Dados</i>	52
3.2.3	Estratégia adotada para aspectos de configuração do sistema	53
3.2.3.1	<i>Sintonização</i>	53
3.2.3.2	<i>Configuração de triggers</i>	55
3.2.3.3	<i>Programação</i>	56
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	61
4.1	Análise e discussão dos resultados	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
5.1	Discussão Sobre o Atendimento dos Requisitos	67
5.1.1	Instalar o leitor Keyence SR-2000W em um local estratégico na Laser-Marker, onde ele possa capturar claramente os códigos DataMatrix nas PCBs:	68
5.1.2	Desenvolvimento de Software de Integração:	68

5.1.3	Configurar os parâmetros do leitor para diferentes tipos de placa (cor e tamanho), incluindo foco, iluminação, resolução e tempo de exposição, para garantir a melhor qualidade de leitura possível:	68
5.1.4	Definir métodos para enviar o sinal de disparo para a câmera no momento correto:	68
5.1.5	Coletar dados da LaserMarker e do leitor SR-2000W	69
5.1.6	Encontrar o momento correto de resetar as posições conforme troca o lote	69
5.1.7	Determinar procedimento operacional situações onde o DataMatrix não for identificado	69
5.1.8	Bloqueio de Placas com Erros: Implementar a lógica para bloquear a movimentação das placas em caso de erro de leitura ou código inválido, enviando sinais de parada para o SmartSmema	70
5.1.9	Sinalização de Erro: Configurar um sinalizador LED para informar visualmente os operadores sobre os erros de leitura, permitindo uma resposta rápida	70
5.1.10	Treinamento dos Operadores: Treinar os operadores da linha de produção para entenderem o novo sistema, como monitorar os indicadores LED e como agir em caso de erros sinalizados	71
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mercado de sistemas de visão 2D e rastreabilidade industrial tem experimentado um crescimento significativo, impulsionado pelo aumento na demanda por automação e controle de qualidade em ambientes industriais. Esses sistemas, que combinam tecnologias de leitura de códigos 2D, como DataMatrix, com a integração da Internet das Coisas (IoT), desempenham um papel crucial na melhoria da eficiência operacional e na garantia da conformidade com normas de produção.

A rastreabilidade tornou-se um componente essencial na cadeia de produção, permitindo que as empresas monitorem e registrem cada etapa do processo de fabricação, desde a entrada de matéria-prima até o produto final. Isso é particularmente importante em indústrias que exigem altos padrões de qualidade e segurança, como as indústrias automotiva, aeroespacial e farmacêutica.

Os sistemas de visão 2D, por sua vez, oferecem soluções avançadas para a inspeção automatizada, leitura e verificação de códigos em linhas de produção. A implementação desses sistemas não apenas agiliza o processo de inspeção, mas também reduz a margem de erro humano, contribuindo para uma maior precisão na fabricação de produtos. A integração desses sistemas com tecnologias IoT permite uma comunicação em tempo real entre diferentes etapas da produção, facilitando a identificação de falhas e a tomada de decisões mais rápidas.

Esse cenário de inovação tecnológica tem atraído o interesse de fabricantes e desenvolvedores de soluções de automação, que veem na rastreabilidade e nos sistemas de visão 2D uma oportunidade de diferenciar seus produtos no mercado e atender às crescentes exigências dos consumidores por qualidade e transparência. Neste contexto, o desenvolvimento de sistemas que integrem essas tecnologias de forma eficaz, é crucial para manter a competitividade das indústrias em um mercado cada vez mais globalizado e orientado por dados.

O presente trabalho visa explorar o desenvolvimento e a implementação de um sistema de visão voltado à leitura de códigos 2D, mais especificamente DataMatrix, gravados em uma linha de produção de placas de circuito impresso. Também, destacar importância da automação na linha de produção. Além disso, será analisado o impacto dessa tecnologia na eficiência operacional e principalmente na redução do serviço manual de leitura de códigos, com base em um estudo de caso realizado em parceria com o Centro de Produção Cooperada da Fundação Certi e a Fábrica Produza.

A produza é uma empresa nacional que trabalha com produtos eletrônicos, principalmente na área de montagem de placas tanto SMD (dispositivo de montagem superficial) quanto PTH (pino através do buraco). Além disso presta serviços de administração e logística de compra e distribuição, e também realiza a integração completa

de equipamentos.

A empresa trabalha em parceria com a Fundação CERTI, sendo uma espécie de fábrica/laboratório como pode ser observado na Figura 1, onde a CERTI, mais especificamente o CPC (Centro de Produção Cooperada), atua na implementação e desenvolvimento de projetos na Produza, a partir dessa parceria, fez-se possível o desenvolvimento do projeto de rastreabilidade industrial, visando agregar valor ao trabalho da fábrica e acelerar o processo.

Figura 1 – Fábrica Produza



Fonte: Do autor

1.1 Objetivos

Após uma breve introdução do contexto em que o trabalho está inserido, tem-se a seguir a apresentação dos objetivos geral e específicos para a realização do trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de inspeção que efetua a leitura de Datamatrix e implementá-lo na linha de produção, para que a leitura dos códigos seja feita de forma automatizada e não seja mais necessário a fazer a leitura dos códigos de forma manual.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Estudar a documentação e configuração da planta e dos seus componentes, bem como dos equipamentos que serão utilizados;
- b) Elaborar um projeto conceitual a ser implementado de forma a atender aos requisitos existentes;
- c) Desenvolver o projeto proposto;
- d) Validar a solução;
- e) Documentar o trabalho;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo de fundamentação teórica visa explicar teorias, tecnologias e conceitos fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. Primeiramente, trazendo uma noção sobre o que são as placas de circuito impresso (PCI), também, sobre sistemas e visão e rastreabilidade, explicitando como o mercado vem ganhando espaço ao decorrer dos anos, bem como a IoT e suas aplicações na indústria, posteriormente explicar sobre o que são os DataMatrix, além de mostrar os dispositivos que serão utilizados para sua gravação e leitura neste projeto, e por fim, as tecnologias de *hardware* utilizadas, e o seu local de aplicação.

2.1 Placas de Circuito Impresso (PCI)

Segundo (LINK, 1998) a placa de circuito impresso foi inventada pelo Dr. Paul Eisner, um cientista austríaco, após a Segunda Guerra Mundial. Ele estava trabalhando na Inglaterra com um conceito para substituir as ligações das válvulas do rádio por algo menos volumoso. O conceito desenvolvido foi similar a uma placa de circuito impresso de face simples e, desde então, vários tipos de placas foram criados. No início, eram feitas de materiais cerâmicos e foram evoluindo tecnologicamente, passando por diversas modificações e adaptações. Hoje, são produzidas com multicamadas e, normalmente, são feitas com um material laminado denominado FR-4.

Segundo (MELO, 2001), no Brasil há diversas indústrias de placas de circuito impresso. A maior parte desse conjunto de empresas é formado por algumas indústrias que realizam a fabricação de diversos tipos de placas, tais como placas para protótipos, produção em série, placas de média performance entre outras. Há também diversas outras pequenas empresas, especializadas na fabricação de placas convencionais de baixa complexidade. A Produza é um exemplo de empresa que realiza a montagem e fabricação de PCIs como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Montagem de PCIs na Produza

Fonte: Site Produza

A placa de circuito impresso é um componente básico, largamente utilizado em toda a indústria eletrônica, sendo constituída por uma placa (ou cartão) onde são impressas ou depositadas trilhas de cobre. Enquanto a placa se comporta como um isolante (dielétrico), as trilhas têm a função de conectar eletricamente os diversos componentes e as funções que representam, conforme cita (MELO, 2001)

2.2 Sistemas de Visão e Rastreabilidade

Como informa (MVISIA WEG GROUP, 2023) Os Sistemas de Visão Industriais, comumente denominados no inglês de *Machine Vision*, tiveram seu desenvolvimento inicial na Europa e nos Estados Unidos. No contexto brasileiro, as primeiras aplicações com Sistemas de Visão se deram a partir da década de 1980. Os primeiros Sistemas de Visão eram, no entanto, bastante custosos e muito limitados, já que os recursos de Hardware eram caros demais e a capacidade de processamento de imagens em tempo real muito limitada nos processadores da época. No contexto dos dias atuais, graças aos avanços em capacidade de processamento dos hardwares, e dos algoritmos de processamento de imagens, os Sistemas de Visão tornaram-se mais acessíveis em linhas industriais, principalmente no que se refere a aplicações mais desafiadoras e que exigem melhor comunicação. Nesse viés, por conta de sua alta capacidade de processamento, os Sistemas de Visão foram um dos primeiros sistemas industriais a possuírem algoritmos de Inteligência Artificial embarcados, com Redes Neurais Convolucionais.

Partindo para uma análise de mercado, de acordo com a pesquisa da *Market and Market* de 2022 (MARKET AND MARKET, 2022) o mercado global de visão de máquina deverá crescer de US\$12,9 bilhões em 2023 para US\$18,4 bilhões até 2028, registrando um CAGR (taxa de crescimento anual composto) de 7,3%. A visão mecânica floresce em todos os setores, impulsionada pelos avanços em IA e automação, melhorando a precisão e a eficiência na fabricação.

Figura 3 – Gráfico sobre Crescimento de Sistemas de Visão



Fonte: Markets and markets, 2022

Os sistemas de visão são ferramentas amplamente utilizadas na Indústria 4.0, que tem por conceito, segundo (CHENG *et al.*, 2016), a essência da indústria 4.0 está baseada nos sistemas cibernético-físico (CPS) e Internet das Coisas (IoT), que levarão as fábricas a atingirem um novo patamar de produção. O CPS baseia-se na configuração dinâmica da manufatura. Diferente dos métodos tradicionais de produção, a configuração dinâmica está acima da produção e de processos envolvidos. Pois o dinamismo torna o sistema capaz de alterar o projeto inicial do produto a qualquer momento.

Assim sendo, através da aplicação dos sistemas de visão incluídos neste modelo, consegue-se trazer vários aspectos positivos como classificação de objetos, contagem, reconhecimento de defeitos, entre outros. Mas são utilizadas principalmente na área de controle de qualidade, e neste caso, mais especificamente na rastreabilidade industrial, sempre tendo como foco otimizar o sistema produtivo.

Pode-se fazer uma relação dos sistemas de visão com a Inteligência artificial, utilizada cada vez mais atualmente, é como se a IA fizesse as máquinas "pensarem" enquanto o sistema de visão faz com que as máquinas "vejam", portanto é muito valiosa para linhas de produção, a partir das imagens criadas com essa "visão" é possível interpretar os dados obtidos criando informações relevantes a cada projeto,

podendo com essas informações, implementar controle de falhas e reconhecer erros de fabricação, assim causando um impacto positivo na redução de custos e menor exigência de mão de obra. (DATTOBIZ, 2022)

Segundo (SHANKYA, 2024) A rastreabilidade consiste no acompanhamento completo do percurso de uma matéria-prima, desde a sua origem até o seu uso no produto final. O sistema de rastreabilidade pode ser aplicado a diversos produtos na cadeia de suprimentos, com o objetivo de garantir os padrões de controle de qualidade.

Em geral, no sistema de rastreabilidade, o rastreamento é realizado por meio de um código que fornece informações sobre o item, como o tipo de produto, suas origens, destino final e em qual ponto da cadeia logística ele se encontra, entre outros detalhes. A rastreabilidade é fundamental na cadeia de suprimentos e na interação entre empresas e consumidores, apresentando-se de diversas maneiras, com destaque para a rastreabilidade externa e interna.

- Rastreabilidade externa: Refere-se à capacidade de seguir e documentar a trajetória de um produto desde o ponto de origem até o destino final, ou seja, desde a sua produção até chegar ao consumidor.

Esse tipo de rastreabilidade é essencial para fornecer aos consumidores informações claras sobre a origem, qualidade e conformidade dos produtos, promovendo a confiança e a fidelidade do cliente.

- Rastreabilidade interna: Por outro lado, a rastreabilidade interna foca na gestão eficaz dos processos internos das organizações. Seu objetivo é rastrear e monitorar o movimento de insumos, matérias-primas e componentes dentro da cadeia produtiva do agronegócio e das empresas.

O contexto geral rastreabilidade industrial refere-se à capacidade de rastrear a origem, o histórico e a localização de um produto ao longo de toda a cadeia de produção e distribuição. Vale ressaltar que a adoção de sistemas de rastreabilidade na indústria é impulsionada por normas e regulamentações, como por exemplo a norma técnica ISO 9001, conforme podemos observar em (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015) , que exige o controle e monitoramento de processos em todas as etapas da produção.

Isso não só facilita a identificação de possíveis falhas ou irregularidades, mas também contribui para a otimização dos processos para o controle de qualidade e a tomada de decisões estratégicas. No escopo deste projeto, como o desenvolvimento se dá dentro o chão de fábrica o foco é a rastreabilidade interna, assim, podemos observar no quadro 1, este tipo rastreabilidade traz vários benefícios com sua aplicação correta, sendo alguns deles:

Quadro 1 – Benefícios da rastreabilidade

Característica	Especificação
Melhoria na garantia da qualidade	Realizar <i>recall</i> ou recolhimento dos itens com mais precisão e velocidade.
Melhoria na gestão de materiais	Melhor entendimento da cadeia de suprimentos, gerenciando melhor seus materiais e fluxo.
Redução nos níveis de estoque	Fluxo de materiais otimizado, reduzindo a necessidade de estoque no processo produtivo.
Identificação de gargalos	Rastreando o processo produtivo e o fluxo de materiais para identificar e reduzir gargalos.
Maior confiança para os clientes	Controle mais preciso sobre os materiais utilizados na produção aumenta a confiabilidade da marca.
Melhoria na tomada de decisão	Decisões baseadas em dados concretos e mensuráveis.

Fonte: Elaboração própria (2024).

2.3 Internet das Coisa (IoT)

IoT – Internet of Things – como a internet das coisas é mais conhecida -, é uma nova visão para a internet, em que a internet passa a abarcar não só computadores, como, também, objetos do dia a dia. (SACHS; PETROV; GUERRERO, 2010). Não se trata exatamente de uma nova tecnologia, mas da nova fronteira em que a internet está se aprofundando. Isso é resultado do avanço tecnológico que vem se realizando continuamente, especialmente da miniaturização eletrônica e dos protocolos diversos de comunicação. (HINER, 2013).

A Internet das Coisas é um conceito que está fora do âmbito das tecnologias, pois não deriva delas, e sim as utiliza para cumprir uma série de funcionalidades. As tecnologias associadas ao “conceito” são muitas, e apenas para citar algumas, temos as que se referem à conexão física dos objetos, ou de infraestrutura básica, como as conexões cabeadas e as conexões sem fio (FILHO, 2015). Para se chegar, a uma definição da Internet das Coisas, e diferenciá-la de outras redes de sistemas interconectados, podemos partir do conjunto de funcionalidades e características do objeto (ou “coisa”), que tanto pode ser físico quanto virtual. Isso define a IoT como um sistema complexo e também suporta a criação e o design dos objetos, dos subsistemas e dos processos internos da IoT (FILHO, 2015).

A internet das coisas, refere-se à rede de dispositivos físicos que incorporam sensores, software e outras tecnologias, possibilitando a coleta e troca de dados via internet. Essa tecnologia tem o potencial de transformar diversos setores, especialmente a indústria, ao promover automação, monitoramento em tempo real e otimização de processos. Entre suas características, destacam-se:

- Conectividade: A IoT possibilita a conexão de uma ampla variedade de

dispositivos, desde *smartphones* e eletrodomésticos até sensores industriais e veículos.

- Sensibilidade ao Contexto: Os dispositivos IoT podem coletar vários dados sobre o ambiente físico em tempo real, como o momento de entrada de uma placa na máquina, momento da saída da placa, condições operacionais, permitindo uma compreensão mais profunda do contexto em que operam.

- Flexibilidade: A arquitetura da IoT é altamente flexível, permitindo a fácil adição e remoção de dispositivos, bem como a integração com sistemas existentes.

A aplicação da IoT na indústria não apenas aumenta a eficiência e a produtividade, mas também abre novas oportunidades de inovação e diferenciação competitiva para as empresas que adotam essas tecnologias.

Assim sendo, podemos entender que a Internet das Coisas (IoT) é formada essencialmente por "coisas" inteligentes, que são dispositivos físicos com a habilidade de se comunicar e processar dados, conectividade, que diz respeito às tecnologias que possibilitam a interação entre esses dispositivos, incluindo redes sem fio e protocolos de comunicação, processamento de dados que abrange a análise e a interpretação das informações coletadas por esses dispositivos.

2.3.1 Aplicações da IoT na Indústria

Na indústria, a IoT tem sido amplamente adotada para melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e garantir a qualidade dos produtos. Através da implantação de sensores em máquinas e equipamentos, é possível monitorar seu desempenho em tempo real e prever falhas antes que ocorram, o que contribui para a manutenção preditiva. Além disso, a IoT possibilita a criação de ambientes de produção inteligentes, nos quais os dispositivos podem se comunicar e colaborar entre si para otimizar os processos de fabricação.

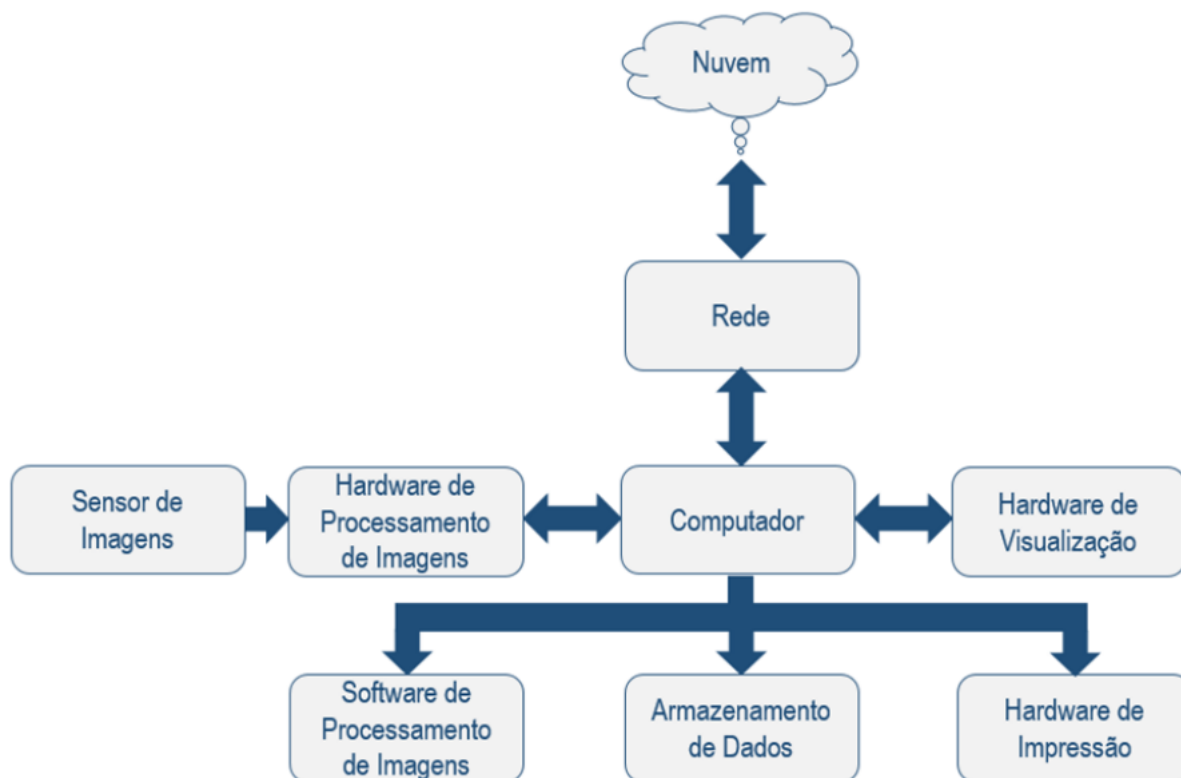
2.3.2 Sistema de Visão de Códigos 2D para Rastreabilidade Industrial

Os códigos 2D, como QRcodes e DataMatrix, são amplamente utilizados na indústria para codificar informações sobre produtos, como números de série, datas de fabricação e informações de rastreabilidade. Sistemas de visão são empregados para a leitura e interpretação desses códigos, permitindo a identificação e rastreamento dos produtos ao longo da cadeia de produção e distribuição.

Os sistemas de visão de códigos 2D geralmente consistem em uma câmera, um software de processamento de imagem, algoritmos de reconhecimento de padrões, e outras funções importantes como retratado na figura 4. A câmera captura a imagem do código, que é então processada pelo software para extrair as informações contidas no código. Os algoritmos de reconhecimento de padrões são responsáveis por identificar e

decodificar o código, mesmo em condições adversas, como baixa iluminação ou danos no código.

Figura 4 – Diagrama de Blocos Sistema de Visão



Fonte: Do autor

2.4 Datamatrix

Os códigos 2D representam uma solução eficiente para a codificação de informações em áreas reduzidas, sendo, portanto, ideais para aplicações de rastreabilidade na indústria. Uma destas inovações é a tecnologia DM, que utiliza blocos quadrados pretos e brancos para codificar e armazenar grande quantidade de dados em uma pequena área, onde a marcação é feita diretamente na peça o que garante sua resistência ao longo tempo (International Organization for Standardization, 2006). Esses códigos são uma forma de códigos de barras bidimensionais (2D) e são constituídos por uma matriz de pontos ou quadrados organizados em um padrão retangular ou quadrado como pode ser observado na imagem 5. Eles têm a capacidade de armazenar uma quantidade considerável de dados, como números de série, datas de fabricação, lotes de produção e outras informações essenciais para o monitoramento de produtos ao longo de sua cadeia de suprimentos.

Figura 5 – Tipos de DataMatrix



Fonte: Prática básica de códigos 2D Vol.1 - Keyence

Estruturalmente, os códigos DataMatrix são formados por células ou módulos que podem estar preenchidos ou vazios, representando dados em formato binário. O tamanho desses códigos pode variar, o que está diretamente relacionado à sua capacidade de armazenamento. A leitura de um DataMatrix é realizada por sistemas de visão que utilizam câmeras e algoritmos de processamento, seguindo um conjunto de etapas:

1. **Captura da Imagem:** A câmera captura uma imagem do código DataMatrix, que pode estar em uma etiqueta, embalagem ou produto.
2. **Localização do Código:** Algoritmos de processamento de imagem são aplicados para localizar a posição do código na imagem, identificando seus limites e orientação.
3. **Decodificação do Código:** O padrão de pontos ou quadrados é analisado para extrair os dados codificados no DataMatrix.
4. **Interpretação dos Dados:** Uma vez decodificado, os dados do DataMatrix são interpretados e utilizados para rastrear o produto ao longo da cadeia de fornecimento. Isso pode incluir a consulta de bancos de dados para obter informações

adicionais sobre o produto, como data de fabricação, local de produção e histórico de transporte.

2.4.1 Aplicações de DataMatrix na Rastreabilidade Industrial

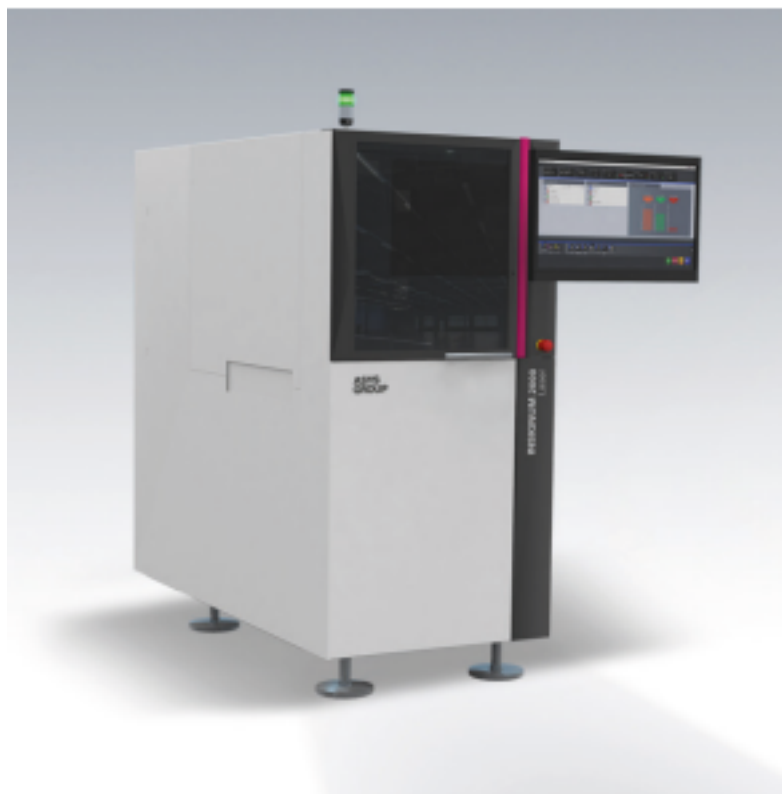
Os códigos DataMatrix são amplamente utilizados na indústria para rastrear produtos e componentes ao longo de sua vida útil. Eles são aplicados em uma variedade de setores, incluindo manufatura, saúde, alimentos e bebidas, automotivo e eletrônica. Os DataMatrix são usados para codificar informações sobre a origem, composição e trajetória dos produtos, permitindo sua rastreabilidade desde a fabricação até o consumidor final. Podem incluir informações sobre especificações técnicas, certificações de qualidade e resultados de testes, facilitando o controle de qualidade e a conformidade regulatória. A utilização deste sistema também trás benefícios em relação a gestão de inventário, pois a identificação única fornecida pelos DataMatrix permite um controle preciso do inventário, facilitando o rastreamento e a gestão de estoques em ambientes industriais.

Assim sendo, pode-se observar que os códigos DataMatrix desempenham um papel crucial na implementação de sistemas de rastreabilidade industrial, fornecendo uma maneira eficaz e confiável de codificar e rastrear informações sobre produtos e componentes em toda a cadeia de fornecimento.

2.4.2 Dispositivos Comerciais de Gravação a Laser e Leituras de Códigos 2D

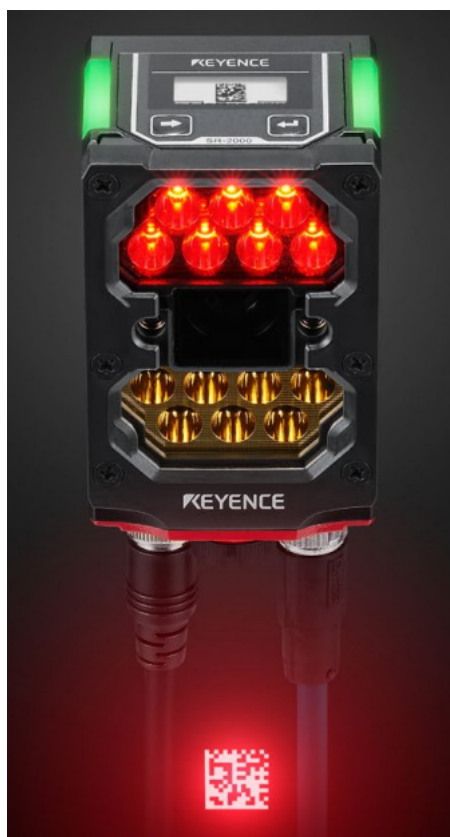
Neste subtópico serão apresentados os equipamentos comerciais, que foram utilizados no desenvolvimento deste projeto, os quais a "LaserMarker Insignium 2000" faz a gravação a laser dos DataMatrix, e o "Leitor Keyence SR-2000W" a leitura para validação dos códigos gravados.

A LaserMarker Insignium 2000 é um equipamento de gravação de símbolos especializado para a linha de montagem de placas eletrônicas da ASYS do modelo Insignium 2000 conforme demonstrado na figura 6. Ele realiza a gravação com um laser de CO2 de alta frequência de chaveamento. No caso da linha de produção deste projeto, a gravação do código a laser é uma das primeiras etapas da linha fabricação das placas, no DataMatrix gravado, são armazenadas as informações de Ordem de Fabricação, seguido de um número sequencial, assim após o concluída a gravação, cada placa se torna única no processo de produção.

Figura 6 – Gravadora a laser Insignium 2000

Fonte: Manual ASYS

Por sua vez, ferramenta utilizada para a leitura dos códigos gravados é a câmera Keyence SR-2000W como observado na imagem 7, a mesma, possui a função de sistema especialista para a detecção de códigos como Data Matrix, QR Code, entre outros. Através da utilização do *software* "AutoID Network Navigator", fornecido pelo fabricante, possibilita algumas configurações, entre elas a configuração de até 20 bancos de parâmetros que podem ser treinados automaticamente, utilizando uma imagem como amostra. Após isso, para efetuar a leitura a SR-2000W tem a capacidade de ajustar automaticamente os parâmetros de leitura para os valores ideais com base nos códigos alvos.

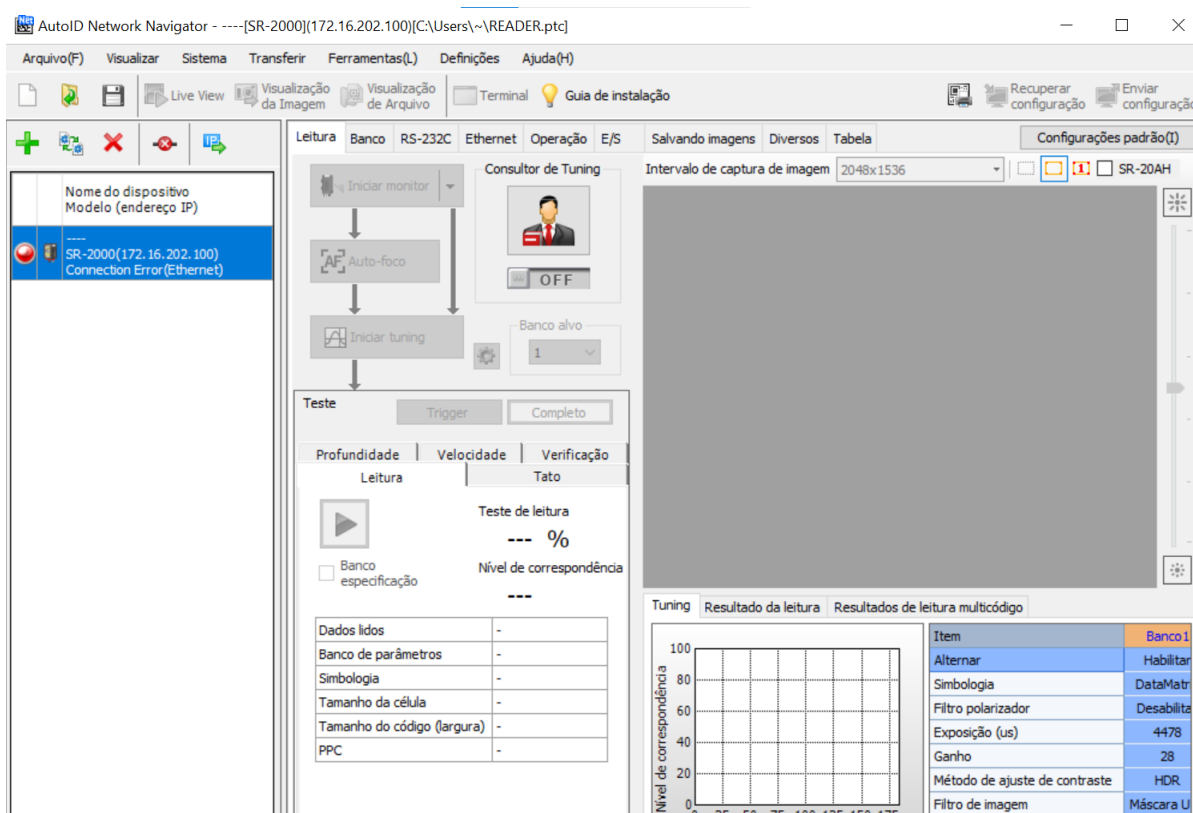
Figura 7 – Leitor de códigos SR-2000W

Fonte: Catálogo Keyence

2.4.3 AutoID Network Navigator

O AutoID Network Navigator, observado na imagem 8 é a ferramenta disponibilizada pela empresa Keyence para fazer a programação e configurações da câmera, dentro do sistema existem várias abas para configurações distintas, como: fazer o auto-foco da câmera; fazer um auto-tuning; configurar formas de comunicação como RS-232, Ethernet; setar modos de operação como modo de leitura contínuo, em *burst* leitura única ou através de um script de programação na linguagem lua, entre várias outras funções.

Figura 8 – Interface AutoID Network Navigator



Fonte: Do autor

Uma das funções mais importantes para o desenvolvimento do projeto é a configuração do banco de parâmetros. A câmera tem disponibilidade de armazenar até 16 bancos de parâmetros para serem utilizados, onde em cada banco pode-se editar informações importantes para uma leitura eficaz, como exposição; ganho; contraste; aplicar filtros; iluminação, entre outros.

2.5 Tecnologias Importantes para o Desenvolvimento do Trabalho

Nesta seção, serão citadas as principais tecnologias utilizadas, que permitem o desenvolvimento do trabalho, cada um com sua aplicação específica como o protocolo Modbus/TCP para realizar a leitura dos sinais da gravadora a laser; Node-Red para fazer a programação; InfluxDB para armazenar as informações de leitura; SmartSmema para fazer a comunicação entre as máquinas anterior e posterior ao processo na linha de produção; e GenIO para adicionar I/Os com funções adicionais ao sistema.

2.5.1 Protocolo ModBus / TCP

O protocolo Modbus foi inicialmente desenvolvido em 1979 para o uso em controladores lógicos programáveis. Tornou-se um protocolo padrão no mercado sendo

amplamente utilizado por diversas indústrias e equipamentos. No modelo TCP/IP é um protocolo que utiliza a camada de aplicação para a comunicação entre os dispositivos utilizados em sistemas industriais (WEG, 2023).

Uma das vantagens de se utilizar a comunicação Modbus TCP é a sua infraestrutura, os dispositivos podem ser conectados na rede utilizando os meios físicos do tipo cabeado por par de fios trançados ou sem fio para o caso do Wifi (ALTUS, 2021).

Este protocolo opera no modelo cliente-servidor, onde um dispositivo, denominado "cliente", realiza solicitações de dados a um outro dispositivo, chamado "servidor". Utilizando o protocolo TCP/IP, ele estabelece a conexão e possibilita a transferência de dados entre os dispositivos. As principais operações que o Modbus/TCP suporta incluem a leitura de registradores, a escrita em registradores e a leitura/escrita em *coils*.

Leitura de Registradores: O cliente realiza uma solicitação ao servidor para acessar os valores contidos em certos registradores. O servidor, por sua vez, processa essa solicitação e retorna os valores requisitados.

Escrita em Registradores: O cliente faz um pedido ao servidor para inserir novos valores em determinados registradores. O servidor processa o pedido e atualiza os valores dos registradores de acordo com as instruções do cliente.

Leitura/Escrita em Bobinas(*coils*): Além da manipulação de registradores, o Modbus/TCP também permite operações de leitura e escrita em bobinas, que são utilizadas para o controle de dispositivos binários, como relés e válvulas.

O Modbus/TCP é amplamente utilizado na indústria para integrar dispositivos de automação, como sensores, atuadores, controladores lógicos programáveis (PLCs) e sistemas de gerenciamento de produção (MES). Ele facilita a troca de dados em tempo real entre esses dispositivos, permitindo a implementação de sistemas de rastreabilidade industrial robustos e eficientes. Além disso, também é utilizado para conectar dispositivos de rastreabilidade, como sensores e sistemas de controle de produção, permitindo a coleta e compartilhamento de dados em toda a cadeia de fornecimento.

No contexto deste projeto, o Modbus foi amplamente utilizado para realizar a leitura em tempo real dos sensores presentes na Lasermarker, incluindo aqueles que monitoram a entrada e saída de placas, além do sensor que indica o estado do laser (ligado ou desligado). Isso possibilita a identificação precisa dos momentos em que as placas entram ou saem da máquina, bem como os instantes de início e fim da gravação do DataMatrix, permitindo que a câmera seja acionada no momento mais adequado.

2.5.2 Node-Red

Pode-se definir o “Node-Red” como uma ferramenta visual baseada em fluxo que apresenta código aberto, desenvolvida originalmente pela IBM, assim como o protocolo MQTT. Pela sua programação ser em blocos, o processo é simplificado e de fácil compreensão, sendo ideal para aplicações em sistemas que utilizam IoT. A conexão dos blocos é chamada de nós, ou “nodes”, do inglês, cada bloco apresenta uma função diferente. A junção destes nós, na realização de uma atividade dão um fluxo ou “*flow*” (BASÍLIO, 2021).

Aspectos-chave do Node-RED:

- Interface Gráfica Intuitiva: A principal característica que se destaca no Node-RED é sua interface gráfica acessível via navegador.
- Compatibilidade com Vários Protocolos: Embora o Node-RED não constitua um protocolo de comunicação por si só, ele apresenta alta compatibilidade com diversos protocolos amplamente utilizados em IoT e automação. Isso abrange protocolos como MQTT, HTTP, WebSockets, entre outros.
- Capacidade de Extensão: O Node-RED é extremamente extensível, contando com uma ampla biblioteca de nós disponíveis para uso. Os nós podem ser adicionados ou adaptados conforme a necessidade. Eles oferecem funcionalidades para conectar dispositivos, realizar análises de dados, implementar controle lógico, entre várias outras.

A escolha do Node-Red como plataforma de desenvolvimento do projeto foi motivada por sua facilidade de uso, flexibilidade e ampla adoção no mercado. Além disso, o Node-Red se integra facilmente com protocolos como o ModBus, o que o torna ideal para projetos que necessitam dessa compatibilidade. No ambiente de trabalho do CPC onde foi desenvolvido este projeto, o Node-Red é a ferramenta mais utilizada, acessível de forma simples através de uma URL específica, permitindo que os usuários configurem e monitorem seus fluxos diretamente de qualquer navegador, sem a necessidade de instalações complexas.

2.5.3 InfluxDB

O InfluxDB , é um sistema de gerenciamento de banco de dados criado pela InfluxData, voltado especialmente para o armazenamento e análise de dados de séries temporais. Esses dados são compostos por pontos que são coletados ao longo do tempo, incluindo métricas, eventos e registros.

O InfluxDB destaca-se pela sua capacidade de lidar eficientemente com a ingestão massiva de dados, permitindo a gravação de milhões de pontos de dados por segundo. Isso é particularmente importante em ambientes onde a geração de

dados é contínua e volumosa, como na Internet das Coisas (IoT), monitoramento de desempenho de aplicativos, e sistemas de monitoramento de infraestrutura de TI.

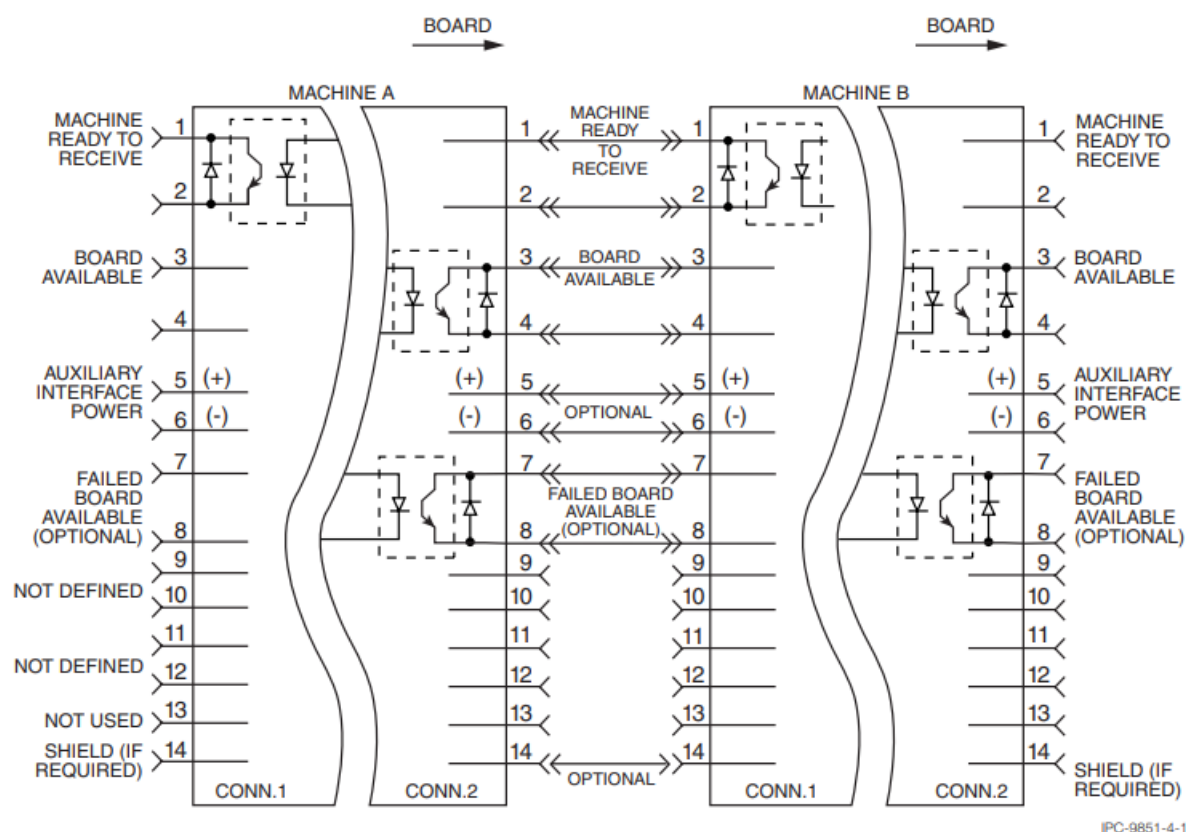
Em resumo, o InfluxDB se destaca como uma solução eficaz e multifuncional para a administração de dados de séries temporais. Sua habilidade em processar grandes quantidades de dados de forma eficiente, aliada a suas funcionalidades de análise e visualização, faz dele uma opção sólida para uma variedade de aplicações tanto industriais quanto comerciais.

2.5.4 SmartSmema

SMEMA, ou *Surface Mount Equipment Manufacturers Association*, é um protocolo padrão da indústria que assegura a compatibilidade e a interconexão de diversos equipamentos utilizados em linhas de montagem de superfície. Seu principal objetivo é promover a troca de informações e sinais fundamentais entre diferentes máquinas, possibilitando um processo de fabricação integrado e contínuo.

Para garantir um sequenciamento adequado das placas, é necessário empregar duas linhas de sinal: “Placa Disponível” e “Máquina Pronta”, sendo o sinal “Placa com Falha Disponível” opcional, como pode ser observado na figura 9

Figura 9 – Esquema Elétrico SMEMA



IPC-9851-4-1

A figura demonstra o esquema elétrico do padrão SMEMA, que evidencia as conexões e pinagens, assim pode-se notar que os sinais de *Read to Receive* e *Board Available* são contatos fechados quando a máquina está dando sinal de "OK" e abrem este contato quando não estão preparadas para enviar/receber.

O SmartSmema é uma tecnologia utilizada dentro da Produza, desenvolvida pela CERTI, que consiste em um sistema que tem as informações de duas máquinas consecutivas na linha de produção, onde a primeira máquina envia a informação de que está apta a enviar ou não a placa para a próxima etapa, enquanto a segunda máquina envia a informação se esta apta ou não para receber uma placa. Assim através do cruzamento dessas informações, define-se a ação a ser tomada com a placa em questão, se ela pode ou não seguir caminho na linha de produção, essa ferramenta, alinhada com o GenIO tornará viável uma maior automação no processo.

2.5.5 GenIO

O Gen.IO é um sistema que se comporta basicamente como entradas e saídas, dependendo da configuração necessitada pelo projeto, ele requer de apenas uma alimentação de 24 VDC para ser ligado e os dados coletados são enviados sem fio através de conexão WiFi, permitindo uma fácil integração. Através da combinação do hardware com a infraestrutura de comunicação do protocolo MQTT é possível monitorar e analisar informações em tempo real, com alta precisão. O dispositivo Gen.IO é baseado no conceito de Internet das Coisas (IoT). Através dele é possível coletar dados digitais de sensores instalados em máquinas e equipamentos, e também enviar sinais digitais através da instalação de botões, que foi o caso utilizado neste desenvolvimento.

Figura 10 – Gen.IO

Gen.IO: Generic Input and Output

Fonte: Fundação CERTI

O Gen.IO é uma tecnologia que possibilita a adição de funcionalidades ao processo. Neste contexto, serão incorporados botões ao GenIO para realizar funções, que podem ser determinadas conforme necessidade do projeto. É interessante ressaltar que através desse sistema, máquinas e equipamentos que até então não haviam conectividade com ambiente ao seu redor, agora podem ser monitorados e analisados para acompanhar seu desempenho e eficiência. Algumas características do Gen.IO podem ser observadas no quadro 2.

Quadro 2 – Características Gen.IO

Características	Especificações
Alimentação	24 VDC
Faixa de operação de sensores	3.3 24 VDC
Conectividade	Wi-Fi 2.4 GHz (IEEE 802.11)
Protocolo de comunicação	MQTT

Fonte: Elaboração própria (2024)

2.6 Trabalho Correlatos

A rastreabilidade industrial tem se tornado um fator essencial para o controle de qualidade, segurança e eficiência não só na fabricação das PCIs, mas também em outros processos produtivos. Nesse contexto algumas outras áreas já trouxeram

resultados positivos de rastreabilidade utilizando esse mesmo método. Como por traz (SILVA, 2022) com desenvolvimento de um projeto propondo a automatização do sistema de apontamento dos produtos em frigorífico de aves através da implantação de DataMatrix nas etiquetas de identificação das caixas contendo as informações necessárias para controle do estoque e utilização de leitor bidimensional para leitura das mesmas, tendo como propósito otimizar os procedimentos operacionais e atender as normas regulamentadoras do mapa e de mercado a fim de garantir a rastreabilidade.

O mesmo gravou DataMatrix em etiquetas, colando-as nas caixas de embalagens do produto, visando automatizar tarefa de rastreabilidade a melhorar a agilidade do processo, obtendo resultados positivos. Segundo (SILVA, 2022) é possível uma redução de 100% no indicador apenas na atividade de apontamento de produção, ou seja, é possível realizar a mesma atividade reduzindo as pessoas na mesma quantidade de horas disponíveis e volume de produção.

Este modelo também já serviu de tema na área automotiva, segundo (BENTO, 2022) As montadoras exigem das indústrias qualidade assegurada em todas as peças, porém não colaboram no custeio de sistemas que permitam garantir a qualidade e rastrear os lotes defeituosos. Tomando com base este cenário, este trabalho apresenta um estudo da aplicação da tecnologia DM (Data Matrix) no setor automotivo, com detalhamento do processo de substituição de um sistema convencional de rastreabilidade, baseado em etiquetas, pelo processo de rastreabilidade baseado em DM. Esta substituição permite melhorar a performance da linha de produção, pois diminui o tempo médio de marcação da peça, reduzir os custos de marcação das peças, com a implementação de tecnologia mais robusta que marca a peça definitivamente e demonstra a possibilidade de redução dos custos de *recall*. O conjunto destes resultados acaba aumentando a produtividade e diminuindo os custos para as indústrias do setor automotivo, atingindo em cheio as exigências das montadoras que é alta qualidade garantida, sem repasse de custos ao produto.

Ainda segundo (BENTO, 2022), o sistema de rastreabilidade aplicado permitiu a segregação de peças por matéria prima desde o início do processo até o cliente final, garantindo maior qualidade e confiabilidade do produto. A facilidade na identificação e segregação das peças foi melhorada, pois visualmente tornou-se possível, através da codificação de rastreabilidade aplicada, se obter informações relevantes do produto

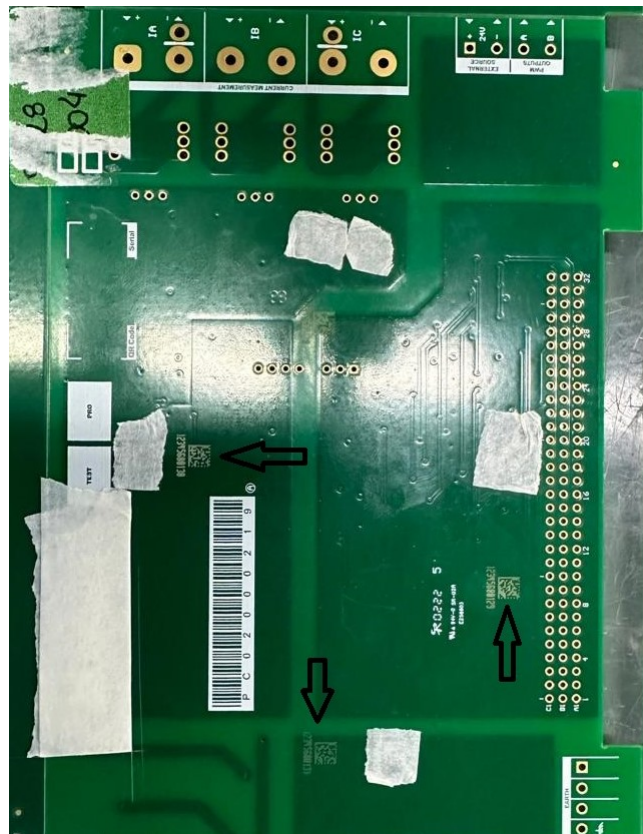
3 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Ao decorrer deste capítulo serão apresentados a metodologia e desenvolvimento do projeto. No início, é abordada a descrição do processo, como ele atuará na linha de produção, em seguida, quais foram as estratégias adotadas para solucionar os problemas mecânicos e de *hardware*, posteriormente explicitado de que forma foram efetuadas as aquisições e tratamentos de dados utilizados na solução, e por fim quais foram e como foram feitas as configurações do sistema de visão.

3.1 Descrição do Processo e Análise dos Requisitos Funcionais

O presente trabalho foi realizado na fábrica Produza S.A., localizada em Florianópolis-SC, uma empresa nacional que atua na montagem de placas e produtos eletrônicos, a empresa encontrava um desafio relacionado a leitura dos Datamatrix gravados nas PCBs, que podem ser observados na Figura 11. Seu processo passa pela seguinte sequência, a primeira etapa da linha de produção apresenta o equipamento "destacker" da LaserMarker (máquina de gravação a laser) que é alimentada pelo operador, com um conjunto de placas que serão gravadas.

Figura 11 – Datamatrix Gravados em PCI



Fonte: Do autor

Após isso, uma a uma a LaserMarker retira uma placa da pilha por vez e inicia a tarefa de gravação, após a gravação feita a placa sai da LaserMarker e segue para o equipamento seguinte, chamado *Stacker*, o qual agrupa as placas novamente em lotes para seguir a linha de produção.

Todavia, a verificação de que os códigos foram gravados com sucesso ou não, não é efetuada nesta etapa. A verificação só é feita na linha de produção após a aplicação do stencil, o que é um problema, pois caso um erro no código de rastreio seja detectado, ocorre a perda de todo o processo feito até ali, o que significa perda na produção, perda de produtos (stencil) e principalmente no tempo de produção.

Apesar da linha de montagem das placas eletrônicas possuir um alto padrão, quando é feita a gravação do DataMatrix na placa e a mesma sai da LaserMarker, é necessário fazer o "registro" da placa na linha de produção, que é feito utilizando as informações de número serial da placa (SN) e a ordem de fabricação (OF), que estão contidos no DataMatrix. Essa tarefa é feita de forma manual, o operador da linha utiliza um equipamento portátil para a leitura do Datamatrix, para registrar a informação do código, que é incluída no sistema chão de fábrica (SCF) utilizado na empresa.

Para contornar essas situações foi proposto este projeto voltado o desenvolvimento e montagem de um sistema de visão para a leitura do DataMatrix que adiantaria a etapa de verificação de erros na gravação, além de eliminar a necessidade de leitura manual das placas.

Inicialmente foi efetuada uma breve análise de requisitos, e concluiu-se que, as etapas de desenvolvimento deveriam passar por: desenvolver um sistema de fixação efetivo, para que os códigos possam ser lidos corretamente e com uma boa qualidade; após isso, ser feita a conversão de coordenadas, uma vez que a LaserMarker tem seu sistema de coordenadas diferente do sistema da câmera, Isso é necessário pois a ideia do projeto não é fazer com que a câmera faça a varredura na placa toda, pois a LaserMarker fornece as posições em que os códigos são gravados através de um arquivo .log, reduzindo o tempo de leitura, assim, otimizando o processo.

A ideia do projeto é utilizar essa informação das posições, para implementar a funcionalidade de ler o código desejado na posição já informada, e assim, assim, qualquer valor diferente deve ser acusado como erro e alinhado com o SmartSmema, parar a produção e informar o operador que houve problema na gravação.

A Produza já havia adquirido o equipamento para executar a função de leitura dos códigos, mais especificamente o leitor de códigos Keyence SR-2000W, onde suas principais características podem ser observadas no Quadro 3, porém, sua implementação na linha de produção ainda não havia sido efetuada, logo, não estava funcional e era feita uma verificação manual dos códigos para validar a gravação.

Quadro 3 – Características do Leitor SR-2000W

Característica	Especificação
Modelo	SR-2000W
Tipo	Modelo de campo de visão ultra-amplo
Número de Pixels	2048 × 1536
Fonte de luz	LED vermelho de alta intensidade
Símbolos suportados	QR, MicroQR, DataMatrix (ECC200), GS1 DataMatrix, PDF417, MicroPDF417, GS1 Composite (CC-A/CC-B/CC-C), DotCode (códigos 2D)
Distância de leitura	50 a 1000 mm

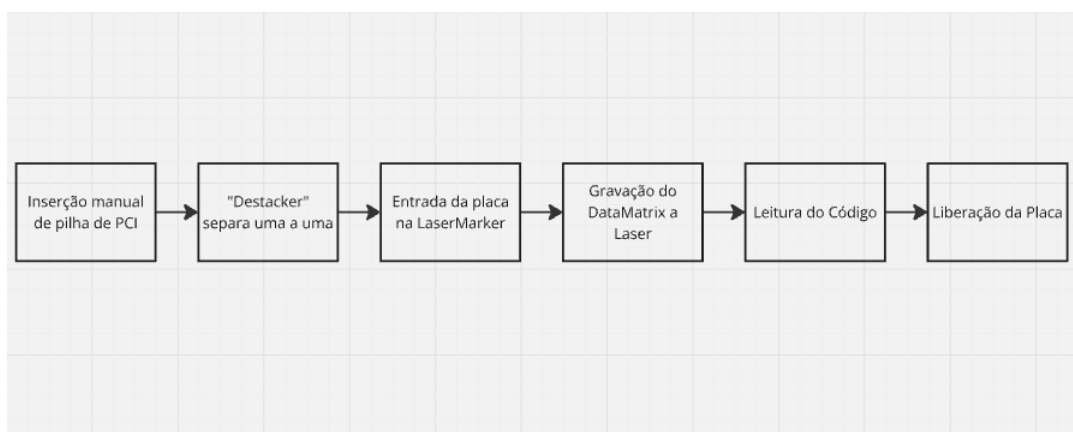
Fonte: Elaboração própria (2024).

Considerando essa justificativa, foi proposta a elaboração e execução de um programa que atuasse utilizando os sinais dos sensores LaserMarker. O objetivo é que o sistema opere em tempo real, acionando a câmera sempre que uma placa for detectada, dessa forma, o programa poderá realizar a leitura dos códigos gravados nas placas de maneira automatizada e precisa, assegurando a confiabilidade do processo.

Esse desenvolvimento tem como meta eliminar dois dos principais obstáculos da linha de produção da fábrica, reduzindo de forma significativa o tempo necessário para a realização dessa tarefa. Obstáculos que são, eliminar o trabalho manual de leitura, e assim, diminuir a probabilidade de erros humanos, e cortar os custos relacionados a perda de material (stencil) e também o retrabalho, visando aumentar a eficiência geral da produção. Também, com a integração dos sensores ao software desenvolvido, espera-se uma operação mais ágil, promovendo a automação de uma etapa essencial do processo produtivo.

3.2 Visão Geral da Solução

Nesta seção, será apresentada uma visão geral das soluções propostas que pode ser observada de forma breve pela Figura 12 para atender aos requisitos do projeto identificados anteriormente.

Figura 12 – Fluxograma do Processo

Fonte: Do autor

Fazendo proveito de um equipamento já disponível que estava inativo (Leitor Keyence SR-2000W) e utiliza-lo para desenvolver e implementar uma solução que permita ler DataMatrix gravados em PCBs no momento correto, de forma eficiente e confiável para dar entrada nos números de série das placas em produção, coletar dados provenientes da câmera e informar o sucesso ou não da operação, além de armazenar esses dados para análises futuras.

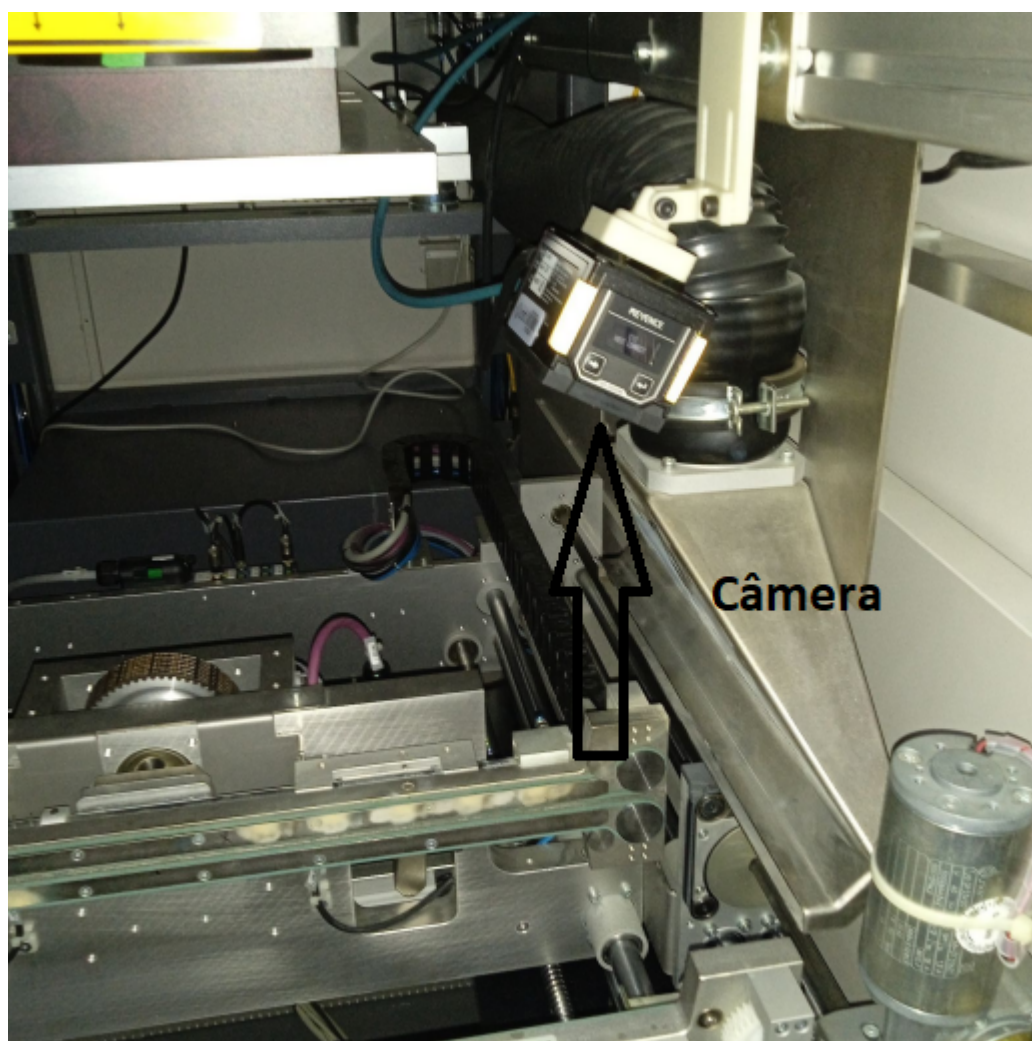
Com base nessas informações, utilizar outras tecnologias (Gen.IO e SmartSmema) para controlar o avanço ou não da placa na linha de produção, ou seja, definir sua ação de forma 100% automatizada. Em caso de erro bloqueando a movimentação através dos sinais enviados pelo SmartSmema, informando o erro ao operador através de um sinalizador LED e em caso de sucesso permitir o prosseguimento da produção.

3.2.1 Estratégia adotada para aspectos mecânicos e de hardware

Neste tópico serão demonstrados de forma breve, inicialmente como foi feito o desenvolvimento do suporte 3D para fixação da câmera e sua implementação no sistema, posteriormente a instalação do SmartSmema e por fim a instalação do GenIO e a botoeira, informando as funções dos botões instalados.

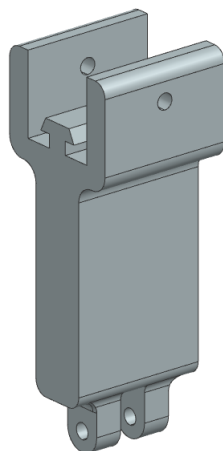
3.2.1.1 Desenvolvimento do suporte 3D

Para solucionar o problema de fixação da câmera no início do projeto notou-se um problema latente, que era o posicionamento físico da câmera. Inicialmente a SR-2000W se encontrava posicionada com uma angulação diferente de 90° em relação as placas gravadas, o que ocasionava problemas na leitura e aumentava a dificuldade de uma conversão correta uma vez que não era linear como pode ser observado na Figura 13.

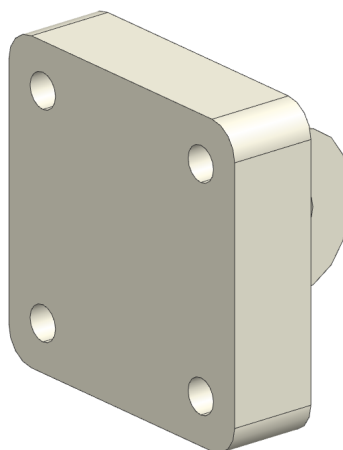
Figura 13 – Fixação anterior

Fonte: Do autor

Para solucionar o problema, foi desenvolvido um suporte no *software* Siemens NX CAD/CAM, como pode ser observado na Figura 14. O suporte foi projetado para ser fabricada por impressão 3D em ABS, e fixado em um perfil de alumínio estrutural. Também foi projetado um elemento de fixação para a câmera que é preso ao ao suporte com uma junta rotativa para alinhar a câmera na hora da montagem, apresentado na Figura 15.

Figura 14 – Suporte

Fonte: Do autor

Figura 15 – Fixação

Fonte: Do autor

Após a impressão das peças, foi feita a instalação do suporte na máquina demonstrada na Figura 16, reposicionando a câmera e a deixando mais centralizada em relação a posição do laser.

Figura 16 – Nova fixação da câmera

Fonte: Do autor

3.2.1.2 Implementação SmartSmema

Com a implementação do SmartSmema, observado na Figura 17 é possível bloquear o avanço da placa na linha de produção. Caso seja detectado um erro de leitura, antes de passar pelas próximas etapas, deverá ser feita uma verificação manual e se confirmado o erro, tomar as medidas necessárias para correção. A instalação do SmartSmema se deu fazendo a instalação dos conectores padrão no cabeamento SMEMA da máquina

Figura 17 – SmartSmema instalado



Fonte: Do autor

A partir daí, o periférico foi alimentado com 24 VDC, e conectado entre a LaserMarker e a máquina seguinte, sempre monitorando os sinais de *Board Available* e *Read to Received* visando bloquear ou permitir a saída da placa.

3.2.1.3 Implementação Gen.IO

A instalação do Gen.IO, conforme ilustrado na Figura 18, ocorreu de maneira semelhante à do SmartSmema, com a alimentação do periférico em 24 VDC. No entanto, o Gen.IO apresenta uma funcionalidade distinta, atuando como portas adicionais de entradas e saídas. Neste contexto, foram incorporados quatro botões para permitir ações externas no projeto. Um dos botões é destinado à reexecução da leitura em caso de erro inesperado, enquanto outro, que possui uma chave, serve para

desativar a funcionalidade de leitura. Essa desativação é necessária em situações específicas na fábrica, como durante a queima de CIs, onde a leitura não é desejada, proporcionando ao operador a opção de desativar essa função. Após a instalação, foi feita a configuração do periférico conforme desejado no projeto de forma semelhante ao SmartSmema.

Figura 18 – Gen.IO Instalado



Fonte: Do autor

A solução foi equipada com periféricos adicionais para otimizar o uso pelos operadores. Na Figura 19, é possível visualizar a instalação de botões que estão conectados as portas do GenIO, cada um acompanhado de etiquetas descritivas que indicam suas funções. Estes aprimoramentos têm como finalidade tornar a operação da máquina mais intuitiva e eficiente, reduzindo a margem de erro e aumentando a produtividade dos operadores.

A implementação desses periféricos foi feita utilizando o Gen.IO que funciona como portas adicionais de entradas/saídas, nesse caso foram utilizados 4 botões para adicionar ações externas ao projeto. Um dos botões serve para reiniciar a leitura em caso de um erro inesperado. Outro botão, que possui uma chave, é destinado a desativar a funcionalidade de leitura, uma vez que, em algumas situações na fábrica, ocorre a queima de CIs, tornando a leitura indesejada, assim, o operador tem a opção de desativá-la. Um terceiro botão foi projetado para a funcionalidade de autoajuste,

permitindo que os parâmetros de configuração de imagem sejam calibrados automaticamente para a placa específica. Por último, o botão de "reset" é utilizado quando uma posição de gravação é realizada de forma incorreta, ao ser acionado, ele possibilita a reconfiguração das posições de gravação.

Figura 19 – Botoeira Gen.IO



Fonte: Do autor

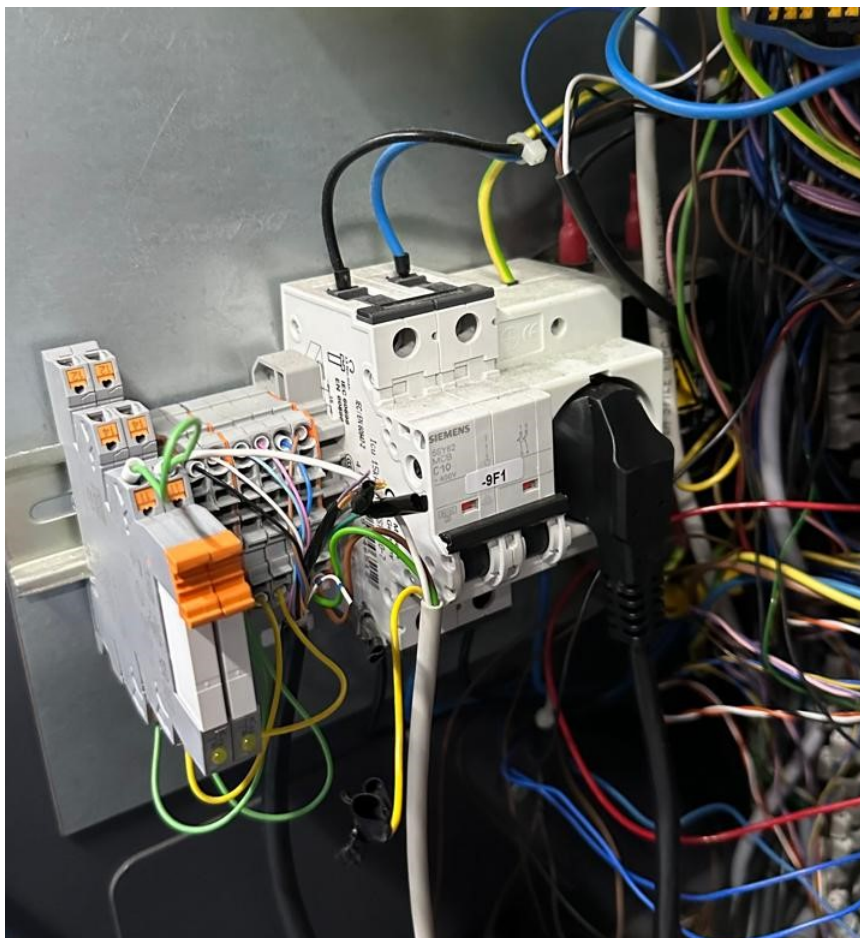
3.2.1.4 Movimentar Instalação do Leitor para o Painel da Máquina

Antes da execução deste projeto, a câmera já estava instalada, mas o painel elétrico e seus componentes estavam desorganizados, guardados em uma caixa no chão da fábrica como pode ser observado na Figura 20. Essa situação não apenas comprometia a segurança do ambiente, mas também representava um risco considerável de acidentes, por isso essa configuração era insatisfatória em termos de eficiência operacional.

Figura 20 – Painel elétrico da câmera no chão

Fonte: Do autor

Com a intenção de criar um ambiente de trabalho mais seguro, organizado e funcional, decidiu-se transferir o painel da câmera para a área junto ao painel elétrico da LaserMarker. Essa mudança possibilitou uma integração mais eficiente dos sistemas, facilitando tanto o controle quanto a manutenção. A nova organização, observada na Figura 21 ajudou a otimizar o espaço, reduzindo a desordem no chão da fábrica e minimizando os riscos de acidentes, além de aprimorar o fluxo de trabalho e o acesso aos componentes essenciais.

Figura 21 – Painel elétrico da câmera depois da movimentação

Fonte: Do autor

3.2.2 Estratégia adotada para aspectos de aquisição e envio de dados

Neste tópico serão explicitados como foi feita a aquisição de dados através do protocolo Modbus/TCP, posteriormente qual foi a lógica utilizada para fazer a aquisição da informação de onde os códigos seriam gravados pela LaserMarker e o método de conversão de coordenadas utilizado, e por fim a interface de armazenamento de dados.

3.2.2.1 Aquisição de dados via ModBus

Geralmente, o protocolo ModBus opera junto a computadores, módulos, sistemas supervisórios, CLPs e IHMs (Interface Homem Máquina), permitindo a comunicação e o gerenciamento de vários dispositivos industriais de campo.

Com o uso desse protocolo, é possível, por exemplo, receber sinais de máquinas e periféricos e enviá-los ao CLP. Também pode receber os comandos do controlador e transmitir a dispositivos externos. O padrão é capaz de monitorar e progra-

mar dispositivos, estabelecendo o diálogo entre equipamentos inteligentes, sensores e instrumentos.

Um grande desafio encontrado no desenvolvimento do sistema, foi fazer a aquisição de dados da máquina em tempo real, devido a necessidade de enviar o sinal de *trigger* para a câmera dependendo do modelo da placa, não havia a possibilidade de desenvolver o projeto sem essa conexão. Outras tentativas foram efetuadas, como buscar dados de entrada da placa através dos arquivos de .log gerados pela Laser-Marker, porém foi observado que a atualização desses arquivos de dá apenas após a saída da placa, portanto não poderiam ser utilizadas. Assim, foram buscadas outras alternativas para solucionar tal problema.

Durante o desenvolvimento do projeto, foi observado que a máquina de gravação a Laser utilizava um controlador lógico programável (CLP) do modelo WAGO 750-842 (Figura 22). Ao se buscar por informações sobre o mesmo, observou-se que este permite conexão através de protocolo ModBus como pode ser observado no Quadro 4. Assim iniciou-se a fase de implementação na ferramenta Node-RED, para conseguir receber os dados em tempo real e aplicar na lógica de programação

Figura 22 – CLP WAGO



Fonte: Site WAGO

A conexão foi feita através do Node-RED utilizando um nó específico para conexão ModBus. Com isso pode-se ter acesso a todos os sinais da máquina enviados ao CLP como sensores e atuadores, tanto como os sinais do CLP enviados para a máquina, através da Leitura das I/Os.

Quadro 4 – Principais Características CLP

Características	Especificações
Comunicação	Modbus (TCP, UDP) ETHERNET
Tensão de alimentação	24 VDC
Corrente de entrada (tipo) na carga nominal (24 V)	500mA
Corrente total (alimentação do sistema)	1.800mA

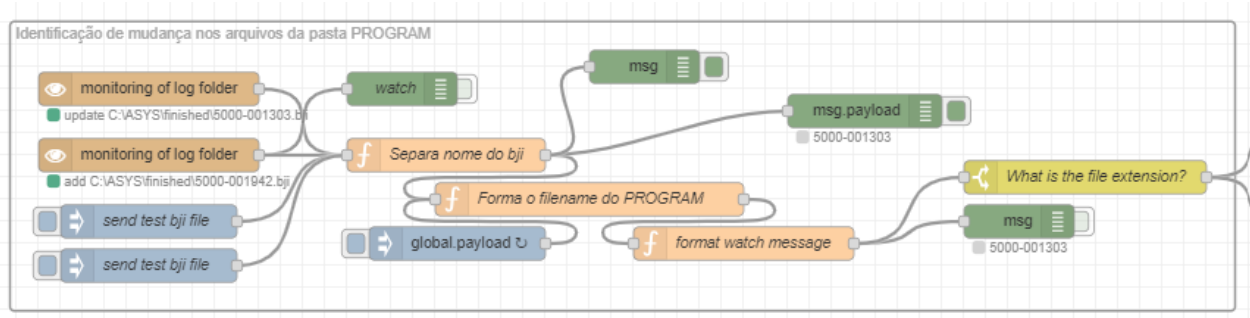
Fonte: Site WAGO (2024).

3.2.2.2 Aquisição e Conversão de Coordenadas

Para a aquisição de coordenadas contendo a posição dos códigos gravado nas placas, foi adotada uma estratégia onde as informações de posição do código a ser gravado são coletados através de um arquivo ".log"na máquina local, onde há também no Node-Red da máquina local, um "flow"que monitora as alterações desses arquivos para fazer a coleta assim que ele seja atualizado.

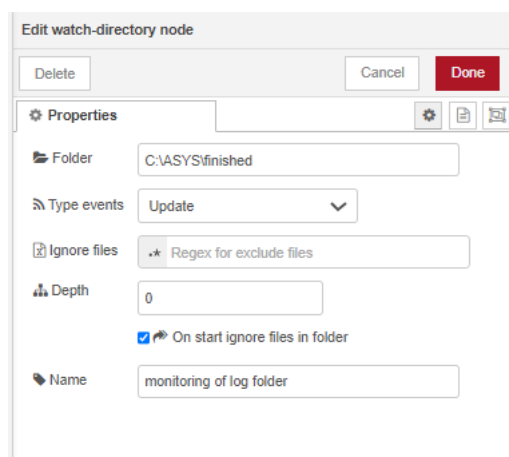
Para viabilizar o desenvolvimento da aplicação, foi necessária a implementação de uma função no Node-RED, utilizando um nó denominado “*watch-directory*”. Este nó tem a finalidade de monitorar uma pasta específica de arquivos, que neste contexto é a pasta “*finished*”, e executar uma função predefinida sempre que há alteração ou criação de um arquivo nessa pasta. Dessa forma, a atualização ocorre em tempo real. A configuração mencionada pode ser visualizada na Figura 23.

Figura 23 – Nós de monitoramento de pasta de arquivo



Fonte: Do autor

Já na Figura 24 podemos observar a configuração do nó “*watch-directory*” monitorando eventos de criação de um novo arquivo dentro da pasta finished. Ou seja, a cada vez que um arquivo for criado ou atualizado dentro da pasta selecionada, o sistema irá atualizar automaticamente.

Figura 24 – Configuração do nó “watch-directory”

The image shows a software configuration window titled "Edit watch-directory node". At the top, there are three buttons: "Delete", "Cancel", and "Done". Below these is a "Properties" section with several settings:

- Folder:** A text field containing "C:\ASYS\finished".
- Type events:** A dropdown menu currently showing "Update".
- Ignore files:** A checkbox is checked, followed by a text field containing ".* Regex for exclude files".
- Depth:** A text field containing the number "0".
- On start ignore files in folder:** A checkbox that is checked.
- Name:** A text field containing "monitoring of log folder".

Fonte: Do autor

A partir da coleta realizada, obtêm-se diversas informações relevantes à gravação a laser, conforme ilustrado na Figura 25. Entre essas informações, destacam-se as posições dos pontos X e Y, que indicam onde o código será gravado em relação ao referencial de coordenadas da LaserMarker. No entanto, constatou-se que o sistema de coordenadas da câmera apresentava diferenças em relação ao sistema da máquina. Assim, para que as informações pudessem ser utilizadas de forma adequada, foi necessário realizar o tratamento e a conversão para o novo sistema de coordenadas.

Figura 25 – Arquivos recebidos após coleta

```

▼ <ASYS>
  ▼ <DRAWING>
    ▼ <PROPERTIES>
      <FIELDROTATION v="90.00"/>
      <XMIRROR v="-221"/>
      <YMIRROR v="-12258"/>
    </PROPERTIES>
    ▼ <DRAWOBJECTS>
      ▼ <DRAWOBJECT type="DATAMATRIX">
        <FIELDROTATION v="90.00"/>
        <FIELDROTATIONX v="-221"/>
        <FIELDROTATIONY v="-12258"/>
        <POSX v="-590"/>
        <POSY v="-12627"/>
        <SIZEX v="738"/>
        <SIZEY v="738"/>
        <ROTATION v="0.00"/>
        <CODETYPE v="8"/>
        <CONTENT v="230509300100"/>
        <SHAPE v="-12258"/>
        <LASERPOWER v="60.000"/>
        <T1 v="20.000"/>
        <MARKSPEED v="51"/>
        <FILLSPACING v="53"/>
        <T2 v="30"/>
        <LASERONDELAY v="450"/>
        <LASEROFFDELAY v="300"/>
        <MARKDELAY v="600"/>
        <POLYGONDELAY v="50"/>
        <JUMPSPEED v="923"/>
        <JUMPDELAY v="200"/>
        <VARIJUMPLENGTH v="0"/>
        <VARIJUMPDELAY v="0"/>
        <WOBBLEFREQUENCY v="0"/>
        <WOBBLESIZE v="0"/>
        <FILLSTYLE v="0"/>
      </DRAWOBJECT>
    </DRAWOBJECTS>
  </DRAWING>
</ASYS>

```

Fonte: Do autor

Após o recebimento dessas informações, foi efetuado um tratamento dos dados, coletando apenas as informações desejadas e as convertendo para que pudessem ser usadas no fluxo do Node-RED. Sendo as principais informações, como já citado, as posições X e Y da gravação, então para que esses dados fossem utilizados de maneira correta, foi efetuada a conversão das coordenadas fazendo uma interpolação linear entre os pontos relacionados da câmera e da máquina.

Para isso usou-se uma placa de teste como base, efetuando a gravação de 4 códigos como pode ser observado na imagem 26. Uma vez que as coordenadas de gravação são conhecidas, foi realizada a leitura com a câmera para encontrar a posição no novo sistema de coordenadas e efetuar a conversão.

Figura 26 – Placa Base

Fonte: Do autor

3.2.2.3 Interface de Armazenamento de Dados

No presente trabalho, após a validação de que a leitura estava sendo feita corretamente, foi implementada a função de enviar os códigos lidos para o InfluxDB, juntamente com outras informações importantes, como o horário em que foi efetuada a leitura, como evidenciado na Figura 27.

Após o armazenamento dos dados, surgem diversos benefícios diretos,

possibilitando consultas eficazes sempre que necessário, os dados são resguardados contra perdas e podem ser acessados de diversas localidades, assegurando a disponibilidade e a segurança das informações. O uso de bancos de dados também permite a análise contínua dos dados, facilitando a identificação de padrões e tendências que são fundamentais para decisões mais precisas.

Figura 27 – Interface InfluxDB

Tempo	Código	Categoria	Idade
2024-06-17 09:21:01 GMT-3	240531300102	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:21:03 GMT-3	240531300103	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:21:27 GMT-3	240531300104	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:21:36 GMT-3	240531300105	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:21:45 GMT-3	240531300106	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:21:53 GMT-3	240531300107	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:22:02 GMT-3	240531300108	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:22:11 GMT-3	240531300109	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:22:20 GMT-3	240531300110	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:22:29 GMT-3	240531300111	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:22:37 GMT-3	240531300112	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:22:46 GMT-3	240531300113	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:22:54 GMT-3	240531300114	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:23:03 GMT-3	240531300115	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:23:12 GMT-3	240531300116	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:23:21 GMT-3	240531300117	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:23:29 GMT-3	240531300118	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:23:38 GMT-3	240531300119	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:23:47 GMT-3	240531300120	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:23:55 GMT-3	240531300121	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:24:04 GMT-3	240531300122	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:24:12 GMT-3	240531300123	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:24:21 GMT-3	240531300124	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:24:29 GMT-3	240531300125	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:24:38 GMT-3	240531300126	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:24:46 GMT-3	240531300127	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:24:55 GMT-3	240531300128	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:25:04 GMT-3	240531300129	codigo_idio	lasermarker
2024-06-17 09:25:12 GMT-3	240531300130	codigo_idio	lasermarker

Fonte: Do autor

3.2.3 Estratégia adotada para aspectos de configuração do sistema

Neste tópico serão demonstrados como foram feitas as configurações do sistema para que as leituras pudessem ser efetuadas de forma mais eficaz, primeiramente explorando a sintonização dos parâmetros da câmera, posteriormente a lógica utilizada para enviar o *trigger* para o leitor e por fim a lógica de programação como um todo.

3.2.3.1 Sintonização

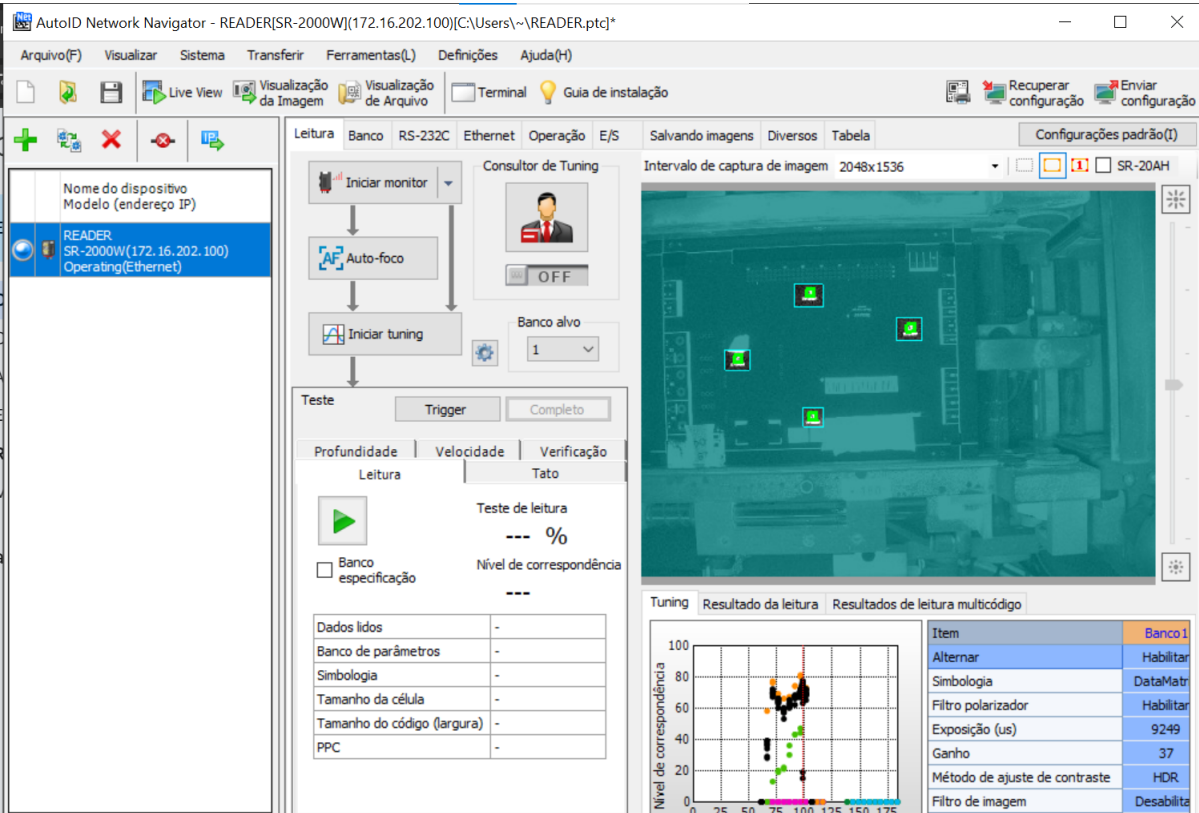
A sintonização da configuração da câmera é uma etapa fundamental para garantir uma leitura precisa e confiável dos dados em uma gravação a laser. Vários fatores precisam ser considerados para otimizar essa configuração.

Um dos primeiros passos é garantir uma exposição adequada. Isso envolve ajustar a configuração da câmera para capturar a intensidade do laser de forma clara, sem saturar a imagem. Além disso, o foco da câmera deve ser ajustado para garantir que esteja nítido no ponto de leitura do laser. Um foco preciso é essencial para capturar os dados com clareza.

Técnicas de processamento de imagem também podem ser aplicadas para melhorar a qualidade dos dados capturados. Isso pode incluir filtragem de ruído, correção de distorção e realce de contraste. Outro fator importante é a redução da iluminação ambiente, que pode interferir na detecção do laser. Controlar a iluminação do ambiente ou usar filtros na câmera pode ajudar a minimizar essa interferência.

O AutoID Network Navigator, dispõe de uma configuração de auto-tuning, onde marca-se manualmente as posições desejadas(onde há um código DataMatrix gravado), e a câmera automaticamente começa a alterar as configurações visando encontrar os valores de cada parâmetro que permitem o melhor nível de correspondência possível, e após, armazena essas informações em um dos bancos de parâmetros. Como é notado na Figura 28

Figura 28 – Processo de Tuning



Fonte: Do autor

Como na Produza não há um padrão de placas, ou seja, cada lote apresenta códigos em posições diferentes ou placas de cores diferentes, a melhor solução encontrada foi em consentimento com o operador da máquina, estipular uma posição padrão e com base nela fazer um único *tuning* para aquela posição, e enviar o comando do banco de parâmetro conforme a cor da placa. Pois fazendo o processo de sintonização a cada lote seria inviável, sendo que a cada lote o operador iria parar a produção para fazer a sintonização, entrando no programa e alterando as configurações da máquina

que não é uma tarefa tão simples, além de parar por um tempo a linha de produção, por isso optou-se pela alternativa de definir o banco conforme a cor da placa.

3.2.3.2 Configuração de triggers

Ao acessar as I/Os do CLP, abriu-se um leque de oportunidades para utilizar os próprios sensores da máquina para enviar os sinais para a câmera. Assim sendo, foram utilizados os sinais de quando o Laser de gravação está ligado/desligado, para acionar a leitura da câmera, quando detectada uma borda de descida no sinal do laser, ou seja, quando o laser estava ligado e desligou, significa que a LaserMarker finalizou a gravação e aciona o *trigger* na câmera.

Outro sinal utilizado foi o sinal de saída de placa, pois este sinal é utilizado para resetar todos os processos anteriores, sempre que uma placa sai, as leituras são zeradas para que o processo possa acontecer novamente com a nova PCB. As informações de lotes, cor de placa, se a gravação é de um ou dos dois lados da placa, são todas recebidas do arquivo ".program" gerado pela LaserMarker, sendo tratados no Node-RED e enviados via MQTT para o Node desejado, assim todas as informações necessárias são obtidas para que o sistema trabalhe de forma automatizada, se adaptando conforme as condições da placa, e atualizando as informações em tempo real.

Encontrar o tempo exato para efetuar o trigger da câmera foi um grande desafio, pois os sinais enviados pela máquina local não eram recebidos em tempo real pela câmera, que era algo importante exigido por essa aplicação para o funcionamento ideal, para isso foi verificado no painel da máquina, que a mesma possuía um CLP do modelo WAGO 750-842 que permite comunicação através de protocolo ModBus, como foi citado anteriormente.

Inicialmente a estratégia adotada foi a de dar o sinal de trigger através do arquivo .log, pois o mesmo exibe as informações de *board-in* e *board-out*, porém durante os testes, verificou-se que o tempo de atualização desses arquivos era posterior a saída da placa, e consequentemente posterior á necessidade do trigger de leitura dos códigos, logo, se tornou inviável a sua utilização. A solução deste problema só foi possível com a utilização do protocolo de comunicação ModBus, tornando possível mapear todas as funções das entradas e saídas do CLP, e a partir disso utilizar estes sinais para efetuar a programação do momento de trigger da câmera em tempo real, no momento em que o laser desligava, e consequentemente, a gravação havia sido encerrada.

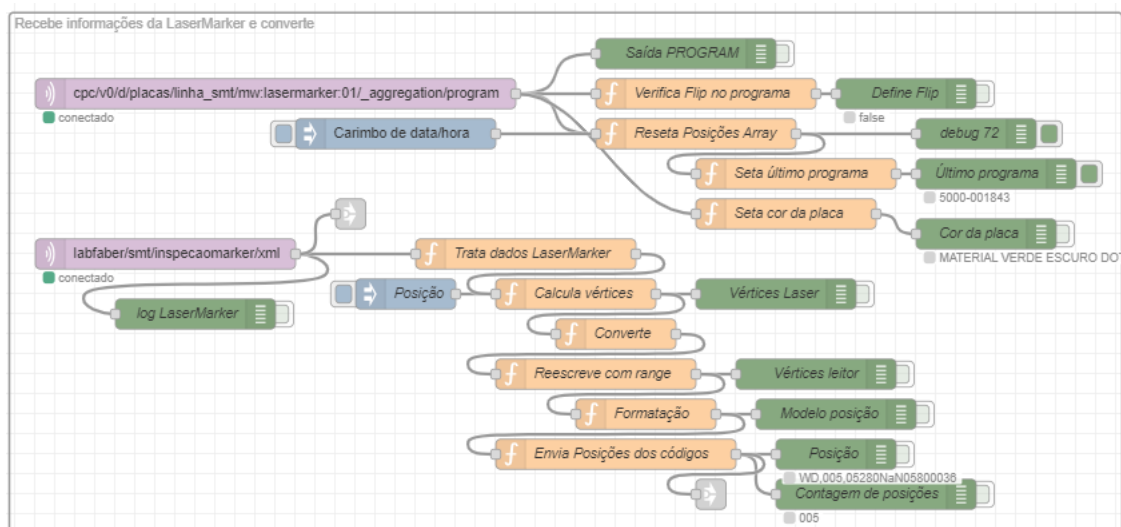
3.2.3.3 Programação

A programação lógica é fundamentada nas ações da máquina e é essencialmente dividida em três partes: A primeira consiste na etapa inicial, na qual os arquivos .log gerados pela máquina de gravação a laser são recebidos, e algumas aquisições são realizadas, como: verificar se ocorre o *flip* na placa; qual é a cor da placa; qual é o número do programa; e, também, sempre que um novo programa é carregado, todas as informações contidas no programa são substituídas para atender aos requisitos do novo programa.

Além disso, nesta etapa também ocorre a conversão de escalas, uma vez que a LaserMarker e a câmera possuem sistemas de coordenadas e escalas diferentes. Portanto, foi necessário realizar a conversão. Para isso, foi realizado um registro em uma PCB de testes, a fim de obter as coordenadas da LaserMarker. Em seguida, foi feita a leitura manualmente com o Leitor de códigos, que possui a funcionalidade de informar a posição do código lido juntamente com o resultado da leitura. Dessa forma, também conhecemos as posições do código no sistema de coordenadas da câmera. Com essas informações, foi possível realizar a conversão das coordenadas por meio de uma interpolação linear.

Após a conversão, foi adicionado um range, sendo que quando a placa entra na máquina, para quando entra em contato com um batente fixo, o que pode ocasionar leves diferenças na posição final das placas, e para não ter o problema de cadastrar duas posições muito próximas como posições diferentes, foi adicionado um range na posição, então o sistema só cadastra uma nova posição no *array*, se ela estiver fora do range estipulado. Uma vez que a placa passou, a LaserMarker envia todas as posições dos códigos a serem gravadas, através do arquivo .log, essas posições são convertidas através de programação, e armazenadas em um *array* para serem consultadas posteriormente para fazer a leitura, e quando necessário são editadas para o formato suportado pela câmera, para informar o exato local em que o código foi gravado na PCB.

Figura 29 – Programação (1)

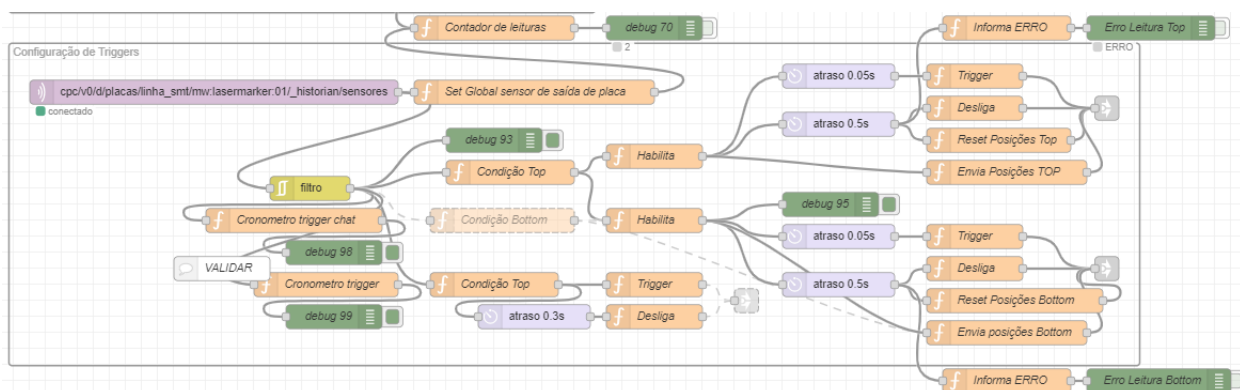


Fonte: Do autor

A segunda parte se refere a configuração dos *triggers* da câmera, aqui foi programada a parte operacional da câmera, em relação as bordas de subida e descida do acionamento do laser de gravação, e após esse sinal, é escolhido com base nas informações registradas da primeira parte, (se flipa, cor da placa, etc.) como irá funcionar a lógica de leitura, o caso mais simples é quando a placa não faz o flip, logo o número de códigos a ser lidos é igual ao número de posições do array que armazena as posições, na localização gravada.

Porém, quando a placa precisa espelhar, é necessária uma nova lógica, que verifica se o último lado lido foi o lado Top ou Bottom, e verifica que o número de códigos lidos deve ser igual a metade de posições do array, na localização informada pela primeira metade de códigos, enquanto para o lado bottom a outra leitura desejada deve ser também da metade das posições do array, onde sua localização é informada pelos valores da segunda metade do array. Após um atraso de 0.5s que é o tempo suficiente para a leitura, é enviado o sinal para desligar a câmera, e são efetuadas as verificações de leitura, para confirmar se os códigos foram lidos corretamente.

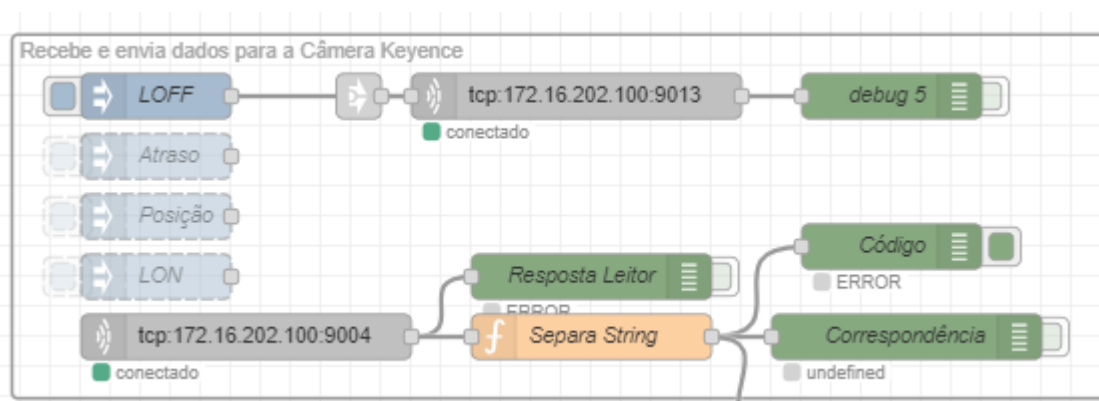
Figura 30 – Programação (2)



Fonte: Do autor

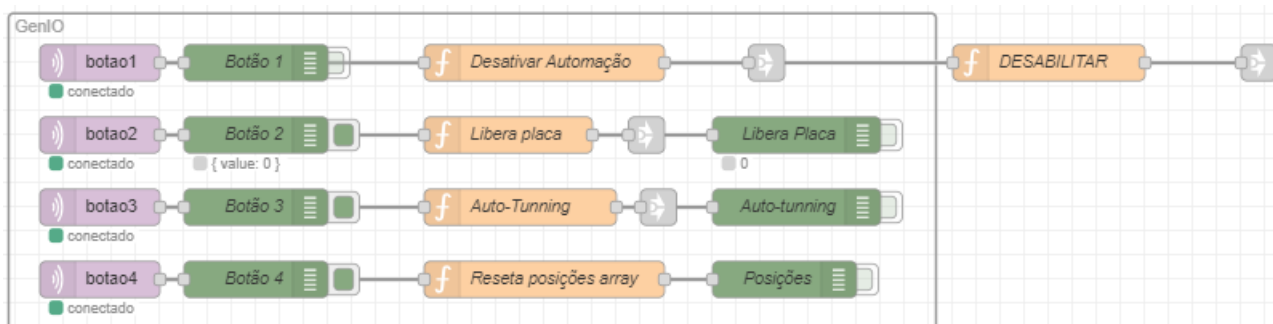
Na terceira etapa, são recebidos e enviados os sinais para a câmera através do bloco TCP(cinza), no bloco de envio, todas as informações geradas pela etapa dois são enviadas para a câmera, como por exemplo, quando um sinal de *trigger* deve ser enviado, ele é enviado primeiro para o bloco TCP, e o bloco TCP que envia este sinal á câmera para que a ação seja executada, e o bloco de saída recebe as informações da câmera, como o número do código lido; taxa de correspondência; posição dos vértices; entre outras. Porém foi aplicado um filtro em um bloco "function" para selecionar apenas os parâmetros mais importantes para a aplicação que são o número do código e o valor de correspondência da leitura.

Figura 31 – Programação (3)



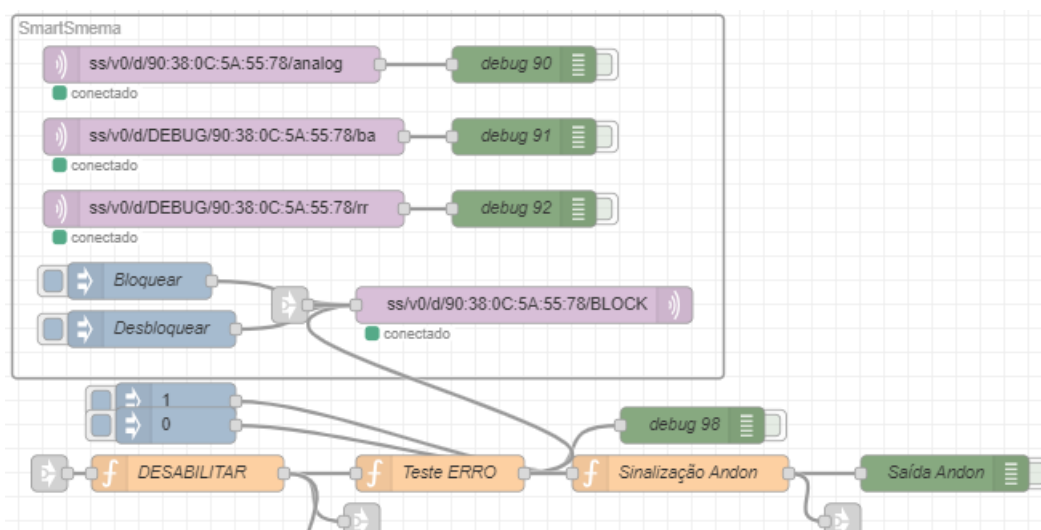
Fonte: Do autor

Ademais, também houve a necessidade de programar as funções dos dispositivos Gen.IO e SmartSmema, uma vez que o Gen.io são entradas/saídas, deve-se determinar o que acontece caso sejam acionadas, e suas funções foram especificamente programadas nos blocos "function" no Node-RED. O agrupamento onde foi feita essa programação pode ser observado na Figura 32.

Figura 32 – Programação - Comunicação com Gen.io

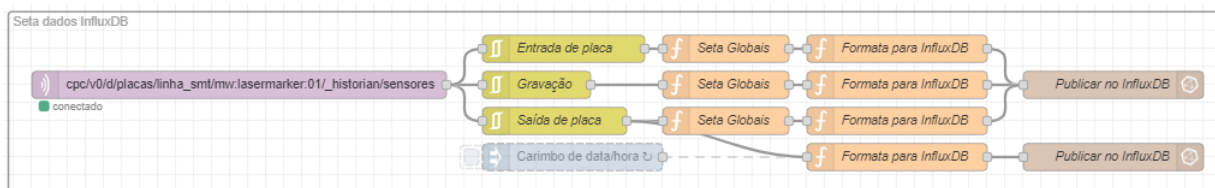
Fonte: Do autor

Por sua vez a configuração necessária no SmartSmema foi a enviar o sinal de travamento da placa via comunicação mqtt, quando recebe o sinal de erro na leitura, e assim, bloquear o transporte da placa. Esse agrupamento da programação pode ser observado na imagem 33 mostrada a seguir.

Figura 33 – Programação - Comunicação com SmartSmema

Fonte: Do autor

Por fim, para armazenar dados, foi implementada uma padronização dos dados, programado no nó "formata para InfluxDB" que pode ser observado dentro do agrupamento da Figura 34.

Figura 34 – Programação - Comunicação com InfluxDB

Fonte: Do autor

Após essa padronização, quando uma placa passa pela leitura da câmera, independente do resultado da leitura, os dados são enviados para o InfluxDB através de um nó específico para essa função.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Um dos principais objetivos do projeto foi facilitar ao máximo a interação entre a automação implementada e os operadores, tornando o processo não apenas mais eficiente, mas também intuitivo e amigável para quem o utiliza no dia a dia. Com isso em mente, buscou-se instalar uma botoeira que reuniu as principais funções necessárias, como pode ser observado na figura 35: Liga/desliga; Libera placa, caso ela seja travada pelo sistema; Auto-tuning, para placas não cadastradas nos bancos de base; Reset posição, para caso a posição de gravação tenha sido feita de forma errada inicialmente. Permitindo que os operadores possam realizar suas tarefas de forma ágil e sem complicações.

A instalação foi feita visando simplificar a rotina de quem trabalha com o sistema, reduzindo o tempo de operação e minimizando o esforço necessário. todas as funções essenciais estejam ao alcance imediato. Essa abordagem visa aumentar a confiança dos operadores no uso da automação, tornando o processo mais fluido e natural.

Figura 35 – Integração dos Periféricos

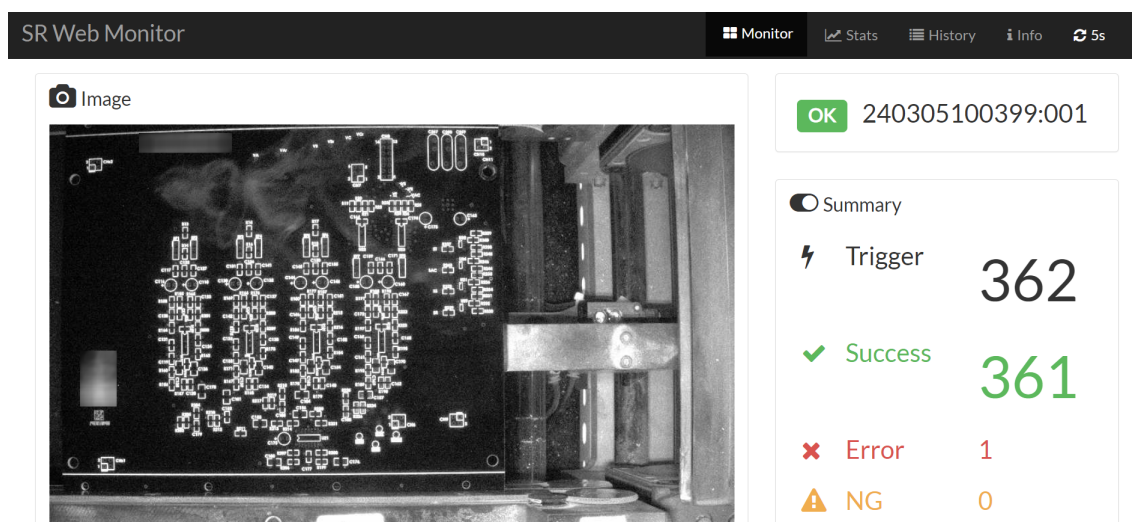


Fonte: Do autor

Com o sistema desenvolvido integrado na planta, foi realizado um teste de operação para verificar se os requisitos foram atendidos. Em um teste inicial, foi utilizado um lote com 362 placas para alimentar o sistema, então, foi observado que a câmera estava lendo corretamente e com bom aproveitamento conforme pode ser observado na figura 36 o leitor obteve um aproveitamento de 99,72%, ou seja, praticamente 100% de assertividade. Porém notou-se um problema para quando havia a necessidade de ler os dois lados da placa, durante a primeira captura de *trigger*

a placa já estava em movimento o que impossibilitava a leitura, para isso teve que ser feita uma modificação no código e implementado um *trigger* dinâmico que varia conforme o acionamento do laser, armazenando a informação de tempo de laser ligado e decrementando um valor fixo de tempo a partir do dado da última gravação. Assim independente do número de códigos gravados o tempo de *trigger* é ajustado automaticamente.

Figura 36 – Teste em produção



Fonte: Do autor

Após o ajuste do *trigger*, foram feitos novos testes e observou-se os seguintes resultados: Em painéis com 4 códigos o leitor conseguia ler uma quantidade menor, em aproximadamente 50% das vezes 3 códigos apenas, em 30% dos casos apenas 2 códigos, e em aproximadamente 20% dos casos leu os 4 códigos corretamente, porém com um nível de correspondência muito baixo, o que não é bom, para isso foi desenvolvido um novo suporte maior, deixando a câmera mais próxima a placa visando aumentar o foco e aumentar a precisão na leitura, gerando níveis de correspondência mais altos.

Além dos testes já citados, foram realizados outros experimentos adicionais em 100 placas contendo um código no lado superior (*top*) e um código no lado inferior (*bottom*), durante esse teste, o desafio era validar o *trigger* dinâmico aplicado para a leitura do lado *bottom*, e o resultado foi bastante interessante e promissor, de um total de 200 leituras possíveis, o leitor conseguiu completar 188 com sucesso, alcançando uma taxa de sucesso de aproximadamente 94%.

Esses números refletem a eficácia e a precisão do sistema de leitura, demonstrando que ele é capaz de operar de maneira confiável em condições práticas. A alta taxa de acerto é um indicativo positivo, confirmando sua capacidade de atender às exigências do processo e contribuir significativamente para a eficiência operacional.

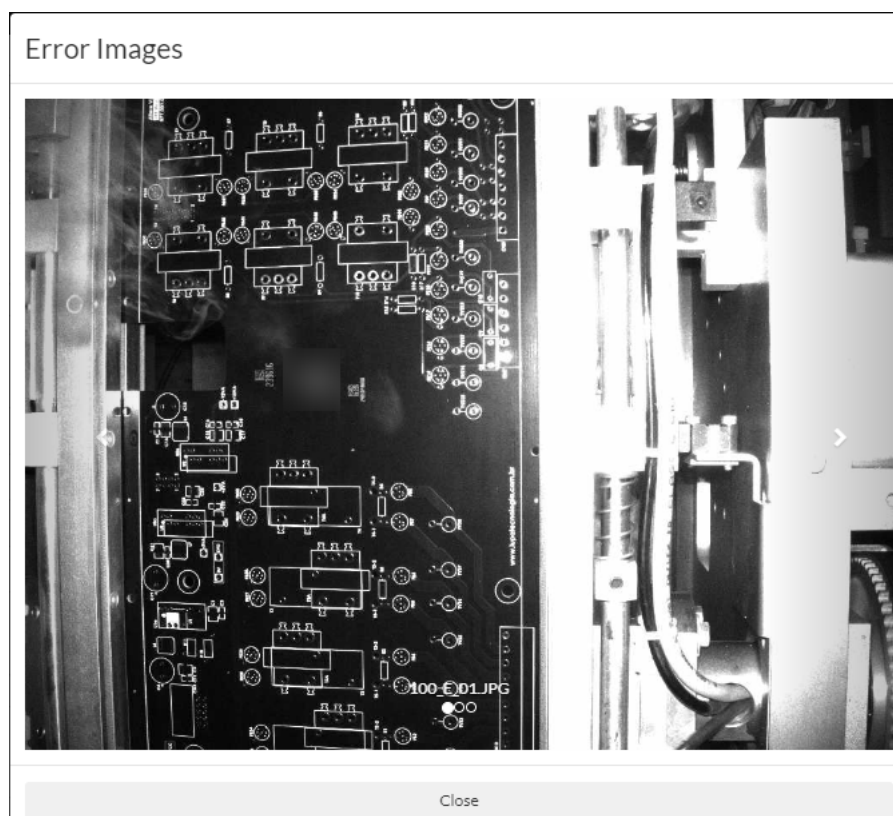
Esses resultados também fornecem uma base para futuras otimizações e ajustes, garantindo que o desempenho possa ser ainda mais refinado em aplicações futuras.

4.1 Análise e discussão dos resultados

Tendo em vista os dois principais problemas, inicialmente a leitura dos códigos para inserção no sistema da fábrica era feito de forma manual, em relação a isso, os resultados obtidos foram positivos, sendo que como demonstrado anteriormente conseguiu-se resultados de até 99,72% de sucesso na leitura, ou seja, sucesso em reconhecer e extrair as informações contidas nos DataMatrix. O que por sua vez já permite que os números de série das placas sejam inseridos no sistema de forma automatizada. Esse foi um grande resultado obtido uma vez que já seria possível eliminar o trabalho manual de leitura.

Sobre a detecção de erros na gravação, os resultados não conseguiram demonstrar que atualmente a solução pode ser implementada na linha de produção e rodar confiavelmente sem que haja intervenções manuais, porém a proposta se mostrou promissora, podendo ser aprimorada para atingir esse objetivo. Em seguida pode ser observado também que há alguns fatores ocasionadores de erros, como por exemplo fumaça da gravação na frente dos códigos, como evidenciado nas figuras 37 e 38, em outros momentos o *trigger* não foi aplicado no momento exato (39, o que demonstra que ainda há lacunas no processo, porém há tratativas que podem ser tomadas para melhor eficácia da solução.

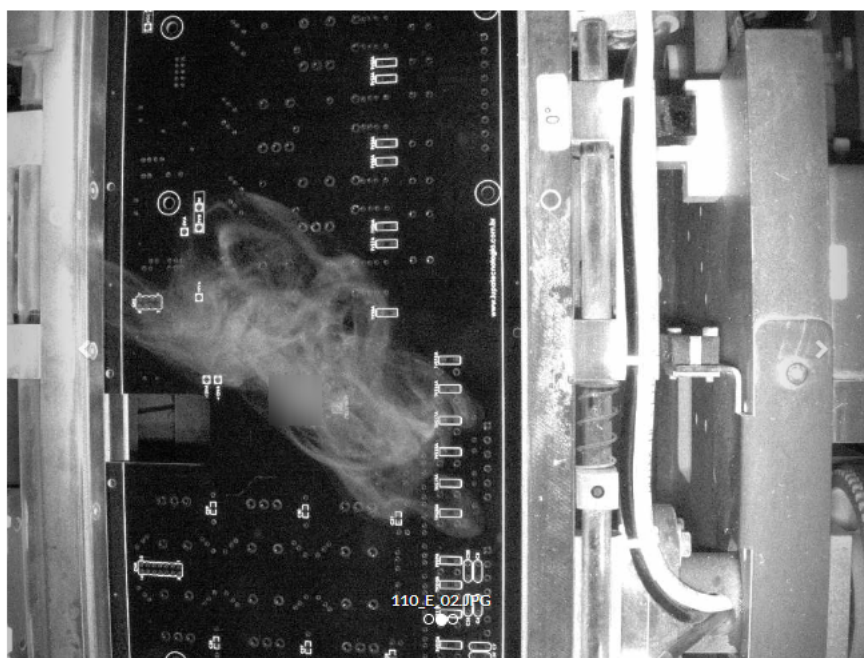
Figura 37 – Caso de Erro (1)



Fonte: Do autor

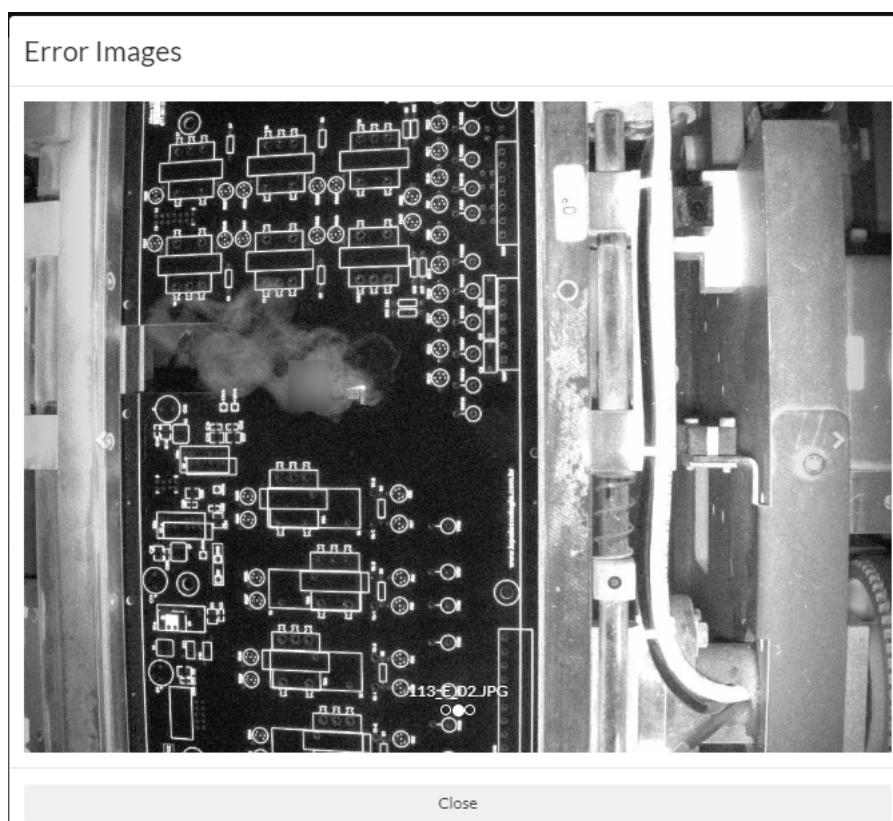
Figura 38 – Caso de Erro (2)

Error Images



Close

Fonte: Do autor

Figura 39 – Caso de Erro (3)

Fonte: Do autor

Dessa forma, o projeto se torna viável para a leitura de placas que possuem poucos códigos, mas sua confiabilidade diminui à medida que a quantidade de códigos aumenta. Além disso, a posição dos códigos é crucial; quanto mais próximos do centro da câmera estiverem, melhor será a leitura, uma vez que a iluminação é ajustada de maneira otimizada.

Fazendo uma análise de contexto geral, acredito que os resultados foram bastante positivos, houve o um bom desenvolvimento de grande parte do projeto e a integração de vários temas relacionados a automação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto, foi desenvolvido um sistema de visão para a leitura de códigos DataMatrix e a rastreabilidade de placas eletrônicas na linha de produção de uma indústria. O processo começou com a implementação de um leitor de códigos 2D na planta da fábrica, seguido pela sua instalação e configuração. Além disso, foi estabelecida a comunicação entre os componentes do sistema, permitindo a recepção de informações da LaserMarker por meio de consultas nas portas lógicas do CLP da máquina, o que possibilitou uma ampla gama de oportunidades ao trabalhar com dados em tempo real.

Foi realizada a integração de dispositivos periféricos para ampliar as funcionalidades do sistema, com o objetivo de viabilizar sua implementação no ambiente fabril. Esse processo demandou não apenas um trabalho prático para a montagem dos equipamentos, mas também a programação dos mesmos, o que se revelou bastante interessante, pois possibilitou a aplicação de diversos conhecimentos adquiridos ao longo da formação acadêmica.

Ao examinar os resultados alcançados com o projeto, observa-se que uma grande parte dos objetivos propostos foi atingida, incluindo a instalação dos periféricos, a relocação da instalação elétrica da câmera para o interior do painel, e o desenvolvimento de um sistema capaz de reconhecer as placas, interagir com a LaserMarker e com a linha de produção, realizando tarefas de maneira automatizada. O desempenho foi considerado satisfatório, evidenciando eficácia e, com possíveis atualizações, a capacidade de resolver de forma efetiva os problemas que este trabalho se propôs a enfrentar.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros:

- Aprimoramento dos bancos de leitura da câmera: utilizando um parâmetro de 16 bancos para cada placa;
- Efetuar uma comparação de resultados com outra câmera;
- Efetuar o envio dos dados em tempo real para o Sistema Chão de Fábrica;
- Melhorar a iluminação do ambiente, para melhor leitura de placas de diferentes cores;

5.1 Discussão Sobre o Atendimento dos Requisitos

Neste tópico, serão abordados, através de quais meios foram resolvidos os principais problemas encontrados no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

- 5.1.1 Instalar o leitor Keyence SR-2000W em um local estratégico na LaserMarker, onde ele possa capturar claramente os códigos DataMatrix nas PCBs:

Conforme as condições observadas no manual de instruções da SR2000-W, foram levados em conta a altura e angulação do leitor em relação ao código a ser lido. Um novo suporte foi desenvolvido para posicionar a câmera de forma centralizada em relação ao laser, proporcionando ampliar o espaço de trabalho e diminuir ao máximo a adversidade de DataMatrix longe da câmera. Além disso, foram realizados testes para garantir que a câmera não colidisse com a máquina durante o processo de rotação. Com isso, a alteração foi validada, resultando em uma leitura aprimorada e uma maior área de captura.

- 5.1.2 Desenvolvimento de Software de Integração:

A integração foi realizada completamente por meio da plataforma Node-RED, estabelecendo comunicação com a câmera através do protocolo TCP para envio e recebimento de informações, comunicação com o CLP da LaserMarker através do protocolo ModBus. A programação foi feita em JavaScript e todas as informações são processadas no próprio Node-RED, onde a lógica de programação e o acionamento da câmera também foram configurados.

- 5.1.3 Configurar os parâmetros do leitor para diferentes tipos de placa (cor e tamanho), incluindo foco, iluminação, resolução e tempo de exposição, para garantir a melhor qualidade de leitura possível:

Para executar esse procedimento, foi utilizado um recurso fornecido pelo próprio software da Keyence. Foram coletadas as cores principais das PCBs utilizadas, como verde claro, verde escuro, azul, branco, entre outras. Em seguida, foi realizada uma calibração utilizando a ferramenta de autotuning do software para cada caso, armazenando os parâmetros específicos em um banco de dados. Essas informações foram incluídas na programação, de forma que quando uma placa é inserida, a informação de cor de placa é recebida através da coleta de dados da máquina local, então ocorre a correspondência da sua cor com o respectivo banco de parâmetros.

- 5.1.4 Definir métodos para enviar o sinal de disparo para a câmera no momento correto:

Foi identificado um desafio significativo ao tentar determinar o momento ideal para acionar a câmera. Inicialmente, a ideia era estabelecer um atraso fixo a partir do momento em que a placa entrasse na máquina. No entanto, essa abordagem não seria eficaz para os casos em que a gravação era realizada em ambos os lados da placa. Outra opção explorada, foi a de enviar o sinal de *trigger* relacionados aos sinais de *board-in* e *board-out* no arquivo ".log" da máquina local, mas como citado

anteriormente, durante os testes verificou-se que a atualização do arquivo não se dava em tempo real e não era viável para a aplicação.

Após consultar o manual da máquina, descobriu-se que havia um sinal relacionado ao estado de acionamento do laser de gravação, o qual poderia ser adquirido por meio de um sinal do CLP. Com base nisso, foi desenvolvida uma lógica para acionar o *trigger* da câmera quando o laser de gravação mudasse para o estado desligado. Além disso, nos casos em que a placa era gravada em ambos os lados, foi implementado um atraso dinâmico que comparava os tempos de laser ligado e iniciava a leitura 400ms antes do término da gravação, a fim de evitar que a placa estivesse em movimento durante a leitura.

5.1.5 Coletar dados da LaserMarker e do leitor SR-2000W

Para isto foi utilizado uma estrutura de coleta de dados no Node-RED, que realiza a consulta local das informações da LaserMarker. As informações sobre as posições onde os códigos serão gravados são extraídas de um arquivo ".log", enquanto um segundo arquivo ".program" contém dados adicionais, como a cor da placa, o parâmetro de *flip*, entre outras informações. Para a coleta dos dados do leitor, foi utilizado um bloco TCP, que recebe em tempo real as informações captadas pela câmera, incluindo o código lido e o nível de correspondência, entre outros.

5.1.6 Encontrar o momento correto de resetar as posições conforme troca o lote

Essa exigência foi crucial para o projeto, pois a cada novo lote de placas, é necessário atualizar as informações. Para solucionar essa questão, foi acessada uma pasta localizada na máquina da Laser, onde o operador atualiza um arquivo sempre que um novo lote é inserido para gravação. Com o uso de uma lógica de programação no Node-RED, foi desenvolvida uma função que monitora alterações nessa pasta e, ao detectar uma modificação, reinicia as informações no programa conforme o novo lote.

5.1.7 Determinar procedimento operacional situações onde o DataMatrix não for identificado

Esta fase é crucial, pois além de estabelecer procedimento para situações de sucesso, também é necessário definir as ações a serem tomadas em caso de falha na leitura. Para isso, foi instalado um sinalizador LED na parte superior do LaserMarker, que foi integrado à automação no Node-RED. Assim, quando a leitura é bem-sucedida, um LED verde é acionado, indicando que não houve problemas.

Por outro lado, se ocorrer uma falha, a placa é bloqueada dentro da máquina e um LED vermelho é ativado no sinalizador, alertando os operadores sobre o problema. Durante uma conversa com os operadores, foi decidido que a operação padrão seria

que eles retirassem manualmente a placa e realizassem uma verificação visual para identificar possíveis defeitos.

5.1.8 Bloqueio de Placas com Erros: Implementar a lógica para bloquear a movimentação das placas em caso de erro de leitura ou código inválido, enviando sinais de parada para o SmartSmema

O sistema utilizado para o bloqueio de placas com erro é o SmartSmema, que estabelece a conexão entre a máquina de gravação a Laser e a máquina subsequente por meio da conexão padrão Smema, utilizando quatro pinos. O funcionamento geral envolve os sinais *read to receive* e *board available*, que atuam como indicadores de "existência de placa para enviar" e "prontidão para receber". Quando ambos os sinais indicam que há uma placa disponível e que a máquina está pronta, a placa é transferida para a próxima máquina.

Com a instalação do SmartSmema entre as duas máquinas, é possível controlar esses sinais. Assim, foi programado que, em caso de erro na leitura, o sistema emita um sinal indicando que a placa não está pronta para ser enviada, impedindo sua saída até que o botão "libera placa", localizado na botoeira, seja acionado.

5.1.9 Sinalização de Erro: Configurar um sinalizador LED para informar visualmente os operadores sobre os erros de leitura, permitindo uma resposta rápida

Como citado anteriormente para a sinalização de erro foi efetuada a instalação de um sinalizador LED, como pode ser observado na figura 40, o qual sinaliza a luz verde para casos de sucesso e luz vermelha para caso de erro na leitura.

Figura 40 – Sinalizador LED



Fonte: Do autor

5.1.10 Treinamento dos Operadores: Treinar os operadores da linha de produção para entenderem o novo sistema, como monitorar os indicadores LED e como agir em caso de erros sinalizados

Após as implementações da automação e periféricos, foi efetuada uma apresentação para alguns trabalhadores da fábrica como pode ser observado na imagem 41, visando auxiliar no entendimento de utilização do novo sistema, facilitar a utilização da automação, bem como a explicação do que foi feito e suas funcionalidades.

Figura 41 – Apresentação na Fábrica



Do autor

REFERÊNCIAS

- ALTUS. **Conhecendo os Protocolos Modbus TCP, ETHERNET/IP e PROFINET**. 2021. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/411/conhecendo-os-protocolos-modbus-tcp-2c-ethernet-2fip-e-profinet>. Acesso em: 18 jan 2025. 30
- BASÍLIO, S. **O que é Node-RED? Conhecendo e instalando**. 2021. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/outros/o-que-e-node-red-conhecendo-e-instalando>. Acesso em: 20 jan 2025. 31
- BENTO, S. L. T. e. L. d. R. A. R. **Engenharia da Qualidade e seu sistema de rastreabilidade aplicado em peças estampadas de uma indústria de autopeças**. Congresso ABM, 2022. 35
- CHENG, G.-J. *et al.* Industry 4.0 development and application of intelligent manufacturing. In: *2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence (ISAI)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 407–410. 20
- DATTOBIZ. **Computer Vision in Manufacturing Industry: Explained With Use Cases**. 2022. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/computer-vision-manufacturing-industry-explained-use-cases/>. Acesso em: 11 abr 2024. 21
- FILHO, M. F. **BMS 2.0 - Nova geração de sistemas de automação e gestão predia**. [S.l.]: Congresso Netcom, 2015. 22
- HINER, J. **The Executive's Guide to the Internet of Things**. [S.l.]: ZDNet e TechRepublic, 2013. 22
- LINK, A. N. **case study of rd efficiency in an atp joint venture**. In: . [S.l.]: Journal of Technology Transfer, 1998. p. 43–51. 18
- MARKET AND MARKET. **Machine Vision Market**. 2022. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-machine-vision-market-234246734.html>. Acesso em: 11 abr 2024. 20
- MELO, E. C. D. R. e. R. M. V. G. Paulo Roberto de S. **Placa de Circuito Impresso: Mercado Atual e Perspectivas**. BNDES Setorial, n. 14, set. 2001, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2001. 18, 19
- MVISIA WEG GROUP. **O QUE SÃO SISTEMAS DE VISÃO INDUSTRIAIS?** 2023. Disponível em: <https://mvisia.com.br/blog/sistemas-de-visao/o-que-sao-sistemas-de-visao-industriais/>. Acesso em: 10 jun 2024. 19
- SACHS, K.; PETROV, I.; GUERRERO, P. **From Active Data Management to Event-Based Systems and More**. [S.l.]: ADS, 2010. 22
- SHANKYA. **Rastreabilidade: o que é e qual a sua importância?** 2024. Disponível em: <https://www.sankhya.com.br/blog/rastreabilidade/>. Acesso em: 10 jun 2024. 21

SILVA, Y. C. N. ***Proposta para automatização de apontamento de produção por captura Data Matrix em frigorífico de aves.*** [S.l.], 2022. 35

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ***ABNT/NBR ISO 9001: Sistemas de Gestão da Qualidade.*** 2015. 21

International Organization for Standardization. ***ISO 16022:2006 - Information technology — Automatic identification and data capture techniques — Data Matrix bar code symbology specification.*** 2006. 24

WEG. ***Modbus TCP User's Manual.*** 2023. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h78/hb3/WEG-PLC300-modbus-tcp-user-manual-10002233461-en.pdf>. Acesso em: 18 jan 2025. 30