

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

PIETRO ZAPANI

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA SEMIAUTOMATIZADA
PARA MONTAGEM DE PARA CHOQUES COM IDENTIFICAÇÃO E
SELEÇÃO INTELIGENTE DE RECEITAS PROGRAMÁVEIS**

FLORIANÓPOLIS, 2026.

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

PIETRO ZAPANI

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA SEMIAUTOMATIZADA
PARA MONTAGEM DE PARA CHOQUES COM IDENTIFICAÇÃO E
SELEÇÃO INTELIGENTE DE RECEITAS PROGRAMÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecatrônica do campus Florianópolis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador:
Prof. Jean Paulo Rodrigues, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2026.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Zapani, Pietro

Desenvolvimento de uma Bancada Semiautomatizada para Montagem de Para Choque com Identificação e Seleção Inteligente de Receitas Programáveis / Pietro Zapani; orientação de Jean Paulo Rodrigues. - Florianópolis, SC, 2026.

88 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.

Inclui Referências.

1. Receitas Programáveis. 2. Controle via IHM. 3. Integração com CLP. 4. Montagem Automatizada. 5. Identificação por código de barras. I. Paulo Rodrigues, Jean. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Desenvolvimento de uma Bancada Semiautomatizada para Montagem de Para Choque com Identificação e Seleção Inteligente

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA SEMIAUTOMATIZADA PARA
MONTAGEM DE PARA CHOQUES COM IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO
INTELIGENTE DE RECEITAS PROGRAMÁVEIS**

PIETRO ZAPANI

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, 24 de Janeiro, 2026.

Banca Examinadora:

Jean Paulo Rodrigues, Dr. Eng.

Cassiano Bonin, MSc. Eng.
IFSC

Gregory Chagas da Costa Gomes, MSc. Eng.
IFSC

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e implementação de uma bancada de montagem semiautomatizada para a parte frontal de veículos, utilizando um Controlador Lógico Programável e uma Interface Homem-Máquina com receitas programáveis. O objetivo do projeto é proporcionar um sistema flexível e eficiente, capaz de gerenciar automaticamente os parâmetros operacionais de montagem. Diferentemente das abordagens convencionais, nas quais a receita programável é selecionada previamente por um ID numérico, este sistema adota uma solução inovadora, carregando a receita correspondente ao código de barras lido na peça. A maior dificuldade encontrada foi desenvolver um método para buscar a receita não pelo seu ID tradicional, mas sim pelo código de identificação já existente na fábrica. Como os sistemas convencionais acessam receitas de forma sequencial, foi necessário criar uma estrutura que permitisse ao CLP interpretar o valor do código de barras e associá-lo corretamente à receita correspondente. O método empregado envolveu a criação e configuração das receitas programáveis na IHM, o desenvolvimento da lógica de controle no CLP, a integração dos dispositivos de automação e a implementação de um sistema de verificação de segurança para assegurar a correta execução do processo. O ciclo de operação inicia-se com a fixação pneumática da peça, que permanece estável durante toda a montagem. Após a conclusão das etapas de montagem e parafusamento, o sistema só permite a liberação da peça e o reset das variáveis mediante o acionamento do botão de fim de ciclo pelo operador, garantindo a integridade do processo. Os testes experimentais demonstraram que o sistema é eficiente e confiável, reduzindo significativamente o tempo de setup, minimizando erros operacionais e aumentando a padronização da produção. A abordagem proposta melhora a rastreabilidade e a repetibilidade do processo, tornando a montagem mais segura e automatizada. Como resultado, a solução desenvolvida oferece uma alternativa viável para a otimização de processos industriais, permitindo maior adaptabilidade a diferentes demandas produtivas e reforçando o uso de tecnologias de automação na manufatura veicular.

Palavras-chave: Receitas Programáveis. Controle via IHM. Integração com CLP. Montagem Automatizada. Identificação por Código de Barras.

ABSTRACT

This work presents the development and implementation of an semiautomated assembly workstation for the front section of vehicles, utilizing a Programmable Logic Controller (PLC) and a Human-Machine Interface (HMI) with programmable recipes. The objective of this project is to provide a flexible and efficient system capable of automatically managing the operational parameters of the assembly process. Unlike conventional approaches, where the programmable recipe is pre-selected using a numerical ID, this system adopts an innovative solution by loading the corresponding recipe based on the barcode read from the part. The biggest challenge encountered was developing a method to retrieve the recipe not by its traditional ID but rather by the pre-existing identification code used in the factory. Since conventional systems access recipes sequentially, it was necessary to create a structure that allows the PLC to interpret the barcode value and correctly associate it with the corresponding recipe. The methodology involved the creation and configuration of programmable recipes in the HMI, the development of control logic in the PLC, the integration of automation devices, and the implementation of a safety verification system to ensure the correct execution of the process. The operational cycle begins with the pneumatic fixation of the part, keeping it stable throughout the entire assembly process. After completing all assembly and fastening steps, the system only allows the release of the part and the reset of variables upon the operator pressing the end-of-cycle button, ensuring process integrity. Experimental tests demonstrated that the system is efficient and reliable, significantly reducing setup time, minimizing operational errors, and increasing production standardization. The proposed approach improves traceability and repeatability, making the assembly process safer and more automated. As a result, the developed solution offers a viable alternative for optimizing industrial processes, allowing greater adaptability to different production demands and reinforcing the use of automation technologies in vehicle manufacturing.

Keywords: Programmable Recipes. HMI Control. PLC Integration. Automated Assembly. Barcode Identification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 - Bastonetes de EVA no protótipo da bancada	34
Figura 5.2 - Protótipo final da bancada com peça posicionada	35
Figura 5.3 - CLP Siemens utilizado no projeto	37
Figura 5.4 - IHM KTP700.....	37
Figura 5.5 - Software TIA Portal	38
Figura 5.6 - Fluxograma simplificado da lógica de controle da bancada.....	40
Figura 5.7 - Peça posicionada na etapa de concepção da Bancada.....	41
Figura 5.8 - Tela de peça carregada e posicionada	42
Figura 5.9 - Etapa de parafusamento em andamento com IHM simulada	43
Figura 5.10 Bancada com peça travada.....	44
Figura 5.11 - Network de leitura do valor do código de barras	48
Figura 5.12 - Tela Inicial da IHM	51
Figura 5.13 - Tela da IHM com modelo 226 em andamento	51
Figura 5.14 - Tela de Edição de receitas da IHM	53
Figura 5.15 - Tela de edição de receitas secundária.....	53
Figura 5.16 - Tela de programação das receitas no TIA Portal.....	55
Figura 5.17 - Elementos das receitas com respectivas tags do CLP	56
Figura 5.18 - Parametrização dos dados da receita.....	56
Figura 5.19 - Tags da IHM e CLP.....	57
Figura 5.20 - Network do carregamento da receita	58
Figura 5.21 - Funções atreladas ao Value Change da variável "Carrega_Receita" ..	58
Figura 5.22 - Flag de confirmação do modelo de carro.....	61
Figura 5.23 - Variável de condição de visibilidade de parafusamentos da etapa atual	62
Figura 5.24 – Variável de visibilidade dos parafusamentos da etapa.....	62
Figura 5.25 – Animação de status do sensor com indicador de cores	64
Figura 5.26 - Tela da IHM para código de barras não reconhecido	66
Figura 5.27 - Tela inicial da IHM.....	66
Figura 5.28 - Tela após leitura de peça correta.....	67
Figura 5.29 – Tela da IHM quando não são necessários nenhum parafusamento na peça	68
Figura 5.30 - Tela da IHM com um único parafusamento em andamento.....	69
Figura 5.31 - Tela da IHM com dois parafusamento em andamento.....	70

Figura 5.32 - Tela da IHM com parafusamento em andamento e uma etapa concluída.....	71
Figura 6.1 - Representação das “Enhanced Recipes”	76
Figura 6.2 - Representação das “Recipes”	77
Figura 6.3 - Configuração principal do Barcode Input	78
Figura 6.4 - Configuração de detalhes do Barcode Input	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Vantagens e Desvantagens das tecnologias para identificação da peça	27
Tabela 4.2 - Vantagens e Desvantagens das tecnologias de posicionamento da peça	28
Tabela 4.3 - Vantagens e Desvantagens das tecnologias de fixação da peça	29
Tabela 4.4 - Vantagens e Desvantagens das tecnologias de parafusamento.....	31
Tabela 4.5 - Vantagens e desvantagens das tecnologias de interface do operador	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
CLP	Controlador Lógico Programável
IHM	Interface Homem-Máquina
LADDER	Linguagem de Programação Ladder
RS-232	Recommended Standard 232
TIA PORTAL	Totally Integrated Automation Portal
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
DOPSoft	Delta Operator Panel Software
ISPSOft	Industrial System Programmable Software
PN	Part Number
DB	Data Block
PTP	Point-to-Point
CPU	Central Processing Unit
USB	Universal Serial Bus
ID	Identifier

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Definição do Problema	14
1.3	Objetivo Geral.....	15
1.4	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	Controladores Lógico-Programáveis (CLPs).....	17
2.2	Interface Homem-Máquina (IHM)	18
2.3	Receitas Programáveis.....	19
3	ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS.....	20
3.1	Identificação da peça	21
3.2	Posicionamento da peça	22
3.3	Fixação da peça	23
3.4	Parafusamentos	23
3.5	Interface do Operador.....	24
4	ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS/SELEÇÃO DOS COMPONENTES	26
4.1	Identificação da peça	26
4.2	Posicionamento da peça	27
4.3	Fixação da peça	28
4.4	Parafusamentos	30
4.5	Interface do Operador.....	31
5	IMPLEMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA BANCADA DE MONTAGEM.....	33
5.1	Componentes mecânicos.....	33
5.2	Elétrica	36
5.3	Seleção do sistema de controle.....	36
5.4	Descrição do sistema	38
5.4.1	Inicialização da máquina	41
5.4.2	Leitura de código de barras e sensor de posição.....	41
5.4.3	Etapa de parafusamento	43
5.5	Programação	45
5.5.1	Programação do CLP	45
5.5.1.1	<i>Inicialização da Máquina.....</i>	<i>45</i>
5.5.1.2	<i>Identificação da peça e sinalização para carregamento de receitas</i>	<i>47</i>
5.5.1.3	<i>Confirmação do modelo e transição para o estado de montagem.....</i>	<i>49</i>
5.5.1.4	<i>Controle do Parafusamento Automatizado.....</i>	<i>49</i>
5.5.2	Programação da IHM	50
5.5.3	Elaboração das Receitas	54
5.6	Implementação de Receitas Programáveis.....	57
5.7	Programação de telas da IHM	60
5.7.1	Funcionamento das animações e lógica de exibição na IHM.....	60
5.8	Resultados experimentais.....	64
5.8.1	Procedimento de validação inicial	65
5.8.2	Verificação sequencial das etapas de montagem	67
5.8.3	Restabelecimento das condições iniciais	71

6	VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO EM DIFERENTES PLATAFORMAS	72
6.1	Elementos da solução independente de fabricante	72
6.1.1	Estrutura de controle parametrizável por receitas	73
6.1.2	Identificador como chave de seleção da parametrização	73
6.1.3	Organização do sistema por estados ou etapas	74
6.2	Implementação da solução em CLP Delta	74
6.2.1	Plataforma e ambiente de desenvolvimento	75
6.2.2	Aplicação da estrutura de controle parametrizável por receitas	75
6.2.2.1	<i>Associação dos códigos de barras as receitas</i>	78
6.3	Aplicação do sistema por etapas ou estados	79
6.4	Análise Comparativa entre as plataformas	80
6.4.1	Comparação da integração do sistema de identificação	81
6.4.2	Diferenças na implementação das receitas	82
6.4.3	Mecanismos de carregamento das receitas	83
6.4.4	Considerações da análise comparativa	84
7	CONCLUSÃO	86
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE A – Esquemas elétricos	90
	APÊNDICE B – Trechos relevantes da programação em linguagem ladder	94
	ANEXO A – Normas internas de segurança e diretrizes HSE da empresa	103

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica na engenharia mecatrônica tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas de automação cada vez mais inteligentes, eficientes e adaptáveis, voltados à otimização de processos industriais e à garantia da qualidade nos produtos finais. Nesse contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso propõe a implementação de uma bancada de montagem semiautomatizada com interface homem-máquina, aplicada ao ambiente de uma linha de montagem veicular, a partir de uma demanda industrial real identificada durante o período de estágio do autor na empresa LITMA.

O projeto se destaca pela adoção de receitas programáveis como elemento central para a configuração e personalização do processo produtivo. As receitas consistem em conjuntos padronizados de parâmetros previamente definidos, que determinam de forma consistente como cada peça deve ser montada. Esses conjuntos reúnem tanto informações de identificação da peça quanto variáveis que influenciam diretamente na execução do processo, como a habilitação de etapas de montagem, o número de parafusamentos a serem realizados e a habilitação das parafusadeiras envolvidas. Uma vez definida, cada receita pode ser aplicada repetidamente, assegurando que o mesmo conjunto de operações e condições de processo seja reproduzido de forma idêntica sempre que a respectiva peça for processada. Essa abordagem amplia significativamente a flexibilidade do sistema, permitindo a adaptação a diferentes configurações de montagem de forma rápida e estruturada, sem a necessidade de alterações diretas na lógica de programação do controlador.

A utilização de receitas programáveis desloca a parametrização do processo do ambiente de engenharia para o ambiente operacional, favorecendo a manutenção, a rastreabilidade e a redução do tempo de setup. Dessa forma, ajustes de produção podem ser realizados por meio da IHM, sem a dependência de softwares proprietários ou da intervenção direta de um programador, o que contribui para a robustez e a escalabilidade do sistema no contexto industrial.

O desenvolvimento do projeto envolveu desde a concepção mecânica da bancada até a implementação do sistema de controle e da interface gráfica com o operador, passando por etapas de testes e validação do funcionamento. A integração

entre CLP e IHM foi definida de modo a facilitar a operação, reforçar os aspectos de segurança do processo e assegurar um fluxo de trabalho claro e intuitivo para o usuário final.

Dessa forma, este trabalho busca demonstrar a viabilidade técnica e os benefícios de uma bancada semiautomatizada com controle orientado por receitas, contribuindo para a modernização de processos industriais e apresentando uma solução flexível, manutenível e adequada às demandas atuais dos sistemas de produção.

1.1 Justificativa

A proposta de utilizar receitas programáveis como estratégia de controle em sistemas baseados em Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) representa uma abordagem alinhada às demandas atuais da automação industrial, ao priorizar flexibilidade, manutenibilidade e padronização do processo produtivo. Ainda que CLPs modernos disponham de capacidade computacional e de memória suficientes para aplicações complexas, a centralização excessiva de parâmetros diretamente na lógica de controle tende a dificultar a manutenção, a adaptação do sistema e a operação em ambientes industriais dinâmicos.

Nesse contexto, a abordagem adotada neste projeto consiste na separação entre a lógica de controle e a parametrização do processo, utilizando receitas carregadas sob demanda conforme o fluxo de produção. Essa troca de informações é realizada por meio de mecanismos de comunicação estruturados entre a IHM e o CLP, garantindo que os dados sejam transferidos de forma controlada, sincronizada e segura. Essa arquitetura permite que parâmetros operacionais, habilitação de ferramentas e sequências de montagem sejam alterados por meio da interface homem-máquina, sem a necessidade de acesso ao software de engenharia ou de modificações diretas no programa do CLP, promovendo maior autonomia ao setor de produção e manutenção.

Além de favorecer a organização e a rastreabilidade das informações do processo, essa estratégia contribui para a redução do tempo de setup e para a rápida adaptação a diferentes modelos de produto ou requisitos de fabricação. Dessa forma,

o sistema torna-se mais escalável do ponto de vista funcional, mantendo a robustez da lógica de controle e facilitando futuras expansões ou ajustes operacionais.

Do ponto de vista acadêmico, o desenvolvimento e a análise dessa arquitetura evidenciam a aplicação prática de conceitos de engenharia de automação voltados à modularização e à separação de responsabilidades entre controle e parametrização. A pesquisa demonstra como decisões arquiteturais adequadas podem aumentar a eficiência, a flexibilidade e a confiabilidade de sistemas automatizados, sem a necessidade de alterações estruturais no hardware de controle.

Sob a perspectiva da viabilidade econômica, a utilização de receitas programáveis contribui para a redução de custos operacionais ao minimizar paradas para ajustes, retrabalhos e dependência de recursos especializados. Ao permitir maior adaptabilidade às variações de demanda e configuração de produto, essa abordagem se consolida como uma solução tecnicamente viável, economicamente eficiente e alinhada às práticas modernas da automação industrial.

1.2 Definição do Problema

A crescente complexidade dos processos de montagem automotiva demanda soluções eficazes para o gerenciamento de dados e o controle das operações automatizadas. Neste trabalho, um dos principais desafios enfrentados foi lidar com a grande diversidade de peças e códigos de barras utilizados na linha de montagem, cada um associado a um conjunto de variáveis específicas. Esses dados incluem informações essenciais como sequências operacionais, quantidades de parafusamentos, valores de torque e o modelo de veículo correspondente, tornando o gerenciamento dessas informações um aspecto crítico do sistema de automação.

Diante desse cenário, adotou-se como solução o uso de receitas programáveis armazenadas na IHM, permitindo a separação entre a lógica de controle e a parametrização do processo. Essa abordagem possibilita a gestão dinâmica das informações, na qual apenas os dados relevantes para o modelo em produção são carregados para o CLP no momento adequado do ciclo.

A implementação dessa estratégia exigiu atenção especial à configuração e integração entre CLP e IHM. Foi necessário estruturar corretamente as variáveis de

dados, garantir a comunicação confiável entre os dispositivos e assegurar que a leitura e o carregamento das receitas ocorressem de forma sincronizada com as etapas do processo de montagem. Esse desenvolvimento resultou em uma lógica robusta, capaz de gerenciar diferentes fluxos de produção sem a necessidade de reprogramações manuais no controlador.

Assim, o desenvolvimento do projeto foi além da construção de uma bancada de montagem semiautomatizada, contemplando também a definição de uma arquitetura eficiente para o gerenciamento de dados no ambiente industrial. Essa solução assegura que o sistema opere de forma confiável, flexível e adaptável às diferentes configurações exigidas pelos modelos de veículos, atendendo às demandas atuais dos sistemas de produção automatizados.

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver e implementar uma bancada de montagem semiautomatizada voltada à montagem da parte frontal de veículos, integrando um sistema de controle baseado em Controlador Lógico Programável e Interface Homem-Máquina, com a utilização de receitas programáveis como estratégia para a organização, parametrização e adaptação do processo de montagem. O sistema contempla a identificação automática das peças por meio da leitura de códigos de barras, possibilitando o carregamento dinâmico da receita correspondente de forma precisa, flexível e adequada às diferentes configurações de produto.

1.4 Objetivos Específicos

- a) Estruturar receitas programáveis na IHM, permitindo a parametrização do processo de montagem de forma organizada, flexível e independente da lógica de controle do CLP.
- b) Desenvolver a lógica de controle no CLP, assegurando a correta aquisição dos sinais dos sensores, o acionamento adequado dos atuadores e a comunicação eficiente com os demais dispositivos do sistema.

- c) Implementar um sistema de identificação automática das peças por meio da leitura do código de barras, permitindo o carregamento dinâmico das variáveis de montagem e a seleção correta da receita programável.
- d) Integrar o CLP e a IHM para garantir que as receitas programáveis sejam corretamente carregadas, armazenadas e acessadas durante o processo de montagem.
- e) Validar o funcionamento do sistema por meio de testes experimentais, verificando a confiabilidade da leitura das peças, a comunicação entre os dispositivos e a correta associação das receitas programáveis com base na identificação do código de barras.
- f) Implementar a solução desenvolvida em controladores lógicos programáveis de fabricantes distintos, especificamente Siemens e Delta, a fim de comprovar a portabilidade e a independência da arquitetura de controle proposta.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais que embasam o desenvolvimento do projeto, incluindo a automação industrial, o uso de controladores CLPs e receitas programáveis. A compreensão dessas tecnologias é essencial para a justificativa das soluções implementadas na bancada de montagem semiautomatizada.

2.1 Controladores Lógico-Programáveis (CLPs)

Os Controladores Lógico-Programáveis foram criados para substituir painéis repletos de relés e temporizadores, concentrando a lógica de comando em um único equipamento robusto e facilmente reconfigurável. Na prática, isso reduziu as paradas de máquina e aumentou significativamente a flexibilidade dos processos de manufatura (BOLTON, 2015).

De acordo com a Delta Electronics (2017), a arquitetura típica de um CLP reúne três blocos principais: a CPU, onde a lógica é executada, os módulos de entrada/saída, que isolam e convertem os sinais de campo e a interface de programação, responsável pelo carregamento e diagnóstico do programa de controle. Essa estrutura modular permite expandir facilmente o número de pontos I/O ou adicionar protocolos industriais como Modbus-RTU e Profinet sem alterar o hardware central.

Durante o ciclo de varredura, o CLP primeiro amostra as entradas digitais ou analógicas, depois executa todas as instruções do usuário e, por fim, atualiza as saídas. O tempo total desse ciclo costuma ficar entre 1 ms e 10 ms, o que garante intertravamentos confiáveis e respostas quase em tempo real mesmo em aplicações críticas (BOLTON, 2015).

De acordo com Chagas (2020) e manuais da Siemens (2024), a escolha do CLP deve levar em conta o tempo de varredura, número e tipo de entradas e saídas, possibilidade de expansão e a compatibilidade com protocolos industriais. Em aplicações com variáveis analógicas críticas, módulos de 16 bits são recomendados; já em sistemas discretos, prioriza-se a robustez das saídas digitais e recursos de diagnóstico rápido.

2.2 Interface Homem-Máquina (IHM)

A IHM estabelece a ponte entre o operador e o sistema semiautomatizado, possibilitando a supervisão e o envio de comandos por meio de uma interface gráfica (OLIVEIRA, 2016). Por meio desse recurso, dados provenientes do CLP são convertidos em indicadores gráficos, alarmes e botões virtuais, permitindo decisões rápidas e seguras na linha de produção.

Segundo o mesmo autor, a interação ocorre de forma cíclica: a IHM lê os registradores do CLP em tempo real, atualiza os elementos gráficos conforme os valores recebidos e, quando o operador realiza uma ação na tela, transmite o comando correspondente ao controlador. Esse mecanismo bidirecional viabiliza ações como alteração de set-points, reconhecimento de alarmes e execução de rotinas de partida ou parada, sem a necessidade de intervenção direta no painel elétrico.

Com a evolução da automação, as IHMs deixaram de ser painéis simples com lâmpadas-piloto e chaves seletoras, passando a incorporar telas sensíveis ao toque, funções de receitas, armazenamento de dados, gráficos de tendência e conectividade remota via redes industriais (PEREIRA, 2017). Modelos recentes já integram processadores dedicados, protocolos Ethernet nativos e suporte a browsers HTML5, possibilitando inclusive a supervisão por dispositivos móveis.

Os fabricantes oferecem diferentes categorias de IHMs conforme a complexidade do processo. A Delta Electronics, por exemplo, disponibiliza terminais OIT de baixo custo para aplicações discretas e interfaces Embedded com telas de 7" a 15" e processadores ARM, adequadas a processos que exigem gráficos detalhados e múltiplos protocolos de comunicação (DELTA, 2024). Já aplicações que demandam alta resolução, grande volume de armazenamento e lógica personalizada optam por IHMs baseadas em PC integradas a sistemas SCADA, solução que, apesar de mais onerosa, oferece flexibilidade praticamente ilimitada.

Portanto, a escolha da IHM deve considerar a quantidade de variáveis monitoradas, a frequência de atualização necessária, os protocolos suportados pelo CLP, a necessidade de acesso remoto e o orçamento disponível para hardware,

licenças e manutenção. Quando esses fatores estão alinhados, a IHM se torna mais que um painel de controle: ela se consolida como um componente estratégico para a eficiência e a confiabilidade do sistema semiautomatizado.

2.3 Receitas Programáveis

Segundo a SIMATIC Application Example “Creating a Standard Recipe View and Recipe Screen” (SIEMENS, 2021), as receitas eletrônicas concentram, em blocos de dados do CLP, todos os parâmetros necessários a cada produto ou lote; desse modo, o operador alterna de um conjunto de valores para outro através da IHM, sem alterar o programa e sem parar a linha. A tela de receitas lê o bloco no controlador, carrega a nova combinação de pressões, temperaturas, tempos e variáveis referentes ao processo e devolve confirmação em poucos segundos, tudo pela mesma rede industrial utilizada pela supervisão.

Em projetos de máquinas seriadas, a própria Siemens relata que a troca de receitas reduz em até 60 % o tempo de setup quando comparada a ajustes manuais, além de eliminar variações de turno e diminuir erros de parametrização. Isso se traduz em maior disponibilidade do equipamento e padronização da qualidade final.

Abordagens industriais contemporâneas também destacam o uso de arquiteturas orientadas por receitas como estratégia para aumento de produtividade, padronização e redução de erros operacionais em sistemas de produção flexíveis (ROCKWELL AUTOMATION, 2024).

Para garantir confiabilidade, o procedimento recomendado inclui validar limites antes do envio, registrar versões em memória não volátil e adotar handshake entre IHM e CPU, falhas nesse fluxo podem aplicar valores incorretos e comprometer segurança e qualidade.

Receitas Siemens são hoje rotina em engarrafadoras, fornos de atmosfera controlada, linhas de montagem automotiva e sistemas de brasagem de cervejarias, onde um único CLP executa dezenas de estilos apenas trocando o arquivo de receita, mantendo repetibilidade e minimizando desperdícios (SIEMENS, 2021).

3 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

A bancada de montagem semiautomatizada projetada para a montagem da parte frontal de veículos é um equipamento fundamental no processo de produção automotiva, otimizada para garantir a qualidade e a eficiência na fabricação. Essa bancada deve possuir a capacidade de acomodar uma variedade de modelos de carros, oferecendo uma configuração que permite diferentes tamanhos e formatos de peças frontais.

Um dos requisitos essenciais da bancada é a habilidade de identificar individualmente cada peça que será montada. O processo de identificação é crucial para garantir que as configurações específicas de montagem sejam aplicadas corretamente a cada componente, assegurando que os ajustes necessários sejam feitos conforme as especificações de cada peça. Isso é vital para manter a integridade e a precisão do processo de montagem.

A bancada também precisa garantir a fixação eficaz das peças durante o processo de montagem. O sistema de fixação projetado deve ser capaz de manter cada peça firmemente no lugar, evitando qualquer movimento que possa comprometer a precisão da montagem ou causar danos aos componentes ou ao veículo. Além disso, deve haver um mecanismo de verificação integrado que confirme que cada peça esteja corretamente fixada antes de prosseguir para as próximas etapas, garantindo a segurança e a estabilidade de todos os componentes durante a montagem.

Outro requisito funcional crítico é que a bancada permita ao operador executar até quatro tipos diferentes de parafusamento, cada um com seus respectivos torques e tamanhos de parafuso. Esta capacidade deve oferecer ajustes precisos para atender às especificações de cada montagem, não apenas melhorando a eficácia da fixação, mas também adequando-se aos diversos padrões de montagem exigidos por diferentes modelos e peças.

Por fim, é indispensável que a bancada disponibilize ao operador uma interface clara e eficaz, capaz de mostrar em tempo real informações vitais do processo de montagem, como o modelo do carro em montagem, o número de parafusamentos realizados e o status dos sensores de fixação. A interface pode ser

uma tela de computador, um painel de LED, ou sistemas de sinalização visual, e deve permitir que o operador monitore o progresso da montagem, confirme a precisão dos processos e responda prontamente a quaisquer necessidades de ajuste ou correções.

3.1 Identificação da peça

Ao projetar o sistema de identificação de peças em uma bancada de montagem, é essencial garantir que cada peça seja identificada de forma precisa e eficiente, assegurando que o processo de montagem seja conduzido com base nas características corretas de cada item. A identificação adequada é crucial para carregar automaticamente as variáveis de montagem específicas, como o modelo da peça, número de parafusamentos e sequência de operações, garantindo que o processo seja ajustado de acordo com as necessidades de cada componente.

É importante considerar a forma como a identificação será realizada, assegurando que o método escolhido seja compatível com o ambiente de produção e as condições da linha de montagem. O sistema de identificação deve ser capaz de operar em ritmo acelerado e com alta precisão, evitando erros que possam comprometer a eficiência e a qualidade do produto final. A resistência ao desgaste e à sujeira, comum em ambientes industriais, também deve ser avaliada para garantir que a identificação funcione de forma confiável em longo prazo.

Outro ponto essencial é a integração desse sistema com o CLP e outros dispositivos de controle. O processo de identificação deve ser automatizado, permitindo que, ao reconhecer uma peça, o sistema ajuste automaticamente os parâmetros de montagem e dê início ao processo sem necessidade de intervenção manual.

Além disso, a rastreabilidade é um aspecto importante a ser considerado. O sistema deve ser capaz de registrar e armazenar as informações referentes à identificação de cada peça, permitindo monitoramento e auditoria do processo, o que é especialmente importante em linhas de produção com alta exigência de controle de qualidade. A escolha do método ideal para identificação deve, portanto, equilibrar precisão, resistência, automação e rastreabilidade, assegurando que o sistema

atenda às exigências da produção e contribua para a eficiência e segurança do processo de montagem.

3.2 Posicionamento da peça

Ao desenvolver um sistema de posicionamento para peças em uma bancada de montagem, é fundamental garantir que cada peça seja corretamente alinhada e fixada antes do início do processo. O posicionamento preciso é essencial para assegurar que todas as operações subsequentes, como o parafusamento ou aplicação de componentes, sejam executadas com a máxima precisão, evitando erros que possam comprometer a qualidade do produto final.

É necessário considerar como o sistema de posicionamento será adaptável às variações de tamanho e forma das peças, especialmente em linhas de montagem que operam com múltiplos modelos de produtos. O sistema deve ser capaz de ajustar-se rapidamente e com precisão para diferentes tipos de peças, minimizando o tempo de setup e aumentando a eficiência da produção. O uso de mecanismos de ajuste automáticos ou semiautomáticos pode contribuir para essa flexibilidade.

Outro ponto crítico é a integração de sensores que garantam que a peça esteja corretamente posicionada antes que o processo de montagem seja iniciado. Esses sensores podem verificar a presença, alinhamento e fixação adequados da peça, prevenindo o avanço do ciclo de montagem em caso de posicionamento incorreto. Essa verificação automática evita falhas no processo e assegura que as operações só sejam realizadas quando a peça estiver corretamente colocada.

Além disso, o sistema de posicionamento deve ser robusto o suficiente para suportar as condições do ambiente industrial, como vibrações, poeira e umidade. O equipamento precisa garantir que a peça permaneça estável durante todo o processo, sem deslizamentos ou movimentos que possam interferir no resultado da montagem.

3.3 Fixação da peça

A fixação das peças na bancada de montagem é um aspecto crucial para garantir a precisão e a segurança do processo. O sistema de fixação precisa ser robusto o suficiente para manter as peças firmemente posicionadas durante toda a operação, evitando movimentos que possam comprometer a qualidade da montagem. Além disso, a bancada deve ser flexível para se adaptar a quatro modelos específicos: 226 Fiat Toro, 521 Jeep Renegade, 551 Jeep Compass e 598 Jeep Commander. Isso exige que o sistema possa ajustar-se rapidamente a diferentes tamanhos e formatos de peças, minimizando o tempo de setup e maximizando a eficiência da linha de produção.

Outro fator importante é a infraestrutura necessária para o funcionamento do sistema de fixação, que pode incluir a utilização de ar comprimido ou sistemas eletrônicos de controle. O nível de automação também deve ser considerado, já que soluções automatizadas podem reduzir a intervenção manual, mas exigem maior investimento tecnológico. Além disso, a segurança deve ser priorizada, garantindo que o sistema de fixação impeça a movimentação da peça até o final do ciclo, protegendo tanto o operador quanto a peça.

Em resumo, a escolha do sistema de fixação para essa bancada deve equilibrar robustez, flexibilidade, automação e custo, assegurando que o processo de montagem seja eficiente e que a bancada atenda perfeitamente às necessidades dos quatro modelos de veículos.

3.4 Parafusamentos

Ao planejar o processo de parafusamento das peças em uma bancada de montagem, é essencial considerar fatores como precisão, controle de torque e automação. O controle adequado do torque é fundamental para garantir que os parafusos sejam aplicados com a força correta, evitando tanto o aperto excessivo quanto o insuficiente, que podem comprometer a qualidade e a durabilidade do produto final. O sistema de parafusamento deve ser capaz de oferecer confiabilidade,

rastreabilidade e, se necessário, feedback automático sobre o torque aplicado, assegurando que cada fixação seja registrada e verificada.

Além disso, é importante avaliar o nível de automação desejado no processo. Sistemas mais automatizados podem garantir maior precisão e repetibilidade, minimizando a intervenção manual e, conseqüentemente, o risco de erros humanos. Isso é particularmente relevante em ambientes de produção em larga escala, onde inconsistências no torque ou na sequência de parafusamentos podem gerar problemas de qualidade. Por outro lado, processos menos automatizados podem exigir que o operador ajuste manualmente o torque e confie na própria habilidade para garantir uma fixação adequada, o que pode ser aceitável em situações de menor demanda por precisão.

3.5 Interface do Operador

Ao projetar a interface do operador em uma bancada de montagem, é crucial considerar fatores como a simplicidade de uso, a quantidade de informações que precisam ser exibidas e a durabilidade do equipamento no ambiente industrial. A interface deve ser capaz de fornecer informações essenciais ao operador de maneira clara e em tempo real, como o status dos sensores, o número de parafusamentos realizados e outras variáveis operacionais importantes.

A capacidade de personalização também é fundamental, permitindo que a interface seja ajustada conforme as necessidades específicas da linha de montagem. Isso inclui a exibição de gráficos, sequências de montagem e até o ajuste de parâmetros diretamente pela interface. O nível de detalhamento das informações exibidas deve ser proporcional à complexidade do processo, garantindo que o operador tenha acesso a todos os dados necessários para uma operação eficiente e precisa.

Outro aspecto a ser considerado é a resistência da interface aos desafios típicos de ambientes industriais, como poeira, umidade e vibrações. A interface deve ser robusta o suficiente para suportar essas condições sem comprometer a funcionalidade. Além disso, é importante que o sistema seja intuitivo, permitindo que o operador interaja de forma fácil e rápida, reduzindo o tempo de treinamento e

evitando erros operacionais. A interface ideal equilibra eficiência, durabilidade e facilidade de uso, garantindo que o processo de montagem seja executado com precisão e segurança.

4 ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS/SELEÇÃO DOS COMPONENTES

A escolha dos componentes e tecnologias para a bancada de montagem foi realizada com base em critérios de eficiência, robustez, custo-benefício e integração ao sistema geral de automação. A análise das alternativas considerou as especificidades da linha de montagem, incluindo a necessidade de flexibilidade, precisão e segurança durante o processo de montagem de peças frontais de veículos. A seguir, foi detalhado a avaliação das principais alternativas para os sistemas de identificação, fixação, parafusamento e interface do operador.

4.1 Identificação da peça

A escolha do sistema de identificação para as peças na bancada de montagem foi baseada em diversos fatores que atendem às necessidades específicas da linha de produção. De acordo com a análise das alternativas apresentada na Tabela 4.1, o sistema de identificação por código de barras se destacou por ser simples e econômico, amplamente utilizado em ambientes industriais por sua confiabilidade e baixo custo de implementação. Esses atributos são essenciais para garantir a eficiência do processo de montagem, sem gerar custos adicionais ou complexidades desnecessárias.

Outro ponto fundamental é a compatibilidade direta com o CLP o que permite a integração simples e eficiente entre o sistema de identificação e o controle automatizado da bancada. O leitor de código de barras é conectado fisicamente ao CLP por meio de um módulo de comunicação RS-232, permitindo que os dados lidos sejam recebidos diretamente pelo controlador sem a necessidade de dispositivos intermediários ou processamento externo. A partir do reconhecimento de cada peça, as variáveis necessárias para o processo de montagem são automaticamente carregadas da IHM e aplicadas ao modelo correspondente, eliminando a necessidade de ajustes manuais, otimizando o tempo de operação e minimizando o risco de erros humanos.

Como desvantagem, essa arquitetura introduz uma dependência funcional da IHM para a identificação da peça, entretanto, considerando que a IHM já é o elemento central de operação e gerenciamento das receitas programáveis, essa

dependência não compromete a robustez do sistema e contribui para maior organização, manutenibilidade e clareza na operação.

Além disso, o sistema escolhido oferece facilidade de operação e manutenção, tornando-o ideal para o ambiente de produção, que demanda soluções robustas e de fácil implementação. Embora não armazene tantos dados ou tenha nível de automação mais elevado como sistemas de visão, QR codes, ou identificação por RFID, ele se adequa perfeitamente ao contexto da bancada, que lida com variáveis relativamente simples e bem definidas.

Dessa forma, o sistema de identificação por código de barras mostrou-se a solução mais adequada ao projeto, equilibrando custo, confiabilidade, facilidade de manutenção e integração direta com o CLP.

Tabela 4.1 - Vantagens e Desvantagens das tecnologias para identificação da peça

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
QR Code	Capacidade de armazenar mais informações em comparação ao código de barras	Requer câmeras de alta qualidade
	Resistente a danos parciais	Menor compatibilidade em sistemas convencionais
	Fácil leitura	Exige maior processamento de dados
Sistema de Visão	Alta precisão	Altos custo de implementação
	Reconhece diferentes formatos e tamanho	Requer hardware e software avançados
	Flexível para várias aplicações	Exige manutenção especializada
Leitor de código de barras	Solução simples e econômica	Armazena menos informações
	Amplamente utilizado	Pode ser danificado facilmente
	Integra-se diretamente com a IHM	Requer linha de visão direta para leitura

Fonte: Elaboração própria (2024).

4.2 Posicionamento da peça

A solução escolhida para o posicionamento das peças na bancada de montagem foi o sistema de posicionamento manual, definido a partir de uma análise comparativa das alternativas, considerando as necessidades da fábrica e os fatores apresentados na Tabela 4.2. Opções mais avançadas, como o robô industrial e o sistema cartesiano, oferecem vantagens em termos de precisão e automação;

entretanto, seus elevados custos de implementação, a necessidade de manutenção especializada e a maior complexidade de programação representam um investimento desproporcional em relação às demandas atuais da linha de produção.

Além disso, o processo de montagem conta com sensores de verificação que garantem que o ciclo de montagem só será iniciado quando o posicionamento correto da peça for detectado, o que minimiza o risco de erros, mesmo em métodos que não envolvam automação completa. Diante desse cenário, a alternativa escolhida se mostrou adequada por oferecer uma solução simples, econômica e eficiente, capaz de atender às necessidades de produção sem comprometer a precisão ou a segurança do processo.

Tabela 4.2 - Vantagens e Desvantagens das tecnologias de posicionamento da peça

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Posicionamento Manual	Baixo custo de implementação	Baixa precisão
	Simples de operar	Dependente da habilidade do operador
	Adequados para pequenos volumes de produção	Exige maior processamento de dados
Sistema Cartesiano	Alta precisão	Alto custo de implementação
	Boa repetibilidade	Manutenção Complexa
	Redução de esforço do operador	Menor Flexibilidade
Robô Manipulador	Total automação do processo	Elevado custo de aquisição
	Alta velocidade	Complexidade de programação
	Excelente repetibilidade	Exige área física maior

Fonte: Elaboração própria (2024).

4.3 Fixação da peça

Por proporcionar robustez, precisão e segurança durante o processo de montagem, o método de fixação escolhido para a bancada de montagem combina um sistema de fixação mecânica com atuadores pneumáticos e sensores indutivos. Este método garante que a peça seja corretamente posicionada, fixada com firmeza e monitorada continuamente durante o ciclo de montagem, minimizando erros e aumentando a eficiência.

Tabela 4.3 - Vantagens e Desvantagens das tecnologias de fixação da peça

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Sistema híbrido (pneumático + manual)	Garante alta estabilidade da peça durante o ciclo	Requer compressor e linha pneumática
	Reduz erros operacionais e liberações indevidas	Depende de sensores para validação do posicionamento
	Boa repetibilidade e confiabilidade em produção seriada	Exige sincronização com o CLP e lógica de intertravamento
Sistema totalmente manual	Baixo custo de implementação	Menor repetibilidade e dependência total do operador
	Não necessita de infraestrutura pneumática ou hidráulica	Risco de fixação insuficiente ou incorreta
	Adequado para baixa produção ou prototipagem	Não impede falhas por erro humano durante a operação
Sistema hidráulico	Força elevada e contínua, ideal para peças grandes e pesadas	Custo elevado de aquisição e manutenção
	Alta durabilidade para uso intensivo	Requer bomba hidráulica, mangueiras e sistema de vedação especializado
	Pouca perda de força ao longo do tempo	Maior complexidade Excessivo para peças leves operação

Fonte: Elaboração própria (2024).

Inicialmente, a peça é posicionada manualmente na bancada e uma alavanca mecânica é acionada, fixando a peça no lugar. A escolha de uma fixação mecânica tem a vantagem de ser altamente resistente e confiável, mantendo a peça imóvel e evitando movimentos indesejados. Além disso, sistemas mecânicos são simples de operar, robustos e possuem baixo custo de manutenção, o que os torna ideais para ambientes industriais de produção em massa.

Para aumentar a segurança e a precisão do processo, sensores indutivos foram integrados ao sistema para verificar se a peça está corretamente posicionada. Esses sensores detectam a presença da alavanca e sua posição através de campos eletromagnéticos, o que é especialmente eficaz para componentes metálicos. Apenas quando o sensor confirma que a peça está posicionada de forma adequada, o sistema de montagem é autorizado a iniciar, garantindo que não haja desalinhamento ou erro de posicionamento.

A trava mecânica, que é acionada inicialmente para fixar a peça, é complementada por atuadores pneumáticos que impedem que o sistema de fixação seja liberado durante o ciclo de montagem. A força gerada pelos atuadores pneumáticos é usada para manter a trava fechada, garantindo que o operador não consiga acidentalmente ou intencionalmente alterar a posição da peça até que o ciclo esteja completo. Isso acrescenta uma camada de segurança ao processo, protegendo tanto o operador quanto a qualidade da montagem.

Este método oferece um equilíbrio entre robustez mecânica, precisão sensorial e controle automático, garantindo que as peças sejam montadas de forma correta e segura, sem interrupções ou desvios que possam comprometer a integridade

do produto final. O uso de atuadores pneumáticos também permite ajustes rápidos e eficientes, o que é ideal em linhas de produção que necessitam de flexibilidade para diferentes tipos de peças ou modelos de veículos.

4.4 Parafusamentos

O método escolhido para o processo de parafusamento, utilizando parafusadeiras com sinais elétricos, foi adotado com base na análise das alternativas apresentada na Tabela 4.3. Devido às suas vantagens em termos de controle de torque, automação inteligente, e rastreabilidade no processo de montagem. Esse sistema garante que o processo de parafusamento ocorra com alta precisão, segurança e controle, atendendo às exigências de qualidade e eficiência da linha de produção.

Um dos principais motivos para essa escolha foi o controle de torque oferecido pelas parafusadeiras com sensores integrados. Essas ferramentas monitoram o torque em tempo real, garantindo que a força aplicada seja exata e esteja dentro dos parâmetros definidos para cada peça e modelo de veículo. Isso é crucial para assegurar a integridade das peças montadas, evitando apertos excessivos ou insuficientes que poderiam comprometer a durabilidade e o funcionamento do produto final. O controle de torque automático elimina a variabilidade inerente ao processo manual, garantindo uniformidade e precisão em cada ciclo de produção.

Outro fator importante na escolha desse método é a habilitação da parafusadeira apenas quando o modelo em montagem exigir parafusamentos ou quando houver parafusamentos pendentes. Essa automação inteligente é fundamental para evitar operações desnecessárias e garantir que o operador siga a sequência correta de montagem. Quando o sistema identifica que determinado modelo requer parafusamento ou que ainda existem parafusamentos pendentes, a parafusadeira é habilitada, permitindo que o operador realize a tarefa de forma precisa e no momento certo. Isso reduz o risco de erros humanos, como a aplicação de parafusos em locais errados ou a omissão de parafusamentos.

Por fim, o uso de pulsos elétricos após o alcance do torque pré-definido é uma característica chave para o controle de contagem e rastreabilidade do processo.

A cada vez que o torque correto é alcançado, a parafusadeira gera um pulso que é registrado pelo sistema de controle, permitindo que a linha de montagem contabilize automaticamente o número de parafusamentos realizados. Isso facilita a verificação de que todos os parafusos foram aplicados corretamente, garantindo que o ciclo de montagem esteja completo antes de passar para a próxima etapa. Além disso, essa rastreabilidade é crucial para garantir a qualidade final do produto, oferecendo um registro detalhado do processo que pode ser auditado posteriormente.

Tabela 4.4 - Vantagens e Desvantagens das tecnologias de parafusamento

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Parafusamento convencional	Baixo custo	Baixa precisão no controle de torque
	Fácil de operar	Dependência da habilidade do operador
	Adequado para processos simples	Sem automação ou feedback
Parafusadeira pneumática	Alta velocidade	Requer infraestrutura de ar comprimido
	Alta durabilidade em ambientes industriais	Menor controle de torque em comparação a sistemas elétricos
	Boa relação custo-benefício para grandes volumes	Ruído alto
Parafusadeira com sinais elétricos e controle de torque	Controle preciso de torque	Custo elevado de implementação
	Feedback em tempo real	Requer manutenção especializada
	Permite automação e rastreabilidade	Maior complexidade na integração

Fonte: Elaboração própria (2024).

4.5 Interface do Operador

A escolha da Interface Homem-Máquina para a bancada de montagem foi motivada por suas várias vantagens, como a tela interativa, compatibilidade com o CLP e leitores de código de barras, além de sua capacidade de armazenar e gerenciar variáveis e permitir o cadastro de novas peças. Esses recursos tornam a IHM ideal para um ambiente industrial, onde o processo de montagem exige precisão, flexibilidade e robustez. Conforme demonstrado na Tabela 4.5, a análise comparativa das alternativas reforçou a adequação da IHM, destacando-se por sua capacidade de integrar todas as funcionalidades essenciais para o controle e automação do processo.

A tela interativa da IHM oferece uma interface intuitiva, permitindo que o operador visualize informações essenciais em tempo real, como o status dos sensores e a sequência de operações. Sua interatividade facilita a navegação entre funções, melhorando o controle e reduzindo erros humanos. Além disso, a compatibilidade com o CLP e leitores de código de barras garante que, ao escanear uma peça, as variáveis sejam automaticamente carregadas e enviadas ao CLP, agilizando o processo de montagem.

Além disso, a IHM permite a edição e cadastramento de novas peças diretamente, facilitando a adaptação a novos produtos sem a necessidade de reprogramação extensa.

Em resumo, a IHM foi escolhida por sua interatividade, compatibilidade, capacidade de armazenamento e flexibilidade no cadastramento de peças, garantindo eficiência e controle no processo de montagem automatizado em um ambiente industrial.

Tabela 4.5 - Vantagens e desvantagens das tecnologias de interface do operador

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Tela de Cristal líquido (LCD)	Baixo custo	Capacidade limitada de personalização
	Consumo reduzido de energia	Pouco detalhamento das informações
	Compacta e fácil de integrar	Adequada apenas para processos simples
Luzes indicadoras	Solução simples e direta	Baixa capacidade de comunicação
	Fácil de interpretar	Não exibe informações detalhadas
	Custo extremamente baixo	Não adequada para processos complexos
Interface Homem-Máquina(IHM)	Alta personalização	Custo elevado de implementação
	Tela sensível ao toque	Requer conhecimento especializado para configuração
	Armazenamento de variáveis do processo	Maior complexidade na operação

Fonte: Elaboração própria (2024).

5 IMPLEMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA BANCADA DE MONTAGEM

Neste capítulo, será detalhado o processo de implementação e desenvolvimento da bancada de montagem, abrangendo desde a concepção do sistema até a integração final dos seus componentes. A bancada foi projetada para realizar a montagem semiautomatizada da parte frontal de veículos, combinando sistemas de fixação manual e pneumática, sensores de posicionamento, identificação por código de barras, controle por CLP programado em ladder e uma IHM. Desde a fase de concepção da bancada, foram também consideradas e aplicadas rigorosas regras de segurança, seguindo os padrões internos da fábrica onde o sistema foi desenvolvido, de modo a garantir a integridade do operador, da peça e do próprio equipamento. A documentação referente a essas normas e diretrizes de segurança encontra-se apresentada no Anexo A. Além disso, a implementação de receitas programáveis foi essencial para promover a separação entre a lógica de controle e a parametrização do processo, garantindo maior flexibilidade, organização e facilidade de adaptação para diferentes modelos. Serão apresentados os componentes mecânicos, diagramas elétricos e a lógica de implementação, destacando os desafios enfrentados e as soluções aplicadas para alcançar precisão, eficiência e robustez no processo de montagem.

5.1 Componentes mecânicos

A bancada de montagem é construída com perfis de alumínio 45x45, proporcionando resistência estrutural e modularidade para ajustes conforme a necessidade. Em atendimento ao requisito de acomodar diferentes modelos de veículos, definido no Capítulo 3, o apoio e o correto posicionamento da peça do veículo são realizados por meio de bastonetes de EVA estrategicamente posicionados, cuja função é garantir o assentamento geométrico do componente, absorver pequenas variações dimensionais e proteger a superfície da peça durante o processo, conforme ilustrado na Figura 5.1. A fixação propriamente dita da peça é assegurada por alavancas mecânicas, complementadas por atuadores pneumáticos, que impedem qualquer movimentação durante o processo de montagem.

Figura 5.1 - Bastonetes de EVA no protótipo da bancada



Fonte: Acervo Próprio (2020).

Para otimizar a ergonomia do operador, a bancada possui uma mesa móvel ajustável, permitindo que o trabalho seja realizado em diferentes alturas conforme necessário. O sistema de montagem integra um leitor de código de barras para identificação automatizada das peças, botões de *start* para acionamento do ciclo de montagem e uma IHM para monitoramento em tempo real.

Adicionalmente, a bancada conta com um suporte suspenso para a parafusadeira, garantindo melhores condições ergonômicas ao operador durante o processo de parafusamento. A disposição desse suporte, bem como do tubo transparente destinado ao armazenamento dos parafusos, pode ser observada na Figura 5.2, evidenciando a preocupação com a organização e a fluidez do fluxo de trabalho.

Figura 5.2 - Protótipo final da bancada com peça posicionada



Fonte: Acervo Próprio (2020).

Outros elementos que complementam a funcionalidade da bancada incluem um sistema de iluminação embutido, garantindo visibilidade adequada do processo, além de trilhos guias e suportes para dispositivos auxiliares, como monitores e sensores adicionais. A presença de proteções metálicas na parte superior

também contribui para a segurança e organização dos cabos e equipamentos pneumáticos.

5.2 Elétrica

A parte elétrica da bancada foi desenvolvida em conjunto com a equipe do projeto, sendo responsável por garantir a correta alimentação, proteção e comunicação entre todos os dispositivos do sistema. Embora o foco principal deste trabalho esteja na programação e integração entre o CLP e a IHM, a concepção elétrica foi fundamental para assegurar o funcionamento seguro e confiável da bancada de montagem.

O sistema elétrico foi projetado para atender às exigências de segurança industrial e às normas vigentes, com distribuição adequada das tensões de comando e potência. A alimentação principal é proveniente de uma fonte chaveada de 24 Vcc instalada no quadro elétrico, responsável por suprir o CLP Siemens S7-1214C, a IHM KTP700 e os sensores e válvulas utilizados no processo.

As entradas digitais do CLP recebem sinais provenientes dos sensores de posicionamento e dos botões de operação, enquanto as saídas comandam as válvulas responsáveis pelo travamento pneumático e pelos sinais luminosos de status.

Ainda que o detalhamento dos circuitos elétricos não seja o foco central deste trabalho, seu correto dimensionamento e execução foram fundamentais para o funcionamento do sistema de automação. O quadro elétrico, por sua vez, centraliza a alimentação e o comando da bancada, garantindo organização, segurança e confiabilidade durante as etapas de operação e testes.

5.3 Seleção do sistema de controle

O CLP Siemens 1214C(Figura 5.3) e a IHM KTP700(Figura 5.4) foram escolhidos para o desenvolvimento do sistema de controle da bancada por atenderem aos requisitos de entradas e saídas, além de garantirem robustez, confiabilidade e integração eficiente com os demais dispositivos. Esses equipamentos permitem um

controle preciso dos atuadores pneumáticos, sensores de posição e interação com o operador por meio da IHM.

Figura 5.3 - CLP Siemens utilizado no projeto



Fonte: SIEMENS (2025). Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/pt/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>. Acesso em: 30 abr. 2025.

Figura 5.4 - IHM KTP700



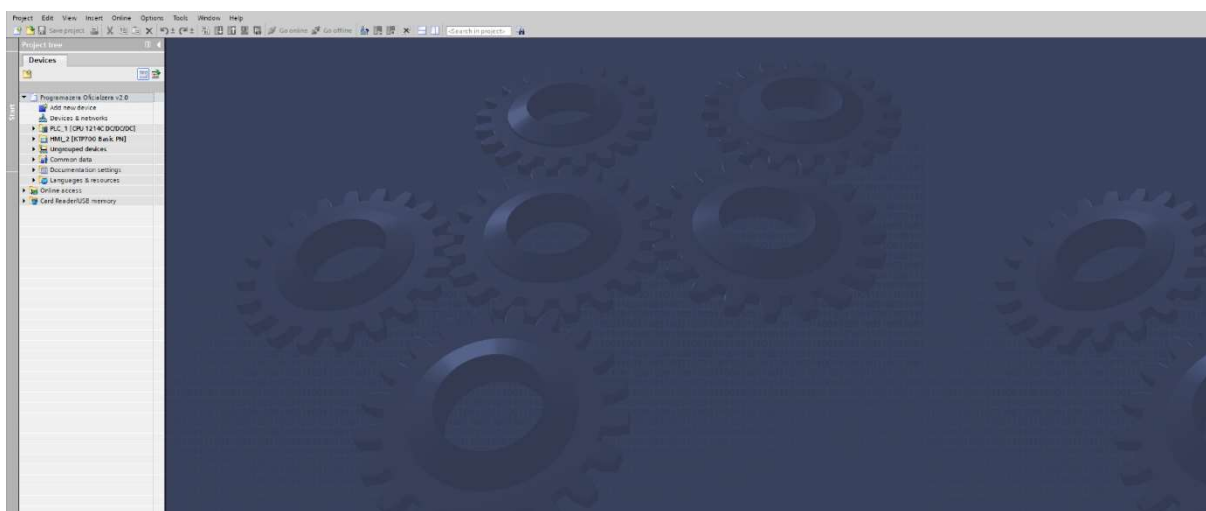
Fonte: DIMENSIONAL (2025). Disponível em: <https://www dimensional.com.br/interface-homem-maquina-ihm-touch-lcd-7-ktp700-basic-pn/p>. Acesso em: 30 abr. 2025.

A programação foi desenvolvida no software TIA Portal, cuja interface inicial é apresentada na Figura 5.5, permitindo a simulação e validação do sistema antes da

implementação física.. A lógica de controle foi estruturada para garantir um fluxo seguro e eficiente, abrangendo inicialização do sistema, leitura do código de barras, acionamento da fixação pneumática, controle do parafusamento e finalização do ciclo.

Com essa configuração, o sistema proporciona um processo confiável, garantindo precisão na montagem das peças e flexibilidade para adaptações futuras conforme necessário.

Figura 5.5 - Software TIA Portal



Fonte: Acervo Próprio (2024).

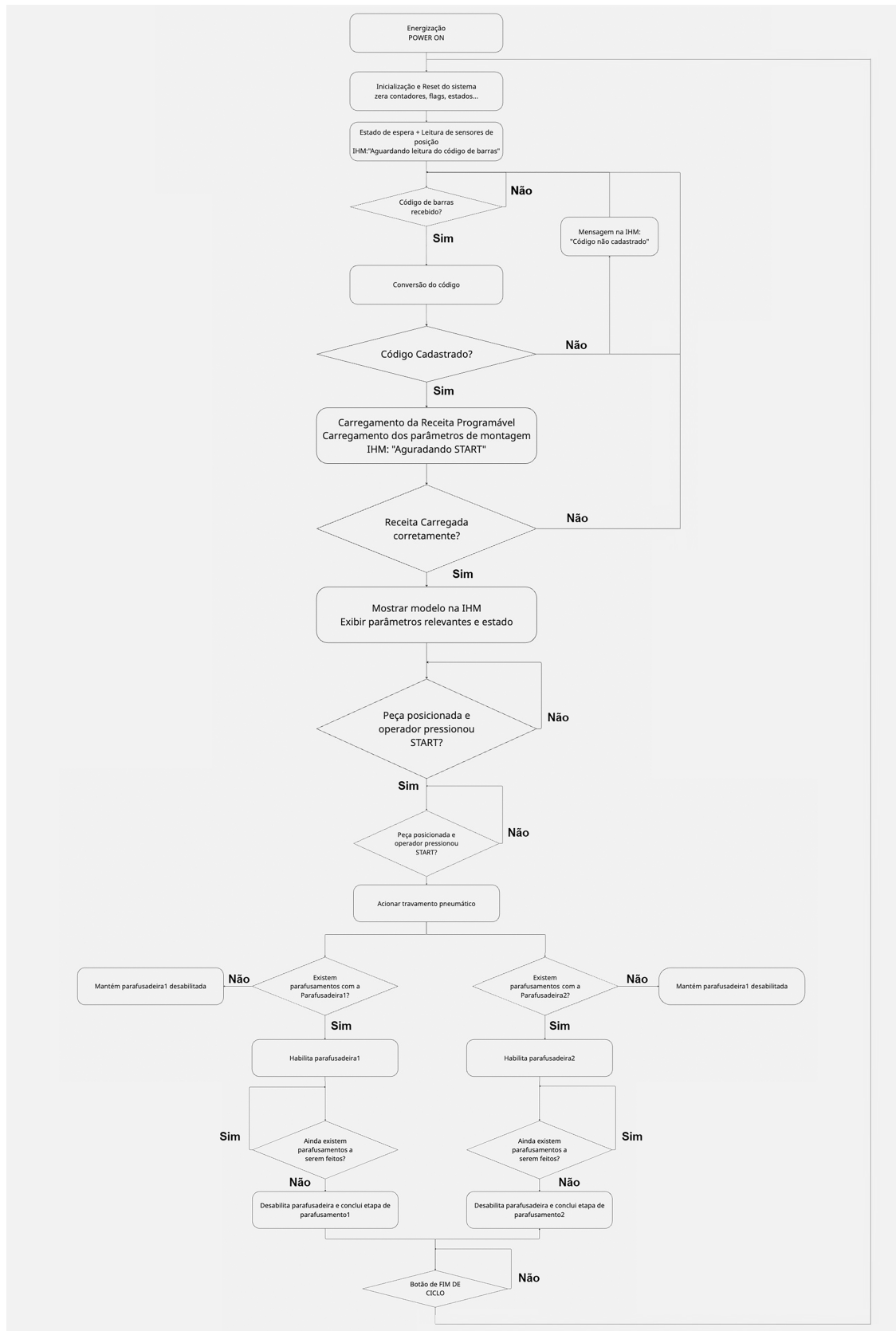
5.4 Descrição do sistema

O sistema da bancada de montagem foi desenvolvido utilizando um CLP Siemens e um software da mesma marca, garantindo maior robustez e flexibilidade no controle do processo. Diferente da implementação simplificada descrita no Capítulo 6, este sistema foi projetado para atender a um nível mais alto de exigência, com maior capacidade de processamento, armazenamento de dados e integração com diferentes dispositivos.

A lógica de controle do sistema foi estruturada de forma sequencial, contemplando desde a energização do sistema até o encerramento completo do ciclo de montagem. Esse fluxo de funcionamento, incluindo as etapas de identificação da peça, carregamento da receita programável, verificação das condições de segurança,

execução do parafusamento e finalização do ciclo, é apresentado de forma resumida no fluxograma da Figura 5.6.

Figura 5.6 - Fluxograma simplificado da lógica de controle da bancada



Fonte: Acervo Próprio (2026).

5.4.1 Inicialização da máquina

Ao ligar a bancada, o CLP Siemens executa um procedimento de verificação inicial, garantindo que todos os componentes estejam prontos para operação. Sensores de segurança, atuadores pneumáticos e dispositivos de interface são testados para validar seu funcionamento antes do início da produção. A IHM exibe um painel informativo indicando o status do sistema e permitindo que o operador inicie o processo assim que tudo estiver em condições adequadas.

5.4.2 Leitura de código de barras e sensor de posição

Antes do sistema assumir o controle, o operador realiza a operação manual inicial, posicionando a peça corretamente na bancada e acionando as travas manuais para garantir a fixação primária. Esse procedimento é essencial para que os sensores possam detectar a peça corretamente e evitar desalinhamentos durante as etapas seguintes.

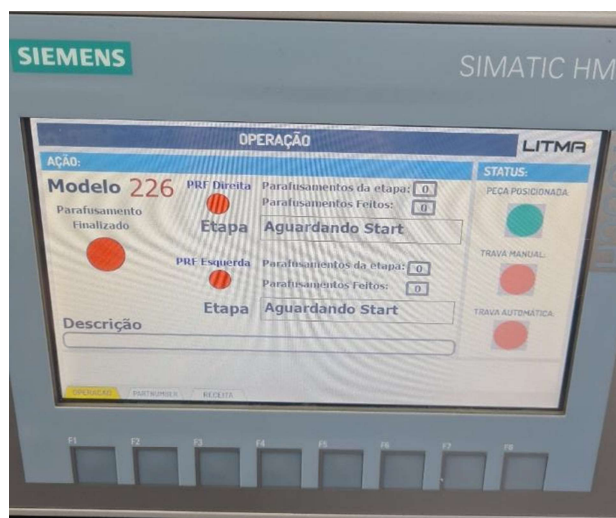
Figura 5.7 - Peça posicionada na etapa de concepção da Bancada



Fonte: Acervo Próprio (2026).

Após a fixação manual, com a peça na bancada como ilustrado na Figura 5.7, o operador utiliza o leitor de código de barras para identificar a peça. A leitura do código carrega automaticamente os parâmetros específicos para aquele modelo, garantindo que todas as configurações estejam adequadas ao processo de montagem. Assim que a peça é identificada, os sensores de posição realizam uma verificação para confirmar se a peça está corretamente alinhada e devidamente travada na bancada. Somente quando ambas as condições, peça lida e posicionada corretamente, forem atendidas, a IHM sinaliza que o sistema está pronto para iniciar a operação, conforme ilustrado na Figura 5.8, na qual a peça já se encontra identificada e posicionada, aguardando apenas o comando de início do ciclo.

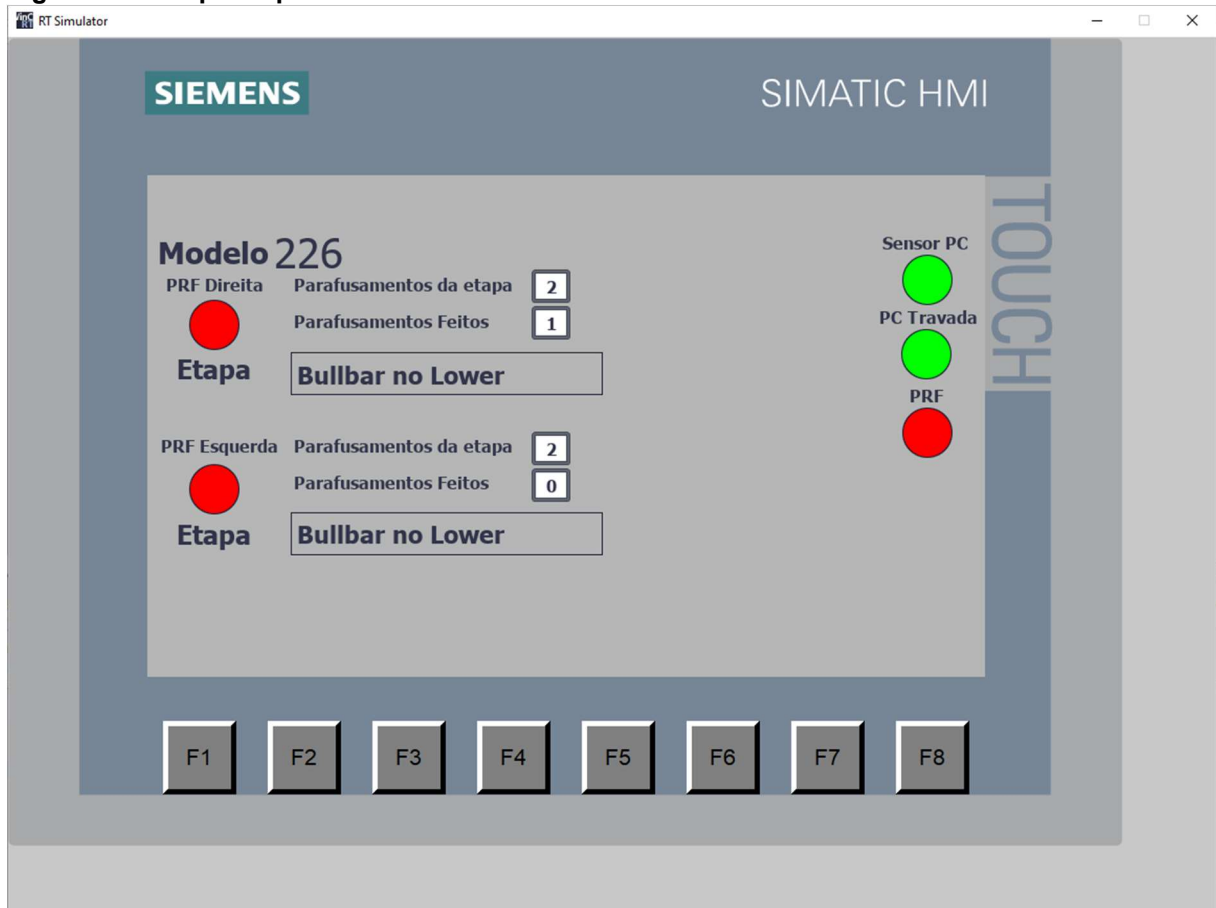
Figura 5.8 - Tela de peça carregada e posicionada



Fonte: Acervo Próprio (2020).

O operador, então, precisa pressionar o botão de start, que só estará disponível quando todas as verificações forem concluídas com sucesso. Ao ser acionado, esse botão ativa os atuadores pneumáticos, garantindo que a trava manual permaneça bloqueada até o final do processo. Esse mecanismo evita a possibilidade de o processo ser iniciado sem que a peça esteja corretamente posicionada e configurada, assegurando a estabilidade da peça durante toda a operação e garantindo um fluxo seguro e preciso na montagem. Essa etapa da máquina pode ser vista na Figura 5.9 que mostra a etapa de parafusamento em andamento com a peça posicionada, e as travas automáticas devidamente acionadas.

Figura 5.9 - Etapa de parafusamento em andamento com IHM simulada

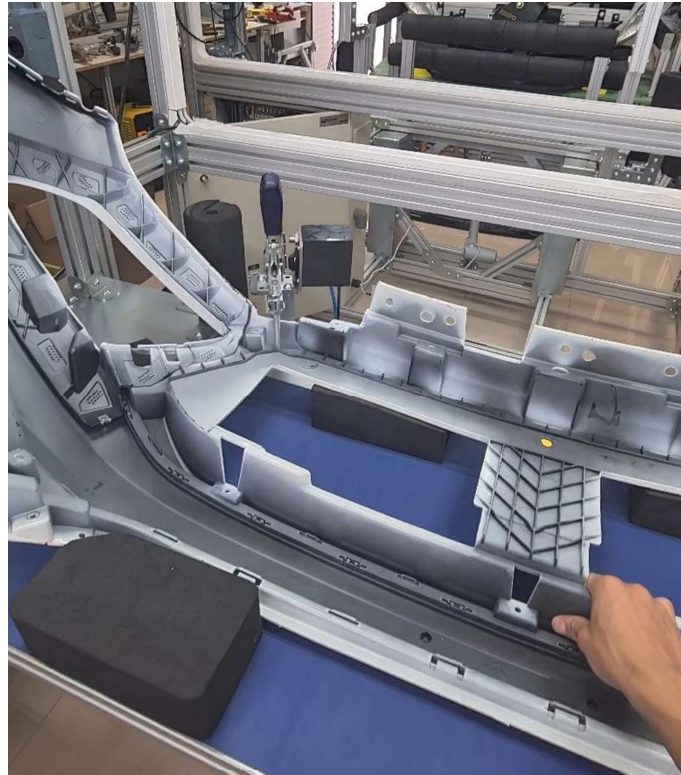


Fonte: Acervo Próprio (2020).

5.4.3 Etapa de parafusamento

Após a identificação da peça e a fixação completa, condição apresentada na Figura 5.10, a etapa de parafusamento é iniciada. O suporte suspenso da parafusadeira permite que o operador manuseie a ferramenta de forma ergonômica, reduzindo o esforço físico e garantindo maior precisão durante o processo.

Figura 5.10 Bancada com peça travada



Fonte: Acervo Próprio (2020).

Quando o código de barras da peça é lido, além dos parâmetros gerais de montagem, são carregadas duas variáveis extras para o parafusamento, totalizando quatro possíveis tipos de parafusamento em cada parafusadeira. Essas variáveis, por padrão, vêm com o valor zero, mas podem ser modificadas caso a fábrica altere os modelos ou versões aceitas. Isso garante flexibilidade ao sistema, permitindo adaptações futuras sem necessidade de grandes alterações na programação.

Para garantir que todos os parafusamentos necessários sejam executados corretamente, o CLP verifica quais tipos de parafusamento estão ativos para aquela peça específica. A parafusadeira só é ativada caso existam parafusamentos a serem feitos, evitando acionamentos desnecessários e melhorando a eficiência do processo.

O torque de cada parafuso já está predefinido no software da parafusadeira, eliminando a necessidade de controle adicional na lógica do CLP. Com isso, o processo se torna mais direto e confiável, garantindo que cada fixação atenda aos padrões exigidos.

Após a conclusão de todos os parafusamentos programados, o sistema aguarda o acionamento do botão de fim de curso por parte do operador. Esse comando indica o término da operação de montagem e autoriza o reinício do ciclo, realizando o reset das variáveis de processo e liberando a bancada para a próxima peça.

5.5 Programação

Este capítulo descreve detalhadamente o desenvolvimento da programação para o CLP e para a IHM, abordando as principais lógicas de operação e configuração realizadas no software Siemens TIA Portal.

5.5.1 Programação do CLP

A programação do CLP Siemens, desenvolvida no ambiente TIA Portal, foi estruturada utilizando a linguagem Ladder como meio de implementação da lógica de controle. A organização do programa segue o conceito de máquina de estados, no qual o funcionamento da bancada é dividido em etapas sequenciais bem definidas, como inicialização, espera, leitura e validação de dados, travamento, execução dos parafusamentos e finalização do ciclo. Cada estado somente permite a transição para o seguinte mediante a confirmação das condições necessárias, garantindo previsibilidade, segurança e robustez ao processo. Desta forma, esta seção apresenta uma visão conceitual e simplificada do fluxo de operação da máquina, enquanto a implementação completa em Ladder, organizada em Networks, é disponibilizada nos apêndices do trabalho.

5.5.1.1 Inicialização da Máquina

A inicialização da máquina é uma etapa essencial para garantir que o CLP Siemens S7-1214C esteja em um estado padronizado e livre de resíduos de operações anteriores. Essa rotina de inicialização consiste na limpeza e no reset das variáveis de processo, sendo executada automaticamente no primeiro ciclo de varredura do CLP, imediatamente após a energização do controlador, por meio do bit

especial de primeiro ciclo (SM0.1 First Scan Bit), que indica a primeira execução do programa. A mesma rotina também pode ser acionada manualmente pelo operador, por meio de um comando de reset, permitindo a restauração das condições padrão do sistema sem a necessidade de desligamento completo da máquina. A lógica de inicialização foi desenvolvida em uma Network específica no TIA Portal, utilizando instruções de movimentação (MOVE) e redefinição de bits (RESET) para restaurar as variáveis do sistema às suas condições padrão.

No momento da inicialização, todas as memórias internas são resetadas e as variáveis que armazenam informações críticas para o funcionamento do sistema são redefinidas para seus valores padrão. Dessa forma, as variáveis numéricas, como contadores de processos, número de parafusamentos e temporizações, são definidas como zero, garantindo que a contagem seja reiniciada corretamente a cada novo ciclo de operação. Além disso, as variáveis do tipo string, utilizadas para armazenar o código de barras ou mensagens de erro, são redefinidas para uma string vazia (""), assegurando que nenhum dado residual interfira na leitura e no processamento de novas informações.

A partir dessa condição inicial, o funcionamento da bancada é governado por uma lógica de máquina de estados, na qual um estado principal indica se o processo de montagem está ou não em execução. Quando o sistema se encontra no estado em que a montagem não está em execução, a identificação de novos modelos é permitida. Após a confirmação de um modelo de veículo, o sistema transita para o estado de montagem em execução, no qual a identificação de novas peças é bloqueada e as etapas do processo produtivo são habilitadas. Esse estado permanece ativo até que o operador acione o comando de fim de ciclo, momento em que o sistema retorna ao estado inicial, liberando novamente a identificação de uma nova peça.

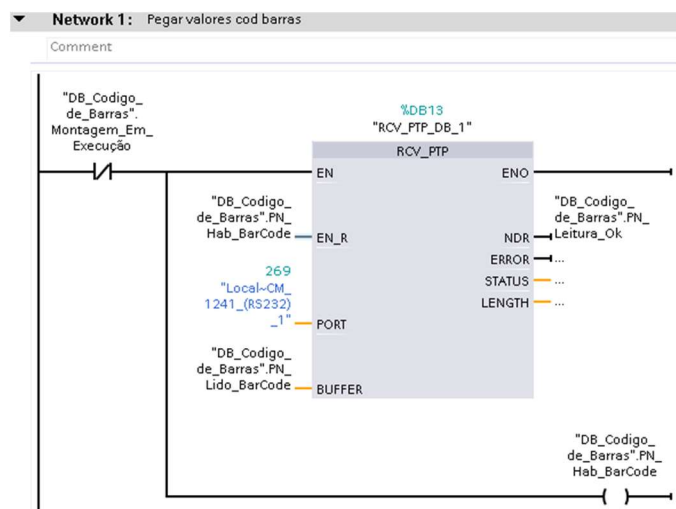
A lógica de reset também inclui a redefinição de todas as memórias auxiliares (M bits) utilizadas no controle do processo, bem como o desligamento das saídas digitais, garantindo que nenhum atuador permaneça ativo antes da conclusão das verificações iniciais. Dessa forma, o sistema assegura que todas as condições necessárias para um novo ciclo de operação estejam devidamente configuradas antes do início do processo.

Com a finalização desse procedimento de inicialização, o CLP está pronto para iniciar a leitura do código de barras e avançar para as próximas etapas do processo automatizado, garantindo que a operação ocorra de forma precisa e confiável.

5.5.1.2 Identificação da peça e sinalização para carregamento de receitas

A identificação da peça é realizada por meio da leitura do código de barras, sendo o leitor fisicamente conectado ao CLP Siemens por meio de um módulo de comunicação serial RS-232. Após a leitura, os dados do código de barras são transmitidos diretamente ao controlador utilizando comunicação serial baseada no protocolo PTP, conforme ilustrado na Figura 5.11, que apresenta o bloco funcional responsável pela recepção dessas informações. A entrada dos dados no CLP ocorre por meio do bloco RCV_PTP, o qual armazena o valor recebido em uma área de memória previamente definida do controlador. Com o código de barras devidamente armazenado, a lógica de validação é então executada, sendo esse procedimento permitido apenas quando o ciclo de montagem não se encontra em execução. Essa abordagem garante que a identificação da peça ocorra de forma segura, evitando interferências no ciclo produtivo e assegurando a integridade do processo.

Figura 5.11 - Network de leitura do valor do código de barras



Fonte: Elaboração própria (2021).

Após a leitura inicial do código da peça, é realizada a conversão do código para um formato padronizado de 11 caracteres, conforme exigido pelo sistema da fábrica onde a bancada será implementada. Esse processo assegura que o código lido esteja dentro do padrão esperado para correta associação com as receitas de produção e rastreabilidade do item.

Com o código da peça já em formato padronizado, é acionada uma flag auxiliar responsável por sinalizar que as etapas de leitura e conversão foram concluídas corretamente, liberando o sistema para a continuidade do processo. Em seguida, o CLP realiza a verificação das condições de segurança e de estado, assegurando que nenhum modelo de veículo tenha sido previamente confirmado e que não exista outro ciclo ativo no momento. Atendidas essas condições, é ativada uma variável de sinalização destinada à IHM, indicando que o sistema está apto a iniciar o processo de carregamento da receita. Nessa etapa, o Part Number previamente validado pelo CLP é disponibilizado à IHM como dado de referência para a busca da receita correspondente, atuando exclusivamente como chave de identificação. Ressalta-se que o CLP não executa a seleção, associação ou gerenciamento das receitas, limitando-se ao fornecimento do código validado e à geração do sinal de liberação. A partir dessa sinalização, a IHM assume o processo de busca da receita, realizando a associação diretamente pelo Part Number, sem

utilização de índices numéricos ou identificadores sequenciais. Caso o Part Number lido esteja devidamente cadastrado, o carregamento dos parâmetros é executado com sucesso e os valores do processo são transferidos para o CLP. Em situações em que não exista correspondência entre o código lido e as receitas disponíveis, o sistema retorna ao estado de espera por uma nova leitura de código de barras, impedindo o avanço do ciclo produtivo. Dessa forma, assegura-se que a progressão para as etapas subsequentes ocorra apenas quando a peça identificada possuir uma receita válida e corretamente carregada.

5.5.1.3 Confirmação do modelo e transição para o estado de montagem

Após a conclusão bem-sucedida do processo de carregamento das receitas pela IHM, os parâmetros correspondentes ao Part Number identificado são transferidos e armazenados nas variáveis de processo do CLP. Com os dados devidamente carregados, o CLP realiza a validação das informações recebidas, confirmando o modelo do veículo associado à peça identificada. Nesse estágio, o sistema permanece em espera pela intervenção do operador, aguardando o acionamento do comando de início do ciclo. Somente após a atuação do operador por meio do sinal de *Start* é que o CLP libera a ativação da trava pneumática, assegurando a correta fixação da peça na bancada. Com a peça devidamente posicionada e travada, o sistema ingressa no estado de montagem em execução e etapa de parafusamento, a qual será detalhada no capítulo subsequente.

5.5.1.4 Controle do Parafusamento Automatizado

A lógica de controle do parafusamento automatizado foi implementada de forma distribuída em diferentes *networks* dentro dos blocos correspondentes a cada modelo de veículo. Inicialmente, o sistema realiza a verificação da necessidade de parafusamento em ambos os lados da peça, considerando o estado da montagem em execução, a condição das travas e os parâmetros de habilitação definidos pela receita carregada. Com base nessa avaliação, o sistema habilita exclusivamente a parafusadeira correspondente aos lados nos quais há necessidade efetiva de aplicação de parafusos.

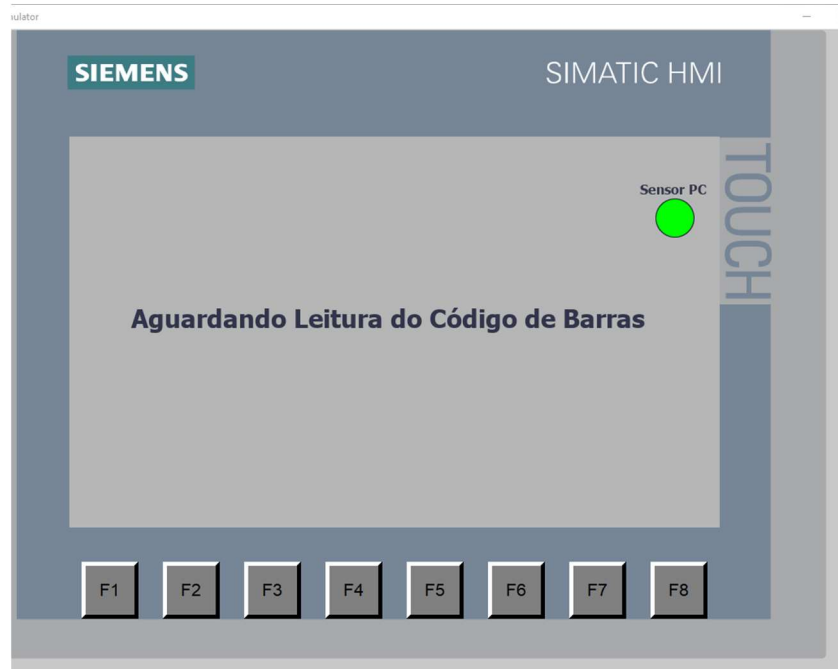
Com a montagem em execução e confirmada a existência de operações de parafusamento, os dados provenientes da receita carregada são transferidos para as variáveis responsáveis pelo controle direto das parafusadeiras. Nessa etapa, são definidos, para cada componente da montagem, os parâmetros necessários à execução do processo, como a quantidade de furos a serem realizados em conjuntos como LegCatcher, AirDan Lower, PortaPlaca e Extra2. Essa mesma lógica é aplicada de forma simétrica às parafusadeiras de ambos os lados da bancada, respeitando a estrutura modular do projeto e assegurando a correta execução do processo conforme a configuração estabelecida pela receita. Esse bloco de controle percorre de forma sequencial todas as possibilidades de parafusamento previstas, avaliando cada caso individualmente. Quando não há operações configuradas para um determinado conjunto, essa etapa é automaticamente considerada concluída, permitindo o avanço para a próxima verificação. Após a execução e validação de todas as operações de parafusamento previstas, o sistema dá a etapa de parafusamento como concluída mas mantendo o estado de montagem em execução até a finalização completa do ciclo. Em seguida, o sistema aguarda o acionamento do comando de fim de ciclo pelo operador, responsável por executar a limpeza e o reset das variáveis do processo e por retornar o sistema ao estado inicial, com a condição de montagem em execução desativada, ficando novamente apto para a identificação e processamento de uma nova peça.

5.5.2 Programação da IHM

A programação da IHM foi realizada utilizando o mesmo ambiente de desenvolvimento do CLP, o TIA Portal, que permite a integração direta entre os elementos de interface e as variáveis utilizadas no programa lógico. A utilização de receitas programáveis é fundamental para o funcionamento da bancada, pois permite a rápida adaptação do sistema a diferentes modelos de peças, garantindo a padronização dos parâmetros de montagem, a redução de erros operacionais e o aumento da eficiência do processo. Nesse contexto, a IHM tem como principal objetivo auxiliar o operador durante o processo, oferecendo informações em tempo real sobre o estado da máquina e do ciclo produtivo, além de armazenar, organizar e gerenciar as receitas programáveis, possibilitando sua seleção e acionamento por meio de

eventos de interface, que realizam a transferência dos parâmetros ao CLP e a posterior sincronização das informações utilizadas no processo.

Figura 5.12 - Tela Inicial da IHM



Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 5.13 - Tela da IHM com modelo 226 em andamento



Fonte: Elaboração própria (2021).

As telas da IHM foram projetadas para exibir de forma clara e objetiva o estado dos sensores de posicionamento, as etapas atuais do processo, o número de parafusamentos realizados, o modelo da peça e outras variáveis relevantes, conforme apresentado nas Figuras 5.12 e 5.13. Esse conjunto de informações funciona como um sistema de feedback visual, permitindo que o operador identifique rapidamente se a peça está corretamente posicionada ou se ainda falta completar alguma etapa do ciclo. Essa abordagem contribui significativamente para a redução de erros e para o aumento da eficiência operacional.

Além disso, a IHM também possui uma tela dedicada à edição de receitas, disponibilizada por padrão no ambiente do sistema (Figura 5.14), permitindo a visualização e ajuste de parâmetros diretamente no equipamento. Embora esse recurso tenha sido implementado, seu uso será eventual, uma vez que as receitas deverão ser previamente cadastradas e carregadas a partir do banco de dados fornecido pela empresa onde a bancada será aplicada. Complementarmente, foi desenvolvida uma tela adicional específica para a edição de Data Records, apresentada na Figura 5.15, a qual permite a busca de códigos de barras já cadastrados e a modificação dos parâmetros de parafusamento. Essa abordagem garante maior flexibilidade para ajustes pontuais no processo, mantendo a integridade da estrutura de receitas previamente definida.

Figura 5.14 - Tela de Edição de receitas da IHM

SIEMENS SIMATIC HMI

Modelo: No.:
 Part number: No.:

Elementos	Valores

Ready

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8

Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 5.15 - Tela de edição de receitas secundária

SIEMENS SIMATIC HMI

Part Number 226 0000000001 Buscar Salvar

Partnumber Atual 0000000001

Parafusadeira Direita	HAB	QTD	PRG
Bullbar no lower	1	2	0
Grill no Bullbar	1	2	0
Upper no lower	1	2	0
Extra1	1	2	0

Parafusadeira Esquerda	HAB	QTD	PRG
Bullbar no lower	1	2	0
Grill no Bullbar	1	2	0
Upper no lower	1	2	0
Extra1	1	2	0

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8

Fonte: Elaboração própria (2021).

Ainda assim, essa funcionalidade oferece flexibilidade para ajustes emergenciais ou validações de novos produtos.

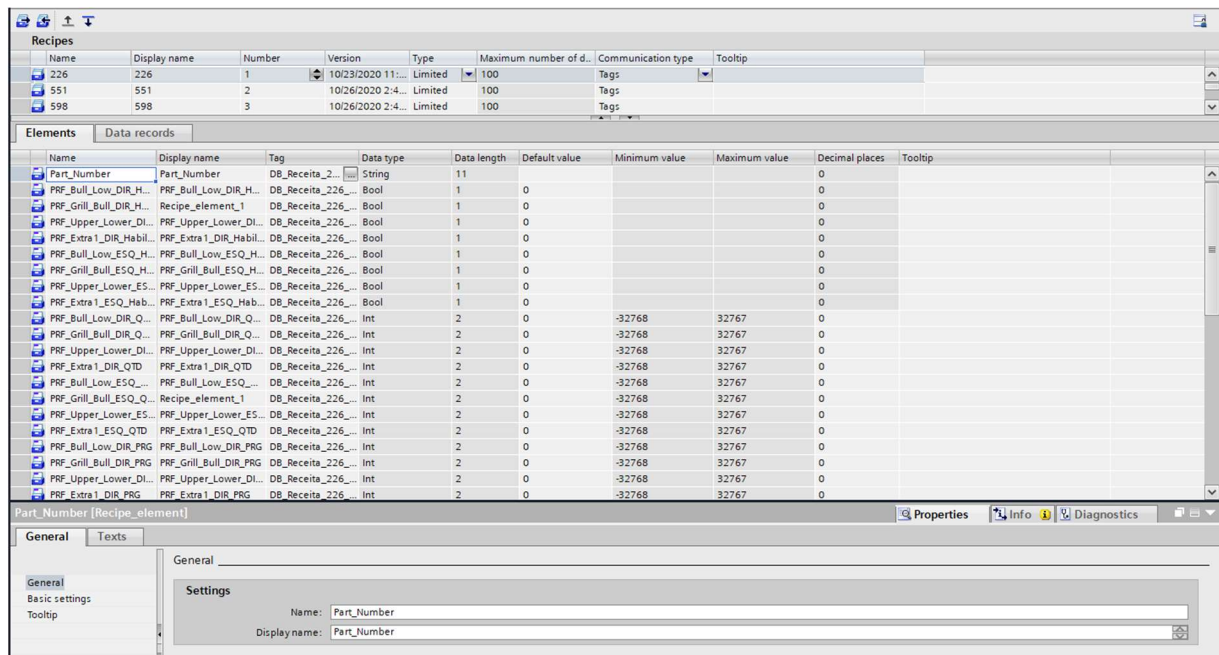
Para garantir a integridade das configurações, o acesso à tela de edição de receitas é protegido por senha, permitindo que apenas pessoas autorizadas consigam visualizar e modificar os dados. Dessa forma, evita-se a alteração indevida de parâmetros que possam comprometer o funcionamento do sistema.

5.5.3 Elaboração das Receitas

A elaboração das receitas foi realizada no próprio ambiente do TIA Portal como ilustrado na Figura 5.16, utilizando o editor de receitas da IHM integrado ao projeto. A estrutura adotada organiza as receitas em três níveis hierárquicos, nos quais a receita representa o modelo do veículo, os Data Records correspondem às diferentes peças identificadas por seus respectivos códigos de barras (Part Numbers) e os elements representam as variáveis do processo associadas a cada peça. Essa organização permite que, a partir da identificação do código de barras da peça em produção, o sistema localize o Data Record correspondente dentro da receita do modelo do carro e disponibilize ao CLP todos os parâmetros necessários para a execução segura e correta do processo de montagem.

Dentro de cada receita, são definidos conjuntos de variáveis específicas para cada peça, contemplando tanto parâmetros de produção quanto variáveis de controle do processo. Entre os parâmetros de produção, destacam-se a quantidade de parafusamentos por ferramenta do operador, o número de clips de montagem e a definição das etapas de montagem em ambos os lados do veículo. Além disso, são configuradas variáveis de controle, como a identificação da cor e do modelo do carro, bem como bits de habilitação ou desabilitação das ferramentas de parafusamento, garantindo que apenas as operações previstas para aquela peça sejam executadas.

Figura 5.16 - Tela de programação das receitas no TIA Portal



Fonte: Elaboração própria (2021).

Sempre que uma variável da receita for relevante para o processo, ela é vinculada diretamente a uma variável do CLP, estabelecendo o link entre os dados armazenados na IHM e os blocos de controle da lógica Ladder, conforme ilustrado na Figura 5.17, que apresenta as principais tags utilizadas nessa comunicação. Dessa forma, no momento em que a receita é carregada, o CLP passa a dispor de todos os valores atualizados e corretos para a peça em produção, sem a necessidade de intervenção manual do operador.

Figura 5.17 - Elementos das receitas com respectivas tags do CLP

Elements			Data records
Name	Display name	Tag	
Part_Number	Part_Number	DB_Receita_226_Receita_Execução_Part_Number	
PRF_Bull_Low_DIR_H...	PRF_Bull_Low_DIR_H...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Bull_Low_DIR_Habilita	
PRF_Grill_Bull_DIR_H...	Recipe_element_1	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Grill_Bull_DIR_Habilita	
PRF_Upper_Lower_DI...	PRF_Upper_Lower_DI...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Upper_Lower_DIR_Habilita	
PRF_Extra1_DIR_Habil...	PRF_Extra1_DIR_Habil...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Extra1_DIR_Habilita	
PRF_Bull_Low_ESQ_H...	PRF_Bull_Low_ESQ_H...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Bull_Low_ESQ_Habilita	
PRF_Grill_Bull_ESQ_H...	PRF_Grill_Bull_ESQ_H...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Grill_Bull_ESQ_Habilita	
PRF_Upper_Lower_ES...	PRF_Upper_Lower_ES...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Upper_Lower_ESQ_Habilita	
PRF_Extra1_ESQ_Hab...	PRF_Extra1_ESQ_Hab...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Extra1_ESQ_Habilita	
PRF_Bull_Low_DIR_Q...	PRF_Bull_Low_DIR_Q...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Bull_Low_DIR_QTD	
PRF_Grill_Bull_DIR_Q...	PRF_Grill_Bull_DIR_Q...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Grill_Bull_DIR_QTD	
PRF_Upper_Lower_DI...	PRF_Upper_Lower_DI...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Upper_Lower_DIR_QTD	
PRF_Extra1_DIR_QTD	PRF_Extra1_DIR_QTD	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Extra1_DIR_QTD	
PRF_Bull_Low_ESQ_Q...	PRF_Bull_Low_ESQ_Q...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Bull_Low_ESQ_QTD	
PRF_Grill_Bull_ESQ_Q...	Recipe_element_1	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Grill_Bull_ESQ_QTD	
PRF_Upper_Lower_ES...	PRF_Upper_Lower_ES...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Upper_Lower_ESQ_QTD	
PRF_Extra1_ESQ_QTD	PRF_Extra1_ESQ_QTD	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Extra1_ESQ_QTD	
PRF_Bull_Low_DIR_PRG	PRF_Bull_Low_DIR_PRG	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Bull_Low_DIR_Programa	
PRF_Grill_Bull_DIR_PRG	PRF_Grill_Bull_DIR_PRG	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Grill_Bull_DIR_Programa	
PRF_Upper_Lower_DI...	PRF_Upper_Lower_DI...	DB_Receita_226_Receita_Execução_PRF_Upper_Lower_DIR_Programa	

Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 5.18 - Parametrização dos dados da receita

Elements		Data records			
Name	Display name	Number	Part_Number	PRF_Bull_Low_DIR_...	
000000000001	000000000001	1	000000000001	1	
000000000002	000000000002	2	000000000002	0	
000000000003	000000000003	3	000000000003	0	

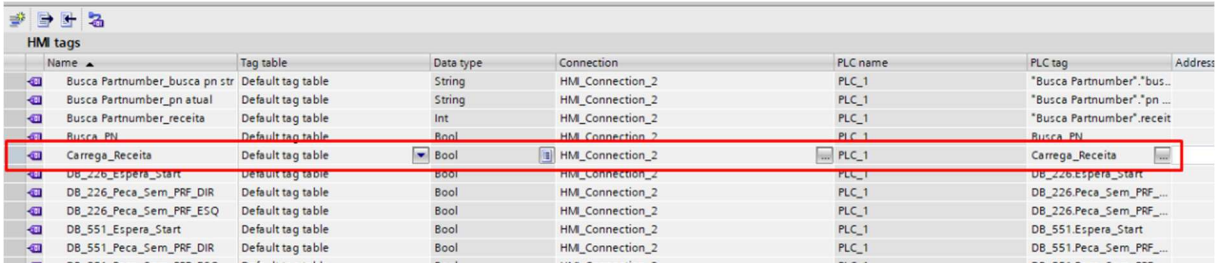
Fonte: Elaboração própria (2021).

Adicionalmente, os Data Records das receitas foram estruturados de modo que seus nomes correspondam exatamente aos Part Numbers possíveis das peças em produção, conforme apresentado nas Figuras 5.18. Essa padronização permite que a busca e a seleção da receita sejam realizadas diretamente com base no código de barras lido, eliminando a necessidade de indexação numérica ou seleção manual por parte do operador. Dessa forma, o processo de carregamento torna-se mais robusto, rastreável e alinhado à lógica de identificação adotada pelo sistema.

5.6 Implementação de Receitas Programáveis

A implementação das receitas programáveis foi realizada para garantir flexibilidade, confiabilidade e escalabilidade ao processo de montagem. A lógica desenvolvida permite ao CLP carregar automaticamente os parâmetros correspondentes ao modelo da peça a partir da leitura do código de barras, eliminando a necessidade de seleção manual ou indexação sequencial.

Figura 5.19 - Tags da IHM e CLP

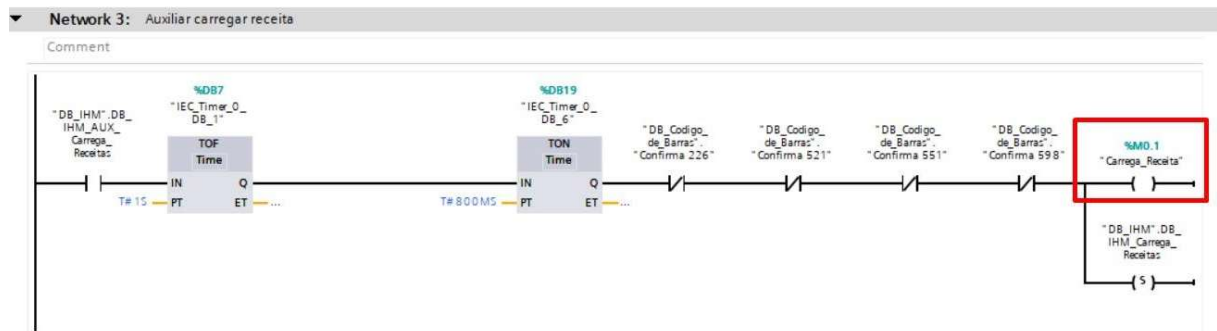


Name	Tag table	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address
Busca Partnumber_busca pn str	Default tag table	String	HMI_Connection_2	PLC_1	"Busca Partnumber"."bus...	
Busca Partnumber_pn atual	Default tag table	String	HMI_Connection_2	PLC_1	"Busca Partnumber"."pn ...	
Busca Partnumber_receita	Default tag table	Int	HMI_Connection_2	PLC_1	"Busca Partnumber".receit	
Busca_PN	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_1	Busca_PN	
Carrega_Receita	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_1	Carrega_Receita	
DB_226_Espera_Start	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_1	DB_226.Espera_Start	
DB_226_Peca_Sem_PRF_DIR	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_1	DB_226.Peca_Sem_PRF_...	
DB_226_Peca_Sem_PRF_ESQ	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_1	DB_226.Peca_Sem_PRF_...	
DB_551_Espera_Start	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_1	DB_551.Espera_Start	
DB_551_Peca_Sem_PRF_DIR	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_1	DB_551.Peca_Sem_PRF_...	
DB_551_Peca_Sem_PRF_ESQ	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_1	DB_551.Peca_Sem_PRF_...	

Fonte: Elaboração própria (2025).

O carregamento da receita é iniciado a partir de uma variável de comando proveniente do CLP, a qual é vinculada à IHM(Figura 5.19). Quando essa variável assume valor verdadeiro, ocorre na IHM um evento configurado do tipo Value Change, responsável por acionar automaticamente a função SetDataRecordToPLC, conforme ilustrado na Figura 5.20, que apresenta a network responsável pelo acionamento do carregamento da receita. Essa função é executada de forma iterativa para todos os modelos de carro cadastrados, realizando tentativas de carregamento das receitas disponíveis.

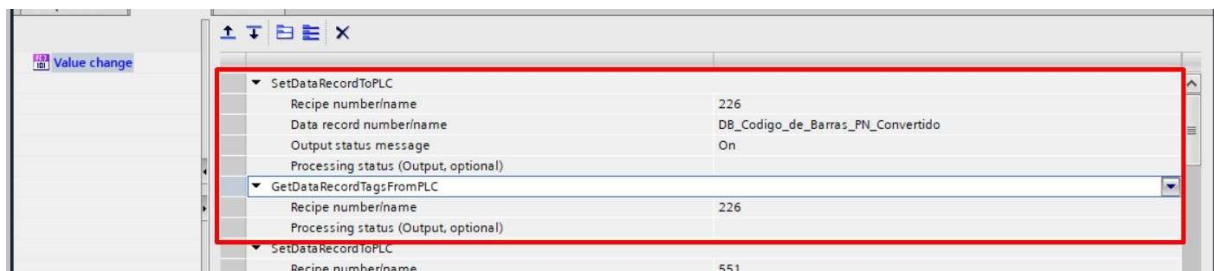
Figura 5.20 - Network do carregamento da receita



Fonte: Elaboração própria (2021).

Conforme ilustrado na Figura 5.21, a função `SetDataRecordToPLC` recebe como parâmetros de entrada a identificação da receita a ser verificada e o nome do Data Record. Observa-se na Figura que o valor atribuído à variável correspondente ao nome do Data Record é diretamente o código de barras (Part Number) lido da peça, sendo este o dado utilizado como chave de busca. Dessa forma, a função é executada repetidamente para os diferentes modelos cadastrados, comparando o valor do código de barras recebido com o nome de cada Data Record disponível. Essa padronização é fundamental, pois a seleção da receita não ocorre por meio de identificadores numéricos sequenciais, mas sim pela correspondência direta entre o código de barras lido e o Data Record. Como cada código de barras é único dentro do conjunto de receitas, apenas uma chamada resulta em sucesso, garantindo a correta sincronização entre a identificação da peça e a receita correspondente ao modelo em produção.

Figura 5.21 - Funções atreladas ao Value Change da variável "Carrega_Receita"



Fonte: Elaboração própria (2025).

A partir dessa chamada bem-sucedida, os elementos da receita selecionada são transferidos e sincronizados com as variáveis do CLP, permitindo que o processo de confirmação do modelo do veículo e a continuidade dos estados da máquina ocorram de forma automática e segura, garantindo a coerência entre o modelo identificado e os parâmetros utilizados no processo de montagem.

Em seguida, a IHM executa a função `GetDataRecordTagsFromPLC`, garantindo que os valores exibidos na interface sejam atualizados e permaneçam sincronizados com as variáveis internas do CLP. Essa padronização entre o Part Number e o nome da receita assegura compatibilidade total com a nomenclatura utilizada no banco de dados da IHM.

Esse modelo de implementação elimina o uso de índices numéricos para localizar receitas, concentrando a lógica de associação diretamente na IHM. O CLP atua apenas como agente de validação e sincronização, reduzindo a complexidade da lógica Ladder e facilitando futuras expansões do sistema.

Diferentemente dos métodos convencionais empregados em aplicações industriais, o sistema desenvolvido neste projeto adota um modelo de carregamento de receitas baseado em nomes dinâmicos vinculados ao código de barras lido, substituindo a seleção sequencial por ID. A integração entre as funções `SetDataRecordToPLC` e `GetDataRecordTagsFromPLC` permite que a IHM identifique automaticamente o conjunto de parâmetros correspondente ao Part Number da peça, realizando o carregamento sem qualquer intervenção manual do operador.

Durante o desenvolvimento e pesquisa, não foram encontradas referências que apresentassem essa forma de integração entre IHM, CLP e leitor de código de barras, o que reforça o caráter inovador da abordagem. A solução proposta combina rastreabilidade, automação e simplicidade operacional em um fluxo único e eficiente, contribuindo para o aprimoramento do uso de receitas programáveis em sistemas desenvolvidos no TIA Portal. Além de simplificar a manutenção e a expansão do sistema, essa metodologia amplia as possibilidades de aplicação em processos industriais que exigem identificação inteligente de produtos e carregamento automático de parâmetros de produção.

5.7 Programação de telas da IHM

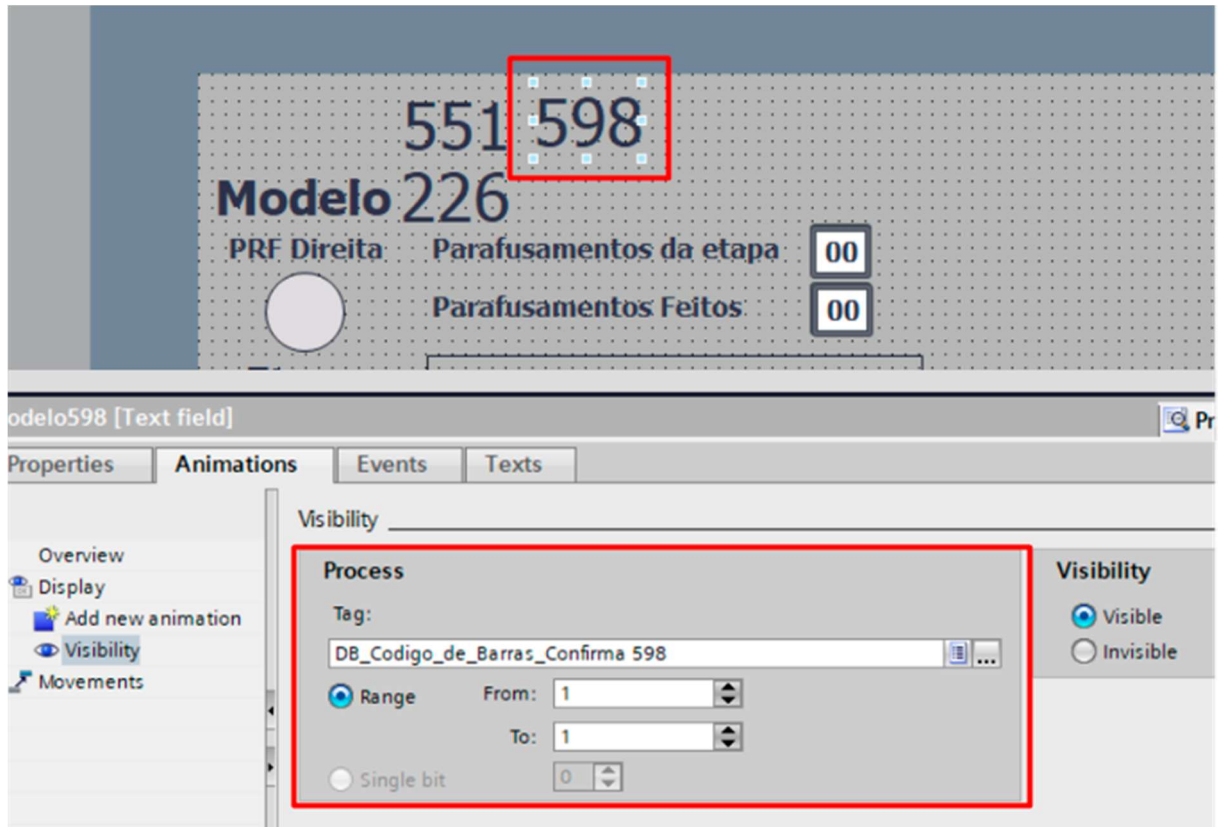
A programação das telas da IHM foi estruturada de forma a refletir em tempo real as variáveis internas de cada modelo, utilizando extensivamente os recursos de animação, visibilidade e alteração de aparência disponíveis no TIA Portal. Para cada modelo de carro, foram criadas tags específicas no banco de dados da IHM, como confirmações de modelo, quantidade de furos previstos, furos já executados, nomes das etapas e estados dos sensores que são exibidas ou ocultadas conforme o valor das variáveis digitais e inteiras enviadas pelo CLP. Elementos como contadores, nomes de etapas e indicadores de status utilizam animações de visibilidade baseadas em faixas de valores (Range), permitindo que um campo seja mostrado apenas quando as variáveis correspondentes ao modelo estiver com valor igual a 1, garantindo que a tela apresente somente as informações pertinentes ao modelo identificado pelo código de barras. Sensores críticos, como o de posicionamento da peça, foram configurados com animações de aparência, alternando automaticamente entre vermelho e verde conforme o estado lógico (0 ou 1). Já variáveis numéricas como “Parafusamentos da etapa” e “Parafusamentos Feitos” utilizam ligação direta com os DBs da lógica de parafusamento, garantindo que os valores exibidos correspondam exatamente aos pulsos recebidos da ferramenta. As mensagens também seguem essa lógica condicionada: textos como “Aguardando Start”, “Sem Parafusamento”, “PC Travada” e “Código não cadastrado” são exibidos ou ocultados a partir de flags específicas, controlando de forma clara o fluxo operacional da tela. Essa abordagem torna a IHM altamente responsiva e aderente ao estado real da máquina, garantindo ao operador uma visualização precisa, filtrada por modelo e sincronizada com a lógica Ladder.

5.7.1 Funcionamento das animações e lógica de exibição na IHM

A lógica de exibição da IHM foi estruturada com base em animações configuradas por faixas de valores, permitindo que cada elemento gráfico respondesse dinamicamente ao estado real das variáveis recebidas do CLP. Toda a interface utiliza esse mesmo princípio, organizado em três comportamentos principais. O primeiro corresponde aos elementos textuais cuja visibilidade depende diretamente do valor de uma variável booleana. Sempre que essa variável assume valor igual a 1,

o texto associado torna-se visível na tela, permitindo exibir automaticamente informações como o modelo do carro carregado ou o nome da etapa atual do processo assim como na Figura 5.22.

Figura 5.22 - Flag de confirmação do modelo de carro



Fonte: Elaboração própria (2025).

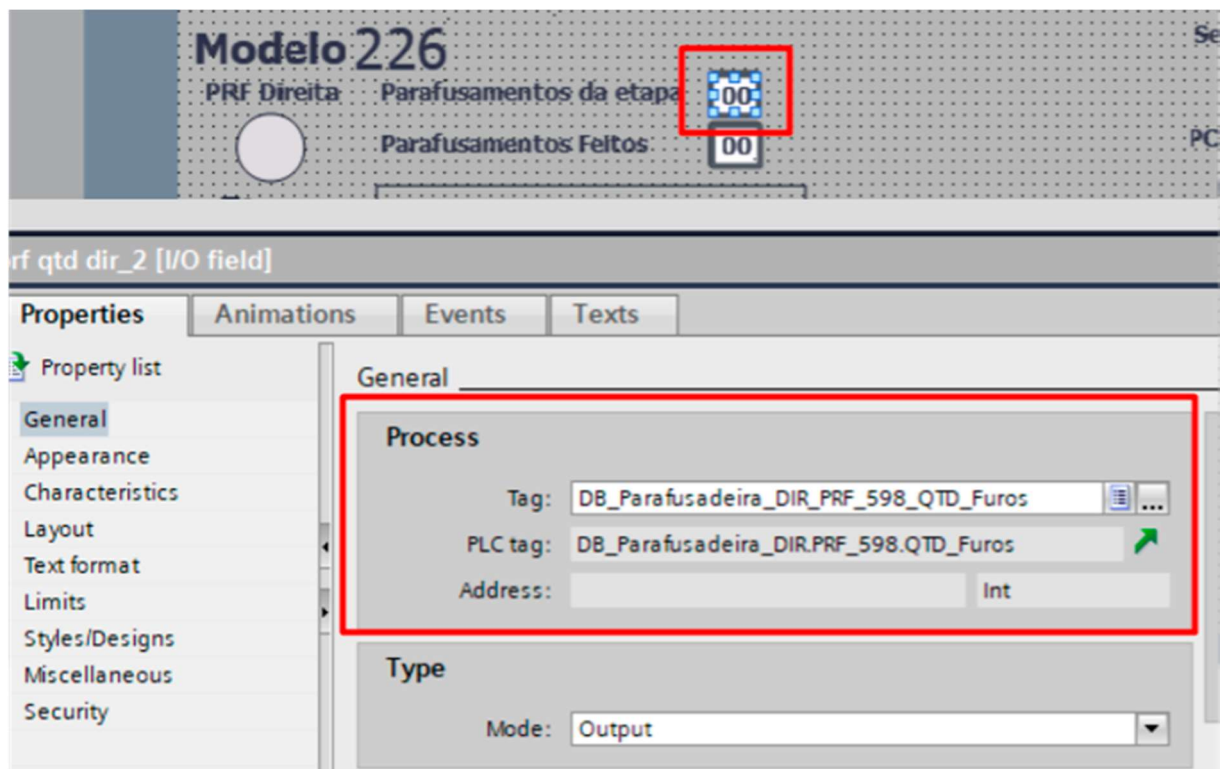
O segundo comportamento envolve campos numéricos ou textuais cujo conteúdo é exibido somente quando uma condição externa é atendida. Nesses casos, a variável utilizada para controlar a animação não é a mesma que aparece no campo. uma flag de confirmação (por exemplo, a indicação de que a peça possui parafusamentos como ilustrado na Figura 5.23) habilita visualmente o elemento, enquanto o valor mostrado é extraído de outro DB, como a quantidade de parafusamentos previstos ou o total de furos já executados, assim como demonstrado na Figura 5.24.

Figura 5.23 - Variável de condição de visibilidade de parafusamentos da etapa atual



Fonte: Elaboração própria (2025).

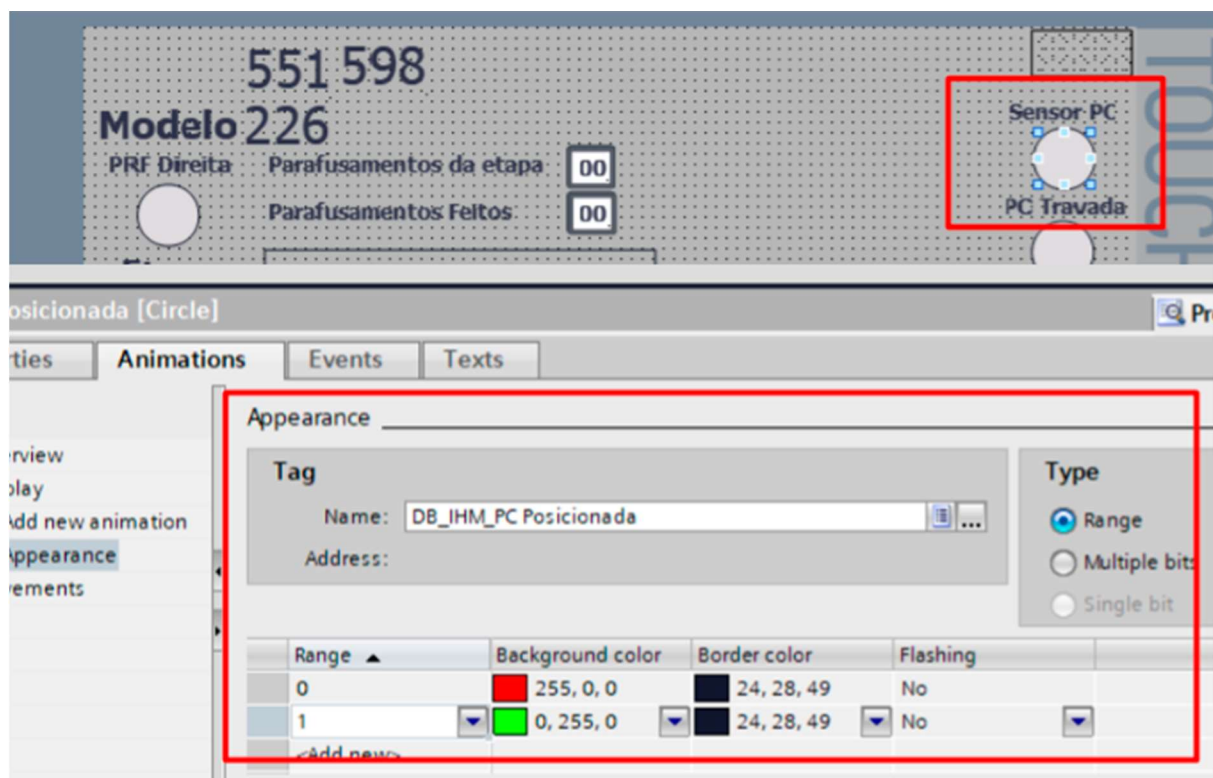
Figura 5.24 – Variável de visibilidade dos parafusamentos da etapa



Fonte: Elaboração própria (2025).

Por fim, o terceiro comportamento corresponde aos indicadores visuais de sensores, nos quais a animação altera a cor do elemento conforme o estado lógico da variável associada, geralmente vermelho quando o valor é 0 e verde quando é 1 (Figura 5.25) permitindo ao operador identificar de forma imediata se a peça está posicionada, se a trava está acionada ou se a máquina encontra-se pronta para avançar para a próxima etapa. A combinação desses três mecanismos garante que toda a IHM opere de forma coerente e sincronizada com a lógica Ladder, exibindo apenas as informações relevantes para o modelo em produção e refletindo continuamente o estado real da máquina.

Figura 5.25 – Animação de status do sensor com indicador de cores



Fonte: Elaboração própria (2025).

5.8 Resultados experimentais

Este capítulo consolida os ensaios realizados na bancada semiautomatizada desenvolvida, validando os principais indicadores de desempenho obtidos e contextualizando as análises que se aprofundam nas seções subsequentes. Os testes foram conduzidos na empresa LITMA, utilizando o CLP Delta DVP14SS211T e a IHM DOP-107EV, ambos plenamente integrados ao sistema de leitura de código de barras, às duas parafusadeiras elétricas e ao conjunto de sensores de posição. Buscou-se reproduzir todos os cenários operacionais previstos na lógica Ladder: ciclo sem necessidade de parafusamento, ciclo com apenas uma parafusadeira em uso e ciclo com ambas as parafusadeiras atuando em paralelo. Em cada situação foram monitorados o tempo total de processo, a troca de estados das etapas na IHM, a consistência do carregamento das receitas, a precisão do torque aplicado e a resposta do sistema de segurança pneumático.

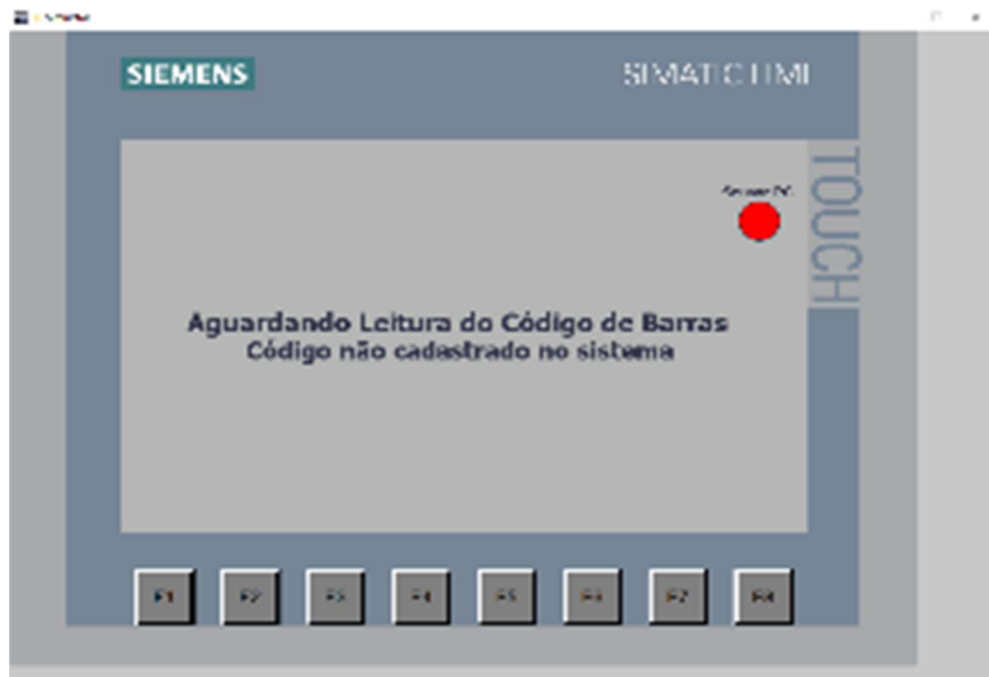
Os dados foram coletados diretamente dos registradores do CLP por meio do ISPSOft, complementados por logs gerados pela IHM no DOPSOft, permitindo a correlação entre parâmetros de controle e eventos de interface. A repetibilidade de cada teste foi verificada mediante inúmeras execuções consecutivas, atestando a estabilidade temporal e lógica do ciclo. Adicionalmente, foram avaliados o comportamento do sistema frente a falhas induzidas como leitura inválida de código de barras ou ausência de confirmação de torque para comprovar a robustez dos intertravamentos e o retorno seguro ao estado inicial.

Os resultados mostram que o módulo de receitas programáveis identificou corretamente 100 % das peças testadas, que a transição de estados na IHM ocorreu como o esperado, mesmo nas sequências com ambas as parafusadeiras acionadas. Esses indicadores, detalhados a seguir, confirmam que o sistema atende aos requisitos de confiabilidade, tempo de resposta e segurança industrial especificados no Capítulo 4. Nas subseções seguintes, cada conjunto de ensaios é discutido individualmente, evidenciando o impacto das variáveis de processo e demonstrando a efetividade das estratégias de controle implementadas.

5.8.1 Procedimento de validação inicial

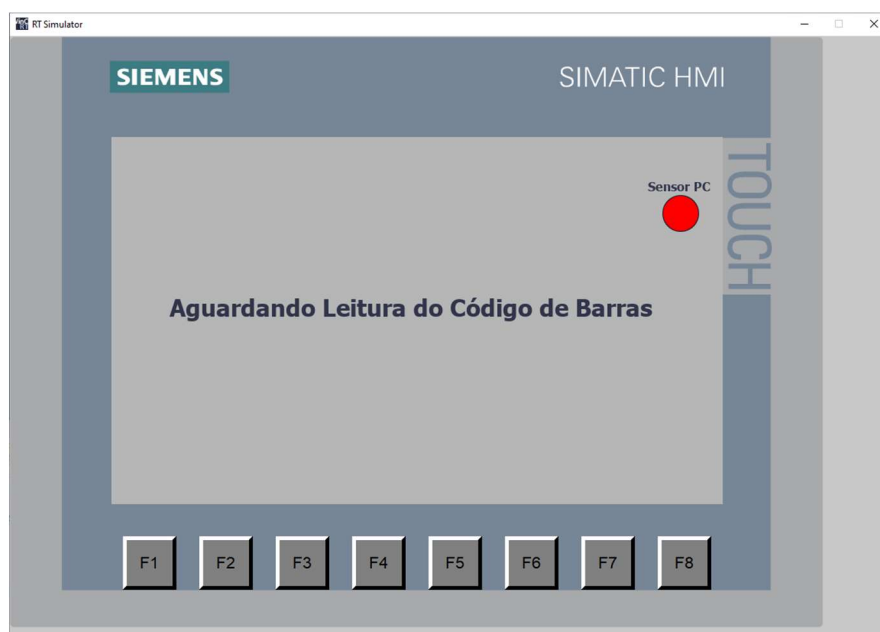
Logo após a energização do CLP e da IHM, o sistema exibe uma tela padrão de espera, na qual se lê “Aguardando Leitura do Código de Barras”, acompanhada do indicador luminoso do sensor de posicionamento da peça em vermelho (Figura 5.27). Nesse estado, o scanner permanece ativo em laço contínuo até receber um valor alfanumérico válido. Caso o código capturado não esteja previamente cadastrado no banco de receitas, a IHM apresenta a mensagem “Código não cadastrado no sistema” conforme mostrado na Figura 5.26 e volta a tela padrão aguardando a leitura de um código válido. Simultaneamente, a flag `Leitura_OK` permanece em nível baixo, impedindo qualquer avanço da lógica de intertravamento.

Figura 5.26 - Tela da IHM para código de barras não reconhecido



Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 5.27 - Tela inicial da IHM

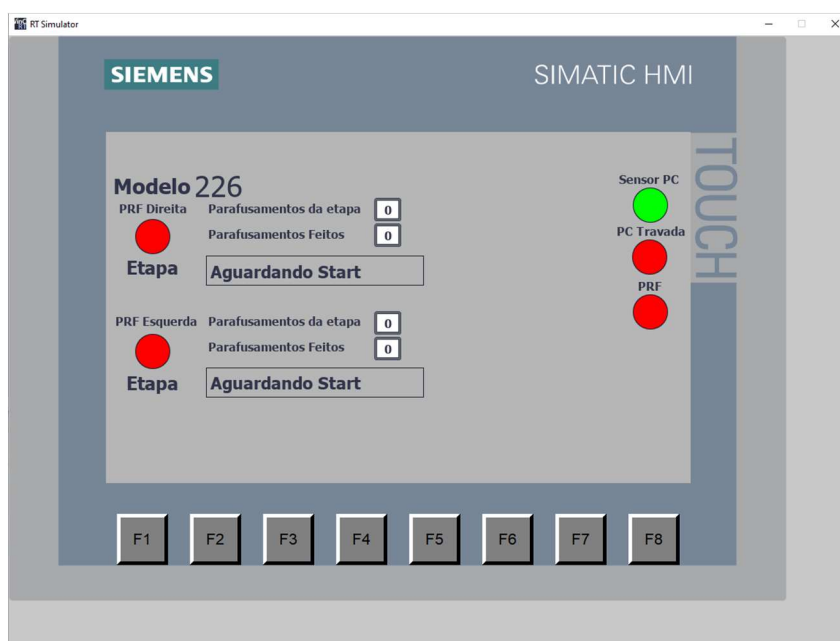


Fonte: Elaboração própria (2021).

Após o operador ler um código que corresponda ao banco de dados de receitas, a *tag* de validação assume estado alto e a interface migra automaticamente

para a tela de preparação de ciclo (Figura 5.28). Nessa tela, o modelo identificado é mostrado no cabeçalho, enquanto os contadores de parafusamentos ainda indicam zero execuções. Na etapa de “Aguardando Start”, o sistema está esperando que o operador aperte o botão de início de ciclo que libera o programa para a próxima etapa caso a peça esteja posicionada na posição correta. Uma vez pressionado o botão de Start, o programa avança imediatamente para a etapa de parafusamento e aciona, em paralelo, a trava pneumática automática que garante a fixação da peça durante todo o ciclo. Impossibilitando que o operador tire a peça até que todas as etapas do processo sejam concluídas.

Figura 5.28 - Tela após leitura de peça correta



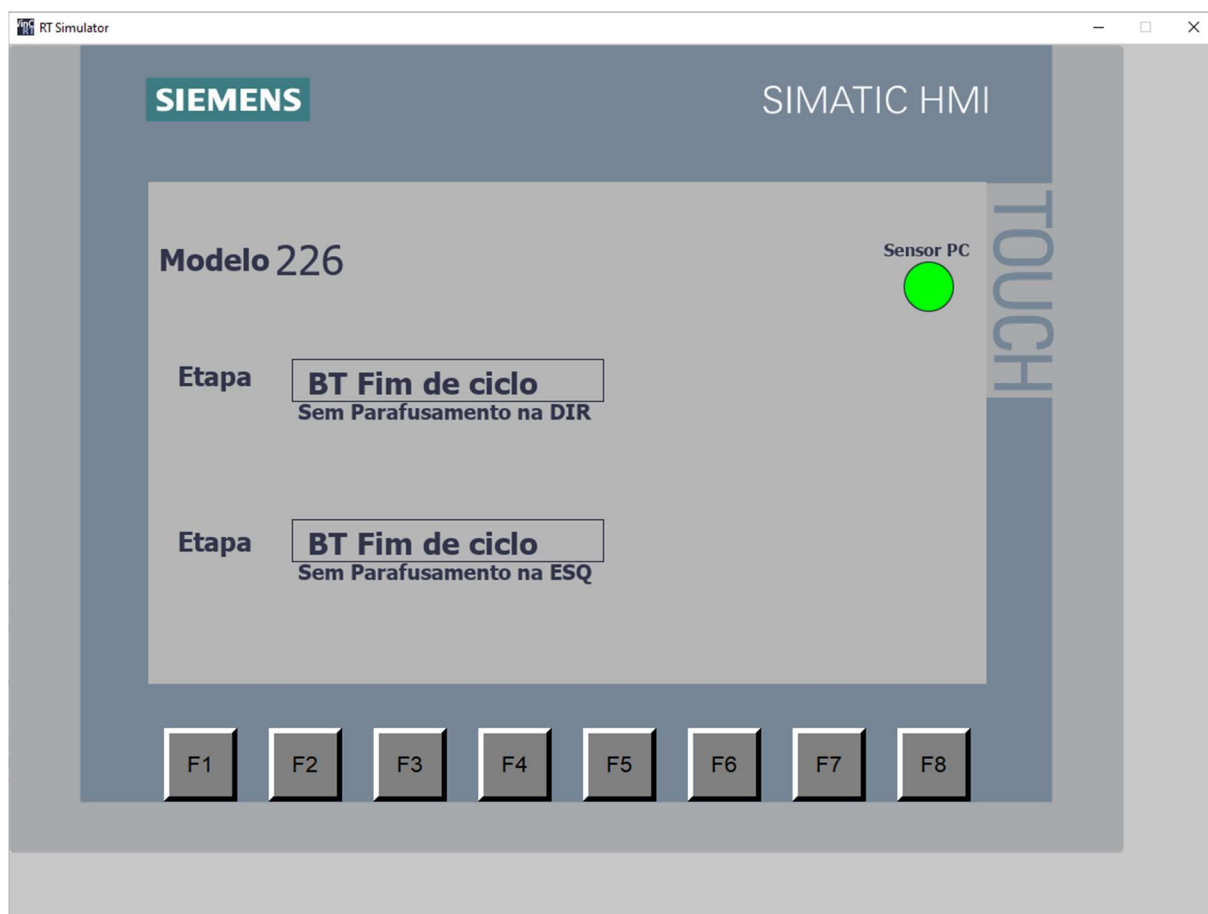
Fonte: Elaboração própria (2021).

5.8.2 Verificação sequencial das etapas de montagem

O segundo conjunto de ensaios concentrou-se na confirmação de que o programa executa, de forma consistente, todos os ramos previstos para o parafusamento, desde cenários sem necessidade de fixação até ciclos que empregam simultaneamente as duas parafusadeiras. No primeiro caso analisado, o modelo ensaiado não exigia nenhum parafuso. A IHM, portanto, saltou diretamente para a tela de término de ciclo, exibindo a mensagem “Sem Parafusamento” nos dois lados e habilitando o botão Fim de ciclo para que o operador pudesse liberar a peça e iniciar

uma nova produção (Figura 5.29). Tal comportamento comprova que a lógica reconhece corretamente quando não há operações de torque associadas à receita, evitando etapas desnecessárias.

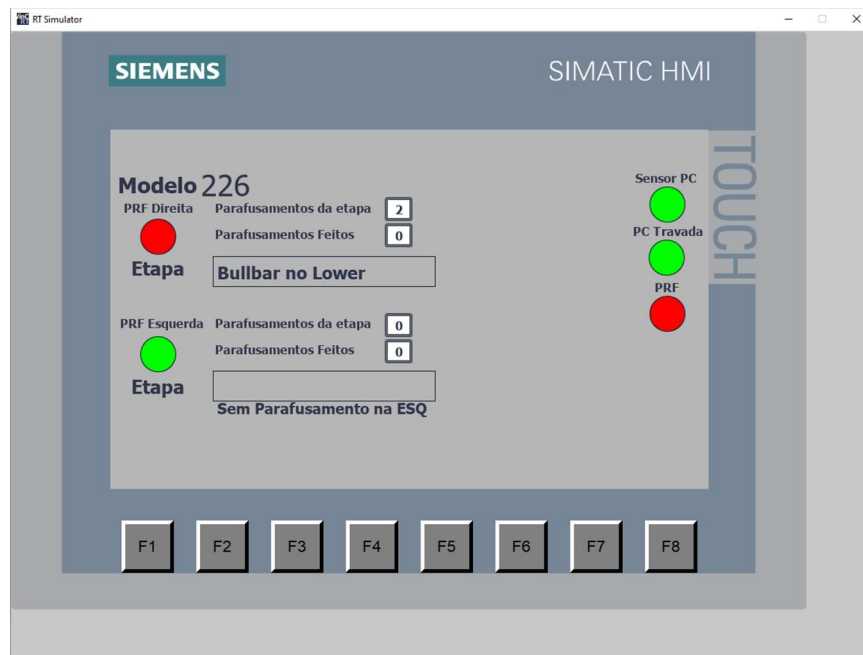
Figura 5.29 – Tela da IHM quando não são necessários nenhum parafusamento na peça



Fonte: Elaboração própria (2021).

Em seguida, avaliou-se um modelo que utiliza apenas a parafusadeira da direita. Desde o carregamento da receita, a interface já indicava que o lado esquerdo estava não previa ações por parte do operador, mostrando zero parafusamentos previstos e a legenda “Sem Parafusamento na ESQ”, enquanto o lado direito aguardava execução conforme mostrado na Figura 5.30. Durante o teste, confirmou-se que o controle de processo bloqueia o avanço até que a ferramenta termine a quantidade programada de apertos, mantendo o contador de “Parafusamentos Feitos” sincronizado com os pulsos enviados pela parafusadeira com controle de torque.

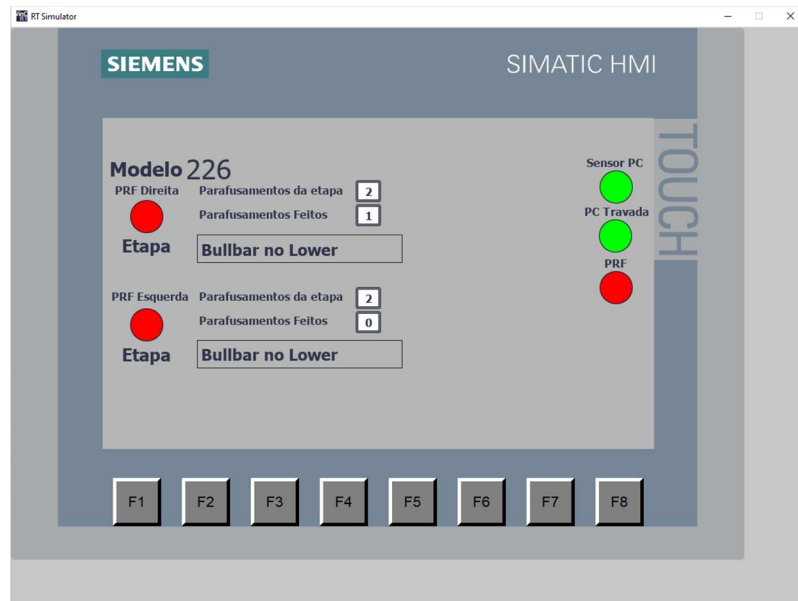
Figura 5.30 - Tela da IHM com um único parafusamento em andamento



Fonte: Elaboração própria (2021).

O terceiro ensaio envolveu uma peça que requeria dois parafusos em cada lado. A IHM passou a expor o total de parafusamentos da etapa (valor 2 para cada lado) e atualizava em tempo real o número já concluído. Na situação capturada, apenas um furo da direita havia sido finalizado, enquanto os demais permaneciam pendentes. Observam-se os indicadores “PC Travada” e “Sensor PC” em verde, atestando que a peça segue imobilizada até a conclusão da sequência (Figura 5.31). A persistência do contador parcial demonstra que o sistema mantém coerência dos dados mesmo com interrupções momentâneas do operador.

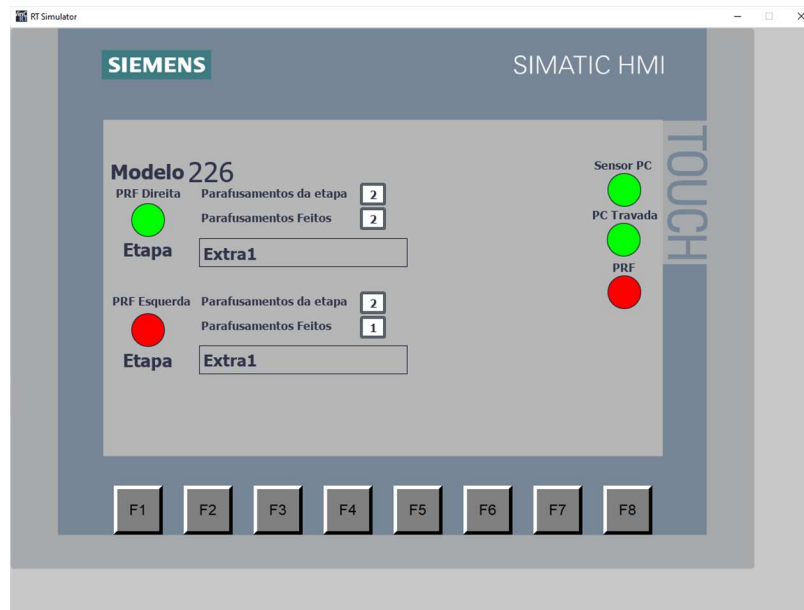
Figura 5.31 - Tela da IHM com dois parafusamento em andamento



Fonte: Elaboração própria (2021).

Por fim, confirmou-se o comportamento após a conclusão integral do lado direito. A interface alterou a cor do indicador de PRF Direita para verde, sinalizando que os dois torques programados foram atingidos, ao passo que o lado esquerdo continuava exibindo zero execuções pendentes (Figura 5.32). Enquanto a flag PRF Todos OK não é ativada, o programa impede o disparo do fim de ciclo, garantindo que nenhuma etapa seja omitida. Essa série de testes evidencia que, em todos os cenários: ausência de aperto, operação de apenas uma ferramenta ou uso simultâneo de ambas. A IHM orienta o operador de forma inequívoca, refletindo com precisão o estado inteiro do CLP e conduzindo o processo de maneira segura e previsível.

Figura 5.32 - Tela da IHM com parafusamento em andamento e uma etapa concluída



Fonte: Elaboração própria (2021).

5.8.3 Restabelecimento das condições iniciais

Com a confirmação de que todos os parafusos programados atingiram o torque nominal, a flag PRF Todos OK é elevada no CLP, disparando automaticamente a rotina de encerramento de ciclo após o botão de fim de ciclo ser pressionado. Nesse momento, os contadores de parafusamentos, as variáveis de etapa e todas as variáveis do processo retornam ao seu estado inicial, enquanto os atuadores pneumáticos são despressurizados para liberar a peça. A IHM passa a exibir a tela padrão novamente dando a indicação de que não há operações pendentes.

6 VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO EM DIFERENTES PLATAFORMAS

Este capítulo apresenta a validação da solução de controle desenvolvida por meio de sua implementação em diferentes plataformas de CLP. Enquanto a aplicação da solução em uma bancada real utilizando tecnologia Siemens foi detalhada no Capítulo 5, neste capítulo o foco está na comprovação da portabilidade da arquitetura proposta, a partir de sua implementação utilizando equipamentos da marca Delta, como o CLP e a IHM. A adoção dessa plataforma justifica-se, além dos aspectos técnicos, pela disponibilidade desses equipamentos no Instituto Federal de Santa Catarina, permitindo que a solução desenvolvida possa ser testada, reproduzida e analisada por outros alunos em um ambiente acadêmico. Essa característica torna a proposta mais palpável e acessível, reforçando seu potencial didático e evidenciando a viabilidade de uma implementação simplificada sem comprometer o funcionamento do sistema. Dessa forma, são abordados os principais aspectos da integração entre os dispositivos, bem como os testes realizados para validar o comportamento da solução e os resultados obtidos, reforçando sua eficiência, funcionalidade e independência em relação ao fabricante.

6.1 Elementos da solução independente de fabricante

Enquanto a aplicação da solução em uma bancada real utilizando tecnologia Siemens foi detalhada no Capítulo 5, neste capítulo o foco está na comprovação da portabilidade da arquitetura proposta, a partir de sua implementação utilizando equipamentos da marca Delta, especificamente o CLP modelo SS2 e a interface homem-máquina DOP-107EV. A adoção dessa plataforma justifica-se, além dos aspectos técnicos, pela disponibilidade desses equipamentos no Instituto Federal de Santa Catarina, permitindo que a solução desenvolvida possa ser testada, reproduzida e analisada por outros alunos em um ambiente acadêmico. Essa característica torna a proposta mais palpável e acessível, reforçando seu potencial didático e evidenciando a viabilidade de uma implementação simplificada sem comprometer o funcionamento do sistema. Dessa forma, são abordados os principais aspectos da integração entre os dispositivos, bem como os testes realizados para validar o comportamento da solução e os resultados obtidos, reforçando sua eficiência, funcionalidade e independência em relação ao fabricante.

6.1.1 Estrutura de controle parametrizável por receitas

A estrutura de controle adotada na solução desenvolvida é baseada em um modelo no qual a lógica de controle permanece centralizada no CLP, enquanto o comportamento do processo é ajustado por meio de parâmetros externos organizados em receitas. Nesse contexto, a lógica de controle é definida de forma fixa e responsável pela tomada de decisão, sequenciamento das etapas e validação das condições de operação, ao passo que as receitas atuam exclusivamente como um conjunto de parâmetros que influenciam o comportamento dessa lógica, sem alterar sua estrutura interna. Essa separação entre controle e parametrização permite que o mesmo programa de controle seja reutilizado para diferentes configurações de processo, bastando a seleção da receita adequada para modificar variáveis como habilitação de etapas, quantidades de operações ou limites de processo.

Essa abordagem contribui diretamente para a independência da solução em relação ao fabricante do controlador, uma vez que o conceito de parametrização por receitas não está vinculado a recursos proprietários, mas sim à organização lógica do sistema. Ao manter a lógica de controle desacoplada da configuração específica do processo, torna-se possível adaptar a solução a diferentes plataformas de automação sem a necessidade de reestruturação do programa principal, reforçando a flexibilidade, a escalabilidade e a facilidade de manutenção do sistema. Além disso, a utilização de receitas programáveis reduz a dependência de ferramentas de desenvolvimento para ajustes operacionais, uma vez que alterações de configuração podem ser realizadas sem modificações diretas na lógica de controle do CLP.

6.1.2 Identificador como chave de seleção da parametrização

Para que a estrutura de controle parametrizável por receitas possa operar de forma consistente e automática, a solução desenvolvida adota o uso de um identificador único como chave para a seleção da parametrização do processo. Esse identificador tem a função de estabelecer a associação entre a execução do sistema e o conjunto de parâmetros que deve ser aplicado, permitindo que a lógica de controle selecione a receita correta de forma inequívoca, sem intervenção manual do operador. Embora o identificador seja único no contexto das configurações disponíveis, ele pode

ser reutilizado sempre que um mesmo produto ou configuração de processo for executado, garantindo que os mesmos parâmetros sejam carregados de forma recorrente e padronizada a cada novo ciclo.

A utilização de um identificador como critério de seleção da parametrização contribui para a generalização da solução, uma vez que o conceito independe da natureza do processo controlado ou do meio utilizado para obtenção desse identificador. O sistema passa a operar a partir de referências lógicas, nas quais a receita é localizada pelo seu nome ou código associado, e não por posições fixas ou seleções manuais. Essa abordagem reduz a possibilidade de erros operacionais, assegura a repetibilidade do processo e reforça a independência da arquitetura em relação ao fabricante do controlador, uma vez que o mecanismo de associação entre identificador e parametrização pode ser implementado em diferentes plataformas de automação sem alterações conceituais na lógica de controle.

6.1.3 Organização do sistema por estados ou etapas

O sistema de controle é organizado a partir da divisão do processo em estados ou etapas bem definidas, que representam as diferentes fases de operação ao longo do ciclo produtivo. Cada estado é responsável pela execução de ações específicas e pela verificação das condições necessárias para a transição para a etapa seguinte, permitindo um sequenciamento lógico, previsível e controlado do processo. Ao explicitar as condições de transição entre as etapas, o sistema mantém a integridade do processo e facilita a manutenção e a adaptação da solução.

6.2 Implementação da solução em CLP Delta

A implementação da solução em um CLP de fabricante distinto foi realizada com o objetivo de validar a portabilidade da arquitetura de controle proposta. Para isso, a estrutura desenvolvida foi aplicada utilizando equipamentos da marca Delta, disponíveis no ambiente acadêmico do Instituto Federal de Santa Catarina, mantendo os princípios conceituais apresentados no capítulo 6.1. Nesta seção são descritos os principais aspectos da aplicação da solução nessa plataforma, abrangendo a organização geral do programa, a aplicação da estrutura de controle parametrizável

por receitas, o uso de identificadores como mecanismo de seleção da parametrização e a organização da lógica por estados ou etapas, evidenciando a independência da solução em relação ao fabricante do controlador.

6.2.1 Plataforma e ambiente de desenvolvimento

A implementação da solução na plataforma Delta foi realizada utilizando os ambientes de desenvolvimento do fabricante, sendo a lógica de controle programada no software ISPSOft em linguagem Ladder, com organização modular por meio de networks. A interface homem-máquina foi desenvolvida no software DOPSOft, no qual foram criadas as telas de operação e supervisão, elaboração das receitas programáveis e realizada a vinculação das variáveis do CLP à IHM, além da utilização dos recursos de simulação disponíveis para validar o comportamento da lógica de controle e a comunicação entre os sistemas antes da aplicação em ambiente físico, assegurando a consistência da solução proposta na plataforma Delta.

6.2.2 Aplicação da estrutura de controle parametrizável por receitas

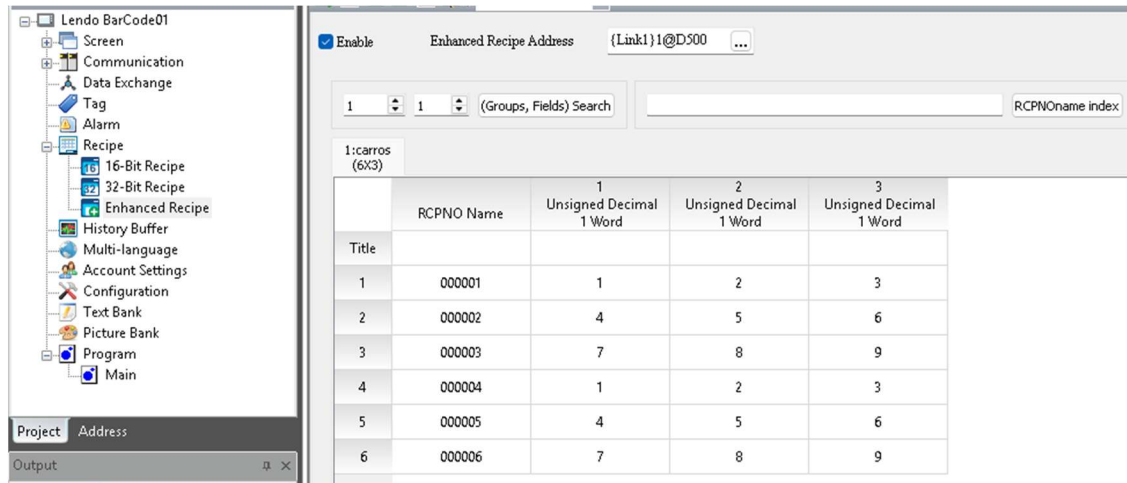
A aplicação da estrutura de controle parametrizável por receitas na plataforma Delta foi realizada por meio da configuração e utilização dos recursos de gerenciamento de receitas disponíveis na IHM, utilizando o software DOPSOft tanto para a elaboração do banco de receitas quanto para a programação da interface homem-máquina.

A utilização de receitas foi uma solução implementada para otimizar o uso do banco de dados integrado à IHM, permitindo a personalização das operações de acordo com as características de cada peça. As receitas armazenam informações específicas, como o número de parafusamentos necessários e outras variáveis relevantes para o processo.

Durante a implementação, foram enfrentados desafios relacionados à integração do leitor de código de barras com o banco de dados da IHM. O principal problema era garantir que o código lido fosse corretamente identificado e associado à receita correspondente. Para solucionar isso, foi adotado o uso das Enhanced

Recipes do software DOPSoft, uma funcionalidade avançada que possibilita maior flexibilidade no gerenciamento de receitas.

Figura 6.1 - Representação das “Enhanced Recipes”

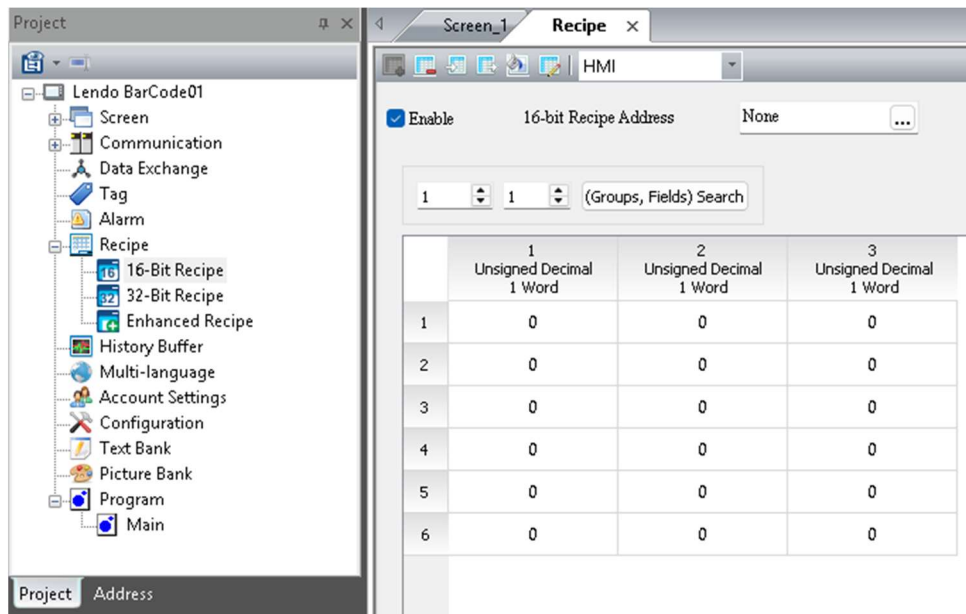


	RCPNO Name	1 Unsigned Decimal 1 Word	2 Unsigned Decimal 1 Word	3 Unsigned Decimal 1 Word
Title				
1	000001	1	2	3
2	000002	4	5	6
3	000003	7	8	9
4	000004	1	2	3
5	000005	4	5	6
6	000006	7	8	9

Fonte: Acervo próprio(2024)

As Enhanced Recipes permitiram criar um banco de dados robusto (Figura 6.1), onde cada receita é associada a um nome específico, que no caso do projeto é o código de barras de cada peça. Essa abordagem se diferencia das receitas convencionais vista na Figura 6.2, também disponíveis no software, que só podem ser acessadas por índices numéricos, tornando a associação com os códigos de barras lidos pelo sistema muito mais direta e confiável.

Figura 6.2 - Representação das “Recipes”



Fonte: Acervo próprio(2024).

Ao utilizar os nomes dos códigos de barras como identificadores das Enhanced Recipes, foi possível criar um banco de dados com todos os códigos possíveis, garantindo que cada peça fosse identificada corretamente. Quando o código de barras é lido, a IHM busca automaticamente o nome correspondente no banco de dados das receitas, carregando os parâmetros associados de forma precisa e eficiente. Essa implementação eliminou a necessidade de lógica adicional no CLP para tratar índices ou realizar associações complexas, simplificando o sistema como um todo.

Essa solução assegura que os códigos lidos sejam corretamente associados às receitas e permitem que o sistema seja facilmente escalável para acomodar novas peças, bastando adicionar os códigos correspondentes ao banco de dados.

6.2.2.1 Associação dos códigos de barras as receitas

A associação do código de barras lido às receitas foi configurada utilizando as funcionalidades das Enhanced Recipes no DOPSoft, permitindo que o sistema buscasse dinamicamente os parâmetros associados a cada peça.

Figura 6.3 - Configuração principal do Barcode Input

Fonte: Acervo próprio(2024).

Conforme mostrado na Figura 6.3, o campo de entrada do código de barras foi configurado para enviar o valor lido para o endereço ENRCPNNAME, que corresponde ao nome da receita no banco de dados das Enhanced Recipes. No projeto, esse nome foi definido como o próprio código de barras da peça, o que facilita a identificação direta no sistema.

Para garantir que o código de barras fosse lido apenas quando a máquina não estava em operação, como mostrado na Figura 6.4, utilizamos a variável M8 como Interlock Address do leitor de códigos. A variável M8 foi configurada para estar ativa

somente quando o sistema não está em operação, permitindo a leitura de novos códigos de barras de forma segura.

Figura 6.4 - Configuração de detalhes do Barcode Input

The screenshot shows the 'Barcode Input' configuration window. On the left is a 'Preview' pane showing a barcode with the text '***** ...'. Below the preview are fields for 'State' (set to 0), 'Language' (set to Language1), and 'Element description' (Barcode Input_001). On the right is a configuration pane with tabs: 'Main', 'Main-2', 'Text', 'Details' (selected), and 'Macro'. Under the 'Details' tab, there is an 'Other' section with the following settings:

Parameter	Value
Input Mode:	Active
Popup Control Addr.:	None
Interlock State:	On
Interlock Display	Show Element
Interlock Address:	{Link1}1@M8
Trigger Mode:	Before Writing
Trigger Addr.:	None
Invisible Address:	None

Fonte: Acervo próprio(2024).

Após a receita ser carregada com sucesso, o sistema exibe automaticamente na interface da IHM o código de barras lido, junto com as informações específicas da peça, como o modelo e a cor do carro correspondente. Esses dados são carregados diretamente do banco de dados das Enhanced Recipes, permitindo ao operador verificar visualmente se as informações estão corretas.

6.3 Aplicação do sistema por etapas ou estados

A lógica de controle do sistema foi desenvolvida utilizando a linguagem Ladder no software ISPSOft, sendo estruturada de forma sequencial a partir de

estados que representam cada etapa do processo de montagem, conforme ilustrado no fluxograma apresentado. Essa organização permite que o funcionamento do sistema ocorra de maneira ordenada e previsível, facilitando o controle do processo e a transição entre as etapas.

Após a inicialização do sistema, a máquina permanece no estado de máquina iniciada, no qual aguarda a leitura do código de barras da peça e o comando de início por parte do operador. Nesse estado, o sistema encontra-se preparado para receber uma nova peça, sem que nenhuma etapa de montagem esteja em execução.

Com o acionamento do comando de início pelo operador, a montagem passa para o estado de operação, habilitando as etapas do processo, incluindo o parafusamento. Durante essa fase, o sistema executa as ações previstas para a peça identificada, permanecendo nesse estado até que todas as etapas de parafusamento sejam concluídas. Ao término dessa etapa, o sistema ativa o estado de parafusamento concluído, indicando que a montagem foi finalizada.

Com a máquina ainda em operação e o parafusamento concluído, o sistema espera pela confirmação de fim de ciclo por parte do operador. Após o acionamento do comando de fim de ciclo, o sistema sinaliza a montagem como concluída, realiza o reset de todas as variáveis de controle e retorna ao estado de máquina iniciada, ficando apto para iniciar um novo ciclo de montagem.

6.4 Análise Comparativa entre as plataformas

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma análise comparativa entre as plataformas Siemens e Delta, considerando exclusivamente os aspectos em que as implementações se diferenciam. A arquitetura lógica do sistema, a organização por estados e o conceito de parametrização por receitas permanecem equivalentes em ambas as soluções, não sendo, portanto, o foco desta análise. A comparação concentra-se nas particularidades de integração do sistema de identificação, na forma de gerenciamento das receitas e nos mecanismos de sincronização entre IHM e CLP, evidenciando como cada plataforma aborda essas funcionalidades de maneira distinta.

6.4.1 Comparação da integração do sistema de identificação

A integração do sistema de identificação por código de barras apresenta diferenças relevantes entre as plataformas Siemens e Delta, embora ambas atendam plenamente aos requisitos funcionais do projeto. Na plataforma Siemens, o leitor de código de barras é conectado diretamente ao CLP por meio de um módulo de comunicação serial RS-232, sendo os dados recebidos pelo bloco de comunicação RCV_PTP. Nessa abordagem, o valor lido pelo código de barras é continuamente atualizado no buffer do bloco de comunicação, independentemente do estado do processo. O que determina se essa informação será ou não utilizada pela lógica de controle não é a leitura em si, mas as variáveis de controle e de estado do sistema. Enquanto nenhum modelo de veículo é confirmado, o bloco de recepção permanece habilitado, permitindo a utilização do código lido. A partir do momento em que um modelo é confirmado e o processo de montagem entra em execução, a lógica de controle impede que alterações no valor do buffer resultem em novas ações, mesmo que o código de barras continue sendo atualizado.

Essa forma de integração confere ao CLP total controle sobre o uso da informação recebida, uma vez que a leitura do código de barras é desacoplada da tomada de decisão. Em um cenário no qual não fossem necessárias a utilização de receitas programáveis ou a disponibilização de uma interface visual ao operador, a identificação da peça poderia ser realizada exclusivamente pelo CLP, utilizando apenas o código proveniente do leitor de código de barras, tornando a presença da IHM dispensável para essa finalidade específica.

Na plataforma Delta, o leitor de código de barras é conectado diretamente à IHM por meio da interface USB, sendo a leitura gerenciada pelo recurso Barcode Input disponível no DOPSoft, o qual armazena o valor lido diretamente na variável configurada na interface. Nessa abordagem, a informação disponibilizada pela leitura tende a estar imediatamente acessível ao sistema sempre que o scanner realiza uma leitura, o que exige que o controle do momento apropriado para ler o código seja realizado antes da aquisição do dado. Por esse motivo, a mesma condição lógica utilizada na plataforma Siemens para indicar a confirmação de um modelo é reaproveitada no Delta, porém aplicada de forma diferente. Nessa plataforma, essa condição atua diretamente sobre a habilitação do leitor de código de barras, por meio

de um endereço de intertravamento. Enquanto nenhum modelo de veículo estiver confirmado, o intertravamento mantém o scanner habilitado para leitura. Após a confirmação do modelo, o intertravamento desabilita a leitura do código, impedindo que novas leituras interfiram no andamento do processo.

De forma geral, observa-se que, embora a integração física e o ponto de aquisição do código de barras sejam distintos entre as plataformas, a lógica de controle associada à identificação da peça permanece conceitualmente equivalente. Em ambos os casos, a confirmação do modelo atua como condição determinante para permitir ou bloquear a continuidade do fluxo de identificação, garantindo que novas leituras não interfiram no processo de montagem em execução. Assim, a principal diferença entre as plataformas reside no local em que a leitura é tratada, diretamente no CLP na solução Siemens e na IHM na solução Delta, sem impacto no comportamento funcional do sistema, que se mantém consistente e alinhado aos requisitos do projeto.

6.4.2 Diferenças na implementação das receitas

O gerenciamento de receitas apresenta abordagens distintas nas plataformas Siemens e Delta, não partindo de um mesmo princípio de funcionamento. Na plataforma Delta, o ambiente de desenvolvimento disponibiliza dois tipos de receitas, sendo receitas convencionais baseadas em identificadores numéricos e Enhanced Recipes, que permitem a associação por identificador e por nome. Essa estrutura possibilita que valores alfanuméricos, como o código de barras identificado, sejam utilizados diretamente como referência para a seleção da receita correspondente. Na plataforma Siemens, embora as receitas também possuam identificadores e nomes associados, o ambiente não disponibiliza de forma nativa um mecanismo que permita a busca de uma receita pelo nome a partir de uma variável proveniente do CLP.

Na plataforma Siemens, o código de barras identificado é recebido diretamente pelo CLP, garantindo que o valor esteja disponível para a lógica de controle do sistema. A utilização desse valor para localizar a receita correspondente na IHM é possível, porém não ocorre de forma direta ou explícita no ambiente de desenvolvimento. Diferentemente da plataforma Delta, o Siemens não disponibiliza

um bloco dedicado que permita utilizar uma variável proveniente do CLP como entrada direta para a busca de receitas pelo nome. Dessa forma, a associação entre o identificador alfanumérico da peça e a estrutura das receitas exigiu a adoção de uma etapa adicional, baseada no uso de funções específicas da IHM. Esse método, embora funcional, não é amplamente documentado nem comumente explorado, encontrando-se de forma pouco evidente no ambiente de desenvolvimento, o que demandou maior aprofundamento técnico para sua correta aplicação.

Na plataforma Delta, a implementação apresenta uma abordagem distinta. Tanto o código de barras quanto as receitas são gerenciados diretamente na IHM, o que possibilita uma integração mais direta entre a identificação da peça e a estrutura das receitas. Nesse ambiente, a IHM oferece nativamente a opção de associar o valor lido pelo código de barras ao nome de uma receita, permitindo que o identificador da peça seja utilizado diretamente como referência para a seleção da receita correspondente. Dessa forma, após a leitura do código, a relação entre a peça identificada e sua receita já se encontra estabelecida, restando apenas a etapa de carregamento dos parâmetros para o CLP.

Assim, observa-se que, enquanto na plataforma Delta a leitura do código de barras já resulta em uma associação direta com a receita correspondente, na plataforma Siemens o processo exige etapas intermediárias adicionais. Nesse caso, o código é lido, armazenado em uma variável no CLP e posteriormente utilizado como entrada para funções específicas que possibilitam a busca da receita correspondente na IHM. Essa diferença evidencia que a maior complexidade da implementação no Siemens está relacionada à associação entre o identificador da peça e a estrutura das receitas, enquanto no Delta essa associação é tratada de forma mais direta no ambiente da interface.

6.4.3 Mecanismos de carregamento das receitas

Os mecanismos de carregamento das receitas nas plataformas Siemens e Delta apresentam funcionamento conceitualmente semelhante, baseando-se na ativação de um comando específico que autoriza a transferência dos parâmetros da IHM para o CLP. Em ambas as soluções, o carregamento ocorre de forma explícita e

controlada, garantindo que os dados da receita correspondente à peça identificada sejam aplicados corretamente ao processo antes do início da montagem.

Na plataforma Siemens, o carregamento é iniciado pela ativação da variável `Carrega_Receita`, que aciona na IHM a execução da função `SetDataRecordToPLC`. Essa função é responsável por carregar os parâmetros da receita configurada, tornando-os disponíveis para a lógica de controle do CLP. Já na plataforma Delta, o carregamento ocorre por meio do acionamento de um Control Block associado às Enhanced Recipes, no qual a ativação de um bit interno da IHM executa automaticamente a rotina de carregamento da receita selecionada.

Dessa forma, observa-se que, apesar das diferenças na organização interna de cada ambiente de desenvolvimento, o processo de carregamento das receitas é simples e funcional em ambas as plataformas.

6.4.4 Considerações da análise comparativa

A análise comparativa entre as plataformas Siemens e Delta evidenciou que, do ponto de vista funcional, ambas são plenamente capazes de atender aos requisitos do sistema proposto, tanto a integração do sistema de identificação por código de barras quanto os mecanismos de carregamento das receitas programáveis em ambas as plataformas, apresentaram implementação relativamente simples.

Entretanto, no que diz respeito à implementação das receitas programáveis, observou-se uma diferença mais significativa entre os ambientes. A plataforma Delta apresenta uma solução direta, intuitiva e amplamente suportada pelo fabricante por meio do recurso de Enhanced Recipes, facilitando a associação do identificador da peça ao conjunto de parâmetros e reduzindo a necessidade de estruturas intermediárias. Na plataforma Siemens, embora a implementação também seja plenamente funcional e eficiente, a solução adotada não foi encontrada de forma documentada ou apresentada de maneira explícita nos materiais de referência do fabricante, exigindo maior exploração do ambiente de desenvolvimento e compreensão aprofundada das funções disponíveis na IHM para viabilizar o carregamento das receitas.

Dessa forma, conclui-se que, apesar das diferenças na forma de implementação e no nível de suporte nativo oferecido por cada plataforma, ambas permitem a aplicação consistente da arquitetura proposta neste trabalho. A solução desenvolvida demonstra-se portátil e independente de fabricante, sendo a principal distinção observada relacionada à facilidade de implementação e ao grau de abstração disponibilizado por cada ambiente para o gerenciamento das receitas programáveis.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e a implementação de uma bancada semiautomatizada para a montagem da parte frontal de veículos, baseada na integração entre CLP e IHM utilizando receitas programáveis como estratégia central para a organização e parametrização do processo produtivo. A solução proposta contemplou a identificação automática das peças por meio da leitura de códigos de barras, possibilitando o carregamento dinâmico dos parâmetros de montagem de forma segura, rastreável e independente da lógica de controle principal.

Ao longo do desenvolvimento, foi possível demonstrar que a adoção de receitas programáveis permite a separação clara entre a lógica de controle e a parametrização do processo, contribuindo significativamente para a flexibilidade, manutenibilidade e padronização do sistema. As receitas passaram a atuar como conjuntos estruturados de parâmetros, responsáveis por definir o comportamento do processo de montagem sem a necessidade de alterações diretas no programa do CLP. Essa abordagem reduziu o tempo de setup, minimizou erros operacionais e possibilitou a rápida adaptação do sistema a diferentes modelos de peças e configurações produtivas.

Os testes experimentais realizados evidenciaram o correto funcionamento da solução, comprovando a confiabilidade da leitura dos códigos de barras, a consistência do carregamento das receitas e a execução adequada das etapas de montagem e parafusamento. O sistema apresentou comportamento estável frente aos diferentes cenários operacionais previstos, assegurando que apenas peças corretamente identificadas e parametrizadas pudessem avançar no ciclo produtivo, reforçando os aspectos de segurança e integridade do processo.

Um dos principais diferenciais deste trabalho reside na validação da arquitetura proposta em plataformas de automação distintas, especificamente Siemens e Delta. Embora ambas as plataformas atendam plenamente aos requisitos funcionais do sistema, a análise comparativa evidenciou diferenças relevantes na forma de implementação do gerenciamento de receitas. Na plataforma Delta, a associação direta entre identificadores alfanuméricos e receitas é suportada de forma nativa por meio das Enhanced Recipes, enquanto na plataforma Siemens essa funcionalidade não é disponibilizada de forma explícita, exigindo a adoção de uma

abordagem alternativa baseada em funções específicas da IHM. Ainda assim, foi possível implementar com sucesso a mesma arquitetura conceitual em ambas as plataformas, comprovando a portabilidade e a independência da solução em relação ao fabricante do controlador.

Dessa forma, o trabalho demonstra que a utilização de identificadores alfanuméricos como chave de seleção da parametrização do processo, associada a uma estrutura de controle organizada por estados e orientada por receitas, constitui uma solução robusta e aplicável a diferentes ambientes industriais. A arquitetura desenvolvida pode ser replicada ou adaptada para outras aplicações de montagem ou manufatura que demandem flexibilidade, rastreabilidade e redução de intervenções manuais, mantendo a lógica de controle estável e concentrando os ajustes no ambiente operacional.

Como limitações observadas durante a implementação, destaca-se a dependência da correta leitura dos códigos de barras e da adequada parametrização das receitas na IHM, fatores que exigem procedimentos de cadastro e validação bem definidos para garantir o funcionamento contínuo do sistema. Eventuais falhas nesses pontos podem gerar interrupções no processo, reforçando a importância de um gerenciamento rigoroso das informações associadas às receitas.

Como trabalhos futuros, recomenda-se a investigação de mecanismos adicionais para aumentar a confiabilidade do sistema de identificação, como estratégias de redundância ou validação cruzada dos códigos lidos. Também se sugere a ampliação da integração do sistema com redes industriais de nível superior, possibilitando maior troca de dados com sistemas supervisórios ou de gestão da produção. Por fim, a evolução da interface gráfica da IHM, com recursos adicionais de diagnóstico e apoio ao operador, pode contribuir para tornar o sistema ainda mais eficiente e intuitivo.

Em síntese, este trabalho comprova que a aplicação de receitas programáveis associadas à identificação automática de peças representa uma solução eficaz para a automação de processos de montagem industrial. A abordagem adotada mostrou-se tecnicamente viável, flexível e independente de fabricante, oferecendo uma contribuição relevante tanto do ponto de vista industrial quanto

acadêmico, ao demonstrar na prática como decisões arquiteturais adequadas podem ampliar a eficiência, a escalabilidade e a confiabilidade de sistemas automatizados.

REFERÊNCIAS

BOLTON, W. Programação de CLP: princípios e aplicações. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

CHAGAS, M. F. de L. Controladores Lógicos Programáveis: teoria e aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020.

DELTA ELECTRONICS. DOPSoft User Manual. Taipei, 2024. Disponível em: <https://www.delta.com.tw>. Acesso em: 12 abr. 2024.

DELTA ELECTRONICS. ISPSoft User Manual. Taipei, 2024. Disponível em: <https://www.delta.com.tw>. Acesso em: 12 abr. 2024.

OLIVEIRA, R. R. de. Sistemas supervisórios e interfaces homem-máquina. São Paulo: Érica, 2016.

PEREIRA, M. M. Sistemas de controle e automação industrial. São Paulo: Érica, 2017.

SIEMENS. Manual TIA Portal V15: Programação com STEP 7 (TIA Portal). Nuremberg, 2024. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com>. Acesso em: 15 abr. 2024.

SILVA, A. C. Automação industrial: fundamentos e aplicações. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

IEC. IEC 61131-3:2025 – Programmable controllers — Part 3: Programming languages. 5. ed. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2025.

ISA. ISA-88.01-2023 – Batch Control: Part 1 – Models and terminology. Research Triangle Park: International Society of Automation, 2023.

ROCKWELL AUTOMATION. Modern Batch Solutions Whitepaper. Milwaukee, 2024. Disponível em: <https://literature.rockwellautomation.com>. Acesso em: 8 mai. 2025.

SIEMENS. Creating a Standard Recipe View and Recipe Screen – WinCC Runtime Advanced / Comfort Panels (Application Example, Entry ID 109739999, V 2.0). Nürnberg: Siemens AG, 2021. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com>. Acesso em: 12 mai. 2025.

SIEMENS. Parameterization of Series Machines via Recipes – TIA Portal, S7-1200/1500 (Application Example, Entry ID 109769426, V 1.0). Nürnberg: Siemens AG, 2019. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com>. Acesso em: 20 mai. 2025.

APÊNDICE A – Esquemas elétricos

Fig A.1 – Disposição dos componentes elétricos no quadro

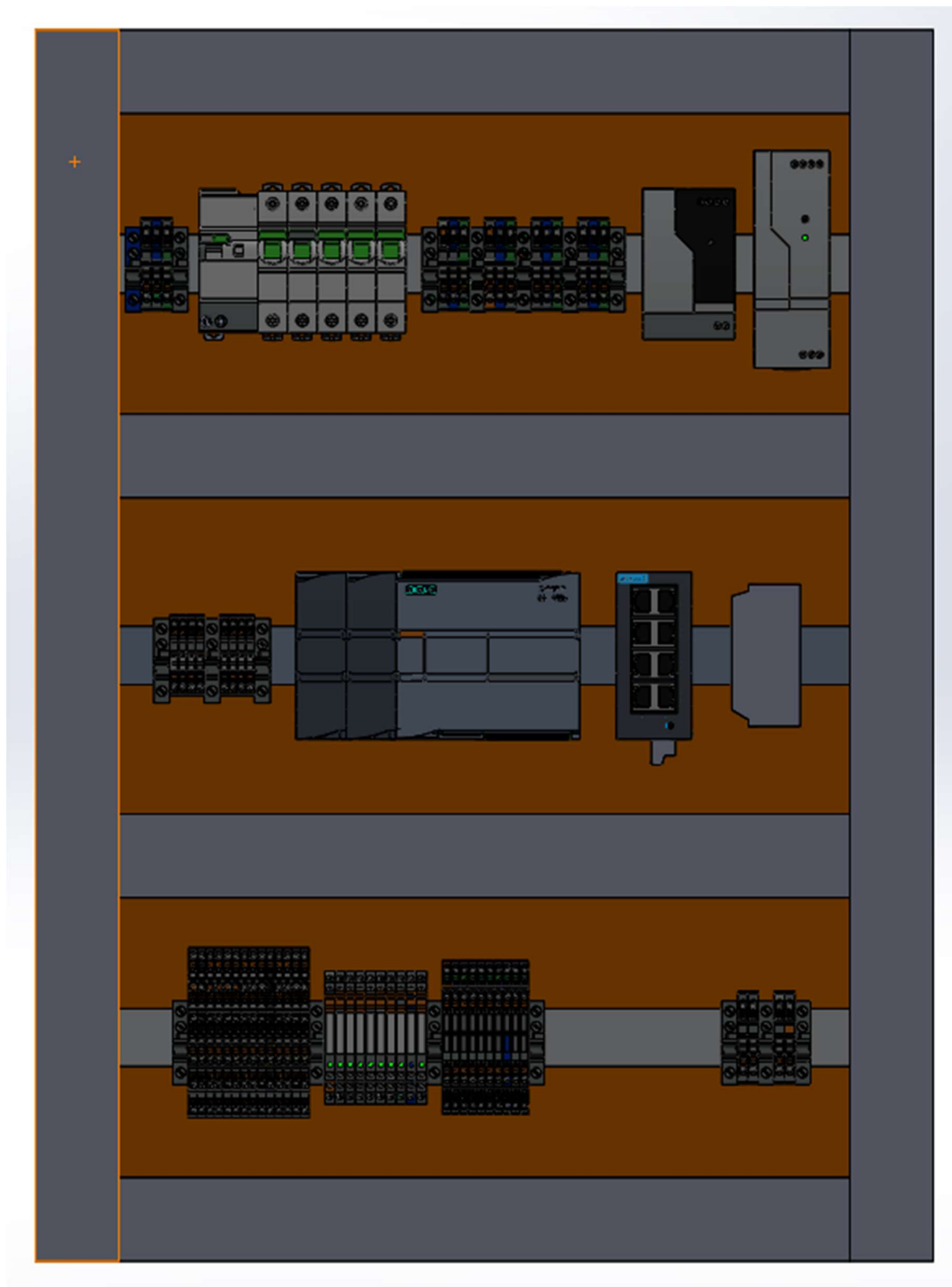


Fig A.2 – Esquema elétrico de comando da bancada

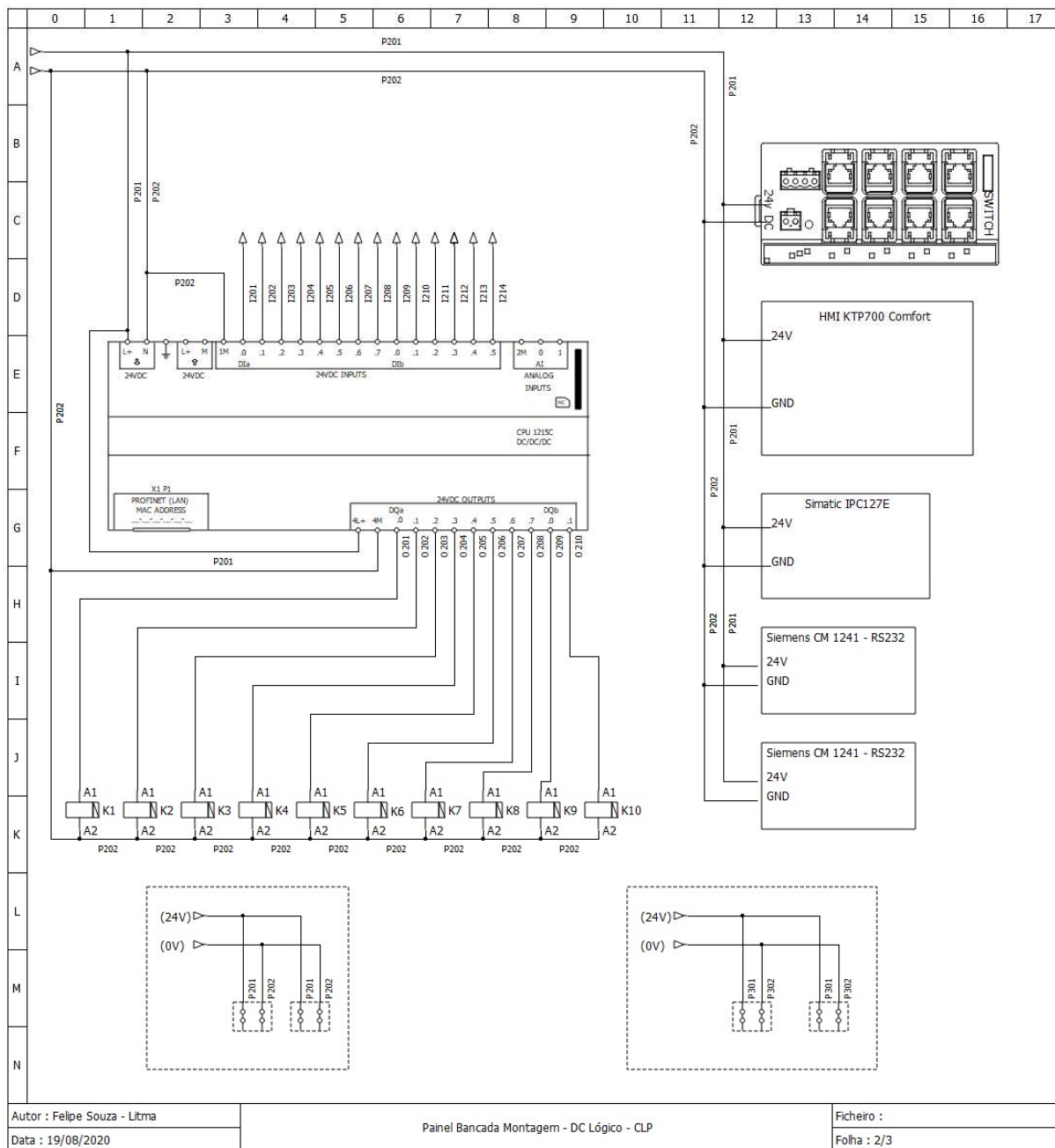


Fig A.3 – Esquema elétrico de potência da bancada

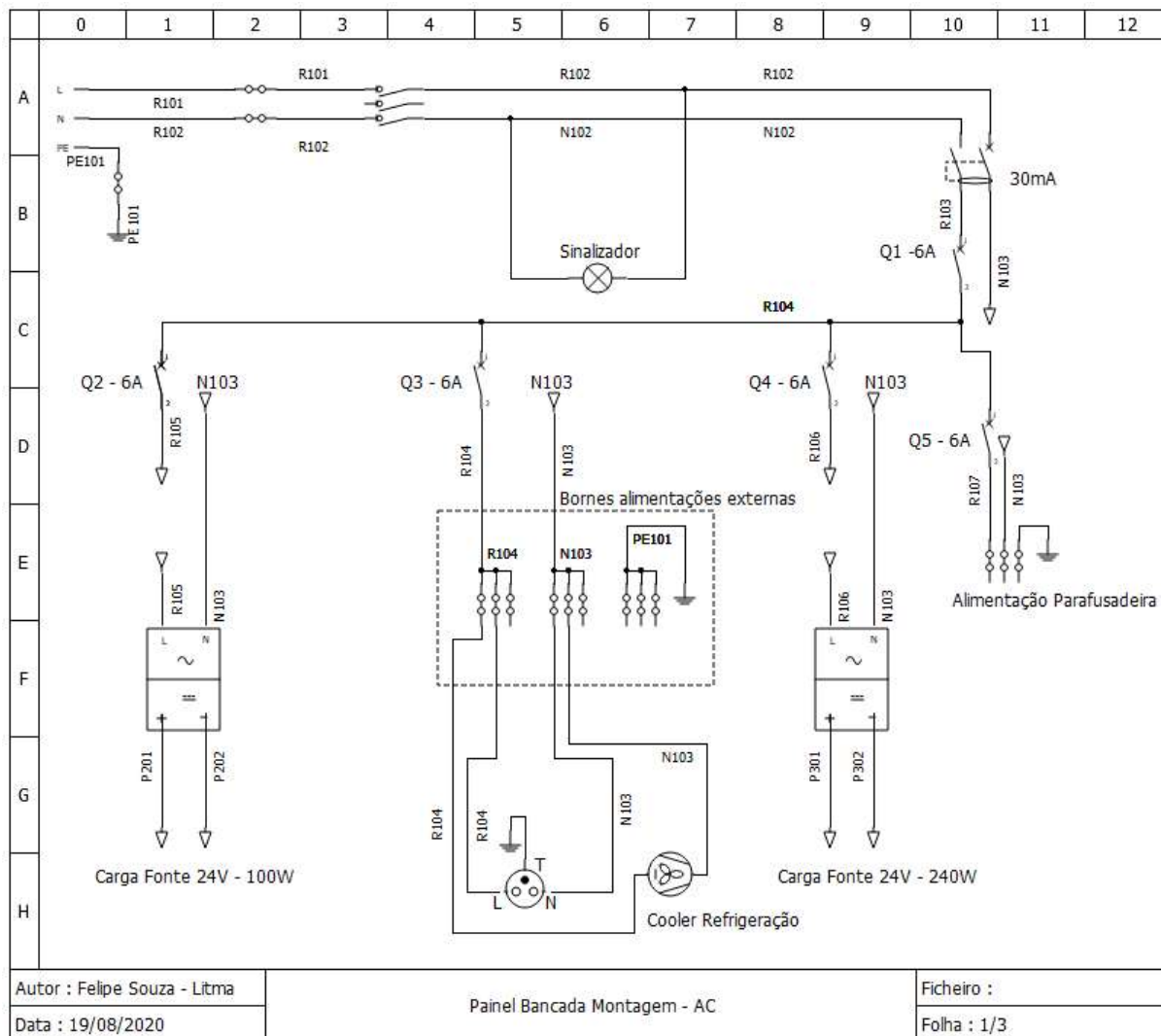
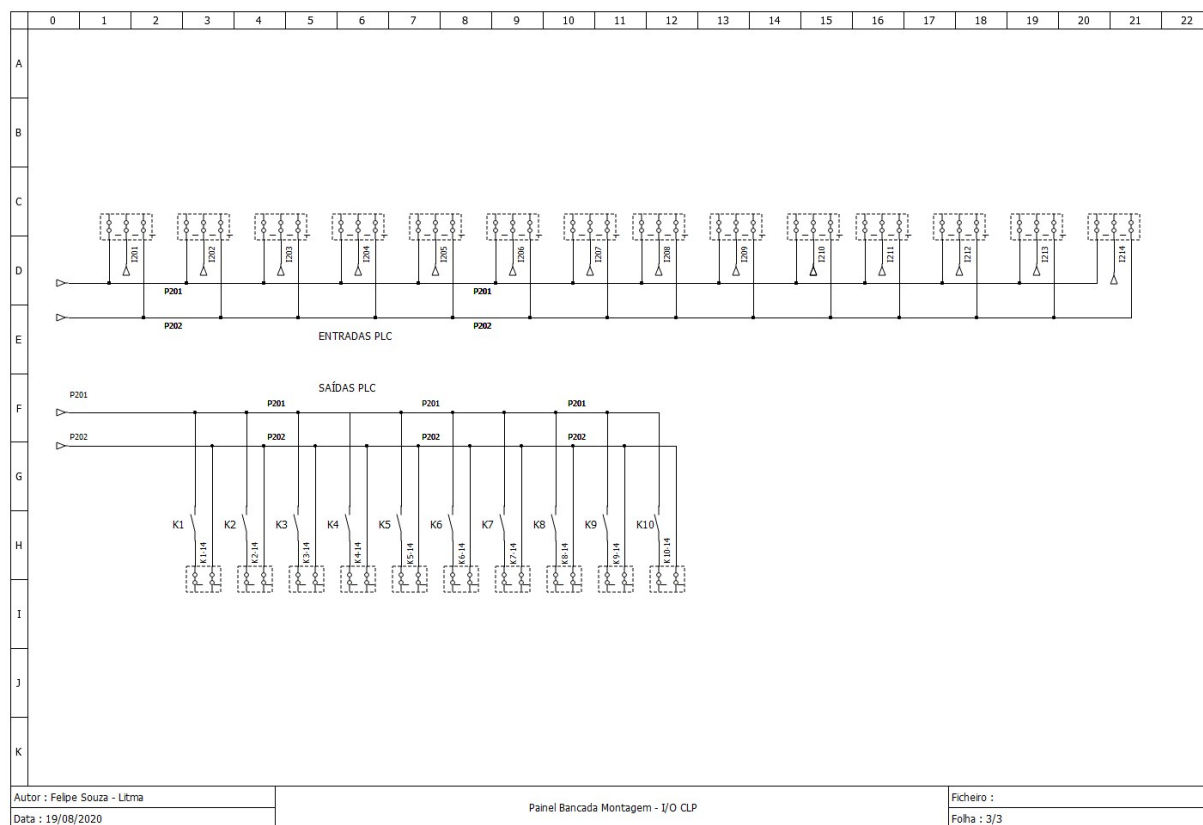


Fig A.4 – Esquema elétrico dos módulos de relés de entrada e saída



APÊNDICE B – Trechos relevantes da programação em linguagem ladder

Fig B.1 – Trecho da lógica Ladder responsável pelo reset de variáveis, limpeza de strings, e reinicialização das memórias ao final do ciclo.

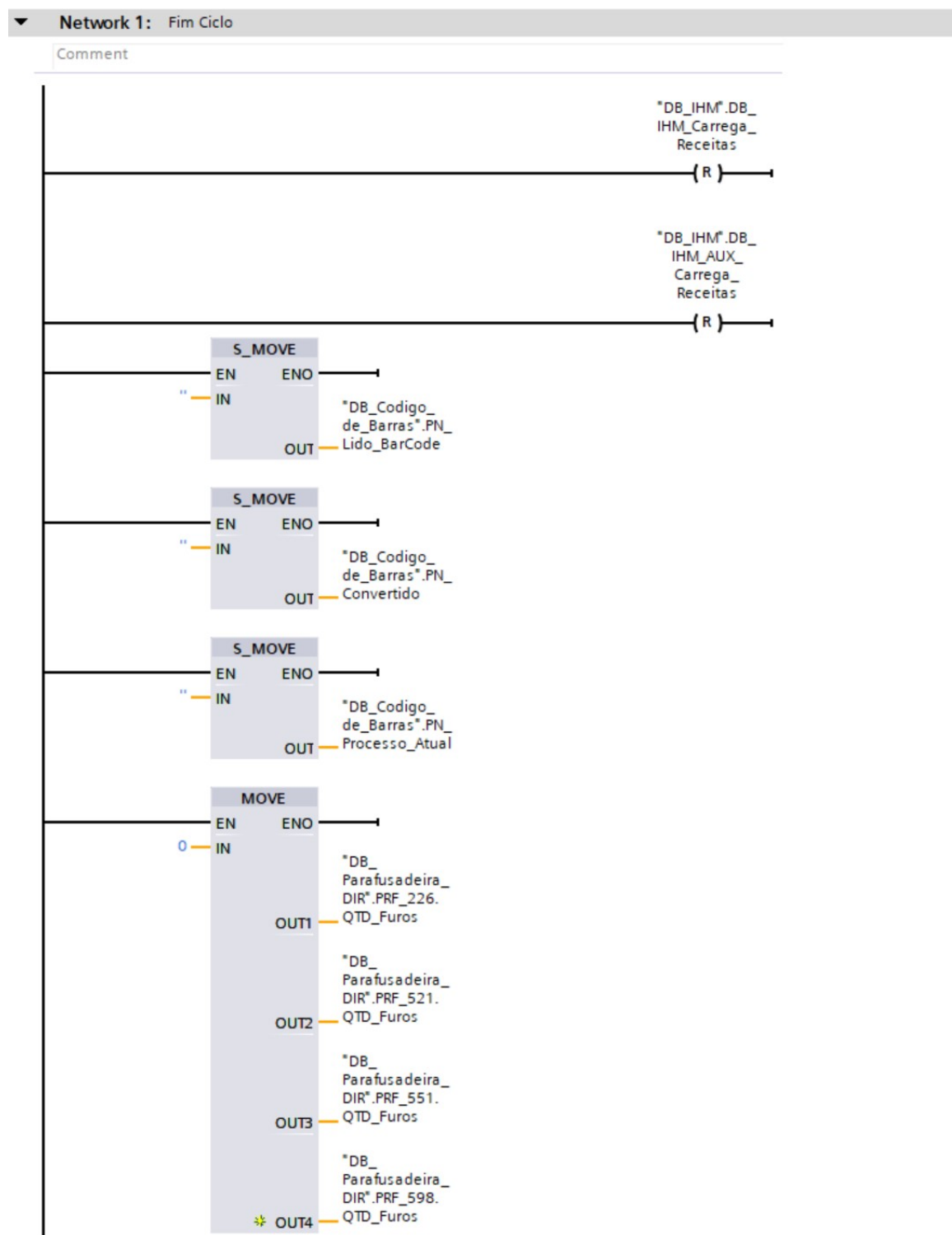


Fig B.2 – Trecho da lógica ladder responsável pelo reset das variáveis do Data Block associadas ao modelo de carro 521

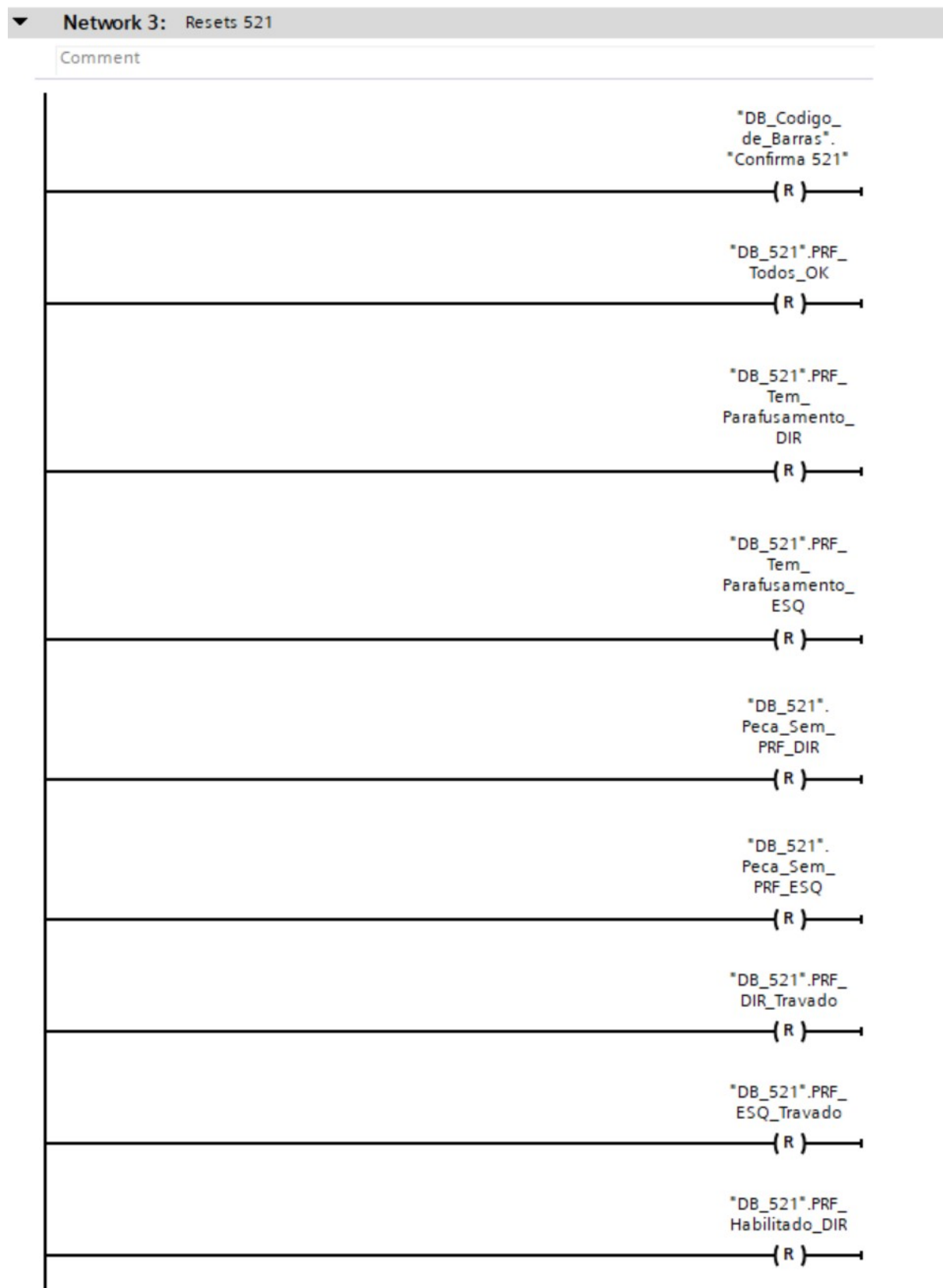


Fig B.3 – Comunicação serial via bloco RCV_PTP para leitura e armazenamento do código de barras no CLP

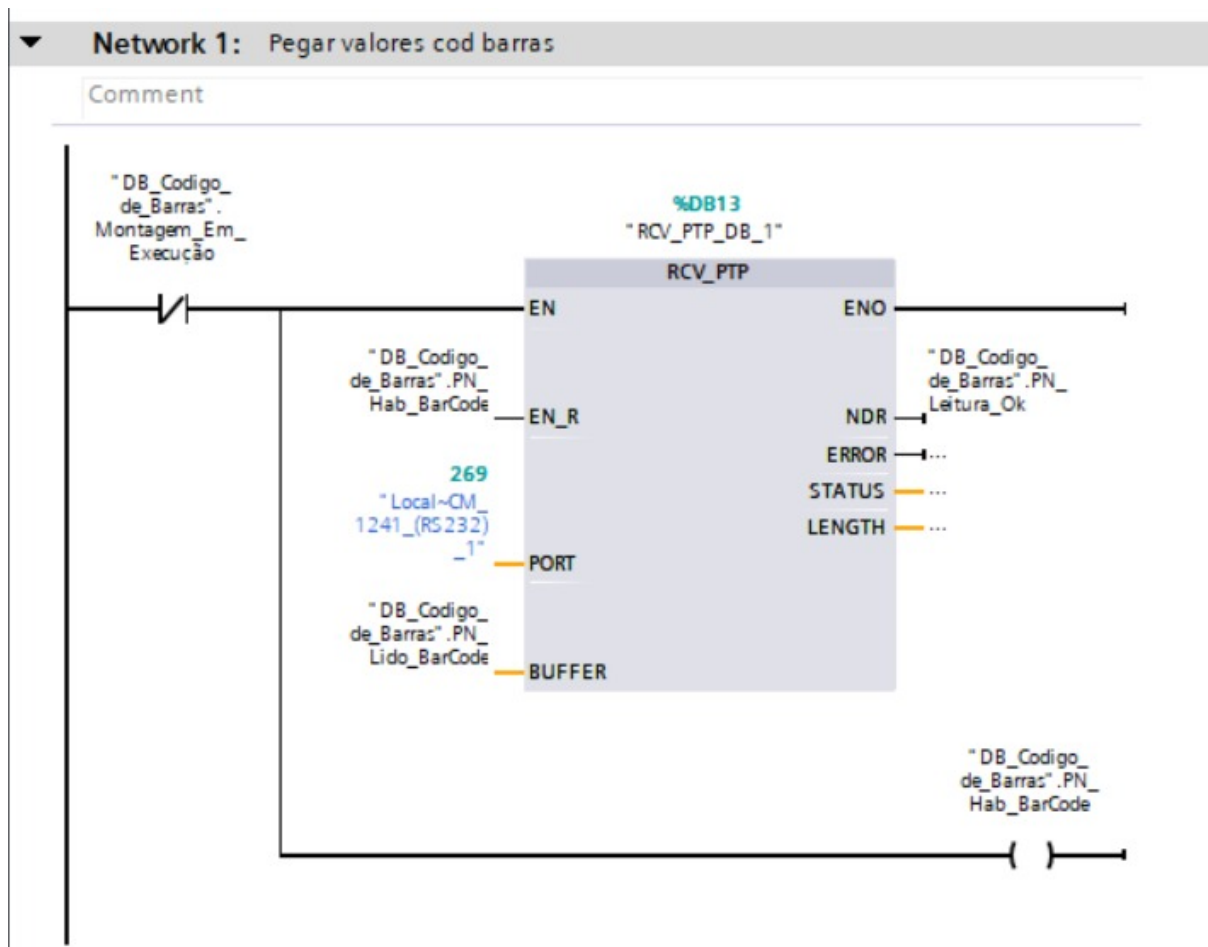


Fig B.4 – Lógica Ladder de conversão do Part Number para formato padrão da fábrica

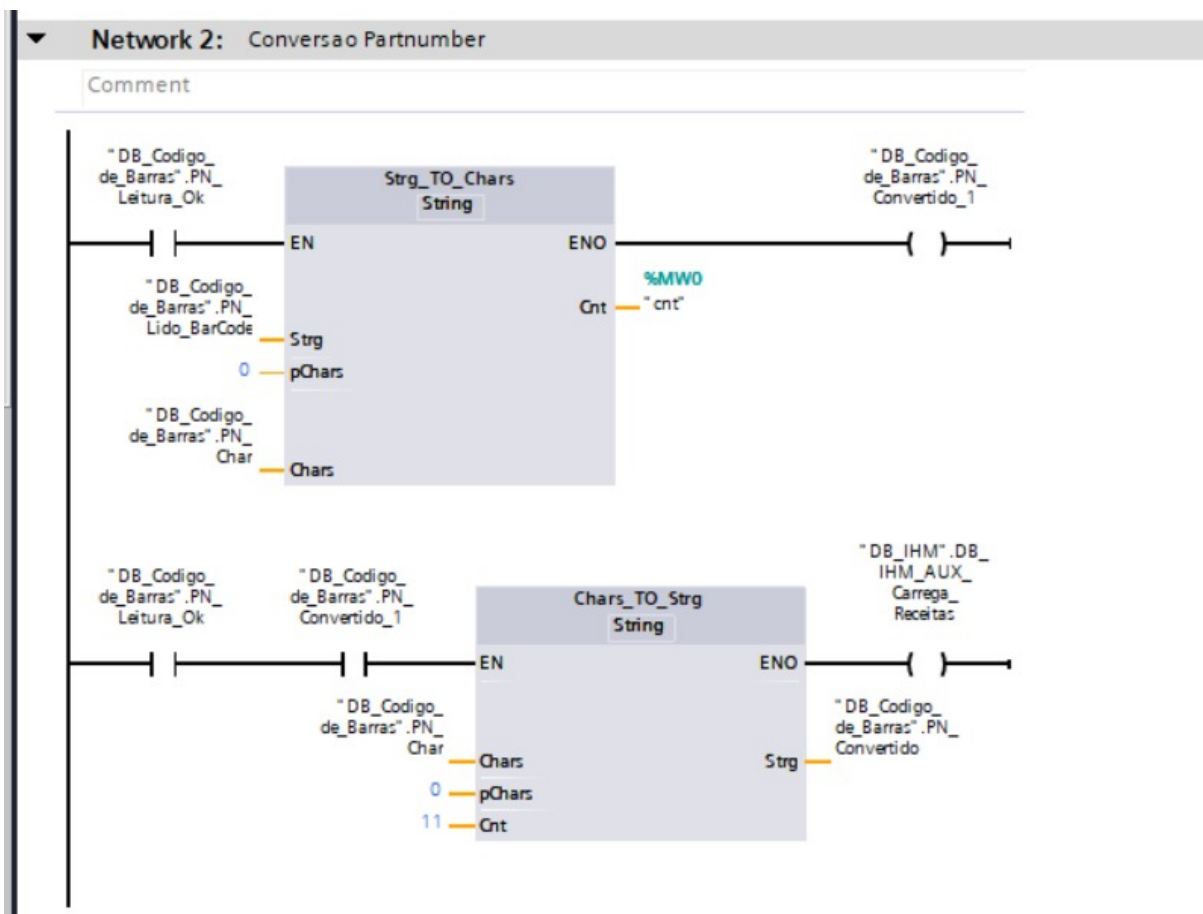


Fig B.5 – Ativação da flag de carregamento de receitas

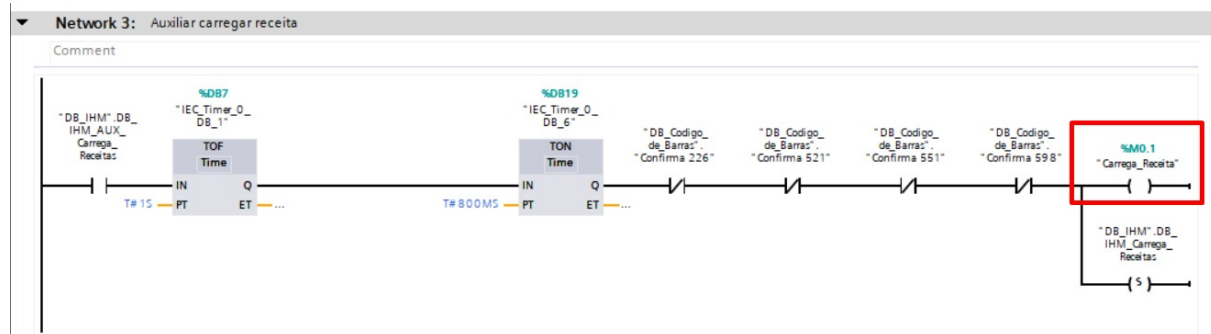


Fig B.6 – Comparação do Part Number com modelos cadastrados para controle do processo

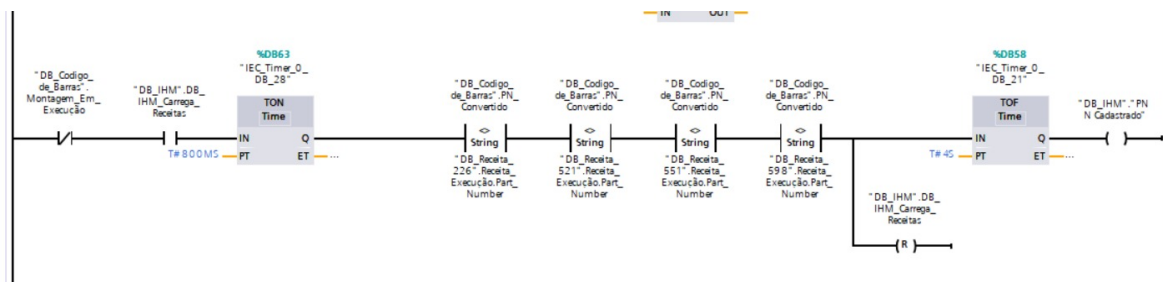


Fig B.7 – Trecho do bloco de comparação para determinar o modelo do carro

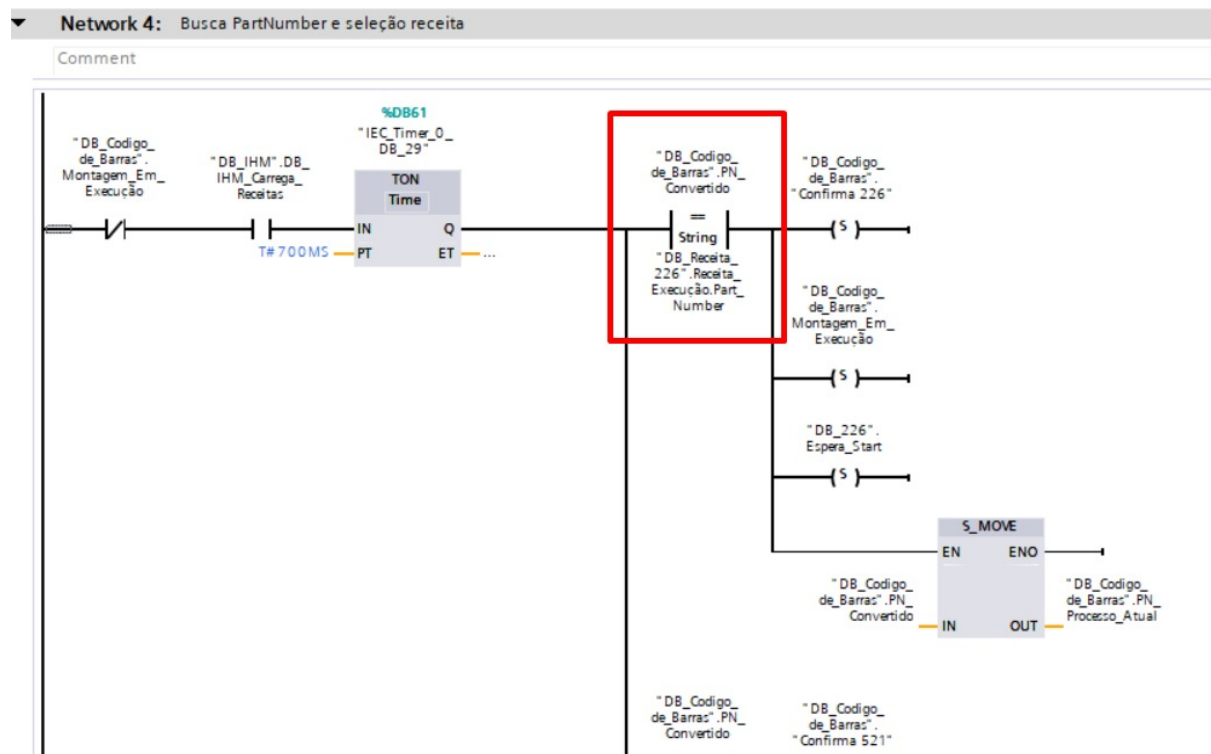


Fig B.8 – Verificação da necessidade de parafusamentos na parafusadeira direita

▼ **Network 1:** Verifica se há parafusamento na direita

Comment

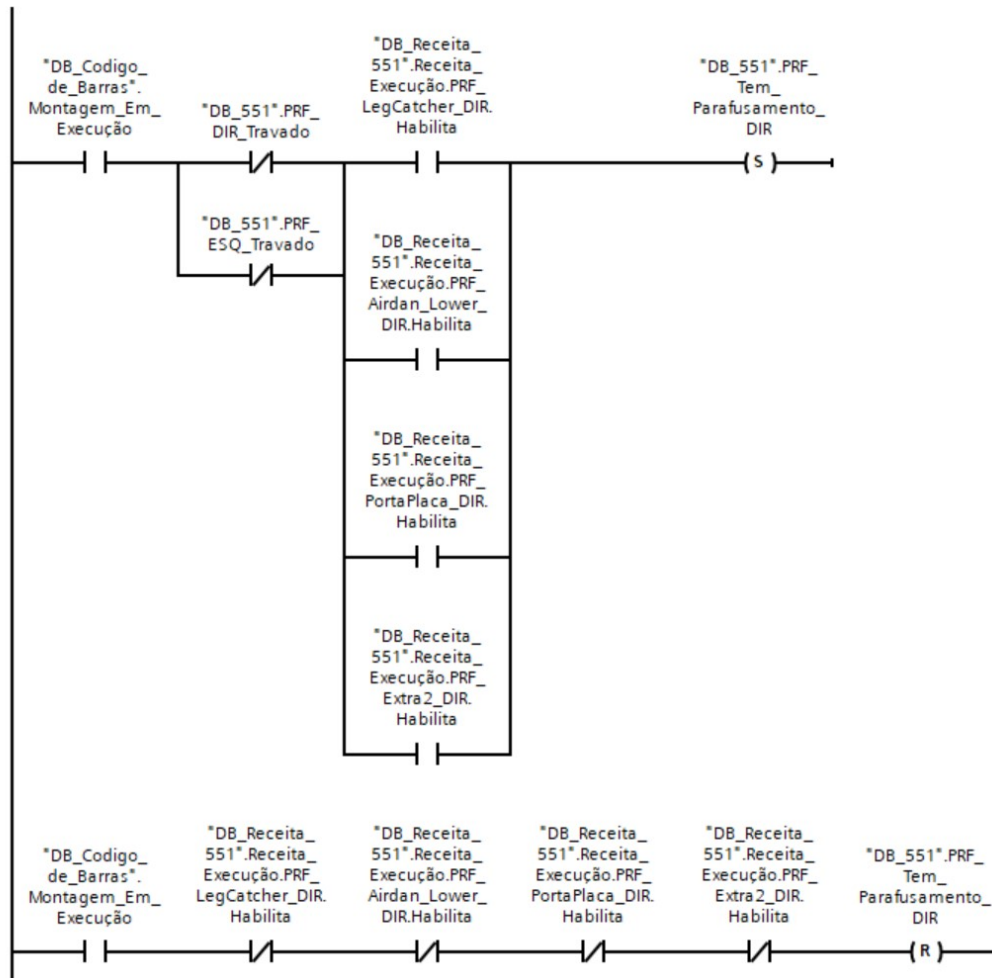


Fig B.10 – Trecho da lógica Ladder responsável pela sequência de operações da parafusadeira, contemplando a verificação das diferentes combinações de parafusamentos

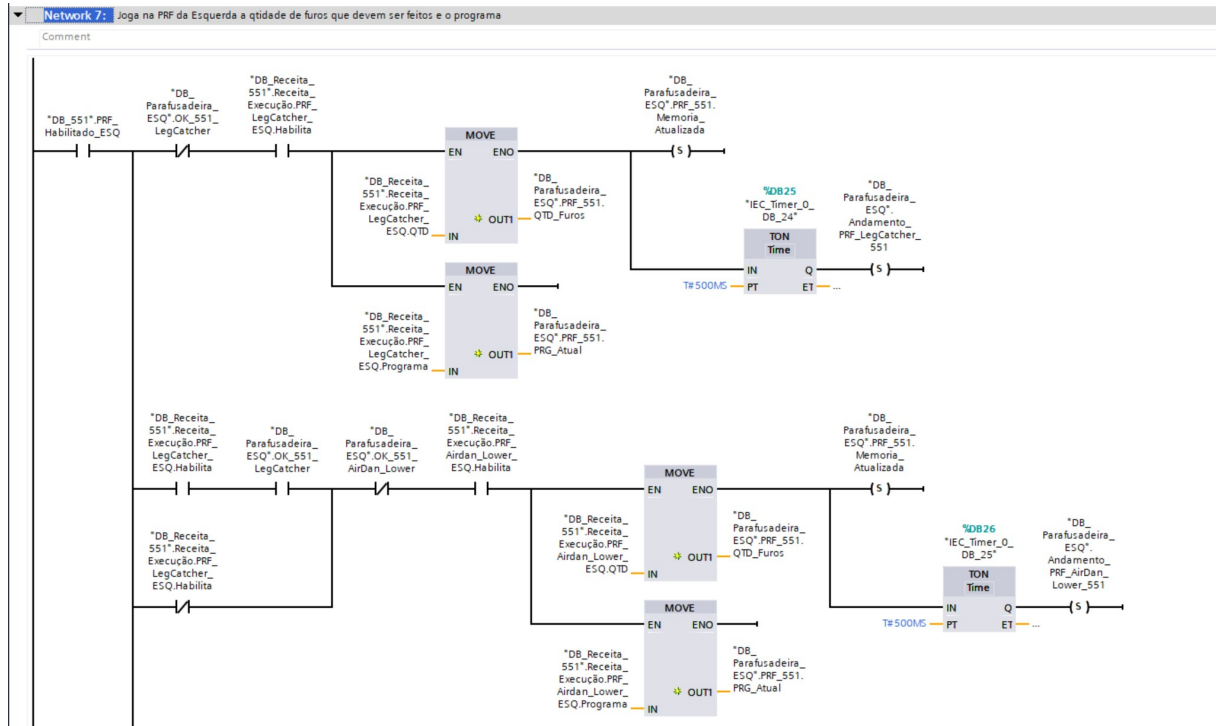
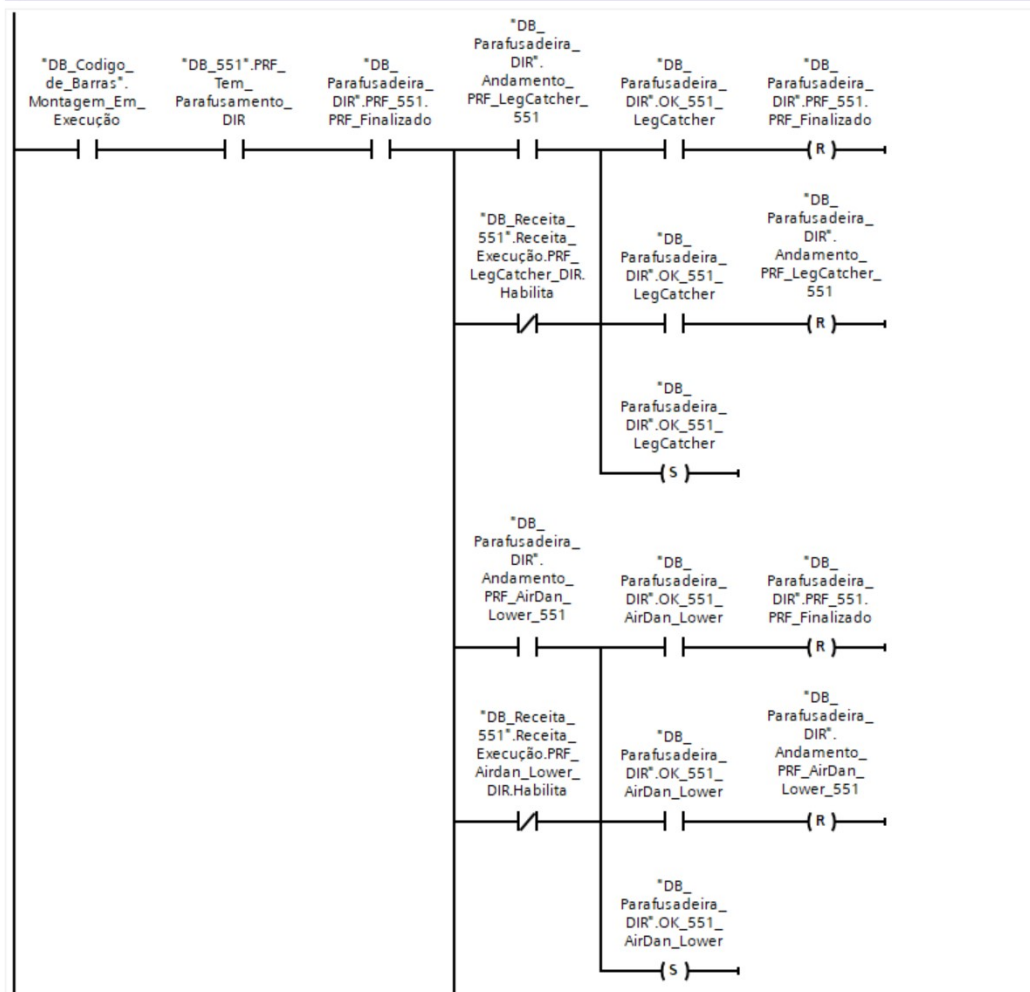


Fig B.11 – Trecho da lógica Ladder de Reset das variáveis de parafusamento do modelo 551

▼ Network 10: PRF DIR OK RESETvariáveis

Comment



ANEXO A – Normas internas de segurança e diretrizes HSE da empresa

Documento 1 - CDC HSE

Safety, Ergonomic & Environment:

4.6.1 Safety:

All equipments, tool and machines must be in compliance with the following and currently Brazilian and international standards, laws and regulations.

Brazilian:

NBR 213 - Segurança de máquinas - Conceitos fundamentais, princípios gerais de projeto
 NBR 272 - Guards - General requirements for the design and constructions of fixed and movable guards;
 NBR 273 - Interlocking device associated with guards - Principles for design and selection;
 NBR 5413 - Interiors illumination;
 NBR 5444 / 5410 / 5419 - Electrical equipment;
 NBR13758 - Safety distance to hinder access the danger zones for inferior members;
 NBR13759 - Safety of machinery - Emergency stop equipment, functional aspects - Principles for design;
 NBR13760 - Minimum recesses to prevent crushing human part body;
 NBR13761 - Safety distance to hinder access the danger zones for superior members;
 NBR13852 - Safety distances to prevent danger zones being reached by the upper limbs;
 NBR13853 - Safety distances to prevent danger zones being reached by the lower limbs;
 NBR13854 - Safety of machinery - Safety distances to prevent danger zones being reached by the upper limbs;
 NBR13928 - Basic concepts and general project principles;
 NBR13929 - Lock devices machines associates the protections.
 NBR 13930 - Mechanical presses - Safety requirement;
 NBR13970 - Safety of machinery - Temperatures of touchable surfaces - Ergonomics data to establish temperature limit values for hot surfaces
 NBR14009 - Principles for risks appreciation
 NBR14152 - Bi-manuals command devices;
 NBR14153 - Safety of machinery - Safety related parts of control systems - General principles for design;
 NBR14154 - Unexpected departures prevention;
 Portaria 3412 do Ministerio do Trabalho, **Especial attention for NR12;**
 Technical law 16 DSST / MTE de 07/03/2005.

International:

ISO 12100-1 Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design - Basic terminology, methodology
 ISO 12100-2 Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design - Technical principles
 and also, depending on the type of machine, with the specific international standards concerning "Safety of Machinery" as (list not exhaustive) :
 ISO 13850 Emergency stops
 All other standards concerning safety devices (ISO 13851 to 13856 and ISO 14119 and 14120)
 ISO 14118 Prevention of unexpected start-up
 ISO 14122 Permanent means of access
 ISO 15534 Ergonomic design for the safety of machinery
 EN 60204-1- Safety of machinery – Electrical equipment of machines
 EN 61496 - A Safety Standard for Electrosensitive Protective Equipment
 EN 60529 - Specification for degrees of protection provided by enclosures
 Directive 2006/42/CE - Directive on machinery;
 Directive 89/336/CEE - Electromagnetic compatibility;
 Directive 2006/95/CE - Directive relating to electrical equipment designed for use within certain voltage limits;
 Directive 1999/92/CE - Directive on minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres ATEX;
 Directive 2003/10/CE - Directive on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise);
 Directive 2002/44/CE -Directive on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration);
 Directive 97/23/CE - Directive concerning pressure equipment;

Directive 2004/37/CE - Directive on the protection of workers from the risks related to exposure to carcinogens or mutagens at work;
 Directive 98/24/CE - Directive on the protection of the health and safety of workers from the risks related to chemical agents at work;
 Directive 89/686/CEE - Directive relating to personal protective equipment;
 Directive 94/9/EC - Directive concerning equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres;
 Directive 75/44/CEE - on wastes, modifying by directive 91/156/CE on wastes,
 Directive 2008/1/CE - on reduction and integrated prevention of pollutions,
 Directive 91/689/CEE - on hazardous wastes,
 Directive 75/439/CEE - on used oils,
 Directive 94/62/CE - on packaging and wastes packaging,
 Directive 78/319/CEE - on toxics and hazardous wastes,
 Directive 96/61/CE - on pollution prevention and reduction,
 Directive 84/360/CEE - on fight against atmospheric pollution from industrial installations,
 Directive 80/68/CEE - on underground water protection versus some hazardous substances.
 Directive 99/13/CE - on VOC emission reduction

The ISO 13857 norm (Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs)

The ISO 14122-A4 norm (Permanent means of access to machinery - Part 4: Fixed ladders)

In addition, they have to be in compliance with HSE guidelines (legal national requirements, specific standards for this type of machine, HSE procedures when existing), particularly with regard to:

Professional health and safety, machines (98/37/EC directive in Europe)

Noise (2003/10/CE directive in Europe)

Fire safety (APSAAD specifications and insurance recommendations) and prevention of explosive atmospheres (94/9/CE in Europe)

VOC (1999/13/CE directive in Europe) or waste guidelines if relevant

FAURECIA STANDARD AND GUIDELINE APPLICABLE;

Electrical equipment specification FIS S PS 2401 / En file du 11/04/01

Pneumatic equipment specification FIS S PS 2402 / En file du 11/04/01

Hydraulic equipment specification FIS S PS 2403 / En file du 11/04/01

Equipment particular conditions pf purchase FIS F-SP 4080 / En ; index 2

Acceptance tracking chart FIS F SP 4058 T&E

HSE EUROPEAN STANDARD SPECIFICATIONS FST-S-LSE-5829

Equipment Colours:

The colors of the machine, trolley and fixtures must comply with the internal standards:

Structure: White RAL 9010

Movable elements: White RAL 9010

Protection doors: Yellow and Black (stripes) RAL 1028.

Gas: Yellow RAL 1018.

Compressed air: Blue RAL 5012.

Cold water: Green RAL 6018.

Handle parts: Green RAL 6018

Dangerous parts (possibility of injuries) : Red RAL 3020

Fire: Red RAL 3020

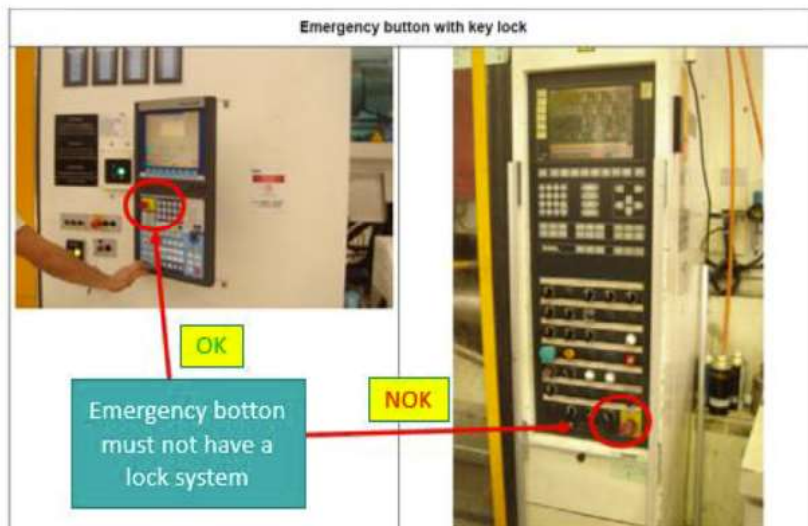
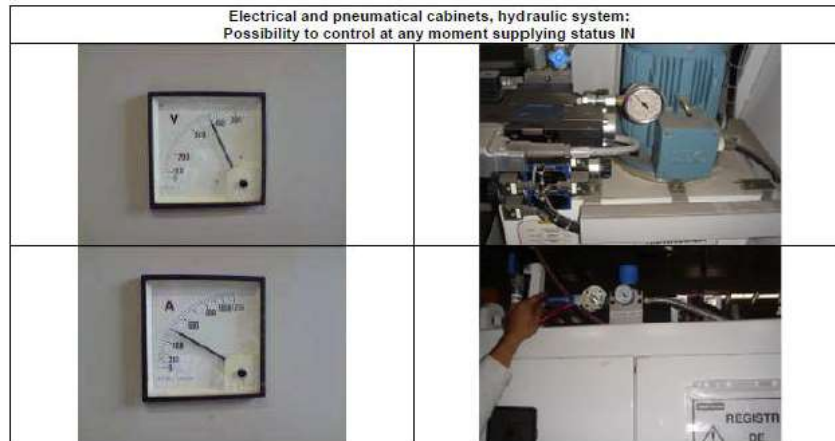
Pins Safety: Orange RAL 2003

Plus:

All safety electrical devices need to be certified and Category IV

All main switches (Electrical power, Hydraulic power, Air pressure, Gravitational power) must be prepared to be locked and situated outside the danger zone, each piece of equipment must be fitted with a properly working lockable electrical isolator.





Documento 2 - HSE Mandatory Rules

10000000

faurecia		HSE machine & program Checklist				Program or Part Machine:			
☒ HSE ☒ Program Phase 2A-2B - Machine Design ☐ Program Phase 3 - Pre-production/Run@Rate				☐ Serial life - Machine transfer ☐ Serial life - Machine modification					
Criteria for Machine status: Minimum requirement to be "Satisfied" is 80% If assessment not answered, then results is "Unsatisfied" - 80% can only be accepted if a recovery plan to achieve 100% is attached to the check sheet.									
Criteria for evaluation: In - Satisfied - On - Unsatisfied - Not Applicable		Scope - For all PS program							
#	Item	PF004	Comment	PF005	Comment	PF007	Comment	PF008	Comment
1.	Machine meets local legal requirements and Faurecia requirements. The manufacturer provides applicable certificate in the machine specification data. CE certification related to Machinery Directive 2006/42 is mandatory for European countries, NFPA and ANSI standard compliance is mandatory for USA or Mexico. If local regulation is less stringent, CE level is requested as a minimum (exceptional cases can lead to apply NFPA and ANSI out of USA or Mexico. This will be validated by HSE Division or Plant Manager).								
2.	According to point 1, all machines meet local legal requirements and Faurecia requirements AND is verified by an external third-party verification has to include safety tests to prove the reliability of command circuit & safety devices.								
3.	Machine is equipped with an energy (disconnecting) isolation device for each specific energy source which is lockable, clearly identified, outside of machine (out of hazardous area) and is located no more than 2 meters from floor. (reference to MR1)								
4.	All energies (electric, fluids, gases, etc.) circuits are fitted with gauges or LED indicators that are clearly identified, numbered and easily accessible. All switches & gauges are co-located, to save time during LOTO operation. (reference to MR162)								
5.	Mechanical blocks are provided to prevent device movement (falling) due to gravity. Pole/Voke interlock is connected to the emergency stop circuit to ensure the machine will not start if mechanical block is not removed. (reference to MR2)								
6.	All dangerous movements of the machine are safe guarded through feed guards or movable guarding, gates and doors with interlock switches or Presence Sensing Devices (PSD) (light curtain, radar scanner, safety mat). It is not possible for a person to reach any dangerous movement of the machine. All PSD must be located at the required safety distance from the nearest hazard. This distance must be calculated and provided in the technical data. (reference to MR4)								
7.	All control system should be CE/ANSI and relayed by safety relay. Electrical safety devices are fail safe fitted (if reviewed in electrical scheme) and are checked by qualified person with results recorded (fail safe test see #2).								
8.	The safety related parts of the control system shall be in accordance with the required performance levels PL as specified in the EN ISO 13849-1:2008 or standard equivalent for US: NFPA 79, ANSI 611. Minimum level requested is "D" according to the norm. In exceptional cases (according to the provided risk assessment), PL=C can be accepted under the validation of HSE Division or Plant Manager. (reference to MR9)								
9.	The design of the machine shall allow the safety devices test in ok first part according to MR 6.								
10.	Access stairs and platforms to access elevated work surfaces of the machine are surrounded by guard or hand railings. All platforms above 1 meter are equipped with lock-gate to prevent tools and debris from falling. All fixed ladders accessing areas at heights above 2 meters must be provided a ladder cage. (e.g. steps with ramps, safeguarding and/or lifeline). Access point at top of ladder must be equipped with gate to prevent fall. (reference to MR5)								
11.	Fixed ladders must be equipped with guard rail to be secured with lock to prevent access from the floor. A warning sign stating "Authorized Personnel Only" or similar phrase is posted on or adjacent to the ladder. If top of machines is protected, only chain & warning sign must be posted. (reference to MR10)								
12.	Where radar scanners are used for machine guarding, the complete scanning area is identified on the floor by black and yellow stripes. A graphical representation is provided by the manufacturer or integrator with the machine specification data for verification. (reference to MR10)								
13.	All control devices including robot teach pendants are positioned outside of the dangerous zone of the machine.								
14.	All machines have safe access to be cleaned and maintained safely.								
15.	All high pressure hoses are secured (fastened with chain or other type of safety devices) to prevent whipping upon failure. Coupling, connector, quick connect, fitting have to be adapted to the pressure (the certificate must be provided). (reference to MR11)								
16.	Technical documentation, including all energy schematics, are available in user's language. All data required in previous items is included in this documentation.								
17.	(Finger) pinch prevention (by tooling, fixtures, pallets, etc.) dangers points are identified with warning sign and colored red (RAL3020).								
18.	Safe parts are colored green (RALRAL 6029 or 6018) and provided with handles. Exceptions for handles must be approved by Division HSE Manager/Director. (reference to MR9)								
19.	No high pressure centralized greasing system. All pressurized systems will be equipped with a regulator and over-pressure relief valve as required by regulation or code. (reference to MR11)								
20.	Risk of fire and explosion related to the use of the machine are identified in PFEMA and appropriate prevention/protection measures are implemented. (reference to MR13)								
21.	Flammable material must be eliminated from any ignition source and grounded. Smallest quantity must be defined and warning signs must be displayed. (reference to MR13)								
22.	All exhaust systems are equipped with cleaning trap (flap or opening) easily accessible. The schedule of cleaning must be defined. (reference to MR13)								
23.	All ergonomic rules have been checked according to ergonomics Memorandum (FAU-S-LSG-5803) and machine/equipment complies with them.								
24.	List of chemical available, Material Safety Data Sheets available, compliant with Reach regulation, and authorization to use product given by HSE CMR of group 162 and solvent based glue & paint to be prohibited. If necessary collective protection are defined (exhaust, ...).								
25.	Risk assessment study is performed (procedure FIS -HSE-5825) for the whole line by Faurecia team. (form FIS-FI-SE-5825 is available but a similar form can be accepted)								
26.	Machine layout avoids blind intersection (good visibility, no installation of more than 1.5 m at corner without approval of site HSE). (reference to MR12)								
27.	The design of the machine shall allow to limit consumption of energy: all energy must be switch off (sleep mode or in extended stand by mode).								
28.	All machine specifications, tools and PACKAGING must be validated by HSE site Manager.								
29.	Product & Process design (throughput for normal and maximum potential) includes a waste study (type, quantity and recyclability of raw material and finished products). Data must be provided.								
30.	Product & Process design includes an environmental study (air emissions - such as VOC, dust, CO2, ..., water consumption). Data must be provided.								
Total		100%		100%		100%		100%	
Operating rules: - Plant Manager must refuse to receive machine if result is "Unsatisfied" - Program Manager is accountable to deliver "Satisfied" machine to start production All items must be green for MPT.									
Name (ending): _____ Date: _____ HSE Manager: _____ Signature (ending): _____ Date: _____ Signature (ending): _____ HSE Manager: _____ Signature (ending): _____ HSE Manager: _____		Name (ending): _____ Date: _____ Plant Manager: _____ Signature (ending): _____ Date: _____ Signature (ending): _____ Plant Manager: _____ Signature (ending): _____ HSE Manager: _____							
Comments:									