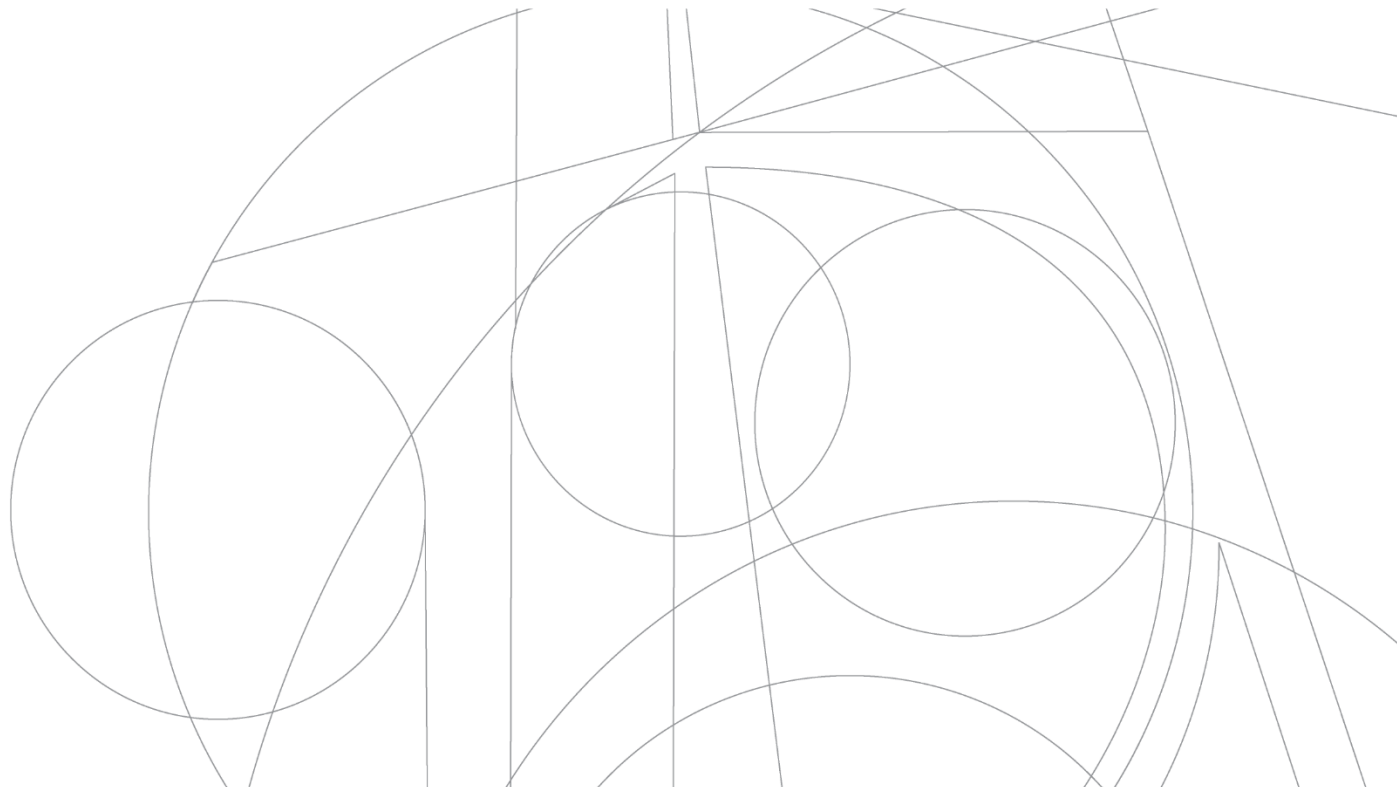


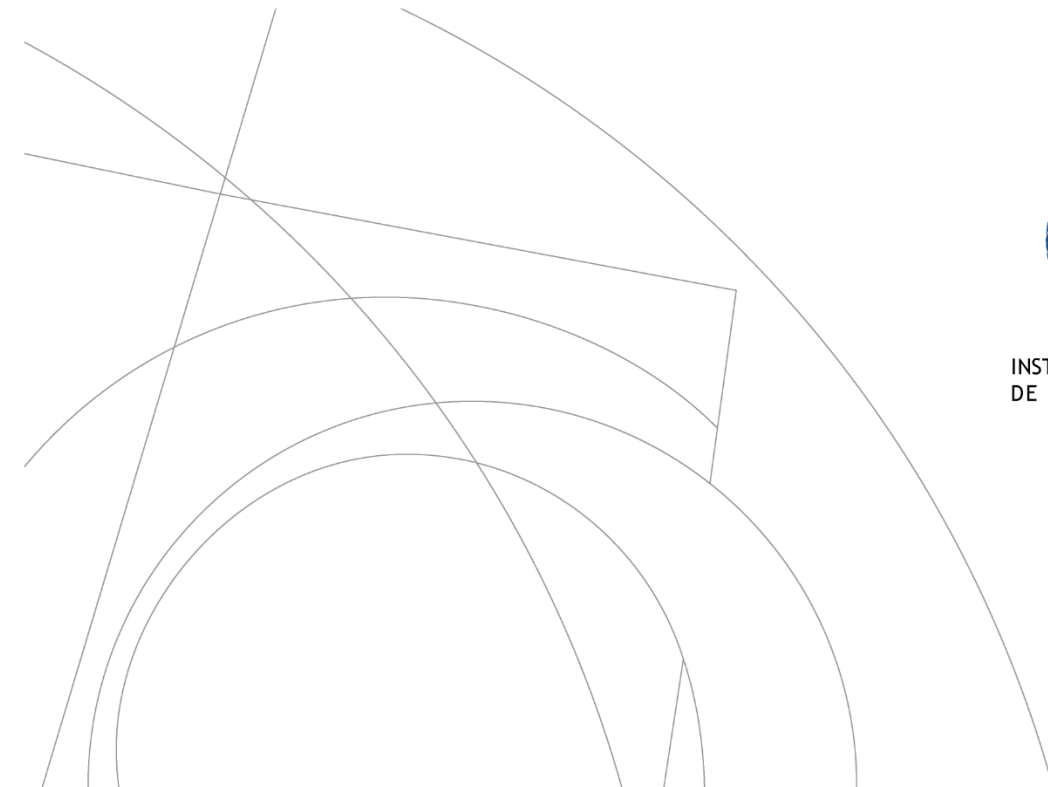


ESTG

Sistema Integrado de Qualidade para Embalagem de Guias Plásticas

Rui Manuel Ferreira Coimbra Pinto

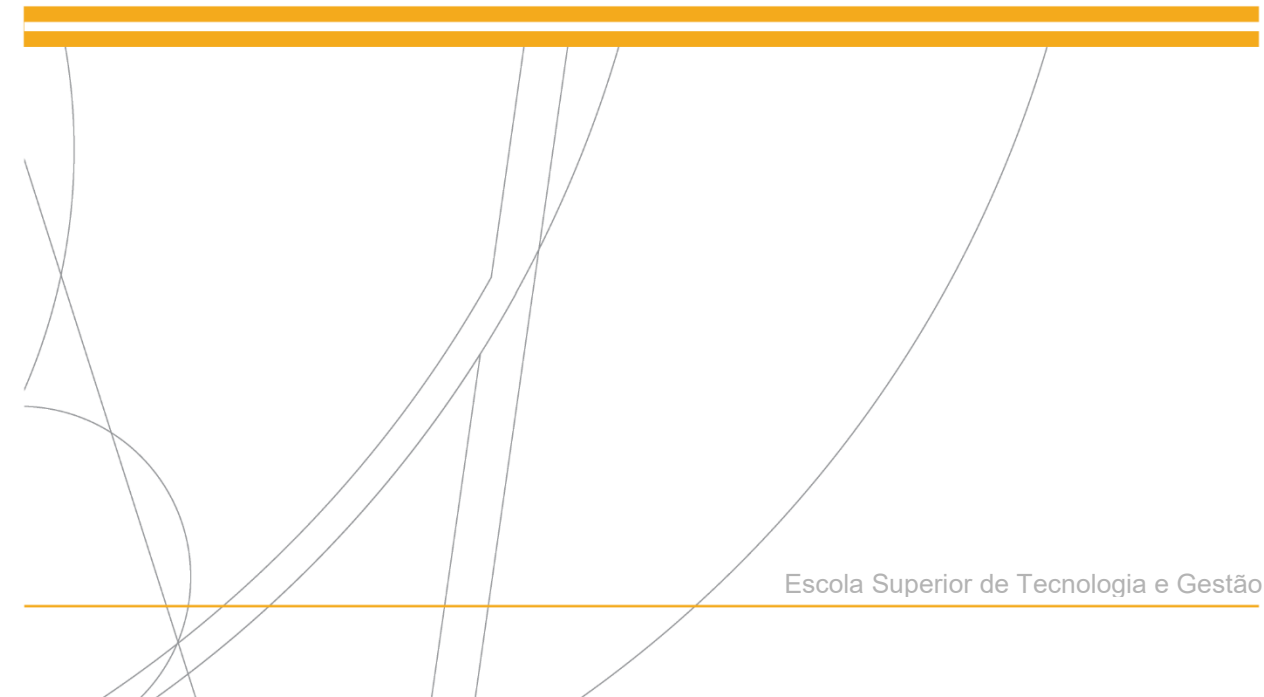
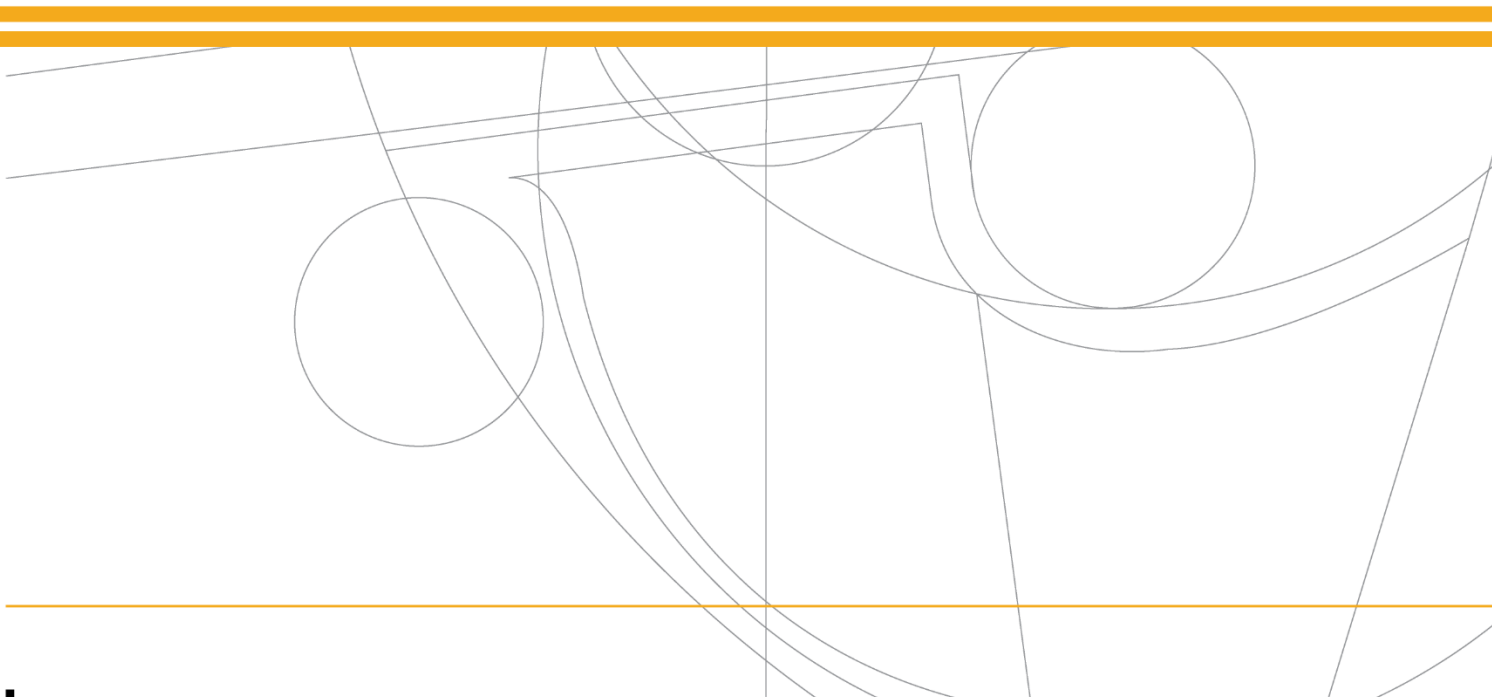
2025



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Sistema Integrado de Qualidade para Embalagem de Guias Plásticas Para Prevenção de Não Conformidades

Rui Manuel Ferreira Coimbra Pinto



Escola Superior de Tecnologia e Gestão



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Rui Manuel Ferreira Coimbra Pinto

Sistema Integrado de Qualidade para Embalagem de Guias
Plásticas

Prevenção de Não Conformidades

Mestrado Profissional em Eletrónica e Eletrificação Automóvel
MEEA / Automóvel

Trabalho efetuado sob a orientação do(s)
Doutor Bruno Exposto (ESTG)
Doutor. Paulo Costa (ESTG)
Eng. Ivão Dias (Lear)

Julho de 2025

MEMBROS DO JÚRI

Presidente:

Doutor Sérgio Ivan Fernandes Lopes

Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Vogal:

Doutor Delfim Duarte Rolo Pedrosa

Investigador Integrado do Centro Algoritmi, Universidade do Minho (Arguente)

Vogal:

Doutor Bruno Fernandes Exposto

Professor Adjunto Convidado do Instituto Politécnico de Viana do Castelo
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa e aos meus filhos, pelo amor, paciência e apoio incondicional ao longo de todo este percurso acadêmico e profissional.

A todos os que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste projeto, deixo o meu sincero reconhecimento.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu profundo agradecimento ao Professor Bruno Exposto, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, pelo acompanhamento próximo, pela disponibilidade constante e pelo apoio essencial para a conclusão deste relatório.

Agradeço também ao Professor Paulo Costa, pelo seu contributo académico e orientação ao longo do projeto.

Reconheço igualmente o apoio técnico do Engenheiro Ivão Dias, da empresa LEAR, cuja colaboração foi determinante para a realização prática deste trabalho em ambiente industrial

RESUMO

Este projeto, desenvolvido no âmbito do Mestrado em Eletrónica e Eletrificação Automóvel da Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG) do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC), teve como objetivo melhorar o processo de montagem e embalagem de guias plásticas na empresa *LEAR Corporation*, onde o autor colabora. A iniciativa surgiu após a identificação de falhas de qualidade que resultaram em peças incompletas enviadas ao cliente, causadas por erros manuais no processo de embalagem. Como solução, foi desenvolvido um protótipo de sistema automático de controlo de qualidade, denominado “jaula de qualidade”, que impede a retirada da embalagem até que todas as peças estejam corretamente montadas e validadas. O sistema integra estrutura metálica, fechadura elétrica, sensores fotoelétricos e sinalização luminosa, exigindo intervenção do *Team Leader* em caso de erro. Com esta abordagem, pretende-se eliminar não conformidades, reduzir custos com devoluções e reforçar a satisfação do cliente.

ABSTRACT

This project, developed within the scope of the Master's in Electronics and Automotive Electrification at the Escola Superior de Tecnologia e Gestão of the (ESTG) Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC), aims to improve the assembly and packaging process of plastic guides at LEAR, where the author works. The initiative arose following the detection of quality issues caused by incomplete parts being shipped to customers due to manual packaging errors. As a solution, a prototype of an automatic quality control system, called a "quality cage", was developed. This system prevents the removal of packaging until all parts are correctly assembled and validated. It includes a metal structure, electric lock, photoelectric sensors, and a visual signaling system, requiring Team Leader intervention in case of errors. This approach seeks to eliminate non-conformities, reduce return-related costs, and enhance customer satisfaction.

LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS/SÍMBOLOS

ESTG - Escola Superior de Tecnologia e Gestão

IPVC - Instituto Politécnico de Viana do Castelo

PPM - Peças por milhão

ISO - *International Organization for Standardization*

IATF - *International Automotive Task Force*

PDCA - *Plan-Do-Check-Act*

DMAIC - *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*

IA - Inteligência artificial

RFID - Identificação por Radiofrequência

ERP - *Enterprise Resource Planning*

MES - *Manufacturing Execution System*

FMEA - Análise de Modo de Falha e Efeitos

PLC - Controladores Lógicos Programáveis

R&R - Repetibilidade e Reprodutibilidade

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*

ÍNDICE

MEMBROS DO JÚRI	iii
DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS/SÍMBOLOS	xiii
ÍNDICE	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
ÍNDICE DE TABELAS	xix
INTRODUÇÃO	1
1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	2
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	2
1.2 PROBLEMA IDENTIFICADO	4
1.3 ESTADO DA ARTE	4
1.3.1 Introdução	4
1.3.2 Qualidade e Controlo na Indústria Automóvel	5
1.3.3 Automatização de Processos e Eliminação de Erros Humanos	12
1.3.4 Soluções Concorrentes e Tecnologias Alternativas	17
1.3.5 Limitações e Considerações na Escolha da Solução	19
1.3.6 Soluções Concorrentes e Limitações	21
1.3.7 Conclusão	22
1.4 ABORDAGEM DO PROJETO	23
2. OBJETIVOS DO PROJETO	24
2.1 OBJETIVO GERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3. METODOLOGIA	25
3.1 ABORDAGEM GERAL	25
3.2 PLANEAMENTO E CONCEPÇÃO	25
3.2.1 Análise do Processo Atual	25
3.2.2 Descrição do Processo Atual	26
3.2.3 Levantamento de Requisitos	27
3.2.4 Projeto da Solução	27
3.3 MONTAGEM E INTEGRAÇÃO	34
3.3.1 Construção da Estrutura	34

3.3.2	Montagem dos Componentes na Estrutura	35
3.3.3	Programação e Lógica de Controlo	36
3.4	TESTES E VALIDAÇÃO	37
3.4.1	Testes de Funcionamento	37
3.4.2	Testes em Produção de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R).....	37
3.4.3	Análise de Resultados	37
3.4.4	AJUSTES E DOCUMENTAÇÃO	38
4.	PROCEDIMENTO	39
4.1	ESTUDO E ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL	39
4.2	PROJETO DA SOLUÇÃO TÉCNICA.....	40
4.3	CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DA JAULA DE QUALIDADE.....	41
4.4	INSTALAÇÃO ELÉTRICA E PROGRAMAÇÃO.....	42
4.5	TESTES DE FUNCIONAMENTO E AJUSTES	42
4.6	VALIDAÇÃO EM AMBIENTE DE PRODUÇÃO	43
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1	REDUÇÃO DE NÃO CONFORMIDADES	44
5.2	IMPACTO NOS TEMPOS DE CICLO.....	45
5.3	INTERAÇÃO COM OPERADORES E FEEDBACK	45
5.4	FIABILIDADE DO SISTEMA	45
5.5	BENEFÍCIOS OPERACIONAIS E ESTRATÉGICOS.....	46
6.	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	ANEXOS	50
	ANEXO 1 – DIP DISCRIÇÃO INICIAL DO PROCESSO	50
	ANEXO 2 – PDCA.....	51
	ANEXO 3 – R&R.....	52
	APÊNDICES.....	53
	APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.1)	53
	APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.2)	54
	APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.3)	55
	APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.4)	56
	APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.5)	57
	APÊNDICE II – PROGRAMA PLC (BLOCO DE FUNÇÕES)	58
	APÊNDICE II – PROGRAMA PLC (VARIÁVEIS).....	59
	APÊNDICE II – PROGRAMA PLC (PAG.1).....	60
	APÊNDICE II – PROGRAMA PLC (PAG.2).....	61

APÊNDICE II – PROGRAMA PLC (PAG.3).....	62
APÊNDICE III – DESENHO 3D.....	63
APÊNDICE IV – DESENHO 2D	64
APÊNDICE V – LAYOUT JAULA DE QUALIDADE.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Os vários componentes das guias plásticas	2
Figura 2 - Guias montadas no interior das portas dos automóveis	3
Figura 3 - Alerta de Cliente relacionado com um defeito	3
Figura 4 - Sistema de controlo de malha aberta	13
Figura 5 - Sistema de controlo de malha fechada	14
Figura 6 - Peça não conforme e peça conforme	24
Figura 7 - Processo de montagem	26
Figura 8 - Descrição do Processo	27
Figura 9 - Desenho da estrutura metálica da jaula de qualidade	29
Figura 10 - Conexão de interligação com a máquina existente	30
Figura 11 - Esquema para sistema de Barreiras	31
Figura 12 - Esquema da fechadura elétrica	32
Figura 13 - Conexão da chave e sinalizador	34
Figura 14 - Estrutura metálica da jaula de qualidade	35
Figura 15 - Estrutura montadas com os componentes elétricos	36
Figura 16 - Chamada do modulo da jaula no programa da máquina	37
Figura 17 - Registo de não conformidades em 2024	39
Figura 18 - Layout da integração da jaula	40
Figura 19 - Barreiras fotoelétricas	41
Figura 20 - Fechadura eletromecânica	41
Figura 21 - Semáforo de sinalização	41
Figura 22 - Chave para desbloqueio	41
Figura 23 - PDCA Jaula de qualidade	43
Figura 24 - Run@Rate Door Glass Channel ECHO FR-RR	43

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das tecnologias	14
Tabela 2 - Comparação dos sistemas de controlo.....	15
Tabela 3 - Avaliação comparativa das soluções	19
Tabela 4 - Impacto da Implementação da Jaula de Qualidade	44

INTRODUÇÃO

O setor automóvel é caracterizado por elevados níveis de exigência e forte competitividade, a garantia da qualidade dos produtos é um fator estratégico determinante. Neste contexto, a empresa LEAR, dedicada à produção de componentes para esta indústria, enfrentava um problema recorrente de não conformidade relacionado com o embalamento manual de guias plásticas. Foram identificados vários incidentes em que peças incompletas chegaram ao cliente final, comprometendo a reputação da empresa e originando custos significativos com devoluções, retrabalho e ações corretivas.

Com o objetivo de eliminar este risco, foi desenvolvido e implementado um sistema automatizado de controlo de qualidade, designado “jaula de qualidade”, integrado na etapa final da linha de produção. Esta solução consiste numa estrutura física equipada com sensores, sinalização luminosa, fechadura elétrica e um sistema de controlo lógico que impede a remoção da embalagem até que todas as peças tenham sido validadas como conformes. O sistema atua como barreira física e digital contra o erro humano, garantindo que apenas embalagens corretamente compostas possam ser expedidas.

O projeto enquadrou-se no Mestrado em Eletrónica e Eletrificação Automóvel (MEEA) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG) do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC), e permitiu aplicar e consolidar conhecimentos em áreas como automação industrial, eletrónica, eletrotécnica e engenharia da qualidade. A metodologia adotada estruturou-se em várias fases: análise do processo produtivo existente, definição de requisitos, conceção e construção do sistema, integração com os equipamentos atuais, e testes de validação em ambiente real. A solução desenvolvida teve como foco um problema específico, mas os princípios aplicados, nomeadamente a eliminação do erro humano através de automação são replicáveis noutros contextos industriais com características semelhantes.

Este trabalho demonstrou, na prática, o impacto positivo da integração de tecnologias de controlo e automação na melhoria da qualidade, eficiência e fiabilidade dos processos produtivos, contribuindo para a redução de custos e o aumento da satisfação do cliente.

1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A qualidade é um dos pilares essenciais da indústria automóvel, onde a tolerância a falhas é mínima e qualquer desvio pode resultar em prejuízos significativos tanto a nível financeiro como em termos de imagem da marca. Em situações mais críticas, pode até comprometer a segurança dos utilizadores e por isso, é indispensável manter um controlo rigoroso sobre cada etapa do processo produtivo, assegurando que todos os componentes cumprem os requisitos exigidos antes de integrarem o produto final.

As guias plásticas (**Figura 1**) são componentes montadas no interior das portas dos automóveis (**Figura 2**) e têm como função o guiamento, suporte e estabilidade do vidro durante os vários estados.

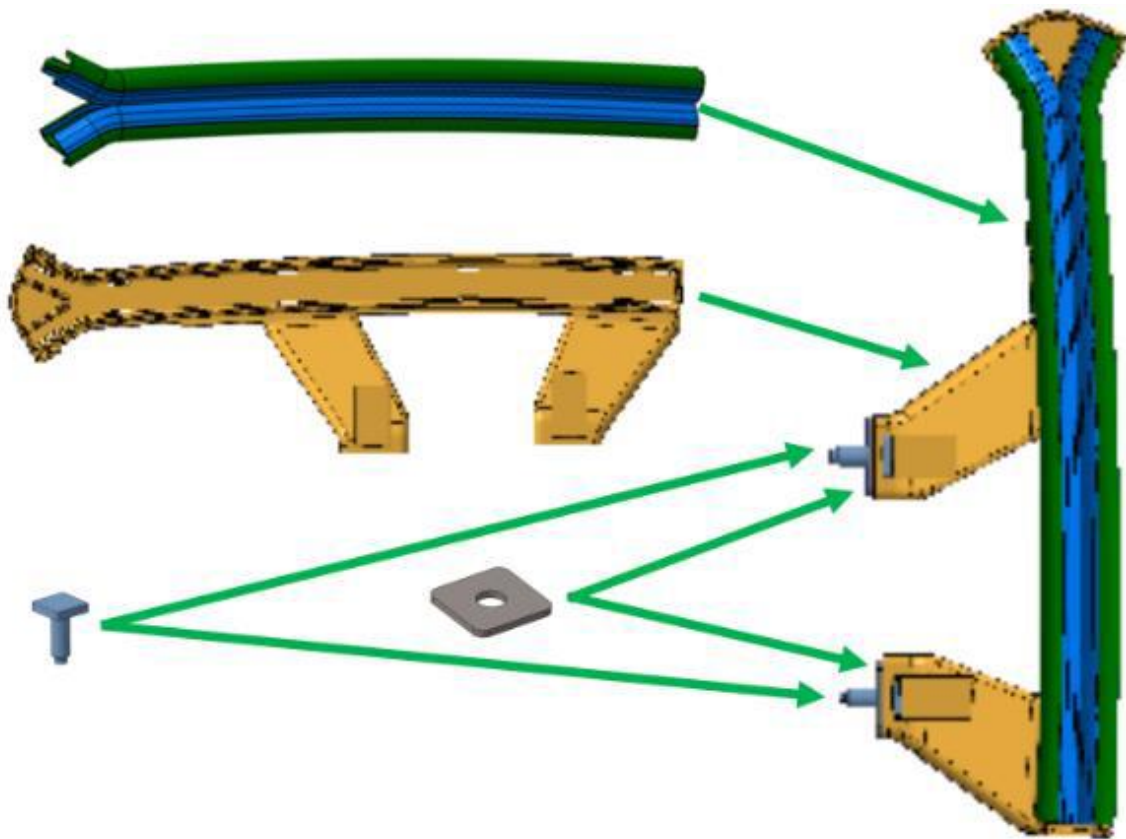


Figura 1 - Os vários componentes das guias plásticas

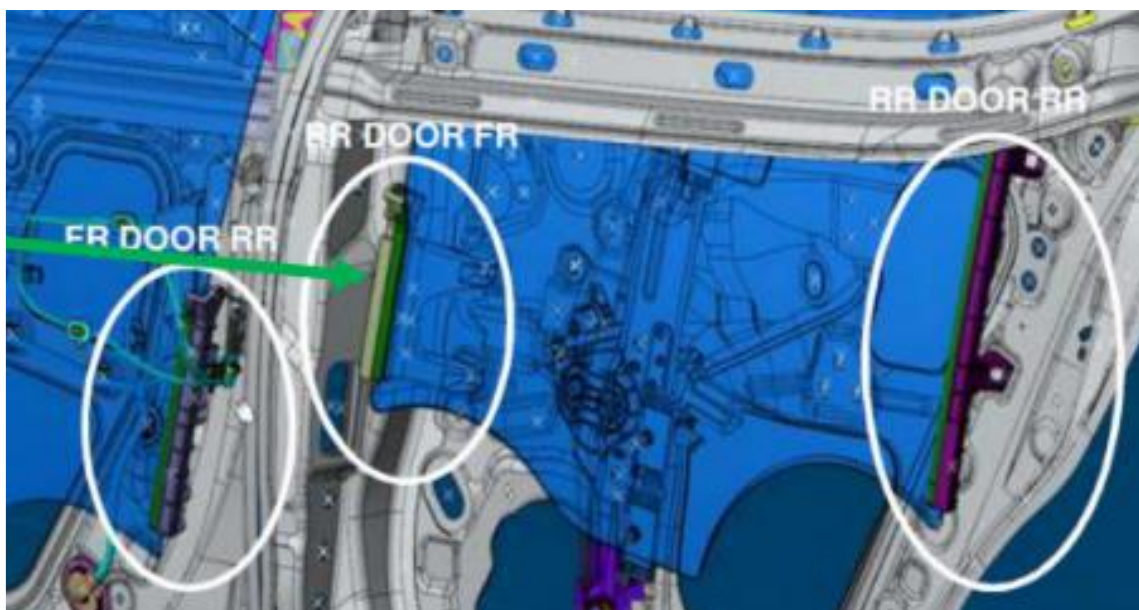


Figura 2 - Guias montadas no interior das portas dos automóveis

Na empresa LEAR, foi identificado um problema recorrente relacionado com o embalamento de guias plásticas. Embora as fases anteriores do processo de produção estejam devidamente automatizadas e controladas, a etapa de embalagem permanecia manual, dependendo exclusivamente da atenção e consistência do operador. Em consequência, verificaram-se situações em que peças incompletas ou mal montadas foram embaladas e enviadas ao cliente final (**Figura 3**), resultando em não conformidades com impacto direto na cadeia logística e na imagem da empresa.

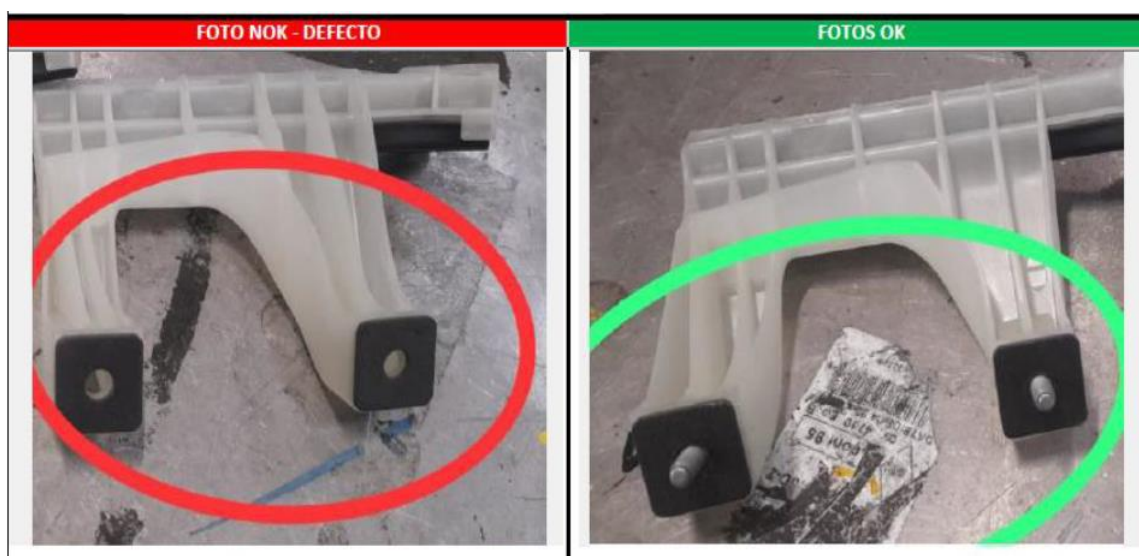


Figura 3 - Alerta de Cliente relacionado com um defeito

1.2 PROBLEMA IDENTIFICADO

A ausência de um sistema automático de validação na etapa de embalagem representava uma vulnerabilidade crítica no processo produtivo. O erro humano, inevitável em tarefas repetitivas e sob pressão de produtividade, era a principal causa de falhas nesta fase. A pergunta de investigação que orientou este projeto foi:

“Como garantir que apenas peças conformes são embaladas e expedidas, eliminando a intervenção humana direta e assegurando a fiabilidade do processo?”

A resposta exigia uma abordagem que conjugasse automação industrial, eletrónica e engenharia da qualidade, de forma a criar uma solução integrada que interviesse diretamente no ponto crítico identificado.

1.3 ESTADO DA ARTE

1.3.1 Introdução

- **Contextualização do tema**

A exigência de produtos com uma alta fiabilidade e segurança, aliada à globalização do setor automóvel, leva a uma grande aposta na qualidade e na automatização dos processos industriais. Para isso, é necessário garantir que os componentes que são fabricados respeitem todos os requisitos (técnicos e funcionais) exigidos pelos clientes são uma prioridade estratégica para os fabricantes. A não conformidade de uma peça tem consequências graves, tanto ao nível da segurança do utilizador final como em termos económicos, devido a devoluções, retrabalho e perda de confiança por parte dos clientes (IATF 16949:2016 - Quality Management System Requirements for Automotive Production and Relevant Service Parts Organizations, 2016; ISO 9001:2015 Quality Management Systems - Requirements, 2015).

Assim sendo, surgem diversas metodologias e tecnologias que se focam em garantir a conformidade dos produtos nos processos, eliminar o erro humano e reforçar a rastreabilidade e a padronização.

O crescimento da automação industrial e das ferramentas digitais, como a inteligência artificial aplicada ao controlo de qualidade tem desempenhado um papel determinante na transformação dos ambientes produtivos, promovendo uma abordagem mais robusta, reativa e adaptativa à gestão da qualidade (Pires, 2019; Shingo, 2021).

- **Objetivos do Estado da Arte**

Este capítulo tem como objetivo analisar e consolidar o conhecimento teórico e técnico disponível sobre os principais conceitos, normas e tecnologias relacionados com o controlo da qualidade e a automatização de processos na indústria automóvel. Pretende-se, em particular:

- Compreender a importância estratégica da qualidade e as principais normas de referência aplicáveis ao setor;
- Explorar metodologias consagradas de controlo de qualidade e melhoria contínua;
- Avaliar o impacto da automação na prevenção de erros humanos e no aumento da eficiência;
- Investigar tecnologias concorrentes e alternativas utilizadas no controlo de qualidade automatizado;
- Identificar limitações práticas e fatores condicionantes na implementação de soluções industriais;
- Justificar tecnicamente a solução desenvolvida no âmbito projeto.

1.3.2 Qualidade e Controlo na Indústria Automóvel

- **A importância da qualidade no setor automóvel**

A qualidade dos produtos tem um grande peso no mercado automóvel global devido a sua competitividade. Cada vez mais os veículos automóveis são mais complexos o que obriga a um elevado nível de integração dos seus componentes, o mais pequeno defeito pode comprometer o desempenho, a segurança e a confiança do consumidor.

Nesse sentido, os fabricantes e fornecedores da cadeia automóvel adotam políticas rigorosas de controlo e melhoria contínua da qualidade (IATF 16949:2016 - Quality Management System Requirements for Automotive Production and Relevant Service Parts Organizations, 2016; ISO 9001:2015 Quality Management Systems - Requirements, 2015; Liker, 2004).

Além dos requisitos legais e regulatórios, cada vez mais as empresas procuram a padronização dos seus processos, promovendo a rastreabilidade, a estabilidade produtiva e a eliminação de erros. Os indicadores de qualidade (como PPM – Peças por milhão, índices de retrabalho e de reclamações de clientes) são continuamente monitorizados, sendo a sua melhoria parte integrante da estratégia operacional (IATF 16949:2016 - Quality Management System Requirements for Automotive Production and Relevant Service Parts Organizations, 2016).

- **Normas internacionais**

A implementação de normas internacionais, como a ISO 9001:2015 e a IATF 16949:2016, é essencial para garantir a consistência e comparabilidade da qualidade entre diferentes fornecedores e localizações. Estas duas normas fundamentais serão abordadas em detalhe nos pontos seguintes.

- Norma ISO 9001:2015

A norma ISO 9001:2015 estabelece os requisitos para um sistema de gestão da qualidade, aplicável a qualquer organização, independentemente do setor ou dimensão. A norma foca-se na abordagem por processos, pensamento baseado no risco e melhoria contínua, promovendo a eficácia organizacional e a satisfação do cliente (ISO 9001:2015 Quality Management Systems - Requirements, 2015).

- Norma IATF 16949:2016

Complementarmente, a norma IATF 16949:2016, desenvolvida pela *International Automotive Task Force*, é específica para a indústria automóvel e baseia-se nos requisitos da ISO 9001, adicionando exigências adicionais como:

- Controlo mais rigoroso de fornecedores;
- Planos de contingência;
- Rastreabilidade total dos produtos;
- Prevenção de defeitos e redução de variação e desperdício (IATF 16949:2016 - Quality Management System Requirements for Automotive Production and Relevant Service Parts Organizations, 2016).

Esta norma é considerada um requisito obrigatório para fornecedores de fabricantes automóveis e tem impacto direto na forma como os processos de produção e qualidade são concebidos e implementados.

- **Metodologias de controlo de qualidade**

O controlo estatístico de processos constitui uma ferramenta essencial para a monitorização da qualidade e a prevenção de defeitos ao longo da produção (Montgomery, 2019).

A gestão da qualidade na indústria automóvel assenta em metodologias que visam a padronização, prevenção de falhas e melhoria contínua dos processos. A seguir, são apresentadas cinco das abordagens mais relevantes e amplamente adotadas no setor industrial (Liker, 2004; Womack & Jones, 2003).

- Ciclo PDCA

O Ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) é uma metodologia fundamental na gestão da qualidade e melhoria contínua. Proposto por Walter Shewhart e popularizado por W. Edwards Deming, o ciclo estrutura o processo de resolução de problemas e otimização de processos em quatro etapas: planejar, executar, verificar e agir.

A sua aplicação sistemática permite reduzir variações, prevenir erros recorrentes e estabelecer uma cultura de análise crítica e aprendizagem organizacional (Deming, 2000). No contexto da indústria automóvel, o PDCA é utilizado tanto em atividades operacionais como em projetos de melhoria.

- Six Sigma

O Six Sigma é uma metodologia estatística e estratégica voltada para a redução de defeitos e variabilidade nos processos. Tem como objetivo alcançar um nível de desempenho em que não ocorram mais de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades. A abordagem mais comum segue o ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*).

Desenvolvido inicialmente na Motorola, o Six Sigma tornou-se um padrão de excelência operacional em empresas como General Electric, Bosch e Toyota (Pyzdek & Keller, 2014). A sua aplicação combina ferramentas estatísticas com gestão de projetos, sendo altamente eficaz para processos complexos e com alto volume de produção.

- Kaizen

O termo japonês Kaizen significa "melhoria contínua" e representa uma filosofia organizacional que promove o envolvimento de todos os colaboradores, em todos os níveis da empresa, na identificação e implementação de melhorias graduais nos processos.

Introduzido por Masaaki Imai (1986), o Kaizen é uma das bases do Sistema Toyota de Produção e está diretamente ligado à cultura de qualidade na indústria japonesa. Ao promover pequenas mudanças constantes, o Kaizen contribui para a estabilidade dos processos, redução de desperdícios e maior motivação dos trabalhadores.

- Poka-Yoke

O conceito de Poka-Yoke, também desenvolvido no contexto da produção japonesa, refere-se a dispositivos ou mecanismos de prevenção de erros, desenhados para evitar que falhas humanas se transformem em defeitos. Exemplos incluem sensores que impedem a montagem incorreta, peças com encaixes assimétricos ou sistemas que bloqueiam o avanço do processo quando uma etapa não foi concluída corretamente.

Segundo (Shingo, 2021), o Poka-Yoke é uma estratégia essencial para alcançar o "zero defeito" nas linhas de produção e representa um passo prático na implementação da filosofia de qualidade total.

- 5S

A metodologia 5S é composta por cinco princípios japoneses que visam promover a organização, limpeza e disciplina no ambiente de trabalho: *Seiri* (Utilização), *Seiton* (Ordenação), *Seiso* (Limpeza), *Seiketsu* (Padronização) e *Shitsuke* (Disciplina).

Embora não seja uma metodologia de controlo de qualidade no sentido técnico, o 5S cria as condições necessárias para a estabilidade dos processos, segurança no posto de trabalho e rápida deteção de anomalias (Hirano, 1996). É considerada uma prática fundamental para sustentar qualquer sistema de melhoria contínua.

- **Tecnologias emergentes no controlo de qualidade**

Com o avanço da Indústria 4.0, o controlo da qualidade deixou de ser um processo essencialmente reativo e manual para passar a integrar soluções tecnológicas avançadas, capazes de realizar verificações em tempo real, com maior precisão, velocidade e rastreabilidade. Duas dessas tecnologias ganham destaque: a inspeção automatizada e a inteligência artificial (IA) aplicada à deteção de defeitos.

- Inspeção Automatizada

A inspeção automatizada consiste na substituição da verificação visual ou manual por sensores e sistemas digitais, como câmaras industriais, scanners, sensores de proximidade, medidores óticos, entre outros. Esta abordagem garante uma uniformidade na inspeção, elimina o cansaço humano como fator de erro e permite a integração direta com os sistemas de produção e registo de dados (Sick AG, n.d.).

Esta tecnologia é amplamente utilizada para controlo dimensional, deteção de falhas de montagem, verificação de presença de componentes e controlo da orientação de peças. Além disso, sistemas de inspeção por visão artificial podem realizar verificações múltiplas por segundo, sendo adequados a linhas de produção com alta cadência, como é o caso da indústria automóvel.

- Inteligência Artificial para Detecção de Defeitos

A inteligência artificial (IA) tem vindo a ser aplicada no controlo de qualidade através de algoritmos de *machine learning* e *deep learning*, que permitem detetar padrões anómalos e prever falhas com base em grandes volumes de dados históricos e em tempo real (Lee et al., 2018). A IA é especialmente útil em situações em que os critérios de defeito são complexos, subjetivos ou variáveis como imperfeições visuais, arranhões, desalinhamentos ou variações na coloração. Com treino supervisionado, os modelos de IA aprendem a distinguir peças boas de peças defeituosas com elevada precisão, mesmo em ambientes com variabilidade natural do processo. Além da deteção, a IA pode também ser usada para análise preditiva, permitindo antecipar falhas e intervir preventivamente, o que reduz o tempo de inatividade e os custos associados à manutenção corretiva.

- **Rastreabilidade e gestão da não conformidade**

A rastreabilidade e a gestão da não conformidade são componentes fundamentais dos sistemas de controlo da qualidade, especialmente no setor automóvel, onde a complexidade da cadeia de fornecimento e os elevados requisitos de segurança exigem uma resposta rápida e eficaz a qualquer falha identificada. Estes dois elementos rastreabilidade e gestão da não conformidade serão analisados em detalhe nos pontos seguintes, dada a sua importância para a garantia da qualidade e a melhoria contínua dos processos.

- **Rastreabilidade**

A rastreabilidade refere-se à capacidade de seguir o histórico, a aplicação e a localização de um produto ou componente ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a matéria-prima até à entrega ao cliente final (ISO 9001:2015 Quality Management Systems - Requirements, 2015). Esta prática permite identificar rapidamente a origem de um problema, delimitar o lote afetado e implementar ações corretivas ou preventivas com precisão.

Sistemas de rastreabilidade incluem códigos de lote, números de série, registros de produção, data e hora de fabricação, identificação do operador, parâmetros de processo, entre outros. Na prática, a rastreabilidade é apoiada por tecnologias como códigos de barras, RFID e bases de dados integradas com os sistemas de gestão da qualidade (ERP/MES).

A norma IATF 16949:2016 estabelece requisitos específicos para a rastreabilidade, obrigando os fabricantes a documentar e controlar todos os elementos críticos para a conformidade do produto (IATF 16949:2016 - Quality Management System Requirements for Automotive Production and Relevant Service Parts Organizations, 2016).

- **Gestão da Não Conformidade**

A não conformidade ocorre quando um produto ou processo não cumpre os requisitos estabelecidos, sejam eles normativos, contratuais ou técnicos. A sua gestão eficaz envolve várias etapas: detecção, registo, contenção, análise da causa raiz, implementação de ações corretivas e verificação da sua eficácia (Pyzdek & Keller, 2014).

Ferramentas como o Diagrama de *Ishikawa*, os 5 Porquês e a Análise de Modo de Falha e Efeitos (FMEA) são frequentemente utilizadas para investigar as causas das não conformidades.

A norma ISO 9001:2015 reforça a importância do pensamento baseado no risco e da ação preventiva, destacando a necessidade de lidar com as não conformidades de forma sistemática e baseada em evidências (ISO 9001:2015 Quality Management Systems - Requirements, 2015).

Na indústria automóvel, a resposta rápida ao cliente e a implementação de medidas sustentáveis para evitar reincidência são indicadores críticos de maturidade da organização em termos de qualidade.

1.3.3 Automatização de Processos e Eliminação de Erros Humanos

Na indústria automóvel, a introdução de sistemas automatizados tem sido essencial para renovar e otimizar os métodos de produção. Ao diminuir a variabilidade operacional e reduzir a necessidade de intervenção humana em tarefas críticas, torna-se possível alcançar níveis superiores de eficiência, fiabilidade e controlo de qualidade. Para além de impulsionar a produtividade, a automação ajuda também a reduzir significativamente os erros humanos que continuam a ser uma das principais fontes de falhas em ambientes industriais complexos. Esta secção explora os fundamentos da automação e a sua aplicação como ferramenta estratégica de melhoria da qualidade.

- **Conceito de automação industrial e suas vantagens**

A automação industrial refere-se à aplicação de tecnologias — como sensores, controladores, atuadores e sistemas informáticos — para executar tarefas repetitivas, perigosas ou críticas sem intervenção humana contínua. Esta evolução permite padronizar processos, reduzir erros, melhorar a segurança e recolher dados em tempo real (Groover, 2015; Pires, 2019).

Entre as principais vantagens da automação destacam-se:

- Redução de falhas e retrabalho;
- Aumento da repetibilidade e precisão dos processos;
- Melhoria da rastreabilidade e da recolha de dados;
- Aumento da segurança do operador;
- Diminuição de custos a médio e longo prazo.

- **Tipos de sistemas de controle**

Os sistemas de controle constituem o núcleo funcional de qualquer solução de automação, sendo responsáveis por regular o comportamento dos processos industriais.

Do ponto de vista teórico, os sistemas de controle classificam-se principalmente em sistemas de controle em malha aberta e sistemas de controle em malha fechada, conforme a existência ou não de realimentação (*feedback*) da saída do sistema (Groover, 2015).

Para além desta classificação, existem tecnologias específicas que permitem implementar estes sistemas em ambiente industrial, como os Controladores Lógicos Programáveis (PLC) e os sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), que serão descritos nos pontos seguintes.

- Sistema de controle em malha aberta

Um sistema de controle em malha aberta (**Figura 4**) caracteriza-se pela ausência de realimentação, ou seja, a ação de controle não depende do resultado do processo. Este tipo de sistema opera com base em instruções pré-definidas, sendo adequado para processos simples e com baixa variabilidade. No entanto, apresenta limitações na correção de desvios em tempo real (Groover, 2015).

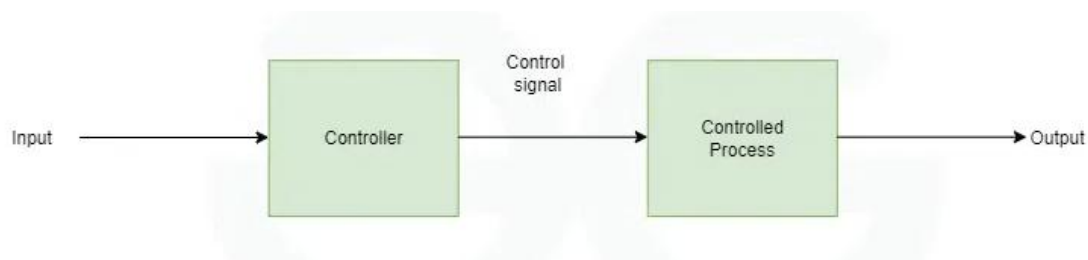


Figura 4 - Sistema de controle de malha aberta(Shehu, 2024a)

- Sistema de controle em malha fechada

O sistema de controle em malha fechada (**Figura 5**) utiliza realimentação da saída do processo para ajustar automaticamente a ação de controle. Através da utilização de sensores, é possível monitorizar continuamente o estado do sistema, permitindo maior precisão, estabilidade e capacidade de resposta a perturbações (Groover, 2015).

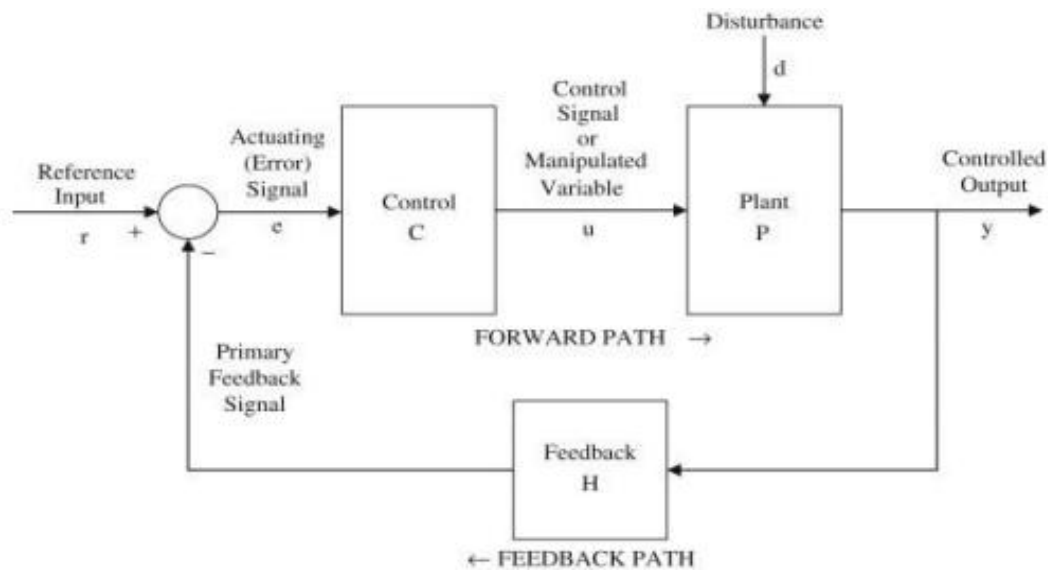


Figura 5 - Sistema de controlo de malha fechada(Shehu, 2024b)

- **Tecnologias de controlo industrial**

- Controlador Lógico Programável (PLC)

O Controlador Lógico Programável (PLC) é um dispositivo eletrónico amplamente utilizado na automação industrial para executar funções de controlo com base em lógica programada. Recebe sinais de sensores e envia comandos para atuadores, permitindo o controlo de processos de forma flexível, fiável e robusta (Bolton, 2015).

- Sistemas SCADA

Os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) permitem a monitorização e supervisão de processos industriais em tempo real. Estes sistemas integram dados provenientes de diferentes equipamentos, possibilitando a visualização, controlo remoto e análise de desempenho, sendo fundamentais para a gestão e otimização de processos industriais (Bolton, 2015).

Tipo de Sistema	Feedback	Complexidade	Aplicação comum
PLC (tecnologia)	Depende da aplicação	Média	Controlo de processos industriais
SCADA (supervisão)	Sim	Alta	Monitorização e supervisão

Tabela 1 - Comparação das tecnologias

- **Comparação dos sistemas de controlo**

Os diferentes sistemas de controlo utilizados na automação industrial apresentam características distintas em termos de complexidade, tipo de feedback e áreas de aplicação:

- Controlo em malha aberta,
- Controlo em malha fechada.

A **Tabela 2** apresenta uma comparação resumida entre os principais tipos de sistemas, destacando os seus aspetos mais relevantes.

Tipo de Sistema	Feedback	Complexidade	Aplicação comum
Malha Aberta	Não	Baixa	Processos simples e lineares
Malha Fechada	Sim	Média/Alta	Processos com correção dinâmica

Tabela 2 - Comparação dos sistemas de controlo

No contexto do presente projeto, o sistema desenvolvido apresenta características de controlo em malha fechada, uma vez que o estado do processo é continuamente validado antes de permitir o avanço para a fase de embalamento.

- **Integração de Sensores e Atuadores**

Os sensores (ex: proximidade, óticos, de pressão) são responsáveis por recolher dados do ambiente. Os atuadores (ex: motores, válvulas, cilindros) executam ações físicas. A integração eficaz entre sensores, atuadores e sistema de controlo é essencial para o funcionamento correto da automação industrial (Pires, 2019).

- **Automação Industrial e Robotização**

A robotização representa um nível avançado de automação, permitindo executar tarefas complexas com alta precisão e repetibilidade. Robots industriais são utilizados para montagem, soldadura, inspeção e embalamento, libertando os operadores para tarefas de maior valor acrescentado.

- **Impacto da Automação na Qualidade e Eficiência**

A automação tem impacto direto na qualidade dos produtos ao minimizar a variabilidade do processo, garantir a padronização e permitir a detecção precoce de anomalias. Ao mesmo tempo, contribui para reduzir tempos de ciclo, desperdícios e paragens não planeadas, aumentando a eficiência global (OEE) da linha de produção (Pyzdek & Keller, 2014).

- **Integração homem-máquina: ergonomia e segurança**

Apesar da automação, o ser humano continua a desempenhar um papel fundamental, especialmente na supervisão, manutenção e tomada de decisões. A integração homem-máquina (HMI) deve ser concebida com foco na ergonomia, usabilidade e segurança, evitando sobrecarga cognitiva e promovendo a interação intuitiva (Salvendy, 2012).

A ergonomia na automação industrial visa adaptar os sistemas às capacidades e limitações humanas, reduzindo o risco de fadiga, erros operacionais e acidentes. Isto inclui o posicionamento adequado de ecrãs, botões e comandos, bem como a clareza das informações apresentadas. Interfaces gráficas bem desenhadas, com feedback visual e auditivo, contribuem para uma resposta mais rápida e segura por parte do operador.

Além disso, a segurança funcional (de acordo com normas como a IEC 61508 e a ISO 13849) deve ser integrada desde a fase de conceção, garantindo que falhas nos sistemas automatizados não coloquem em risco os operadores. A utilização de sistemas de paragem de emergência, barreiras físicas, sensores de presença e protocolos de segurança redundantes são exemplos de medidas que reforçam essa proteção.

A interação homem-máquina também deve considerar aspetos cognitivos, como a carga mental, a tomada de decisão sob pressão e a capacidade de resposta a situações imprevistas. A formação contínua dos operadores e a simulação de cenários críticos são estratégias eficazes para melhorar a preparação e a confiança na operação de sistemas automatizados

Por fim, a tendência crescente para a colaboração entre humanos e robôs (cobots) exige novas abordagens de design centradas no utilizador, onde a segurança, a comunicação clara e a confiança mútua são fundamentais para o sucesso da integração.

- **Barreiras à adoção de automação total**

A adoção plena da automação pode ser limitada por fatores como:

- Elevado investimento inicial;
- Resistência à mudança por parte das equipas;
- Complexidade técnica e necessidade de formação;
- Flexibilidade reduzida em lotes pequenos.

A decisão de automatizar deve ser ponderada com base na viabilidade económica, maturidade tecnológica e alinhamento com os objetivos estratégicos da organização.

1.3.4 Soluções Concorrentes e Tecnologias Alternativas

A crescente digitalização dos processos industriais tem promovido o aparecimento de várias soluções tecnológicas que oferecem abordagens alternativas ou complementares ao controlo de qualidade tradicional. Estas tecnologias, embora não sejam diretamente implementadas no presente projeto, representam opções viáveis e cada vez mais relevantes no panorama da indústria automóvel moderna.

- **Sistemas de visão artificial e *machine learning***

Os sistemas de visão artificial utilizam câmaras industriais e algoritmos de processamento de imagem para detetar defeitos, confirmar posições ou verificar conformidade de componentes. São especialmente úteis em tarefas que exigem inspeção visual constante, como análise de superfícies, deteção de arranhões, falhas de montagem ou desalinhamentos.

Combinados com técnicas de *machine learning*, estes sistemas conseguem aprender com dados históricos e melhorar a sua precisão ao longo do tempo, mesmo em ambientes com variações de iluminação, ângulos ou formatos de peças (Zhou et al., 2019). Esta capacidade de adaptação torna-os particularmente promissores para aplicações em ambientes produtivos com diversidade de produtos ou requisitos visuais exigentes.

- **Sistemas com sensores RFID e leitores de código de barras**

A utilização de sensores RFID (*Radio Frequency Identification*) e leitores de códigos de barras permite a identificação automática de componentes e embalagens ao longo da cadeia produtiva, reforçando a rastreabilidade e a verificação de identidade dos produtos.

Estes sistemas oferecem vantagens em termos de:

- Redução de erros de identificação manual;
- Registo automático de movimentos de peças;
- Compatibilidade com sistemas de gestão (MES, ERP);
- Facilidade de integração com estações de inspeção ou embalagem (Finkenzeller, 2010).

Embora não detetem defeitos físicos diretamente, esses sistemas contribuem significativamente para garantir que cada peça é única, rastreável e corretamente encaminhada dentro do processo.

- **Avaliação comparativa das soluções**

A escolha entre diferentes soluções tecnológicas depende de vários fatores, como o tipo de defeitos a detetar, a cadência do processo, os recursos disponíveis e o nível de exigência do cliente. Cada solução apresenta vantagens e limitações específicas, sendo muitas vezes utilizadas de forma complementar para garantir uma cobertura abrangente das necessidades de controlo de qualidade e rastreabilidade em ambientes industriais complexos.

A **Tabela 3** apresenta uma comparação entre três tecnologias comuns, a visão artificial com IA, RFID/código de barras e sensores físicos com PLC. Considerando critérios como custo, complexidade e aplicabilidade.

Tecnologia	Custo	Complexidade	Aplicabilidade
Visão artificial com IA	Alto	Elevada	Deteção visual complexa, alto volume
RFID / Código de barras	Médio	Moderada	Rastreabilidade e identificação
Sensores físicos e PLC	Baixo	Baixa	Verificações binárias simples (ex: presença)

Tabela 3 - Avaliação comparativa das soluções

1.3.5 Limitações e Considerações na Escolha da Solução

A escolha de uma solução tecnológica para controlo de qualidade na indústria automóvel deve considerar não apenas a eficácia técnica da solução, mas também as condicionantes operacionais, económicas e humanas que podem afetar a sua adoção. Nesta secção são analisados os principais fatores que influenciam a viabilidade de implementação de sistemas automatizados ou alternativos.

- **Condicionantes do ambiente industrial**

A instalação de novos sistemas numa linha de produção exige compatibilidade com o layout existente, resistência a ambientes adversos (ex: poeiras, vibração, humidade) e integração com outros equipamentos ou sistemas de controlo. Muitas vezes, as limitações físicas e estruturais do espaço fabril impõem restrições técnicas à escolha da tecnologia (Bolton, 2015).

Além disso, a variabilidade de produtos ou frequentes mudanças de referência podem exigir sistemas mais flexíveis, o que pode dificultar a adoção de soluções rígidas ou específicas para um único tipo de peça.

- **Custos e viabilidade económica da solução**

A viabilidade económica é um dos fatores mais determinantes na decisão de implementar uma solução tecnológica. Sistemas mais sofisticados, como visão artificial com inteligência artificial, envolvem custos elevados de aquisição, instalação, formação e manutenção (Pyzdek & Keller, 2014).

Nestes casos, é necessário realizar uma análise de retorno sobre o investimento (ROI), considerando:

- A redução de custos com não conformidades;
- A melhoria da eficiência do processo;
- A diminuição de paragens ou retrabalhos;
- O aumento da confiança do cliente e da competitividade da empresa.

Soluções mais simples, como sensores físicos com lógica programada, podem apresentar uma boa relação custo-benefício, especialmente em processos com requisitos binários (ex: presença/ausência).

- **Nível de formação dos operadores e aceitação da mudança**

A adoção de tecnologias novas exige que os operadores e responsáveis de produção compreendam e aceitem o funcionamento dos sistemas. A resistência à mudança pode ser um obstáculo importante, especialmente quando o sistema introduz novos procedimentos, bloqueios ou interfaces (Salvendy, 2012). Além disso, o nível de formação e literacia tecnológica da equipa deve ser considerado, pois sistemas complexos podem gerar erros de operação, falhas na manutenção ou dependência excessiva de suporte externo. Assim, a usabilidade, clareza visual e ergonomia são aspetos centrais a considerar no momento do desenvolvimento e implementação.

1.3.6 Soluções Concorrentes e Limitações

Entre as soluções atualmente utilizadas na indústria, destacam-se:

- Sistemas de pesagem automática: eficazes apenas quando a variação de peso entre peças conformes e não conformes é significativa;
- Sistemas de visão artificial: potentes, mas exigem elevado investimento e manutenção complexa;
- Inspeção manual com *checklists*: suscetível a erro humano e desvio de procedimentos;
- Etiquetagem inteligente e rastreamento digital: úteis para rastreabilidade, mas não garantem a conformidade física das peças embaladas.

Estes métodos, apesar das suas utilidades específicas, não resolvem de forma plena o problema identificado na LEAR: o risco de peças incompletas serem embaladas por falha humana.

1.3.7 Conclusão

O presente capítulo apresentou uma revisão estruturada dos principais conceitos, normas e tecnologias relacionados com o controlo da qualidade e a automação industrial no setor automóvel. Começou-se por destacar a importância da qualidade como fator estratégico e os enquadramentos normativos essenciais, nomeadamente as normas ISO 9001:2015 e IATF 16949:2016, que regulam os sistemas de gestão da qualidade e os requisitos específicos da indústria automóvel.

Foram analisadas metodologias consolidadas de controlo e melhoria contínua, como o PDCA, *Six Sigma*, *Kaizen*, *Poka-Yoke* e 5S, que constituem a base cultural e operacional da qualidade industrial (Womack & Jones, 2003). Em complemento, exploraram-se tecnologias emergentes como visão artificial, *machine learning* e sistemas RFID que aumentam a capacidade de inspeção, rastreabilidade e análise de dados em tempo real. Também foram descritos os fundamentos da automação de processos, incluindo os tipos de sistemas de controlo, a função dos PLCs e SCADAs, a integração de sensores e atuadores, e os desafios da interação homem-máquina. Por fim, foram identificadas as principais limitações à adoção destas soluções, nomeadamente as condicionantes físicas, os custos envolvidos e a necessidade de formação e aceitação por parte dos operadores.

- **Implicações para o projeto**

O conhecimento técnico reunido neste capítulo fornece a base teórica necessária para justificar e sustentar as decisões tomadas ao longo do projeto desenvolvido. A escolha de uma solução simples, robusta e direcionada à prevenção de erro humano na fase de embalamento foi orientada pelos princípios do *Poka-Yoke*, do controlo lógico programável e do pensamento baseado no risco, conforme preconizado pelas normas internacionais de qualidade. Além disso, a análise das soluções concorrentes permitiu perceber que, embora existam tecnologias mais avançadas, a sua adoção deve ser ponderada tendo em conta fatores económicos e operacionais.

A abordagem adotada procurou um equilíbrio entre eficácia técnica, custo e integração com a realidade fabril existente, assegurando um impacto positivo e sustentável no processo produtivo.

A implementação de mecanismos de prevenção de erro, como os sistemas *Poka-Yoke*, permite reduzir significativamente a probabilidade de ocorrência de defeitos, aumentando a fiabilidade dos processos produtivos (Shingo, 2021).

1.4 ABORDAGEM DO PROJETO

O projeto desenvolvido foca-se num aspeto particular do problema: a automatização da validação de embalamento através de uma estrutura física e lógica a “jaula de qualidade”. Esta solução impede fisicamente a remoção da embalagem antes da verificação automática de que todas as peças colocadas são conformes. A abordagem adotada depende de uma condição específica do processo (a cadência e a tipologia da peça), mas os princípios da solução são universais e replicáveis.

A resposta encontrada baseou-se em premissas de baixo custo, fácil integração com a máquina existente, e elevada eficácia no bloqueio de falhas. A solução combinou sensores fotoelétricos, um sistema de sinalização, fechadura eletromecânica e lógica de controlo programada, garantindo que apenas embalagens completas e válidas possam seguir para expedição.

2. OBJETIVOS DO PROJETO

2.1 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste projeto consistiu em eliminar o risco de envio de peças não conformes ao cliente, através da implementação de um sistema automático de controlo de qualidade na fase de embalamento de guias plásticas. Pretendeu-se, com esta abordagem, assegurar a conformidade total das peças expedidas (**Figura 6**), reduzir os custos operacionais associados a falhas, e aumentar a satisfação do cliente.

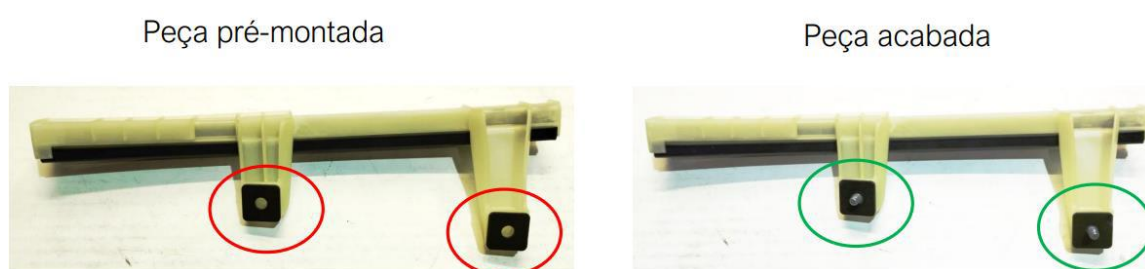


Figura 6 - Peça não conforme e peça conforme

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o processo atual de montagem e embalamento de guias plásticas, identificando os pontos críticos e principais causas de erro;
- Conceber e desenvolver uma estrutura de controlo automatizado (jaula de qualidade) integrada com a máquina de montagem;
- Selecionar e integrar sensores e componentes eletromecânicos que permitam a validação automática da conformidade das peças;
- Implementar um sistema lógico de controlo que assegure o bloqueio da embalagem até à verificação total das peças;
- Realizar testes de funcionamento e validação do sistema em ambiente de produção real;
- Avaliar o impacto da solução na redução de erros, melhoria da qualidade e eficiência operacional;
- Documentar o processo, resultados e lições aprendidas para futura replicação ou melhoria.

3. METODOLOGIA

3.1 ABORDAGEM GERAL

O desenvolvimento deste projeto seguiu uma abordagem prática e iterativa, com base em princípios de engenharia aplicada, utilizando técnicas de planeamento, prototipagem, integração e validação em ambiente industrial. A metodologia foi dividida em quatro fases principais: planeamento, montagem, validação e documentação. Cada fase incluiu atividades específicas e interligadas, que garantiram não só a execução técnica do sistema, mas também a sua compatibilidade com os objetivos de qualidade e segurança definidos inicialmente. As decisões foram tomadas com base em critérios técnicos, custo-benefício e alinhamento com os requisitos do processo produtivo.

3.2 PLANEAMENTO E CONCEPÇÃO

3.2.1 Análise do Processo Atual

Iniciou-se o projeto com uma análise detalhada do processo de montagem e embalamento de guias plásticas, com o objetivo de identificar os pontos críticos onde ocorriam falhas. Foram observadas as rotinas dos operadores, a interação com a máquina e as condições que levavam à introdução de peças não conformes nas embalagens.

A **Figura 7** ilustra o processo de montagem da peça, organizado de forma sequencial e ergonómica para o operador. O fluxo de trabalho inicia-se no lado direito da estação, onde se encontra a matéria-prima, composta por uma guia plástica e um flocado.

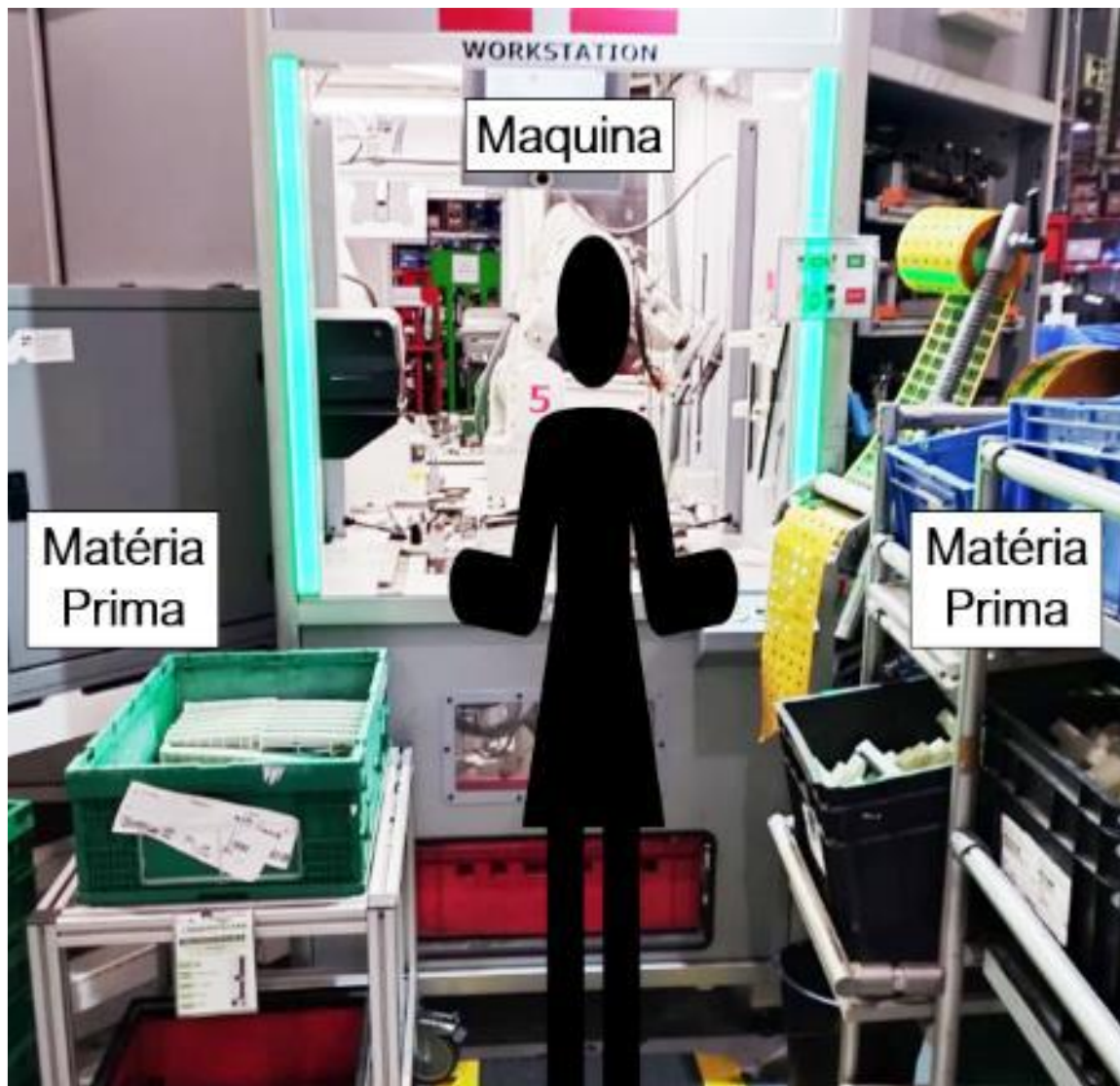


Figura 7 - Processo de montagem

3.2.2 Descrição do Processo Atual

O operador retira os componentes e realiza a primeira fase da montagem manual, unindo a guia plástica ao flocado. Em seguida, procede à colocação de dois antirruídos, que são montados nas patas da peça. Com a montagem inicial concluída, a peça é colocada na máquina de cravação, onde são inseridos e fixados dois parafusos. Esta operação é automatizada e garante a fixação mecânica dos componentes e verifica a presença de todos os componentes montados, sendo validada pelo sistema de controlo da célula. Após a confirmação de que a peça está conforme (OK), esta é embalada numa caixa, localizada no lado esquerdo da estação, fechando o ciclo de produção. Após a caixa estar completa e colocada uma etiqueta e enviada para a expedição.

Este processo foi desenhado para garantir fluidez, segurança e rastreabilidade, minimizando o risco de erro humano e assegurando a conformidade de cada unidade produzida.

3.2.3 Levantamento de Requisitos

Com base na análise **Figura 8**, foram definidos os requisitos técnicos e funcionais para o sistema a desenvolver, critérios de validação, modo de operação do operador e permissões de desbloqueio em caso de erro.



Figura 8 - Descrição do Processo

3.2.4 Projeto da Solução

O desenvolvimento da solução seguiu uma metodologia prática e integrada, combinando ferramentas manuais, software técnico e programação industrial.

Na fase de execução física, foram utilizadas ferramentas de eletricitista como alicates de corte, descarnadores, cravadores e chaves de fenda, fundamentais para a montagem e ligação dos componentes elétricos e mecânicos. Para o planeamento e modelação digital, recorreu-se ao *SolidWorks* para o desenho da estrutura metálica da jaula de qualidade, ao *DraftSight* para a definição do layout da nova área de produção onde a jaula foi instalada, e ao *QElectroTech* para a elaboração dos esquemas elétricos. A programação e configuração dos sistemas de automação foram realizadas no TIA Portal V17 da Siemens, utilizando a linguagem *Structured Text* (ST), adequada para o desenvolvimento de lógica de controlo em ambientes industriais.

Foi desenhada a estrutura metálica da jaula de qualidade, bem como o esquema elétrico necessário para a integração da jaula com a máquina existente (Figura 8), chave de rearme e coluna de sinalização para desbloqueio em caso que o processo de trabalho seja violado, fechadura elétrica e sistema de Barreiras para deteção da colocação da peça na caixa. Também se definiu a lógica de controlo, baseada em entradas digitais provenientes dos sensores e atuadores.

A **Figura 9** ilustra o desenho técnico da estrutura metálica da jaula de qualidade, concebida segundo a norma interna da LEAR para equipamentos produtivos. Toda a estrutura é pintada em branco RAL 9003, garantindo uniformidade visual e conformidade com os padrões da empresa. A jaula apresenta uma configuração retangular, suportada por quatro pernas verticais, assegurando estabilidade e robustez. Na parte superior da estrutura, está instalada uma coluna de sinalização cilíndrica, equipada com luzes vermelha e verde, que indicam o estado do processo, operação normal e condição de falha. Na parte frontal inferior esquerda da estrutura, é visível uma fechadura elétrica, responsável por garantir o bloqueio físico da jaula durante o ciclo de trabalho. Além disso, foram integradas barreiras de deteção fotoelétricas na parte superior da jaula, posicionadas lateralmente uma de cada lado com o objetivo de detetar a correta colocação da peça na caixa e prevenir acessos indevidos durante o funcionamento.

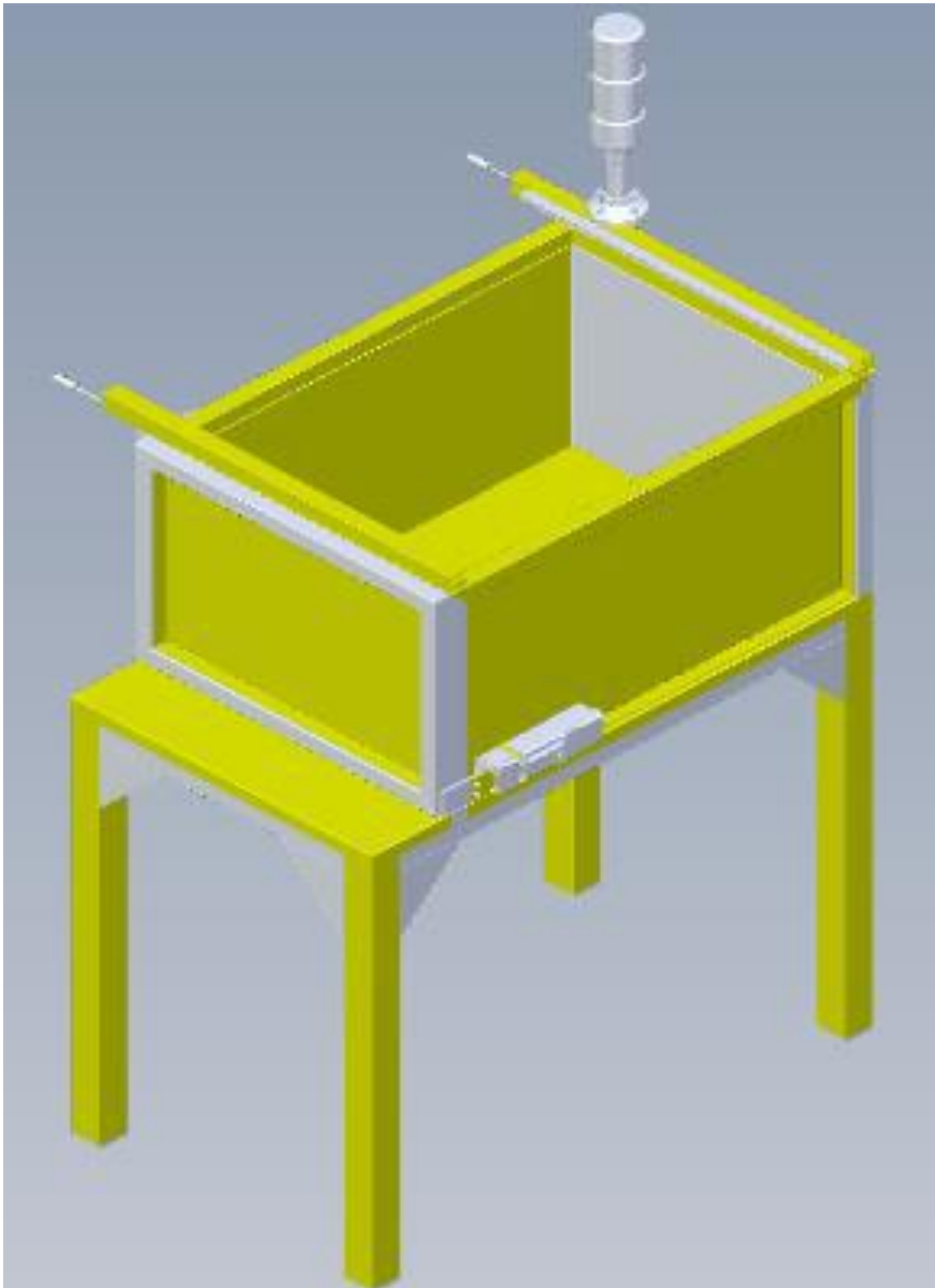


Figura 9 - Desenho da estrutura metálica da jaula de qualidade

A **Figura 10** apresenta o diagrama elétrico de interligação entre a jaula de qualidade e a máquina existente. Este esquema representa as conexões funcionais necessárias para garantir a integração dos sistemas de controlo e segurança entre os dois equipamentos.

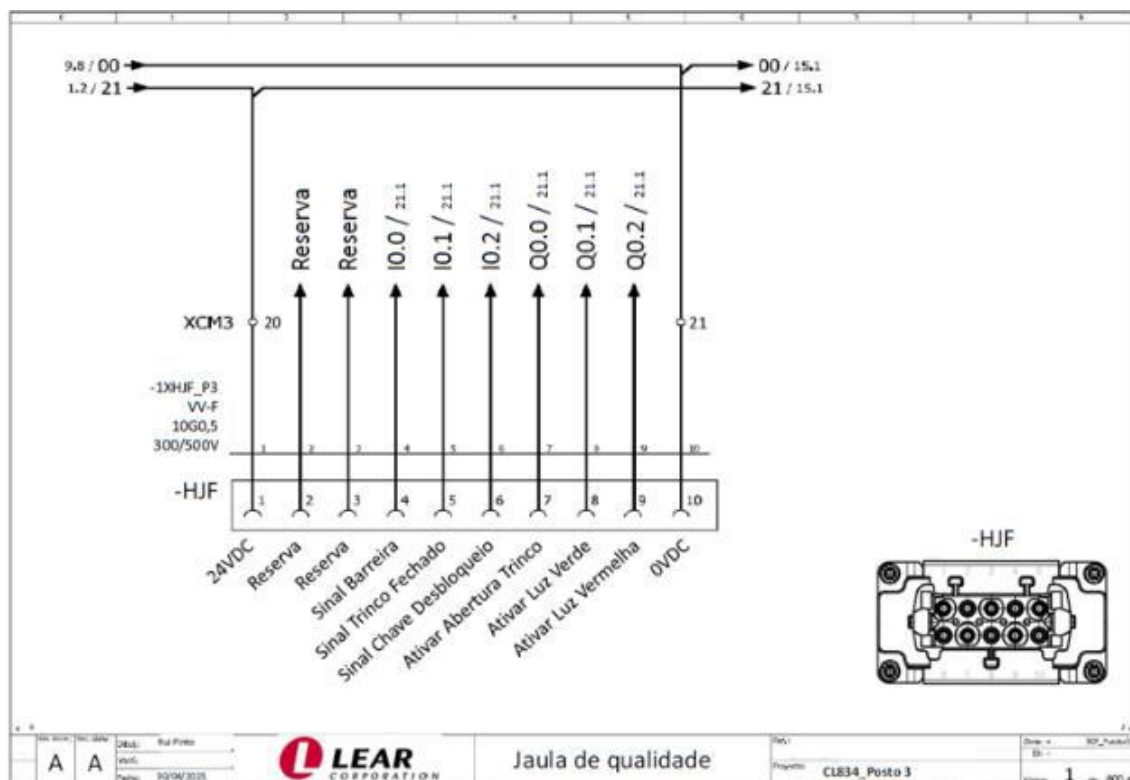


Figura 10 - Conexão de interligação com a máquina existente

O diagrama inclui diversas linhas e setas que indicam os caminhos de sinal entre os componentes. No canto inferior direito, encontra-se um conector identificado como -HJF, que serve como ponto de interface entre os sinais provenientes da jaula e os circuitos da máquina. As ligações verticais ao conector -HJF estão claramente identificadas com os seguintes sinais:

- Reserva (duas entradas reservadas para futuras expansões ou ajustes),
- 24VDC - Alimentação positiva do sistema,
- IO.0 - Sinal de Barreira (para gestão do processo),
- IO.1 - Sinal do Trinco elétrico (permite saber se a porta está aberta ou fechada),
- IO.2 - Sinal da chave de desbloqueio (permite reiniciar o processo),
- Q0.0 - Saída digital para controlo da fechadura,
- Q0.1 - Ativação da Luz Verde (indicação de operação normal),
- Q0.2 - Ativação da Luz Vermelha (indicação de falha ou condição de bloqueio),

➤ I0.0 - Sinal de controlo

Este esquema foi fundamental para garantir que todos os sinais necessários fossem corretamente encaminhados, permitindo uma comunicação eficaz entre a jaula de qualidade e a máquina, e assegurando o funcionamento seguro e coordenado do sistema.

A **Figura 11** apresenta o esquema elétrico e funcional do sistema de barreiras de luz utilizado na jaula de qualidade, com o objetivo de detetar a colocação da peça na caixa e garantir a segurança do processo de trabalho. Na parte superior do diagrama, estão representadas as ligações elétricas principais, nomeadamente:

- 24VDC - Alimentação positiva do sistema,
- 0VDC - Referência de massa,
- I0.0 - Sinal de controlo.

Estas ligações alimentam dois componentes principais: o emissor e o recetor, representados por caixas tracejadas. Na parte direita do diagrama, é apresentada uma representação visual dos componentes físicos. Estas barras correspondem às barreiras fotoelétricas instaladas.

A **Figura 12** apresenta o esquema elétrico da fechadura elétrica utilizada na jaula de qualidade, identificada pelo modelo D4SL-N4NFA-D. Este componente é responsável por garantir o bloqueio físico da estrutura durante o ciclo de trabalho, contribuindo para a integridade do processo. O diagrama inclui as ligações elétricas principais:

- 24VDC - Alimentação positiva do sistema,
- 0VDC - Referência de massa,
- Q0.0 - Saída digital para controlo da fechadura,
- IO1.1 - Entrada digital para controlo da fechadura.

No esquema, encontra-se as conexões numeradas de 1 a 10, que especifica as funções de cada terminal do dispositivo, facilitando a instalação e a manutenção.

Este sistema de bloqueio foi integrado de forma a garantir que a jaula permaneça fechada durante o funcionamento da máquina, sendo desbloqueada apenas quando a caixa estiver cheia.

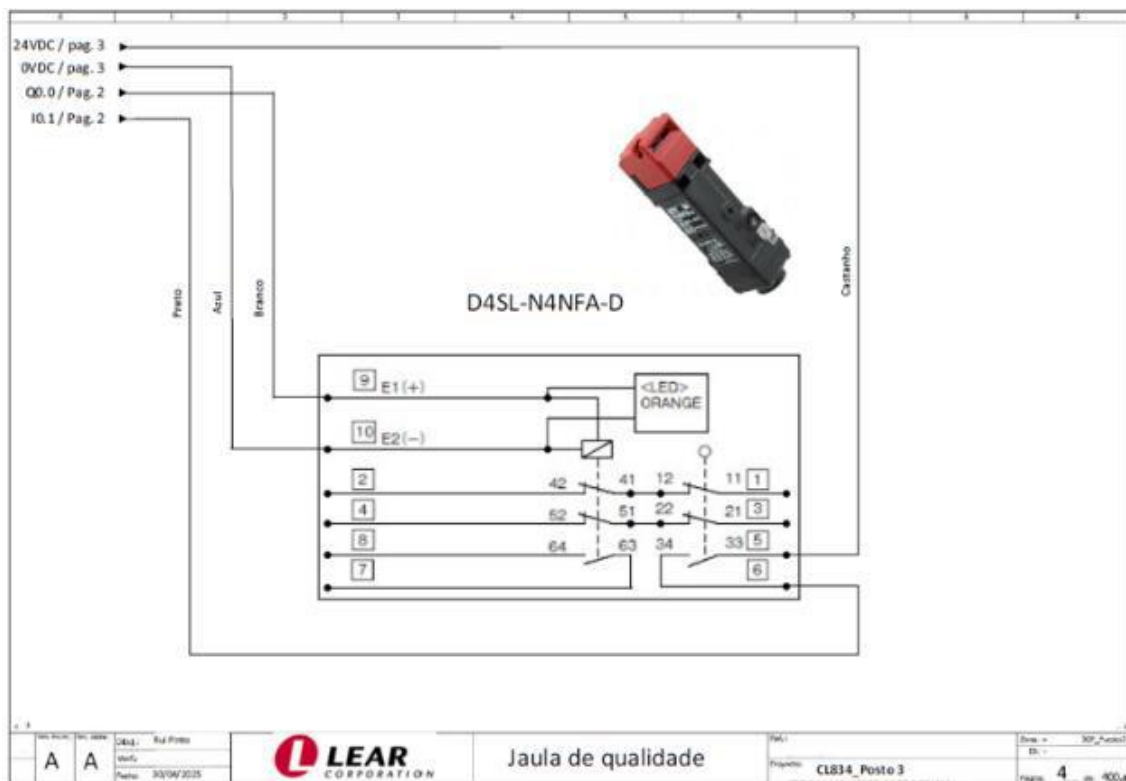


Figura 12 - Esquema da fechadura elétrica

A **Figura 13** apresenta o esquema elétrico de ligação da chave de rearme e da coluna de sinalização (torre de luz), elementos fundamentais para a operação segura e visual da jaula de qualidade. O componente identificado como CH_1 representa a chave de rearme, enquanto TS1 refere-se à torre de sinalização, composta por dois segmentos luminosos: verde e vermelho. As ligações são feitas através do conector -HJM, com os seguintes terminais e respectivas funções:

- Reserva (duas entradas reservadas para futuras expansões ou ajustes),
- 24VDC - Alimentação positiva do sistema,
- I0.0 - Sinal de Barreira (para gestão do processo),
- I0.1 - Sinal do Trinco elétrico (permite saber se a porta está aberta ou fechada),
- I0.2 - Sinal da chave de desbloqueio (permite reiniciar o processo),
- Q0.0 - Saída digital para controlo da fechadura,
- Q0.1 - Ativação da Luz Verde (indicação de operação normal),
- Q0.2 - Ativação da Luz Vermelha (indicação de falha ou condição de bloqueio).
- 0VDC - referência de massa,

Este sistema permite ao operador obter feedback visual imediato sobre o estado da jaula de qualidade através das cores da torre de sinalização. A integração da chave de rearme garante que, após uma paragem devido a uma violação do procedimento o sistema só possa ser reativado pelas pessoas autorizadas.



Figura 14 - Estrutura metálica da jaula de qualidade

3.3.2 Montagem dos Componentes na Estrutura

Foram montados os componentes elétricos (**Figura 15**), como sensores fotoelétricos, fechadura eletromecânica, sinalizadores luminosos e unidade de controlo. A cablagem e interligações respeitaram os esquemas previamente definidos.



Figura 15 - Estrutura montadas com os componentes elétricos

3.3.3 Programação e Lógica de Controlo

Desenvolveu-se o programa lógico responsável pela validação das peças, controlo do semáforo, bloqueio da fechadura e permissões de intervenção.

A lógica foi implementada num controlador lógico programável (PLC) compatível com o sistema existente. Na **Figura 16** podemos verificar a integração do modulo da jaula de qualidade no programa da máquina CL833.

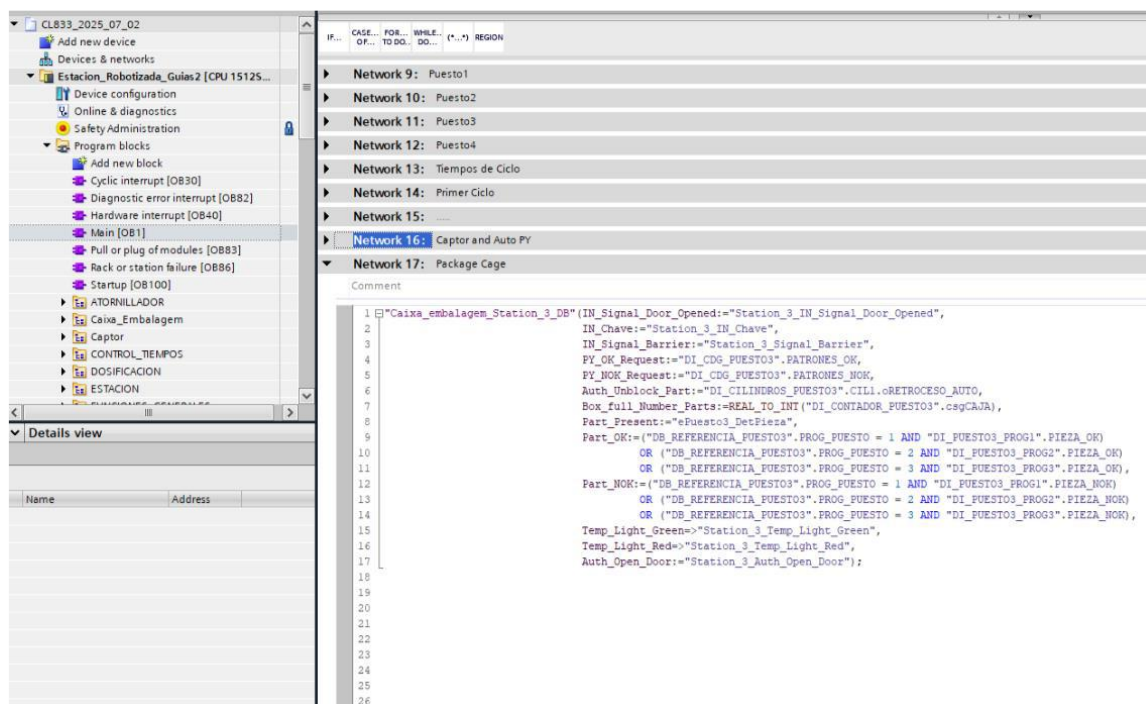


Figura 16 - Chamada do modulo da jaula no programa da máquina

3.4 TESTES E VALIDAÇÃO

3.4.1 Testes de Funcionamento

Realizaram-se testes de bancada para verificar o funcionamento integrado de todos os componentes. Foram simulados cenários normais e de falha para validar as respostas do sistema.

3.4.2 Testes em Produção de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R)

O sistema foi colocado em ambiente real de produção. Durante duas semanas, recolheram-se dados do muro da qualidade, observou-se a interação dos operadores com o sistema e analisou-se o impacto no tempo de ciclo.

3.4.3 Análise de Resultados

Com base nos dados recolhidos e no feedback dos operadores, foram realizadas análises quantitativas e qualitativas sobre a eficácia do sistema na eliminação de erros e na melhoria do processo.

3.4.4 AJUSTES E DOCUMENTAÇÃO

Foram efetuados pequenos ajustes no posicionamento dos sensores e na parametrização da lógica de controlo, com base nos resultados dos testes. Por fim, todo o processo foi documentado no relatório técnico final, acompanhado de esquemas elétricos, instruções de operação e manuais técnicos para manutenção e replicação futura.

4. PROCEDIMIENTO

Este capítulo descreve de forma detalhada as ações efetuadas ao longo do desenvolvimento e implementação do sistema integrado de controlo de qualidade a “jaula de qualidade”. O procedimento seguiu uma sequência lógica e estruturada, dividida em quatro fases principais: planeamento, montagem, integração e validação. Cada uma das etapas foi executada com base nos requisitos definidos e em conformidade com os objetivos técnicos do projeto.

4.1 ESTUDO E ANÁLISE DO PROCESSO ATUAL

A primeira ação consistiu numa análise detalhada do processo produtivo existente, especialmente da etapa de montagem e embalagem de guias plásticas. Foram observados os fluxos de trabalho dos operadores, os pontos críticos do processo e os registos de não conformidades no sistema de qualidade da empresa, na **Figura 17** podemos verificar a reclamações de cliente do todo o ano de 2024 (custo total 12k€). Esta análise permitiu identificar a ausência de mecanismos de validação na fase de embalagem como a principal causa de falhas.

DESCRIPCION					ACEPTACION			PROVISION		ESTADO COSTE	CONFIRMACION		FACTURA		C
FECHA INCIDENTE	CLIENTE	Project	PLANTA	INCIDENTE	CLAIM OR WARRANTY	ESTADO CARGO INCIDENTE	FECHA ACEPTACION	FECHA APROVISIONAMIENTO	IMPORTE PROVISION		FECHA Confirmación COSTE	COSTE INCIDENTE	ESTADO FACTURA	FECHA FACTURA	
08/01/2024	RENAULT	HHN	Tanger	Q 2024 0076 1150	CLAIM	ACEPTADO	10/02/2024	09/01/2025	1 500,00 €	CONFIRMADO	10/03/2024	1 400,00 €	FACTURADO	10/03/2024	Q 2024
05/02/2024	STELLANTIS	P24	VIGO	QAN FV6 2024 1262	CLAIM	ACEPTADO	19/03/2024	06/02/2025	1 000,00 €	CONFIRMADO	18/04/2025	1 010,00 €	FACTURADO	18/04/2025	QAN FI
17/03/2024	RENAULT	XDX	Dacia Montaje (Ptest)	Q 2024 0077 4463	CLAIM	ANULADO	15/10/2024	18/03/2024	1 500,00 €	CONFIRMADO	15/05/2024	1 480,00 €	FACTURADO	15/05/2024	Lear Pc
25/03/2024	STELLANTIS	XFK	VIGO	QAN FV6 2024 3213	CLAIM	ACEPTADO	17/12/2024	01/04/2024	1 500,00 €	CONFIRMADO	07/06/2024	480,00 €	FACTURADO	07/06/2024	QAN FI
16/04/2024	STELLANTIS	BCB	Ptest	QAN FV6 2024 3285	CLAIM	ACEPTADO	17/12/2024	22/04/2024	1 000,00 €	CONFIRMADO	30/06/2024	335,00 €	FACTURADO	30/06/2024	QAN FI
01/05/2024	RENAULT	ECHO	Douai	QAN FV6 2024 4388	CLAIM	ACEPTADO	14/11/2024	07/05/2024	1 500,00 €	CONFIRMADO	04/07/2024	1 300,00 €	FACTURADO	04/07/2024	
10/05/2024	RENAULT	XDX	Tanger	Q 2024 0076 5350	CLAIM	ACEPTADO	10/05/2024	10/05/2024	2 000,00 €	CONFIRMADO	10/07/2024	1 183,00 €	FACTURADO	19/11/2024	Q2024 Sin_Ir
05/07/2024	STELLANTIS	D34-P24	VIGO	QAN FV6 2024 3900	CLAIM	ACEPTADO	19/09/2024	22/07/2024	1 000,00 €	CONFIRMADO	19/09/2024	1 003,00 €	FACTURADO	19/09/2024	QAN FI
11/09/2024	RENAULT	XDX	Dacia Montaje (Ptest)	Q 2024 0077 4463	CLAIM	ANULADO	15/10/2024	16/09/2024	1 500,00 €	CONFIRMADO	15/10/2024	1 350,00 €	FACTURADO	15/10/2024	Lear Pc
15/10/2024	STELLANTIS	P24	VIGO	QAN FV6 2024 5797	CLAIM	ACEPTADO	17/12/2024	18/10/2024	1 500,00 €	CONFIRMADO	17/12/2024	573,00 €	FACTURADO	17/12/2024	QAN FI
16/10/2024	STELLANTIS	P24	VIGO	QAN FV6 2024 5799	CLAIM	ACEPTADO	17/12/2024	18/10/2024	1 000,00 €	CONFIRMADO	17/12/2024	215,00 €	FACTURADO	17/12/2024	QAN FI
14/11/2024	RENAULT	ECHO	Douai	QAN FV6 2024 5848	CLAIM	ACEPTADO	14/11/2024	14/11/2024	1 500,00 €	CONFIRMADO	14/11/2024	1 200,00 €	FACTURADO	15/12/2025	
09/12/2024	STELLANTIS	P1310	Dacia Montaje (Ptest)	QAN FV6 2024 5926	CLAIM	ACEPTADO	17/12/2024	18/10/2024	1 500,00 €	CONFIRMADO	17/12/2024	573,00 €	FACTURADO	17/12/2024	QAN FI

Figura 17 - Registo de não conformidades em 2024

4.2 PROJETO DA SOLUÇÃO TÉCNICA

Com base nos dados recolhidos, foi elaborado o projeto técnico da “jaula de qualidade”. Esta solução foi desenhada para ser fisicamente integrada à estação de montagem existente (**Figura 18**), sem comprometer o fluxo de produção. O projeto incluiu:

- Desenho da estrutura metálica e respetiva fixação;
- Definição dos pontos de colocação dos sensores fotoelétricos;
- Escolha dos dispositivos de sinalização luminosa (semáforo industrial);
- Definição da lógica de funcionamento do sistema de bloqueio e desbloqueio da embalagem;
- Esquematização elétrica e seleção dos materiais e componentes.

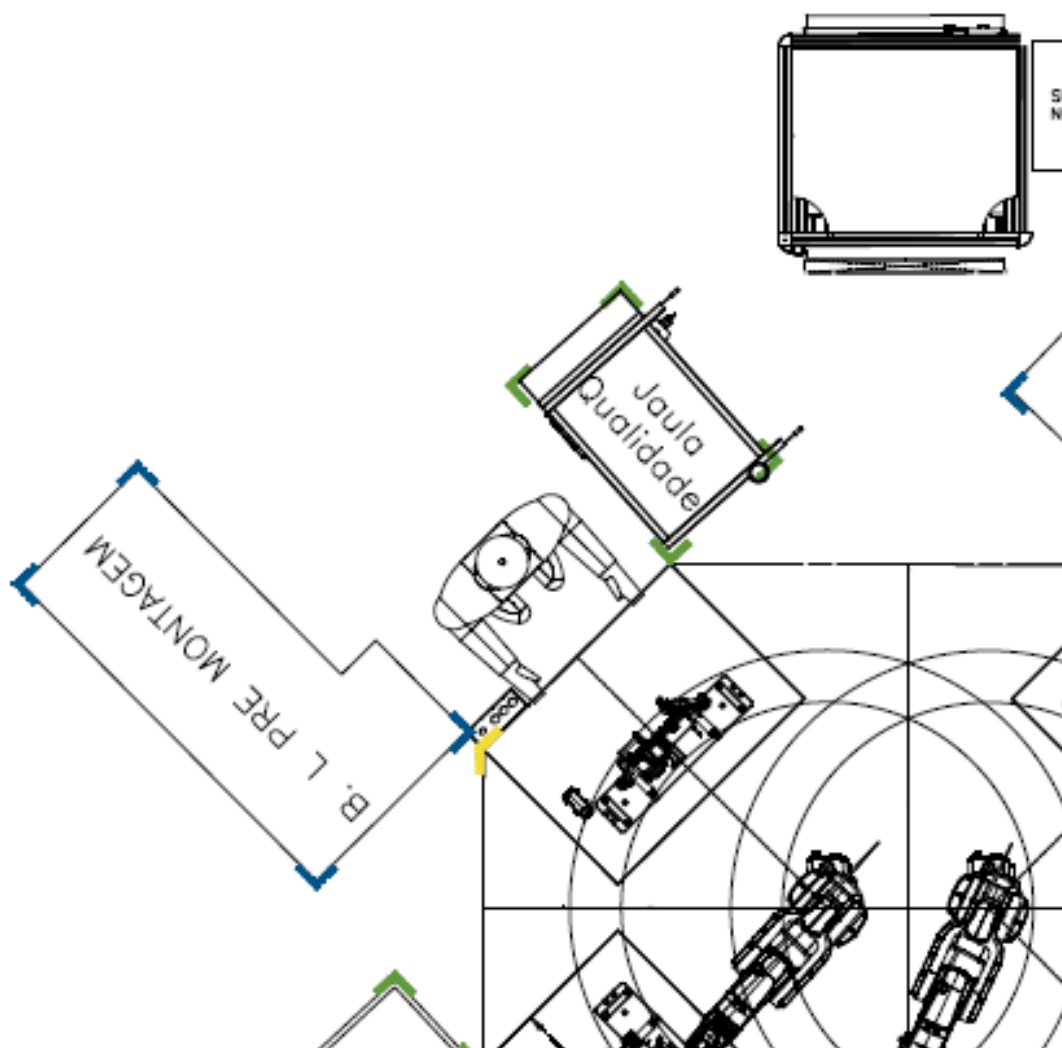


Figura 18 - Layout da integração da jaula

4.3 CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DA JAULA DE QUALIDADE

A estrutura metálica foi produzida por um fornecedor externo, com base no desenho técnico fornecido. Após a receção, procedeu-se à montagem física da jaula no posto de trabalho, garantindo:

- Instalação das barreiras fotoelétricas nos pontos de entrada de peças (**Figura 19**);
- Montagem da fechadura eletromecânica na porta de acesso à embalagem (**Figura 20**);
- Colocação do semáforo de sinalização visível ao operador (**Figura 21**).
- Instalação de um comando com chave para desbloqueio quando o processo for violado (**Figura 22**).



Figura 19 - Barreiras fotoelétricas



Figura 20 - Fechadura eletromecânica



Figura 21 - Semáforo de sinalização



Figura 22 - Chave para desbloqueio

4.4 INSTALAÇÃO ELÉTRICA E PROGRAMAÇÃO

Seguiu-se a fase de instalação elétrica e ligação dos sensores, atuadores e sinalizadores ao autômato programável (PLC). As tarefas incluíram:

- Ligação dos cabos de sensores e atuadores ao armário de controlo;
- Programação da lógica de operação no PLC, que incluía: o Validação da quantidade de peças conformes;
 - Sinalização do estado do processo (verde = pronto, vermelho = erro);
 - Bloqueio da abertura da jaula até validação total;
 - Desbloqueio apenas possível com chave de supervisão em caso de erro.

4.5 TESTES DE FUNCIONAMENTO E AJUSTES

Realizaram-se testes preliminares para validar a comunicação entre os dispositivos, o comportamento lógico do sistema e a fiabilidade dos sensores. Durante estes testes, foram identificadas pequenas necessidades de ajuste, estes pontos foram seguidos no PDCA da **Figura 23**:

- Sistema de contagem com pequenas falhas, houve necessidade de uma pequena alteração no PLC;
- Reposicionamento de sensores para evitar leituras falsas;
- Ajuste de tempos de sinalização;
- Parametrização do sistema para adaptação à cadência real da produção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a implementação do sistema automático de controlo de qualidade a “jaula de qualidade” na fase de embalamento de guias plásticas. São discutidos os efeitos verificados no processo produtivo, nomeadamente ao nível da redução de falhas, impacto nos tempos de ciclo, aceitação por parte dos operadores e ganhos em termos de fiabilidade do produto final.

5.1 REDUÇÃO DE NÃO CONFORMIDADES

Após a implementação do sistema, foi registada uma eliminação total dos casos de envio de peças incompletas durante o período de validação (**Tabela 4**). Antes da intervenção, a média era de 1 a 2 incidentes por mês, o que resultava em devoluções e ações corretivas dispendiosas. Com a jaula de qualidade em funcionamento, o sistema bloqueou todas as tentativas de embalamento incorreto, impedindo a progressão de peças não conformes.

Este resultado confirma a eficácia do sistema no cumprimento do objetivo principal do projeto: assegurar que apenas peças conformes são expedidas ao cliente.

Indicador	Antes da Implementação	Após a Implementação
Média de peças incompletas enviadas	1 a 2 incidentes por mês	0 incidentes
Consequências	Devoluções e ações corretivas dispendiosas	Nenhuma devolução ou ação corretiva necessária
Eficiência do sistema	Não existia bloqueio automático	Sistema bloqueia todas as tentativas de erro
Conformidade das peças expedidas	Não garantida	100% garantida

Tabela 4 - Impacto da Implementação da Jaula de Qualidade

5.2 IMPACTO NOS TEMPOS DE CICLO

A introdução da jaula teve um impacto residual no tempo de ciclo do processo. Os testes realizados em ambiente de produção demonstraram um aumento médio de apenas 0,8 segundos por embalagem, valor considerado aceitável face ao ganho em controlo de qualidade. Este impacto foi compensado pela eliminação de inspeções manuais frequentes, libertando o operador para tarefas de maior valor acrescentado.

O equilíbrio entre controlo e fluidez operacional foi atingido, demonstrando que a automação pode ser introduzida sem comprometer a produtividade.

5.3 INTERAÇÃO COM OPERADORES E FEEDBACK

Durante o período de teste, foram recolhidos comentários dos operadores envolvidos diretamente na linha de produção. O sistema foi bem aceite, especialmente pela sua clareza visual (semáforo) e simplicidade de operação. Após um curto período de adaptação, os operadores passaram a compreender intuitivamente os estados do sistema e a importância do seu funcionamento.

A presença do bloqueio físico e a necessidade de intervenção do Team Leader em casos de erro foram vistas como medidas de segurança e rigor, aumentando a responsabilidade sobre o cumprimento dos procedimentos.

5.4 FIABILIDADE DO SISTEMA

Os sensores utilizados demonstraram, de forma geral, um comportamento estável e exato durante os testes. No entanto, foram identificadas pequenas falhas pontuais nos sensores fotoelétricos, relacionadas com o tempo de resposta em determinadas situações. Embora não tenham comprometido o funcionamento global do sistema, estas ocorrências evidenciam a necessidade de considerar, em futuras instalações, a seleção de sensores mais fiáveis e com tempos de resposta mais adequados às exigências do processo.

A estrutura física manteve-se robusta e bem integrada com o posto de trabalho, sem interferências negativas nas operações. A lógica de controlo implementada foi validada em vários cenários, incluindo falhas simuladas, e respondeu corretamente em todos os casos.

Estes resultados continuam a atestar a fiabilidade técnica da solução, com a ressalva mencionada quanto à escolha dos sensores.

5.5 BENEFÍCIOS OPERACIONAIS E ESTRATÉGICOS

Para além dos ganhos diretos em qualidade e redução de custos com não conformidades, a implementação da jaula de qualidade trouxe benefícios adicionais:

- Aumento da confiança dos gestores na integridade do processo;
- Redução da necessidade de retrabalho e triagens de última hora;
- Melhoria na rastreabilidade e capacidade de auditoria do processo;
- Possibilidade de replicação da solução em outras linhas com problemas semelhantes.

Estes benefícios reforçam a importância estratégica de investir em automação seletiva e dirigida, como ferramenta para elevar o padrão de qualidade e competitividade industrial.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como ponto de partida a necessidade de resolver um problema real identificado no processo produtivo da empresa LEAR: a possibilidade de envio de peças não conformes ao cliente, decorrente da ausência de controlo automatizado na fase de embalagem. A solução proposta consistiu no desenvolvimento e implementação de um sistema físico e lógico a "jaula de qualidade" com o objetivo de garantir que apenas embalagens com peças corretamente montadas fossem libertadas para expedição.

Os objetivos definidos foram plenamente atingidos. O sistema implementado demonstrou ser funcional, fiável e adequado às condições reais da linha de produção. A validação experimental e os testes em ambiente industrial comprovaram a eficácia da solução na eliminação de erros associados à intervenção humana, sem impactar significativamente os tempos de ciclo nem comprometer a produtividade.

O projeto cumpriu os requisitos técnicos estabelecidos na fase de conceção: integração física com o posto de trabalho existente, implementação de sensores de deteção e validação, bloqueio automático da embalagem e sistema de sinalização intuitivo. Além disso, a lógica de controlo revelou-se robusta e coerente com o fluxo produtivo. A aceitação por parte dos operadores e a sua rápida adaptação ao novo sistema são também indicadores positivos da sua aplicabilidade prática.

Do ponto de vista de engenharia, este trabalho contribuiu para a demonstração prática de como a automação seletiva pode ser aplicada de forma eficaz para resolver problemas pontuais, mas críticos nos processos industriais. A experiência adquirida ao longo deste projeto revelou-se extremamente enriquecedora a nível técnico, metodológico e pessoal, consolidando competências nas áreas da eletrónica, automação, controlo de processos e gestão da qualidade.

Os resultados obtidos estão alinhados com os princípios da melhoria contínua e da prevenção de defeitos amplamente descritos na literatura, evidenciando a eficácia de soluções simples e robustas em contexto industrial (Liker, 2004; Shingo, 2021).

Ainda que os resultados obtidos sejam conclusivos no contexto em que foram aplicados, o projeto gerou também novas perspectivas para investigações futuras, nomeadamente no sentido de expandir o sistema a outros postos de trabalho, integrar tecnologias de visão artificial ou incorporar os dados recolhidos em sistemas MES para análise em tempo real e rastreabilidade total.

Assim, conclui-se que o sistema desenvolvido representa uma solução viável e eficaz para o problema identificado, cumprindo os critérios técnicos e operacionais definidos inicialmente e constituindo um exemplo aplicável a outras realidades industriais com desafios semelhantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolton, W. (2015). Programmable Logic Controllers. In *Programmable Logic Controllers* ; page 1-22 ; ISBN 9780128029299.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802929-9.00001-7>
- Deming, W. E. (2000). *Out of the Crisis* (MIT Press (ed.)). MIT Press.
- Finkenzeller, K. (2010). *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication* (Wiley (ed.)); 3rd ed.). Wiley.
- Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (Pearson (ed.)); 4th ed.). Pearson.
- Hirano, H. (1996). *5 Pillars of the Visual Workplace: The Sourcebook for 5S Implementation*. Productivity Press.
- IATF 16949:2016 - Quality Management System Requirements for Automotive Production and Relevant Service Parts Organizations (2016).
- ISO 9001:2015 Quality Management Systems - Requirements (2015).
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2018). *Recent advances and trends of cyber-physical systems and big data analytics in industrial informatics*.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley.
- Pires, N. (2019). *Automação, Controlo e Robótica industrial. Teoria e aplicações* (Lidel (ed.)).
- Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014). *The Six Sigma Handbook* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Salvendy, G. (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (4th ed.). Wiley.
- Shehu, E. (2024a). *Sistema de controlo de malha aberta*.
<https://unire.unige.it/bitstream/handle/123456789/10821/tesi31653640.pdf?seque>
- Shehu, E. (2024b). *Sistema de controlo de malha fechada*.
- Shingo, S. (2021). *Zero Quality Control : Source Inspection and the Poka-Yoke System*.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=2677503&site=eds-live>
- Sick AG. (n.d.). *Automation light grids – SLG*.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.
- Zhou, Q., Chen, R., Huang, B., Liu, C., Yu, J., & Yu, X. (2019). An Automatic Surface Defect Inspection System for Automobiles Using Machine Vision Methods. *Sensors*, 19(3), 644. <https://doi.org/10.3390/s19030644>



Descrição do Processo

Nº DIP:	2256-10
---------	---------

Revisão: 0

Data:	03/03/2025
-------	------------

EMITIDO POR:

Rui Pinto

Código Produto: L002027801NCPAG/L002027799NCPAH

Maquina:	CL836
----------	-------

Denominação:	RR DOOR GLASS CHANNEL RR HHN RH / LH
--------------	--------------------------------------

Processo:	MONTAGEM
-----------	----------

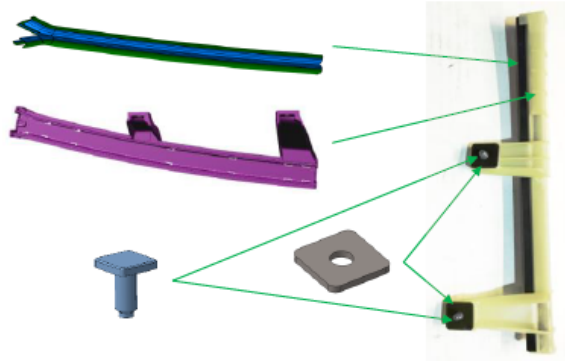
Nível ING./Data ABC / 14-12-2021

Operação	010
----------	-----

Materials - Componentes

Pos.	Referência	Denominação	Quantidade	Pos.	Referência	Denominação	Quantidade
1	L002027800NCP	PLASTIC BODY RR DOOR GLASS CH RR HHN LH	1	4	L000718384NCP	BOLT M6 L16 WITH CENTERED SQUARE HEAD	2
1	L002027802NCP	PLASTIC BODY RR DOOR GLASS CH RR HHN RH	1				
2	L002036490NCP	FLOCKED GASKET TYPE 1 319,3	1				
3	L002059055NCP	FOAM 20x20x2	2				

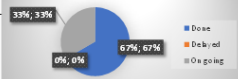
Croqui



Fase - Operação

Nº	Descrição da operação	Ferramenta	Parâmetros	Anti-Erros Poka-Yokes	Resultado da operação			
					Característica	Especificação	Classe	
10	Montagem	CLB36	Segundo IPT	PV_2256_01	Poka-Yokes	Verificar funcionamento		
			Segundo IPT	PV_2256_01	Presença de componentes	1 corpo plástico; 1 junta flocada; 1 mouse e 2 parafusos		
			Segundo IPT		Controlo Visual	Verificar montagem	Correto montagem do mouse, junta flocada e parafusos	
			500 N	Não tem	Resistência ao esforço de tração	Com útil de extração + PE-083		
			8 Nm ± 23%	Não tem	Par de aperto	Com Chave dinamométrica.		
20	Embalamento	Manual	47 peças por caixa	Não tem	Gama de embalagem HHN/801	Correto embalamento conforme a Gama		
				Não tem	Gama de embalagem HHN/801	Identificação conforme a Gama		

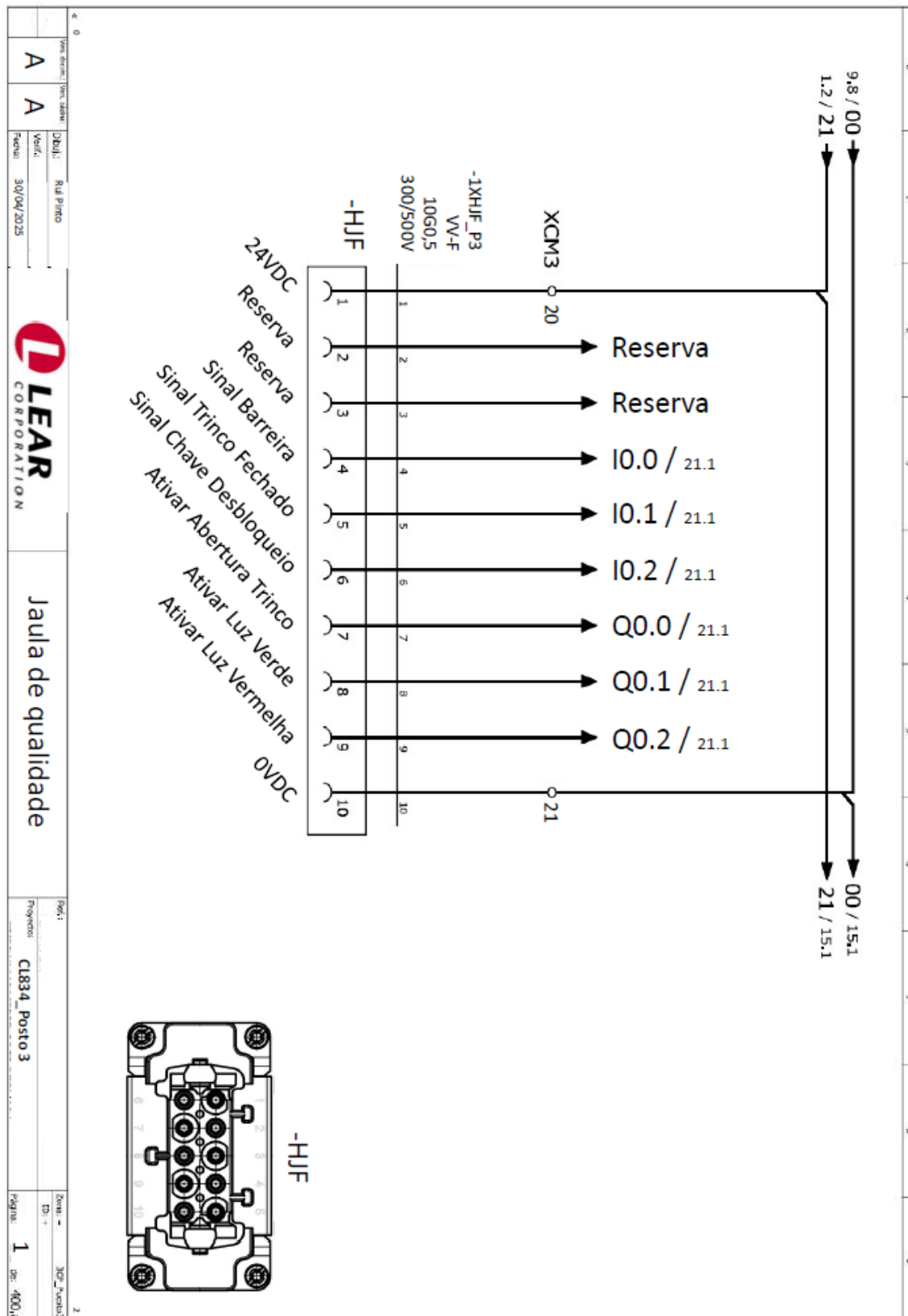
ANEXO 1 – DIP DISCRICÃO INICIAL DO PROCESSO

				PDCA: Jaula de qualidade								Ações	Done	Delayed	On going
Semana:	S23	Nº 1110120	Nome: Rui												
Área	Máquina	Problema	Foto	Sugestão	Piloto	Data Prevista	Data Realização								
HHN	CL833	Caminho de cabos mal definido		Criar um caminho pelo interior dos tubos da estrutura.	RPO	20/06/2025	17/06/2025	1	1	0	0				
Semana:	S26	Nº 1110120	Nome: Rui												
Área	Máquina	Problema	Foto	Sugestão	Piloto	Data Prevista	Data Realização								
HHN	CL833	Erros no contador de peças para saída da etiqueta		Rever Programa	RPO	26/06/2025	26/06/2025	1	1	0	0				
Semana:	S28	Nº 1110120	Nome: Rui												
Área	Máquina	Problema	Foto	Sugestão	Piloto	Data Prevista	Data Realização								
HHN	CL833	Barreira não deteta de a peça for atirada para dentro da caixa devido ao tempo de resposta		Procurar nova barreira que atenda as necessidades	RPO	31/08/2025		1	0	0	1				
Semana:		Nº	Nome:												
Área	Máquina	Problema	Foto	Sugestão	Piloto	Data Prevista	Data Realização								

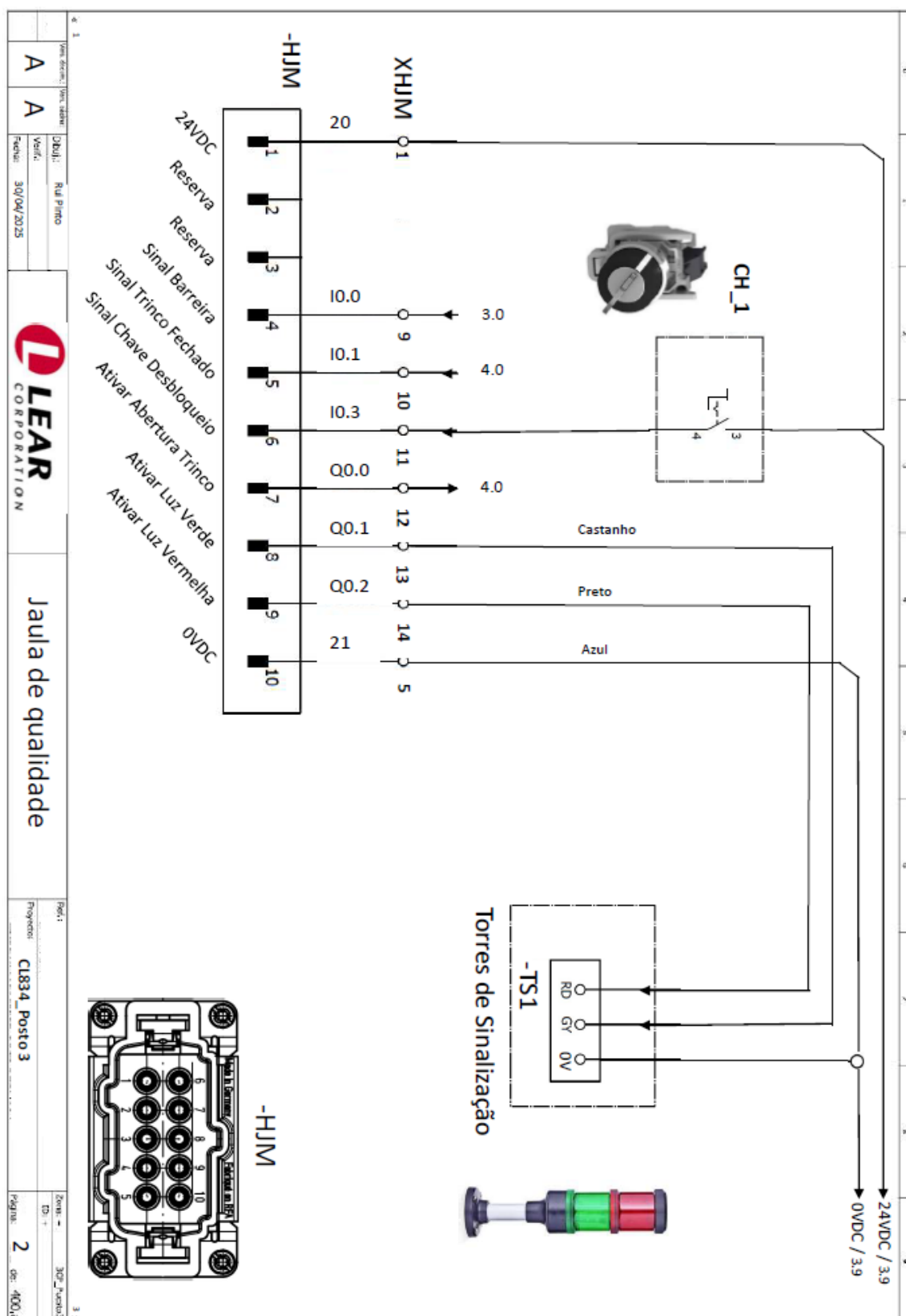
ANEXO 2 – PDCA

Run at Rate									
Note: ALL CELLS HIGHLIGHTED IN YELLOW MUST BE COMPLETED BY LEAR SQE									
PROGRAM:	ECHO				DATE:	19/07/2024			
SUPPLIER NAME:	Lear Valença				LOCATION (CITY/STATE):	VALENÇA			
PART NUMBER(S):	L002630008NCPAB/L002635217NCPAB				DESCRIPTION:	FR DOOR GLASS CHANNEL RR ECHOLH/RR			
QUOTED ANNUAL VOLUME RATE (LCR):	199 122				PEAK VOLUME:	190 946			
ENGINEERING CHANGE LEVEL:					DATE OF ENGINEERING CHANGE:				
ESTIMATED PROGRAM PRODUCTION LENGTH:	5				(YEARS)				
QUOTED SUPPLIER WORK PATTERN DEDICATED TO LEAR:	5	# DAYS PER WEEK:	3	# OF SHIFTS:	7,5	# HOURS PER SHIFT:			
PRODUCTION PROCESS:	Window guides assembly								
NO. OF QUOTED OPERATORS FOR PROCESS:	2				NO. OF PRODUCTION LINES:	2			
SHARED PRODUCTION LINE:	Yes ☒	No ☐			NO. OF PRODUCTION TOOLS:	2			
MULTI-SHARED PROCESS:	Yes ☐	No ☐			NO. OF CAVITIES PER TOOL:				
PERCENT OF LINE DEDICATED TO THIS LEAR PROGRAM:	17%				NO. OF GAGES:				
ALL TOOLING TAGGED WITH LEAR AUTHORIZED TOOL TAG:	Yes ☐	No ☐							
NOTE: ALL PRODUCTION NUMBERS BELOW ARE BASED ON THE QUOTED SUPPLIER WORK PATTERN									
DEMONSTRATION RUN GOAL					DEMONSTRATION RUN RESULTS				
HOURS TO RUN	0,75				PLANNED RUN TIME(Scheduled-Planned Downtime)	0,750			
NO. OF SHIFTS TO RUN	1				PLANNED DOWNTIME (Breaks, PM, etc)	0,000			
QUOTED PARTS PER HOUR	226,86				APPROVED PARTS PER HOUR	277,33			
QUOTED PARTS PER SHIFT	1701,47				APPROVED PARTS PER SHIFT	2080,00			
QUOTED PARTS PER DAY (QPDR)	5104,42				APPROVED PARTS PER DAY	6240,00			
PLANNED DOWNTIME (Breaks, PM, etc)	0,000				UNPLANNED DOWNTIME (HRS)	0			
DAYS/YEAR (LEAR CONSTANT * % DEDICATED)	37,408				UPTIME PERCENTAGE	100,00%			
CAPABILITY % REQUIRED	90,00%				APPROVED PARTS/YEAR	233 426	122%	% of Quoted	
CAPABILITY RESULTS					LEAR TEAM RECOMMENDATION		RETURN VISIT		
TOTAL UNITS PRODUCED	210				REPORT CARD	PASS/FAIL			
TOTAL UNITS APPROVED	208				QUOTED VOLUME	Pass	NO		
TOTAL UNITS REJECTED	2				PERCENTAGE CAPABILITY(95%min)	Pass	YES		
PERCENTAGE OF CAPABILITY	99,05%				UPTIME PERCENTAGE	Pass	DATE:		
COMMENTS:									
L002630008NCPAB - Manufacturing 45min, 104 Pcs OK/ 0 Pcs NOK - Total 104 Pcs (cycle time: 26s)									
L002635217NCPAB - Manufacturing 45min, 106 Pcs OK/ 2 Pcs NOK - Total 108 Pcs (cycle time: 26s)									
SUPPLIER REPRESENTATIVE:					TITLE		PHONE		
LEAR REPRESENTATIVE: Ivão Dias					TITLE		PHONE		
Note: Annual Volumes and Quoted Work Patterns are based on RFQ (Request For Quote) information.									
LCR = Lean Capacity Requirement MCR = Maximum Capacity Requirement QPDR = Quoted Production Daily Requirement (240 days)									

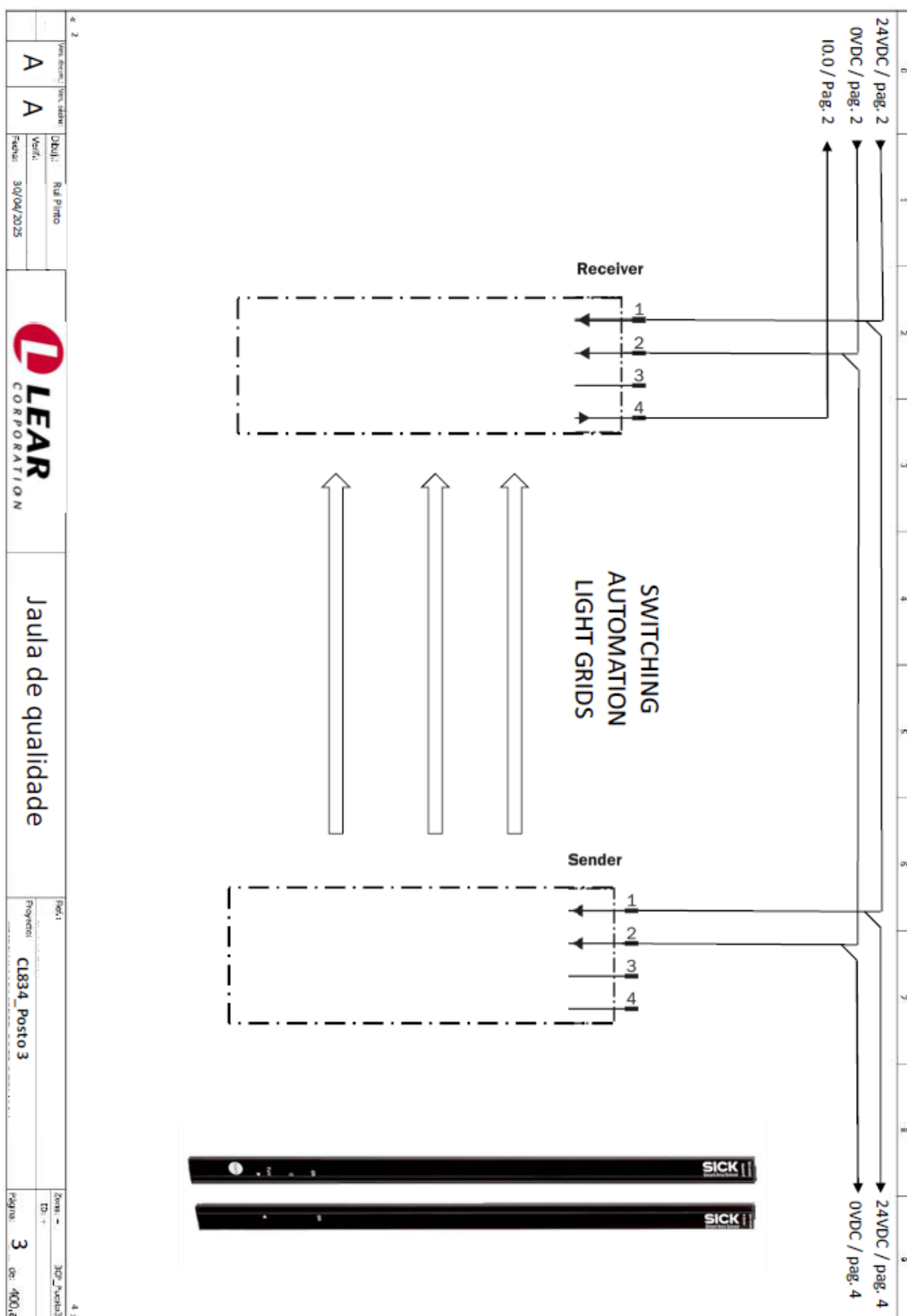
APÊNDICES



APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.1)



APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.2)

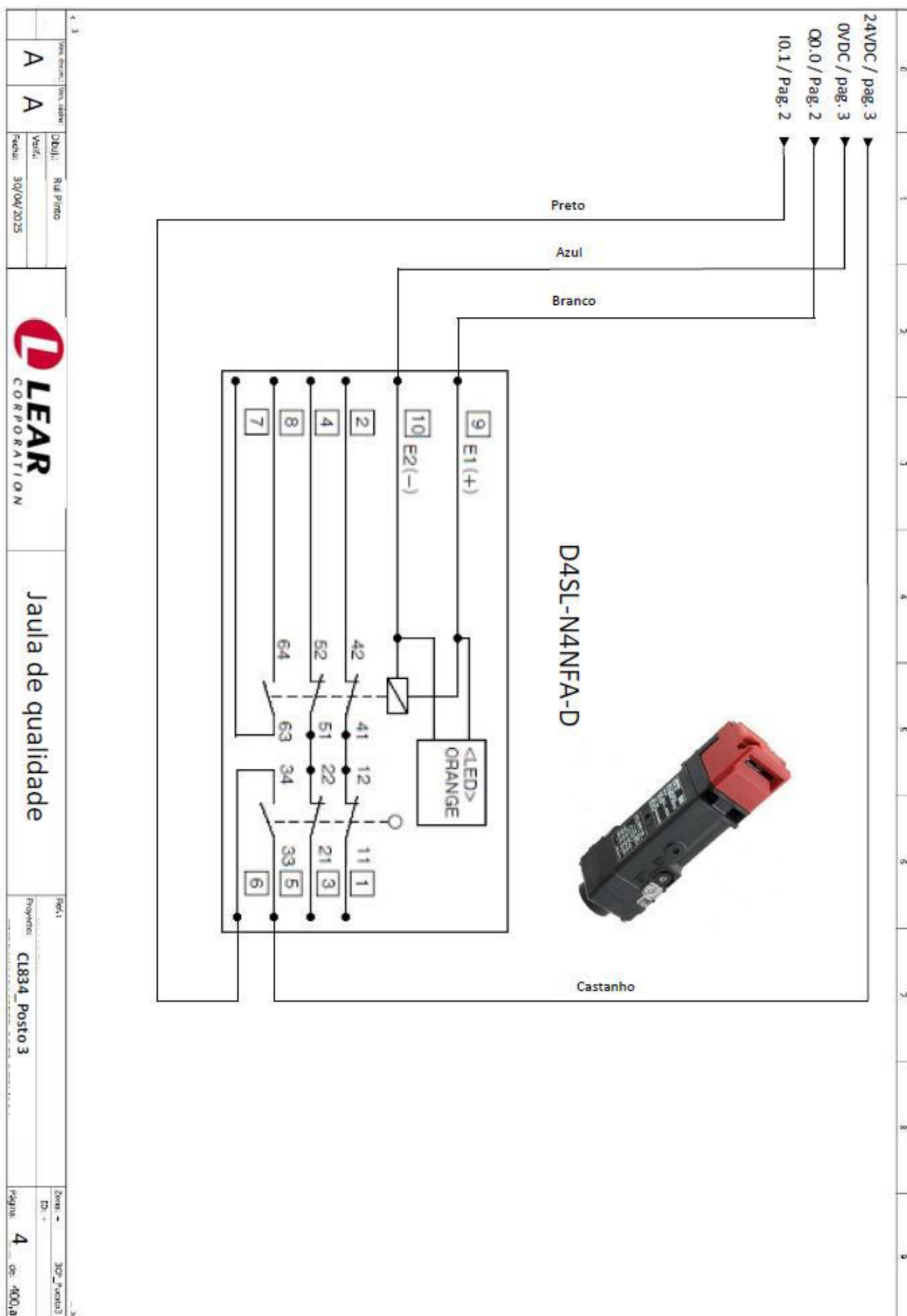


Rev. 01/2021	Rev. 01/2021	Detalhe:	Rui Pinto	Projeto:	CL834_Posto 3	Revisão:	302_Posto 3
A	A	Verificação:		Projeto:	CL834_Posto 3	Revisão:	302_Posto 3
		Revisão:	30/04/2025	Projeto:	CL834_Posto 3	Revisão:	302_Posto 3



Jaula de qualidade

APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.3)



APÊNDICE I – ESQUEMA ELÉTRICO (PAG.4)

XHLJL

Destinos internos	Chantes	Designação PLC	Número do Borne
24VDC			1
			2
			3
			4
0VDC			5
			6
			7
			8
		I0.0	9
		I0.1	10
		I0.2	11
		Q0.0	12
		Q0.1	13
		Q0.2	14


```

FUNCTION_BLOCK "CAIXA_EMBALAGEM"
{ S7_OPTIMIZED_ACCESS := 'FALSE' }
VERSION : 0.1
VAR_INPUT
    IN_SIGNAL_DOOR_OPENED : BOOL;
    IN_CHAVE : BOOL;
    IN_SIGNAL_BARRIER : BOOL;
    PY_OK_REQUEST : BOOL;
    PY_NOK_REQUEST : BOOL;
    AUTH_UNBLOCK_PART : BOOL;
    BOX_FULL_NUMBER_PARTS : INT;
    PART_PRESENT : BOOL;
    PART_OK : BOOL;
    PART_NOK : BOOL;
END_VAR

```

```

VAR_OUTPUT
    TEMP_LIGHT_GREEN : BOOL;
    TEMP_LIGHT_RED : BOOL;
END_VAR
VAR_IN_OUT
    AUTH_OPEN_DOOR : BOOL;
END_VAR
VAR
    FSIGNAL_BARRIER : BOOL;
    FSIGNAL_DOOR_OPENED : BOOL;
    FFREE_PIECE : BOOL;
    FSIGNAL_CHAVE : BOOL;
    FSUB_PACKAGE_PIECE : BOOL;
    FADD_PACKAGE_PIECE : BOOL;
    FPIECE_UNBLOCK : BOOL;
    HMI_AUTH_OPEN_DOOR : BOOL;
    BARRIER_RULE_BREAK : BOOL;
    COUNTER_PACKAGE_PIECES : INT;
    HMI_SUB_PACKAGE_PIECE : BOOL;
    HMI_ADD_PACKAGE_PIECE : BOOL;
    REARM_BUTTON_VISIBILITY : BOOL;
    AUTH_PLACE_PIECE : BOOL;
    AUTH_REARM_EMBALAGEM : BOOL;
    HMI_REARM_EMBALAGEM : BOOL;
    HMI_SHOW_SCREEN : BOOL;
    FHMI_SHOW_SCREEN : BOOL;
    MPART_OK : BOOL;
    FDEBOUNCE_TIMER : BOOL;
    PRINT_LABEL : BOOL;
    PACKAGE_OK : BOOL;
    HMI_SCREEN_CHANGE : ARRAY[0..1] OF INT;
    PART_PRESENT_DELAY_TIMER {INSTRUCTIONNAME := 'TOF_TIME'; LIBVERSION :=
'1.0'} : TOF_TIME;
    SIGNAL_BARRIER_DEBOUNCE_TIMER {INSTRUCTIONNAME := 'TOF_TIME';
LIBVERSION := '1.0'} : TOF_TIME;
END_VAR

```

APÊNDICE II – PROGRAMA PLC (VARIÁVEIS)

```

BEGIN

    //PART PRESENT OFF SIGNAL DELAY
    #PART_PRESENT_DELAY_TIMER(IN:=#PART_PRESENT,
    PT:=T#2S);

    //MEM PART OK

    #MPART_OK      :=      #PART_OK      OR      (#MPART_OK      AND
    #PART_PRESENT_DELAY_TIMER.Q);

    //REARME DE MÁQUINA POR SINAL DE BOTÃO DE HMI OU POR CHAVE
    #AUTH_REARM_EMBALAGEM := #HMI_REARM_EMBALAGEM OR (#IN_CHAVE
    AND NOT #FSIGNAL_CHAVE) OR (NOT #IN_CHAVE AND #FSIGNAL_CHAVE);

    //VARIÁVEL DE CONTROLO DE VISIBILIDADE DO BOTÃO DE REARME DA
    MÁQUINA
    #REARM_BUTTON_VISIBILITY := NOT #IN_SIGNAL_DOOR_OPENED AND NOT
    #AUTH_OPEN_DOOR AND NOT #PART_NOK;

    //SIGNAL BARRIER DEBOUNCE TIMER
    #SIGNAL_BARRIER_DEBOUNCE_TIMER(IN:=#IN_SIGNAL_BARRIER,
    PT:=T#500MS);

    //SE COMPROVAÇÃO OK AUTORIZA A EMBALAR
    IF #MPART_OK

    AND NOT (#PY_OK_REQUEST OR #PY_NOK_REQUEST) THEN //NÃO ESTAR A
    PEDIR PEÇAS DE PY
    #AUTH_PLACE_PIECE := TRUE;
    END_IF;

    //RESET DE AUTORIZAÇÃO PARA EMBALAR NA TRANSIÇÃO POSITIVA DE
    BARREIRA
    IF ((NOT #SIGNAL_BARRIER_DEBOUNCE_TIMER.Q AND #FDEBOUNCE_TIMER)
    //DEIXAR DE INTERROMPER A BARREIRA
    OR #AUTH_REARM_EMBALAGEM) THEN //REARMAR A MÁQUINA PELO BOTÃO
    #AUTH_PLACE_PIECE := FALSE;
    END_IF;

    //CONTADOR DE PEÇAS EMBALADAS
    //ADICIONAR PEÇAS
    IF ((#SIGNAL_BARRIER_DEBOUNCE_TIMER.Q AND NOT #FDEBOUNCE_TIMER)
    AND #AUTH_PLACE_PIECE) //INTERROMPER A BARREIRA COM AUTORIZAÇÃO
    OR (#HMI_ADD_PACKAGE_PIECE AND NOT #FADD_PACKAGE_PIECE) THEN
    //BOTÃO DE SOMAR DE HMI
    #COUNTER_PACKAGE_PIECES := #COUNTER_PACKAGE_PIECES +1;
    END_IF;

```

APÊNDICE II – PROGRAMA PLC (PAG.1)

```

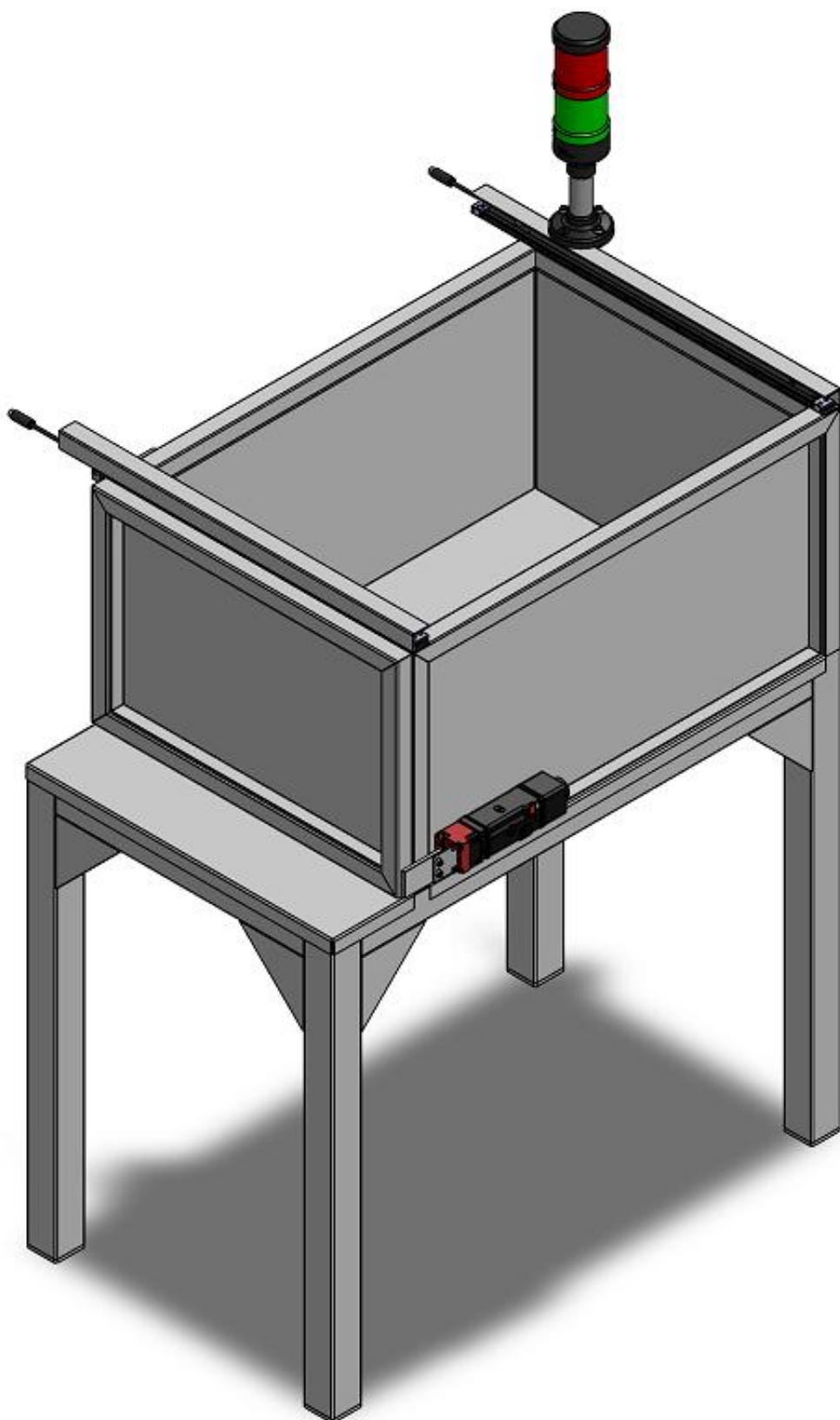
//SUBTRAIR PEÇAS
IF (#HMI_SUB_PACKAGE_PIECE AND NOT #FSUB_PACKAGE_PIECE) THEN
//BOTÃO DE SUBTRAIR DE HMI
    #COUNTER_PACKAGE_PIECES := #COUNTER_PACKAGE_PIECES - 1;
END_IF;
//FLANCO DE IMPRESSÃO
    #PRINT_LABEL := #COUNTER_PACKAGE_PIECES >=
#BOX_FULL_NUMBER_PARTS;
    //VARIÁVEL DE CONTROLO DE INFRINGIMENTO DE BARREIRA
    #BARRIER_RULE_BREAK := (NOT #AUTH_PLACE_PIECE AND
#IN_SIGNAL_BARRIER AND NOT #AUTH_OPEN_DOOR)
    OR (#BARRIER_RULE_BREAK AND NOT #AUTH_REARM_EMBALAGEM);
    //VARIÁVEL DE CONTROLO DE EMBALAGEM
    #PACKAGE_OK := (NOT #BARRIER_RULE_BREAK AND NOT
#IN_SIGNAL_DOOR_OPENED);
    //SINAL DE LUZ VERDE
    #TEMP_LIGHT_GREEN := #PACKAGE_OK;
    //SINAL DE LUZ VERMELHA
    #TEMP_LIGHT_RED := NOT #PACKAGE_OK OR #IN_SIGNAL_DOOR_OPENED ;
    //ABRE TRINCO SE CAIXA COMPLETA
    IF #COUNTER_PACKAGE_PIECES >= #BOX_FULL_NUMBER_PARTS OR
#HMI_AUTH_OPEN_DOOR THEN
        #AUTH_OPEN_DOOR := TRUE;
    END_IF;
    //FECHA TRINCO QUANDO SE FECHA PORTA
    IF NOT #IN_SIGNAL_DOOR_OPENED AND #FSIGNAL_DOOR_OPENED THEN
        #AUTH_OPEN_DOOR := FALSE;
    //RESET DE CONTADOR DE PEÇAS EMBALADAS AO FECHAR A PORTA
    IF #COUNTER_PACKAGE_PIECES >= #BOX_FULL_NUMBER_PARTS THEN
        #COUNTER_PACKAGE_PIECES := 0;
    END_IF;
END_IF;

```

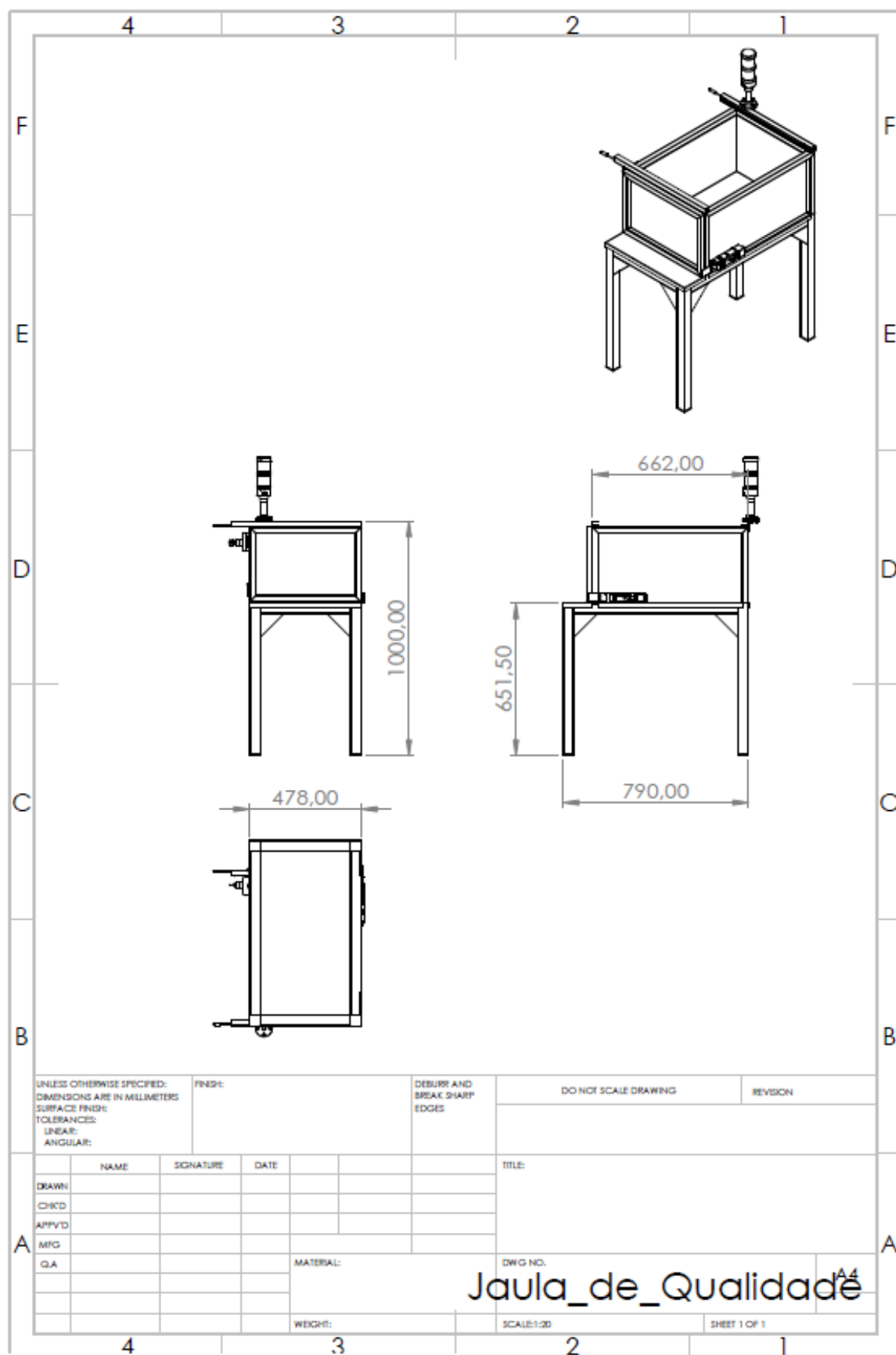
```

//CHAMAR ECRAN NA HMI
//BIT DE TRIGGER PARA CHAMAR ECRAN
#HMI_SHOW_SCREEN:=#BARRIER_RULE_BREAK OR
#IN_SIGNAL_DOOR_OPENED OR #AUTH_OPEN_DOOR;
//CHAMAR ECRAN
IF #HMI_SHOW_SCREEN AND NOT #FHMI_SHOW_SCREEN THEN
#HMI_SCREEN_CHANGE[0] := 35;
END_IF;
IF NOT #HMI_SHOW_SCREEN AND #FHMI_SHOW_SCREEN THEN
#HMI_SCREEN_CHANGE[0] := 20;
END_IF;
//FLANC UPDATE
#FSIGNAL_BARRIER := #IN_SIGNAL_BARRIER;
#FSIGNAL_DOOR_OPENED := #IN_SIGNAL_DOOR_OPENED;
#FSIGNAL_CHAVE := #IN_CHAVE;
#FADD_PACKAGE_PIECE := #HMI_ADD_PACKAGE_PIECE;
#FSUB_PACKAGE_PIECE := #HMI_SUB_PACKAGE_PIECE;
#FPIECE_UNBLOCK := #AUTH_UNBLOCK_PART;
#FHMI_SHOW_SCREEN := #HMI_SHOW_SCREEN;
#FDEBOUNCE_TIMER := #SIGNAL_BARRIER_DEBOUNCE_TIMER.Q;
END_FUNCTION_BLOCK

```

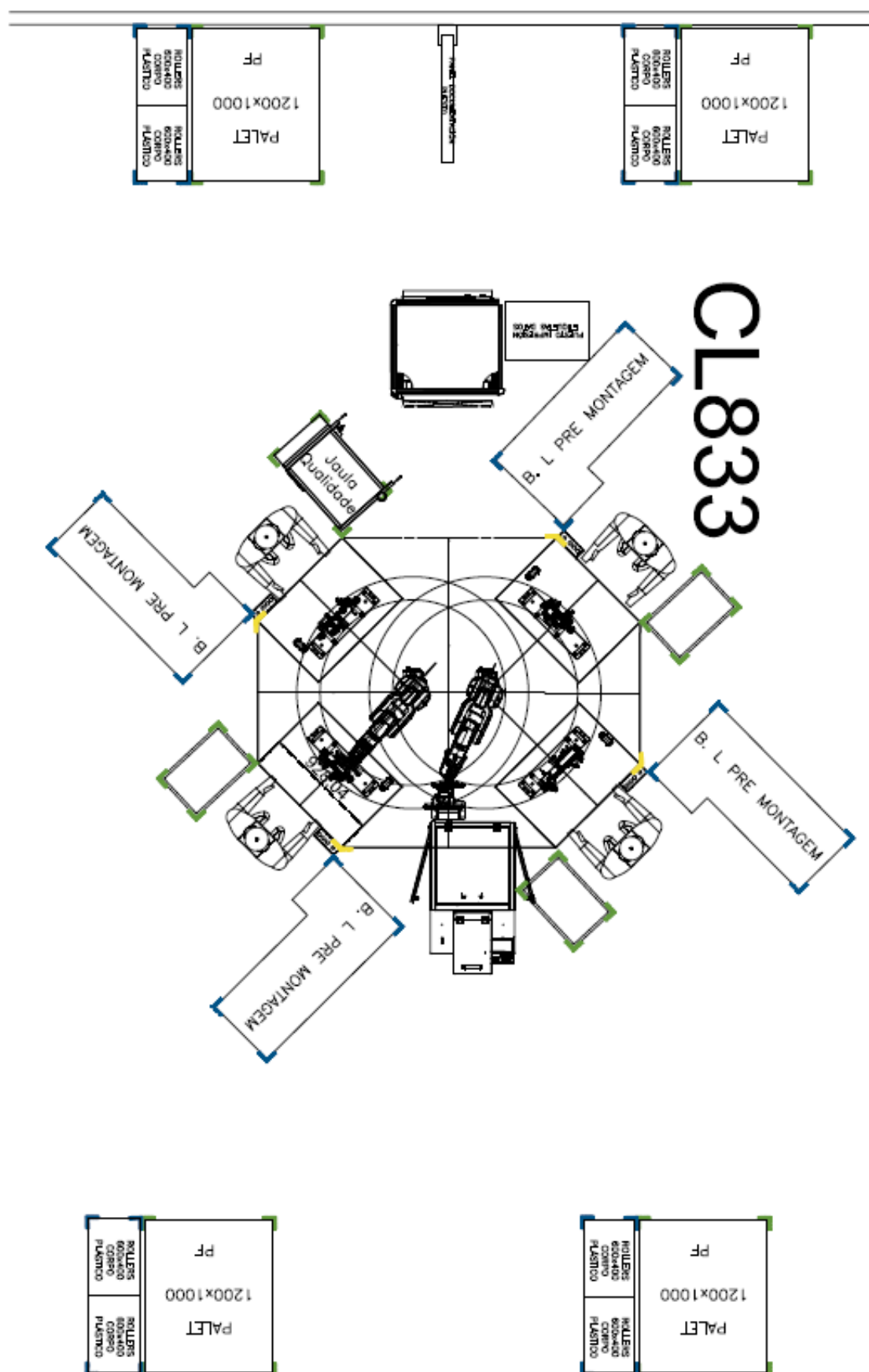


APÊNDICE III – DESENHO 3D



OLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

APÊNDICE IV – DESENHO 2D



APÊNDICE V – LAYOUT JAULA DE QUALIDADE