

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JOÃO VITOR INÁCIO CARDOSO

**RETROFIT DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA: protótipo de um
estacionamento vertical**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JOÃO VITOR INÁCIO CARDOSO

**RETROFIT DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA: protótipo de um
estacionamento vertical**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
aprovação na unidade curricular
TCC22010.

Orientador:
Prof. Plínio Cornélio Filho, Dr.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Cardoso, João Vitor Inácio

RETROFIT DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA: protótipo de um estacionamento vertical / João Vitor Inácio Cardoso; orientação de Plínio Cornélio Filho. - Florianópolis, SC, 2023.
95 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Automação industrial. 2. Máquina didática. 3. Retrofit. 4. Aprendizagem Baseada em Projetos. I. Cornélio Filho, Plínio. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. RETROFIT DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA.

RETROFIT DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA: PROTÓTIPO DE UM ESTACIONAMENTO VERTICAL

JOÃO VITOR INÁCIO CARDOSO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 06 de dezembro, 2023.

Banca Examinadora:

Plínio Cornélio Filho, Dr. Eng.

Juliana Martins de Carvalho, Me. Eng.

Vitor Farias de Borba, Me. Eng.

RESUMO

No cenário atual, as indústrias enfrentam o desafio de lidar com equipamentos desatualizados, pois há uma constante evolução tecnológica que ocorre rapidamente, exigindo que as mesmas se modernizem com frequência. Sendo assim, a técnica de *retrofit* surge como uma solução para transformar esses equipamentos, elevando sua eficiência a patamares competitivos. Muitas das abordagens empregadas na indústria para a construção e modernização de máquinas, têm sua origem no ambiente educacional. Nesse contexto, propõe-se o *retrofit* de uma máquina didática e modelada a partir de um estacionamento vertical, com o intuito de enriquecer o processo de aprendizagem no IFSC Florianópolis. Essa abordagem, conhecida como Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), visa envolver os alunos na resolução de problemas do mundo real, estimulando seu interesse e promovendo uma assimilação mais profunda dos conceitos teóricos abordados em sala de aula. O enfoque na modernização da máquina didática busca não apenas preparar os alunos para os desafios tecnológicos enfrentados pela indústria, mas também proporcionar uma experiência prática e tangível, enriquecendo a compreensão dos conceitos teóricos. A combinação da Aprendizagem Baseada em Projetos com o *retrofit* da máquina reforça a ligação entre teoria e prática, ao mesmo tempo em que facilita a imersão dos alunos em um contexto industrial realista. Dessa forma, esse projeto transcende a mera modernização de equipamentos, tornando-se uma ferramenta educacional poderosa para o desenvolvimento de habilidades práticas e teóricas essenciais para os futuros profissionais da indústria.

Palavras-chave: Automação industrial. Máquina didática. *Retrofit*. Aprendizagem Baseada em Projetos.

ABSTRACT

In the current scenario, industries face the challenge of dealing with outdated equipment due to the rapid technological advancements that constantly require their modernization. Therefore, the retrofit technique emerges as a solution to transform these machines, enhancing their efficiency to competitive levels. Many of the approaches employed in the industry for machine construction and modernization originate from the educational environment. In this context, the retrofit of an instructional machine, modeled after a vertical parking system, is proposed with the aim of enriching the learning process at IFSC Florianópolis. This approach, known as Project-Based Learning (PBL), seeks to engage students in solving real-world problems, stimulating their interest and promoting a deeper assimilation of the theoretical concepts taught in the classroom. The focus on modernizing the instructional machine is intended not only to prepare students for the technological challenges faced by the industry but also to provide a practical and tangible experience, enriching their understanding of theoretical concepts. The combination of Project-Based Learning with the retrofit of the machine strengthens the link between theory and practice, while facilitating students' immersion in a realistic industrial context. In this way, this project goes beyond mere equipment modernization, becoming a powerful educational tool for the development of practical and theoretical skills essential for future industry professionals.

Keywords: Industrial automation. Didactic machine. Retrofit. Project Based Learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – CLP simulado no <i>software Automation Studio 7.1</i>	25
Figura 2 – Lógica <i>Ladder</i> simulada no <i>software Automation Studio 7.1</i>	26
Figura 3 – Fábrica da Volkswagen.....	31
Figura 4 – Estacionamento vertical <i>Car Towers</i> visão externa.....	35
Figura 5 – Estacionamento vertical <i>Car Towers</i> visão interna.....	35
Figura 6 – Máquina didática baseada em estacionamento vertical antes do <i>retrofit</i> . 38	
Figura 7 – Posição dos sensores fins de curso na máquina original.....	40
Figura 8 – Painel de controle da máquina original.....	42
Figura 9 – Placa de relés da máquina original.....	43
Figura 10 – CLP e barras de conectores da máquina original.....	44
Figura 11 – Representação dos sensores no <i>software Automation Studio</i>	44
Figura 12 – Representação do painel da máquina original no <i>Automation Studio</i>	45
Figura 13 – Representação do CLP da máquina <i>as built</i> no <i>Automation Studio</i>	46
Figura 14 – Diagrama elétrico da máquina original representado no <i>Automation Studio</i>	47
Figura 15 – Estruturas de madeira com irregularidades.....	49
Figura 16 – Representação dos sensores do novo projeto no <i>software Automation Studio</i>	51
Figura 17 – Comparação entre painéis antigo (esquerda) e novo (direita) elaborados no <i>Automation Studio</i>	52
Figura 18 – Representação do CLP do novo projeto no <i>Automation Studio</i>	53
Figura 19 – Diagrama elétrico do novo projeto representado no <i>Automation Studio</i> .54	
Figura 20 – Máquina após <i>retrofit</i>	56
Figura 21 – Mecanismo de movimentação.....	57
Figura 22 – Mecanismo de movimentação da plataforma.....	58

Figura 23 – Bandeja para alocação dos carros.....	59
Figura 24 – Placa de relés da máquina nova.....	60
Figura 25 – Painel de comandos da máquina nova.....	61
Figura 26 – Sensores fim de curso no meio do percurso vertical.....	62
Figura 27 – Sensores indutivos posicionado sob os suportes das vagas.....	63
Figura 28 – Porta traseira da máquina nova com bornes banana-banana (visão externa).....	64
Figura 29 – Porta traseira da máquina nova com bornes banana-banana (visão interna).....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Materiais presentes na máquina <i>as built</i>	39
Quadro 2 – Materiais presentes na máquina nova.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	Aprendizagem Baseada em Projetos
ACM	<i>Aluminium Composite Material</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
ESM	Estratégia de Simulação e Modelagem
FDB	<i>Function Block Diagram</i>
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
IHM	Interface Homem-Máquina
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
MODICON	<i>Modular Digital Controller</i>
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
PBL	<i>Project-Based Learning</i>
PPC	Projeto Pedagógico dos Cursos
PVC	Policloreto de Vinila

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Definição do Problema.....	14
1.3	Objetivo Geral.....	16
1.4	Objetivos Específicos.....	16
1.5	Estrutura do Trabalho.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	Visão geral sobre Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP).....	18
2.2	Histórico das Revoluções Industriais.....	19
2.3	Tecnologias utilizadas para automação e prototipagem.....	21
2.3.1	Vantagens da utilização de métodos de simulação.....	22
2.3.2	Introdução à prototipagem.....	23
2.3.3	Conceitos gerais sobre Controlador Lógico Programável (CLP).....	24
2.3.4	Conceitos gerais do <i>software Automation Studio</i>	26
2.3.5	Conceitos gerais dos <i>softwares</i> WEG.....	27
2.3.6	Tipos de sensores (Entradas para o CLP).....	28
2.4	Máquinas automatizadas e a prototipagem.....	29
2.4.1	Aplicação das máquinas na vida real e como forma de aprendizagem.....	30
2.4.2	Noções sobre estacionamento vertical.....	34
3	METODOLOGIA E APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE <i>RETROFIT</i> NA MÁQUINA DIDÁTICA.....	37
3.1	Análise e projeto da máquina <i>as built</i>.....	38
3.2	Proposição de melhorias e atualização do projeto.....	49
3.3	Implementação das melhorias propostas.....	55
3.3.1	Mudanças na estrutura mecânica.....	55
3.3.2	Mudanças na estrutura elétrica.....	60
3.4	Testes comprobatórios.....	66
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
	REFERÊNCIAS.....	70
	APÊNDICES.....	75
	APÊNDICE A – LÓGICA DA MÁQUINA ORIGINAL NO <i>AUTOMATION STUDIO</i>	76
	APÊNDICE B – PLANILHA DESCRITIVA DA MÁQUINA ORIGINAL.....	79
	APÊNDICE C – LÓGICA DO NOVO PROJETO NO <i>AUTOMATION STUDIO</i>	81
	APÊNDICE D – PLANILHA DESCRITIVA DO NOVO PROJETO.....	91

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo o ser humano precisou se adaptar ao meio ambiente para garantir sua subsistência. Assim sendo, uma de suas principais características é a capacidade de criação e utilização de ferramentas para diversas finalidades, tanto para facilitar sua sobrevivência, quanto para auxiliar no desenvolvimento de atividades laborais. Essa habilidade vem desde a Pré-História, quando pedras e armas rudimentares eram usadas para caçar, até os dias atuais com as diversas aplicações da tecnologia na indústria. Como exemplo se tem as máquinas automatizadas que podem substituir uma grande quantidade de pessoas, além de serem capazes de realizar movimentos precisos e repetitivos por um longo período de tempo. De acordo com Boettcher (2015), o início da Revolução Técnico-Científica e Informacional, assim como o uso amplo da robótica estão atrelados à Terceira Revolução Industrial, que usualmente é datada a partir de 1970. Neste período, inicia-se também a necessidade de redução de mão de obra humana nas indústrias. Em contrapartida, passou-se a exigir que esta fosse mais qualificada para lidar com os sistemas de produção cada vez mais complexos.

Como descrito por Yamada (2019), o Brasil ainda se apresenta como pátio fabril no patamar de Indústria 2.0, ou seja, com grande parte da produção ainda focada na mão de obra humana. Nessa fase da indústria, as máquinas são empregadas apenas como ferramentas de força bruta, com a utilização de motores à combustão ou elétricos. Não há, portanto, a presença de sistemas automáticos e os trabalhadores não necessitam de conhecimento especializado.

Yamada (2019) cita ainda a grande possibilidade do Brasil pular a fase de Indústria 3.0 e implementar métodos e ferramentas da Indústria 4.0. Esta, que segundo Boettcher (2015), traz uma maior automatização dos processos de produção, com a utilização da IoT (*Internet of Things*), podendo proporcionar um salto de produção às indústrias brasileiras, exigindo profissionais qualificados para sua implementação e manutenção. Segundo Lamb (2015), o ramo da automação tem sido fundamental para as indústrias 3.0 e 4.0. Este ramo pode ser caracterizado basicamente pela utilização de comandos lógicos programáveis e de equipamentos

mecanizados, que substituem as atividades manuais. Dentre os equipamentos de automação mais comuns, citam-se os controladores, computadores, sistemas de controle distribuído e CLPs (Controlador Lógico Programável), sendo este último de grande aplicação em fábricas devido à sua robustez.

O avanço tecnológico, especialmente a partir da Primeira Revolução Industrial, tem ocorrido de forma acelerada. Com esse rápido desenvolvimento tecnológico, surge a urgente necessidade de formar profissionais capacitados, não apenas para operar, mas também para trazer inovações no mercado atual. Infelizmente, o aprendizado nesse contexto educacional, muitas vezes é apresentado de maneira idealizada e predominantemente teórica nas faculdades e escolas técnicas, o que nem sempre desperta o interesse dos alunos. Uma abordagem que pode ser eficaz para melhorar esse processo é a integração entre aulas e projetos práticos. Além disso, o desenvolvimento de projetos desafia os alunos a resolverem problemas complexos, estimulando sua criatividade e habilidades de resolução de problemas. Isso os coloca em situações onde precisam desenvolver soluções próprias e inovadoras, o que é fundamental para prepará-los para enfrentar os desafios do mundo real.

Para melhorar o interesse e o aprendizado dos conhecimentos teóricos vistos em sala de aula, Simas (2018) afirma que é preferível que este aprendizado venha acompanhado de estratégias que envolvam simulações das situações que são ensinadas na teoria. No caso de Simas, foi aplicado um modelo chamado ESM (Estratégia de Simulação e Modelagem) com a realização de experimentos de física. O resultado dessa estratégia é observado na comparação das avaliações do final do processo com as que ocorreram anteriormente à aplicação do modelo. Foi observado, após a prática, que houve uma melhora considerável no aprendizado e capacidade de análise dos alunos quanto aos conceitos ensinados. Extrapolando para o contexto deste trabalho, pode-se assumir que as práticas podem estimular uma maior atenção e interesse no aprendizado por parte dos alunos, através de simulações de situações comuns nas indústrias, como o uso de CLPs na automatização de máquinas e processos, operação de máquinas e equipamentos, como motores, acionadores pneumáticos, sistemas de proteção, monitoramento, entre outros.

1.1 Justificativa

O processo de *retrofit* pode ser definido como a atualização, modernização, remodelação ou adequação de ativos físicos ou virtuais, de forma a torná-los mais eficientes ou retorná-los a um estado de uso adequado, ou até melhor que o original (CORTÊS, 2012). Na engenharia, esse termo é muito utilizado no contexto de máquinas e automação devido à rápida evolução tecnológica do ramo. Também deve-se levar em conta a necessidade das empresas em adequarem suas máquinas ao mercado atual, para que se mantenham competitivas, com preços baixos, prazos curtos e garantia de confiabilidade dos seus produtos. Segundo Grams e Cetnarowski (2013), o *retrofit* traz para as empresas a vantagem econômica de não precisar comprar uma máquina nova toda vez que a sua se torna obsoleta. Muitas vezes com a simples troca de certas peças, ou implementação de novas tecnologias, máquinas que seriam consideradas obsoletas ou antigas, podem continuar operando com uma produtividade alta e competitiva, tal como as mais modernas apresentadas no mercado.

Uma das formas mais comuns de execução de *retrofit* é a introdução de CLPs e outras ferramentas/equipamentos do setor de automação, como sensores diversos e relés, no processo. Estas pequenas mudanças podem reduzir a necessidade da ação humana, aumentando a flexibilidade produtiva apenas com a alteração na lógica interna, sem modificar a infraestrutura e diminuindo as possíveis incertezas.

É de amplo conhecimento que os CLPs são muito empregados nas fábricas e setores industriais, devido à sua simplicidade de instalação e fácil programação. Portanto, é comum também que este equipamento seja muito aproveitado em simulação de processos industriais em laboratórios, na criação de protótipos de máquinas encontradas nas indústrias e até em sistemas com finalidade didática, tais como bancadas, protótipos ou réplicas. Existem diversos exemplos deste tipo de aplicação, como: a construção de um minielevador predial em formato de bancada didática por Elias *et al.* (2008), uma envasadora de líquidos por Centenaro (2022), ou então em uma planta didática para o ensino de acionamentos eletropneumáticos por Cidade, Cornélio Filho e Dias (2018).

Na disciplina de Acionamentos Industriais do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), os professores incentivam ativamente os alunos a construírem máquinas, aplicando os conhecimentos adquiridos em sala de aula. Embora modelos virtuais sirvam como base para a montagem de máquinas nas bancadas do laboratório, essas implementações muitas vezes apresentam não conformidades, como a ausência de componentes ou discrepâncias entre a máquina virtual e os componentes reais. A introdução de máquinas reais, associadas com modelos virtuais, poderia mitigar problemas como a necessidade de usar analogias de componentes durante as práticas laboratoriais, como substituir motores e acionadores pneumáticos por lâmpadas, ou sensores por botoeiras. Também seria possível eliminar transtornos relacionados à velocidade e sequência de acionamento de sensores e botoeiras, que não ocorrem no modelo virtual, uma vez que na prática real esses processos são realizados manualmente pelos alunos.

1.2 Definição do Problema

Uma das técnicas de aprendizagem ativa, aplicada para incentivar o desenvolvimento de habilidades e competências dos alunos, aumentando seu interesse com os assuntos a serem ensinados, é a ABP (Aprendizagem Baseada em Projeto). Ela é fundamentada no professor como mentor, apresentando um projeto ao aluno e imputando-lhe a responsabilidade de encontrar soluções para o sucesso do projeto. Essa técnica apesar de comumente utilizada, também apresenta dificuldades, tal como citado por Zilli e Lambert (2010), que durante a elaboração de seu projeto, teve como a maior dificuldade encontrada a questão orçamentária – aquisição de recursos e equipamentos. Além do problema econômico, é citada também a dificuldade de implementação de novas didáticas, devido ao currículo engessado apresentado pelas instituições, acarretando poucas tentativas por parte dos docentes e instituições em implementar tais técnicas.

Durante a elaboração de projetos, os engenheiros são confrontados com diversos problemas, tais como: pouco tempo para entrega do produto final, falta de recursos materiais e monetários, além da falta de conhecimento nas diversas áreas necessárias. Tonini e Pereira (2021) afirmam que, para lidar com essas dificuldades, é exigida do profissional a criatividade para solucionar problemas de forma rápida,

simples e barata. O desenvolvimento desta criatividade não é incentivado pelos PPCs (Projetos Pedagógicos dos Cursos), apesar de ser uma habilidade constantemente aproveitada na prática. Além da criatividade, é necessário que o profissional também possua, ou desenvolva durante o projeto, conhecimento multidisciplinar. Nas engenharias, por exemplo, é comum os profissionais se depararem inúmeras vezes com problemas baseados nos conhecimentos de outras áreas.

Na realização de *retrofit* nas indústrias, é comum o uso de *softwares* para a compreensão aprofundada do funcionamento das máquinas. Utilizando tais programas, projetos *as built* (traduzido como “como construído”) são frequentemente elaborados para representar fielmente a configuração real de máquinas, incluindo todos os componentes tais como estão na prática. Esse tipo de projeto *as built* oferece uma representação precisa da máquina em sua condição atual, o que permite a realização de modificações e simulações sem a necessidade de alterar a máquina fisicamente. Essa abordagem possibilita a execução de testes em *softwares* para verificar a adequação das modificações implementadas, garantindo assim a eficácia das alterações sem comprometer a integridade da máquina física.

As indústrias brasileiras possuem um ambiente comum em relação à estrutura tecnológica de suas plantas. Geralmente essas possuem máquinas com um nível básico de automação, muitas vezes integrando tecnologias como contadores, relés e CLPs, conforme Santos (2022) apresenta em seu estudo. Apesar desse nível de automação, é comum que estas empresas ainda dependam de mão de obra humana, geralmente não especializada. Essa combinação resulta no caso estudado por Grams e Cetnarowski (2013), onde na planta analisada existem máquinas com automação básica, que apresentam problemas devido à falta de manutenção. Isso resulta em máquinas obsoletas, muitas dessas importadas, com custos elevados para suporte, levando à improdutividade. Diante desse cenário, o *retrofit* emerge como uma opção viável para lidar com a obsolescência e a falta de profissionais especializados, sendo uma alternativa mais acessível do que a compra de novas máquinas.

Com base nos conceitos apresentados até este ponto do trabalho, e levando em consideração a necessidade de envolver os estudantes em um método

de ensino que proporcione a oportunidade de aplicar seus conhecimentos de forma desafiadora e controlada foi definida a seguinte problemática: Como construir um equipamento didático capaz de conciliar o ambiente teórico da sala de aula com a prática?

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é construir uma máquina didática baseada em um estacionamento vertical, a ser utilizada nas aulas de Acionamentos Industriais do curso de Engenharia Elétrica do IFSC, campus Florianópolis, aplicando a técnica de *retrofit* e mediante o uso de *softwares* de simulação.

1.4 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Pesquisar sobre técnicas modernas de ensino e aprendizagem, bem como a aplicação de ABP (Aprendizagem Baseada em Projetos) em prototipação de máquinas didáticas;
- b) Identificar os materiais e equipamentos presentes na máquina *as built*, existente no laboratório de Acionamentos Industriais do IFSC, campus Florianópolis, buscando itens e ações de melhoria e modernização;
- c) Propor e implementar melhorias na máquina existente, baseando-se em novas tecnologias presentes na indústria, atualizando e, quando possível, reutilizando componentes, visando a redução de custos, seguindo o escopo do *retrofit*;
- d) Criar o projeto virtual da máquina *as built* com as melhorias propostas, usando o *software Automation Studio 7.1*;
- e) Realizar testes para comprovar o correto funcionamento, robustez e segurança da máquina remodelada, além de atestar os impactos das melhorias implementadas.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em 5 capítulos, além das referências. O primeiro capítulo apresenta a introdução ao tema, justificativa, definição do problema, objetivo geral e os específicos.

No segundo capítulo desenvolve-se a fundamentação teórica, que explora o contexto geral sobre o tema do trabalho. Os subcapítulos abordam temas como o histórico da educação, revoluções industriais, prototipagem, *softwares* de simulação e uma breve síntese da importância da automação no uso de máquinas, tanto na indústria, quanto no cotidiano.

No terceiro capítulo descreve-se a metodologia pretendida para elaboração do trabalho, apresentação do projeto e equipamento educativo original, proposição de melhorias no mesmo, atualização do projeto e construção do referido equipamento.

O quarto capítulo contém os resultados obtidos com a realização do *retrofit*. No quinto e último capítulo apresenta-se as considerações finais, dando encerramento ao trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como ambientação inicial aos temas abordados neste trabalho, busca-se elucidar o que é a técnica conhecida como ABP (Aprendizagem Baseada em Projeto). Também é abordado o histórico da indústria e como se chegou ao modelo atual de automação, além de seus benefícios em relação aos métodos anteriores de produção. Além disso, são introduzidos alguns equipamentos que fazem parte das práticas de automação, restringindo a explanação sobre os que serão utilizados na elaboração do produto proposto neste trabalho. Por fim, serão apresentadas máquinas existentes na indústria, intensificando questões relacionadas a estacionamentos verticais, de forma a contextualizar problemas e soluções encontradas na máquina didática a situações da vida real.

2.1 Visão geral sobre Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP)

Dentre os métodos de aprendizagem ativa, a ABP vem sendo amplamente aplicada em salas de aulas, apesar de esta ter surgido nas primeiras décadas do século XX. Esta técnica se baseia na apresentação de um problema real aos alunos, e então é solicitado a eles que apresentem uma solução, sendo também dado a eles o poder de tomada de decisões na elaboração da solução final. Nesse contexto, o professor ajuda os alunos orientando algumas tomadas de decisões e facilitando o acesso aos recursos que possam ser necessários. Esta abordagem utiliza problemas reais, buscando aumentar a motivação dos alunos, pois além de também serem afetados por estes, as soluções desenvolvidas podem ser aplicadas às adversidades motivadoras do projeto após a finalização do mesmo. Todos esses fatores tendem a aumentar o envolvimento dos alunos com o projeto e os assuntos abordados em sala de aula, resultando em um maior envolvimento e desempenho acadêmico (BENDER, 2014).

Uma das aplicações mais eficazes da ABP é a substituição de aulas expositivas (as quais os alunos consideram desinteressantes e desmotivadoras), por aulas mais dinâmicas e envolventes. Teixeira (2020), por exemplo, explora uma atividade prática de projetos e construção de protótipos de estruturas de concreto armado. Ele apresenta uma perspectiva sobre a união da teoria com a prática em

escolas de ensino técnico. Essa união poderia beneficiar as faculdades de engenharia, tendo em vista que, no momento presente estas procuram uma forma de diminuir o alto índice de evasões com a implementação de aulas mais dinâmicas, pois muitos discentes apresentam dificuldades em compreender alguns conteúdos como os vistos nas matérias de matemática e física.

2.2 Histórico das Revoluções Industriais

De forma geral, a Primeira Revolução Industrial caracteriza-se como um processo de mudança na sociedade, que ocorreu entre 1760 e 1860, por meio da ruptura entre os meios de produções manuais e a introdução de indústrias mecanizadas. Esse processo acontece de forma gradual, com a criação dos teares mecânicos, que são considerados como um símbolo dessa revolução. Posteriormente, os motores a vapor dominaram e foram aperfeiçoados, surgindo assim, locomotivas e barcos a vapor que modernizaram o transporte de produtos. Também foram criados nesta época os teares hidráulicos, que tornaram os processos de tecelagem ainda mais rápidos. Com cada vez menos necessidade da manufatura, a necessidade de trabalhadores com especialização para confecção de produtos diminui, sendo então mais necessária a presença de mecânicos e operadores para as máquinas. Há um grande desenvolvimento científico e econômico, que possibilitava mais investimentos na criação de novos equipamentos. Esta revolução resulta na consolidação do capitalismo como sistema econômico predominante em grande parte dos países até hoje (MARTINS; ALMEIDA, 2018).

Seguindo o acelerado desenvolvimento tecnológico do período, a Segunda Revolução Industrial se inicia em 1870 e apresenta inovações, como a utilização de energia elétrica, petróleo, produção de aço e alumínio e a invenção do telégrafo. Estas inovações estão diretamente associadas às indústrias e possibilitam um aumento de produção, surgindo assim, em 1914, o Fordismo. Esse modelo, associado ao Taylorismo, aplica uma racionalização às plantas das fábricas e ao método de produção. São cortados desperdícios de tempo e movimentação, as fábricas passaram a produzir em massa, através de uma automatização das linhas de montagem. Enquanto as máquinas exerciam trabalhos como prensa, corte e movimentação de peças, os operários realizavam o encaixe e aperto de peças,

simplificando o trabalho e padronizando os produtos finais. Este método de fabricação possibilitava um cálculo preciso da receita e margens de lucro (BOETTCHER, 2015).

O início da Terceira Revolução Industrial é comumente datado a década de 1970. Esta é conhecida como a Revolução Técnico-Científica e Informacional, devido à grande evolução na área científica em paralelo ao crescimento do compartilhamento de informações. Dentre as grandes evoluções tecnológicas desta época, é possível citar a informática, robótica, telecomunicações, biotecnologia, microeletrônica e nanotecnologia. Além da evolução tecnológica e informacional, ocorre também uma mudança nos métodos de produção, uma adaptação ao modelo fordista e taylorista. (BOETTCHER, 2015).

Esse novo modelo Toyotista, onde a produção é mais flexível, varia de acordo com a demanda e necessita de tecnologias mais avançadas. As indústrias passam a ter um alto nível de automatização, processos inteiros são comandados por máquinas, aumentando a velocidade, segurança e possibilitando um barateamento no produto. Afinal, as máquinas custam menos em longo prazo e produzem mais, além de não precisarem de descanso e salário. Junto ao aumento da automatização, houve a necessidade de uma maior capacitação dos funcionários, sendo estes mais especializados e em menor quantidade nas indústrias. Um ponto a se ressaltar é que as grandes indústrias passam a se aproveitar da globalização e da facilidade em conseguir matérias-primas, substituindo as grandes indústrias por empresas menores e mais especializadas. O resultado disso é a criação de polos industriais, onde diversas empresas se agrupam e uma cadeia de fornecimento de equipamentos e matérias-primas são geradas entre estas. Os países mais desenvolvidos passam a ser exportadores de tecnologias, enquanto países subdesenvolvidos ficam com o papel de mão de obra, devido à políticas de subsídio e previsão de geração de empregos com a vinda da produção dessas empresas (SILVA, D; SILVA, R; GOMES, 2002; BOETTCHER, 2015).

A Quarta Revolução Industrial está baseada na integração do mundo real ao digital. Há a ampliação da automação das indústrias, onde elas não serão somente comandadas por um CLP (Controlador Lógico Programável) ou outro processador central, mas haverá uma descentralização do processamento dos

dados. Os próprios equipamentos e produtos poderão tomar decisões quanto aos processos realizados nas fábricas, com a modularização destes e a flexibilidade das plantas industriais. Para isso são necessárias algumas implementações, como a interoperabilidade entre as máquinas, para que se comuniquem e compartilhem informações. Se faz necessário também a operação em tempo real dos equipamentos, para tomada de decisão, conectividade essa obtida através das tecnologias de IoT (*Internet of Things*). São utilizadas unidades de processamento embarcadas, muitas vezes com programas empregando Inteligência Artificial, além de uma grande capacidade de armazenamento de dados. Todas essas inovações já são possíveis e já estão sendo implementadas ao redor do mundo (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

O Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer em questão de implementações tecnológicas para conseguir atingir o nível de Indústria 4.0. Muitas indústrias brasileiras ainda se enquadram como Indústria 2.0 ou 3.0, mas é possível que os equipamentos já integrados ao mundo digital possam impulsionar essas indústrias a pularem alguns níveis. A partir dessa digitalização, muitas dessas indústrias podem dar um salto em qualidade e quantidade de produção (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

2.3 Tecnologias utilizadas para automação e prototipagem

Com a evolução tecnológica dos dias atuais, é possível que profissionais possam usar diferentes abordagens na hora de construir um projeto. Essas abordagens passam pela simulação de projetos em *softwares*, buscando prever problemas e diminuir os riscos da implementação na vida real. A utilização de simulações faz com que não seja necessária a implementação de testes quanto à lógica diretamente com a máquina real, o que pode gerar danos na mesma. No entanto, mesmo com a simulação, não significa que não existam possibilidades de erro em um projeto. Sendo assim, é aplicada outra técnica chamada de prototipagem, onde se aplicam os conceitos da máquina real a uma versão mais reduzida. São realizados testes com protótipos que não podem ser feitos com a simulação, sendo grande parte destes, envolvidos com a interação da máquina e o ambiente.

2.3.1 Vantagens da utilização de métodos de simulação

As primeiras aplicações da simulação ocorreram com os matemáticos e físicos procurando testar seus modelos e fórmulas. Eram operadas máquinas mecânicas com engrenagens, molas e outros materiais que permitiam certa precisão na construção. As primeiras máquinas serviam ao seu propósito de simular os efeitos dos modelos, sem precisar que fossem efetuados extensos cálculos, de maneira que se obtivessem resultados mais rápidos e assertivos do que com cálculos feitos a punho. Com o advento da eletrônica, as máquinas de simulação ficaram mais avançadas, sendo desenvolvidas linguagens de programação e ferramentas também mais sofisticadas. Hoje em dia, *softwares* de simulação como Matlab e Simulink são utilizados como poderosas ferramentas matemáticas, realizando testes de sinais e simulações de sistemas complexos em segundos (LOBÃO; PORTO, 1999).

Na área da engenharia, houve uma mudança no perfil de profissional que o mercado procurava. Durante o período em que a produção em massa era o principal objetivo, as aulas de engenharia eram baseadas em modelos expositivos, nas quais os alunos eram somente receptores de informação, ou seja, eram incentivados a repeti-las até a sua assimilação. As disciplinas eram subdivididas em áreas da engenharia e quase não se correlacionavam, tampouco havia uma relação do conteúdo que era visto em sala de aula com a vida cotidiana (BELHOT; FIGUEIREDO; MALAVÉ, 2001).

Com a globalização, o mercado passou a exigir profissionais mais flexíveis, que respondessem e colaborassem com o processo de desenvolvimento ativamente. Durante esse movimento, os institutos que ofertavam cursos de engenharia, precisaram se adaptar e procurar novas formas de ensinar. Dessa forma, foi inserida a aplicação de simulações nas aulas, o que foi muito aceito e proporcionou bons resultados. Esse método apresenta ao aluno um ambiente controlado, geralmente um *software* de simulação ou máquina didática, que pode explorar diferentes possibilidades de escolha quanto aos parâmetros da simulação. Para essas diversas possibilidades são gerados diferentes resultados, e são apresentadas aos alunos as relações entre causa e efeito das mudanças realizadas. Nas simulações, geralmente são aplicados alguns conceitos de disciplinas diversas,

não restringindo o aluno a somente o tema das disciplinas específicas (BELHOT; FIGUEIREDO; MALAVÉ, 2001).

2.3.2 Introdução à prototipagem

Os protótipos são modelos de produtos, componentes, máquinas ou partes de alguma estrutura que são executados a partir de um projeto, buscando simular características na vida real. Eles podem ser criados em um tamanho menor do que o projetado, e em determinados projetos a prototipagem ocorre de forma abundante, assim sendo, adotam-se materiais mais baratos na sua produção. A prototipagem vem se tornando mais comum com o barateamento das impressoras 3D, nas quais a forma de produção permite a visualização de modelos em poucas horas (AHRENS *et al.*, 2006; WILGTEN, 2019).

O custo baixo e a possibilidade de correção do projeto para novas impressões, tornam esse método atrativo na hora de tirar ideias do papel, evitando gastos com correções após já terem sido implementados. Esta nova abordagem que utiliza impressoras 3D vem sendo chamada de prototipagem rápida. Dessa forma, com os protótipos, é possível efetuar análises que não podem ser realizadas com as simulações, devido às limitações de *software* ou por imperfeições que surgem na vida real. Algumas imperfeições que podem ser citadas são: deformações em peças geradas na construção, como curvas e ranhuras, ou então materiais que não possuem qualidades físicas idênticas as da simulação. Essa prática é muito comum nas indústrias, quando se quer testar algumas qualidades específicas em alguns produtos, como o comportamento dos mesmos em ambientes úmidos ou com temperatura variável, e também para averiguar se as proporções físicas estão corretas (AHRENS *et al.*, 2006; WILGTEN, 2019).

A utilização de protótipos na aprendizagem é importante, abrangente e, muitas das teorias estudadas em sala de aula podem ser comprovadas e colocadas em prática com a elaboração de modelos simplificados. Essa técnica é muito adotada em cursos com ensino de tecnologias, devido à direta aplicabilidade dos conceitos e o barateamento dos produtos para prototipação.

Araújo *et al.* (2012) apresentam um projeto empregando Arduino no desenvolvimento de um protótipo para automação predial e residencial. Com a aplicação dos conhecimentos de sala de aula, eles conseguiram solucionar alguns problemas reais, pautando-se na plataforma de desenvolvimento Arduino Mega. O projeto realizava a automação dos sistemas térmicos, de iluminação e de segurança de uma residência, com um custo relativamente reduzido. É válido mencionar que foram utilizadas diferentes disciplinas neste projeto, sendo elas: instalações elétricas, eletrônica, programação, etc. A aplicação do projeto integra os conhecimentos aprendidos e as dificuldades encontradas quando esses são colocados em prática. Muitas dúvidas surgem e é necessária a habilidade de buscar soluções para os imprevistos.

Mediante o exposto, a prototipagem mostra-se como uma forma de testar projetos, consumindo poucos recursos e obtendo resultados que não são possíveis com simulação. Permitindo então uma melhora na qualidade dos mesmos, pois os testes ajudam a eliminar falhas. Devido ao baixo custo, essa técnica pode ser usada iterativamente, onde um protótipo é feito, testado e os problemas encontrados são corrigidos em projeto, e esse processo continua até que se encontre um ponto satisfatório para o produto.

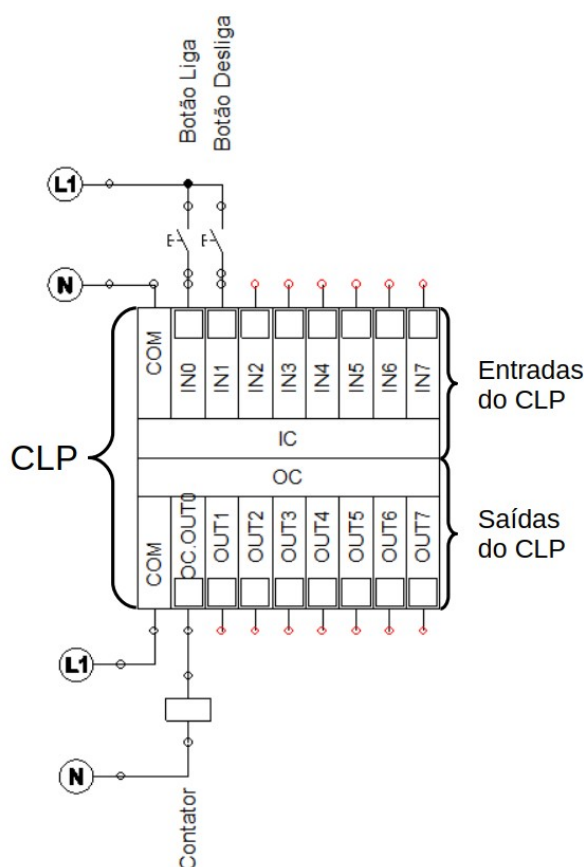
2.3.3 Conceitos gerais sobre Controlador Lógico Programável (CLP)

Os CLPs apresentam uma arquitetura simples, contando com as entradas e saídas que fazem a conexão do equipamento com o mundo físico e uma CPU (*Central Processing Unit*) que executa o processamento das informações recebidas nas entradas (IN = input) e envia os sinais processados para as saídas (OUT = output). O sistema apresenta memória, é capaz de salvar informações e a linguagem utilizada é chamada de *Ladder*, devido a sua semelhança com o formato de uma escada. A forma de programar se aproxima muito das conexões realizadas em um diagrama elétrico ou de comandos, sendo de fácil programação até mesmo por pessoas que não são familiarizadas com outras linguagens de programação mais comuns como C ou *Python* (SILVEIRA; LIMA, 2003).

Na Figura 1 está representada uma simulação que apresenta um CLP. Nela é possível ver o módulo CLP ao centro, com duas botoeiras ligadas nas suas

entradas (denominadas IN0 e IN1), uma descrita como Botoeira Liga e a outra Botoeira Desliga. Há também uma bobina de um Contator conectada em uma de suas saídas (denominada OC.OUT0). Esse exemplo demonstra a simplicidade nas conexões elétricas utilizando um CLP, onde só são necessárias as conexões das botoeiras e cargas diretamente nas suas entradas e saídas respectivamente. Não há complicações quanto à lógica de contatos ou ao número elevado de conexões elétricas entre componentes, como acontecia na época das lógicas por relés.

Figura 1 – CLP simulado no software *Automation Studio 7.1*



Fonte: Elaboração própria (2022).

Dentro do CLP são elaboradas as lógicas de programação que vão controlar as cargas da saída de acordo com os sinais nas entradas, temporizadores, contadores, memórias internas e várias outras funcionalidades de cada modelo. Na Figura 2 está representada uma *rung* (grade de programação), que no *Automation Studio 7.1*, serve como bloco para programação em *Ladder*. Neste bloco, são implementadas as lógicas necessárias para os acionamentos das cargas ligadas nas saídas do CLP.

(Normalmente Fechado), borda de subida e descida, bobina que representa a saída com função *set* e *reset*, entre outras funcionalidades. É possível criar um projeto básico utilizando o menu de dispositivos IHM (Interface Homem-Máquina), com periféricos acoplados às entradas e saídas (botoeiras, lâmpadas, sirene, seletores, entre outros) semelhantes aos encontrados na vida real. A aplicação do *software* neste projeto permite construir uma máquina virtual, que apresenta as mesmas funcionalidades quanto às botoeiras, sensores, relés, sinalização e motores reais. Assim, é possível simular o comportamento de uma máquina ou processo quando o CLP estiver executando uma determinada lógica, permitindo programar a máquina, primeiro no *software*, realizando testes em situações extremas e atípicas. Através da repetição de testes e da exploração de diversas tentativas simuladas, é possível alcançar uma lógica otimizada para a implementação real. Embora seja natural que a lógica da simulação sofra algumas adaptações após a implementação no ambiente real, ela desempenha um papel fundamental como base para evitar potenciais erros que poderiam prejudicar o sistema elétrico ou a estrutura da máquina.

2.3.5 Conceitos gerais dos *softwares* WEG

Para os produtos WEG, há a opção de criar as lógicas no computador utilizando os programas proprietários Clic02 Edit e o TPW PCLINK, e transcrever essa lógica via cabo de comunicação para os CLPs dos modelos Clic02 (Clic02 Edit), TPW03 e TPW04 (TPW PCLINK). É possível programar estes modelos através da IHM integrada no CLP, mas esta possui restrições quanto à quantidade de botões e ferramentas disponíveis. Ambos os *softwares* permitem a programação em *Ladder* e FBD (*Function Block Diagram*). Este programa possui uma ferramenta de simulações da lógica desenvolvida, permitindo que o usuário possa ativar sinais nas entradas e observe a resposta das saídas. Existem algumas funcionalidades interessantes para analisar a lógica em funcionamento e detectar erros, dessa forma, enquanto o CLP e o computador estão conectados, é mostrada a lógica operando em tempo real na tela. Para facilitar a compreensão na comutação dos contatos, há uma diferenciação das cores dos blocos quando estes estão ativos ou não, permitindo a melhor visualização do acionamento das entradas e saídas (WEG, 2006, 2010).

2.3.6 Tipos de sensores (Entradas para o CLP)

Os sensores são equipamentos que podem ser sensibilizados por alguma forma de energia e que relacionam essa sensibilização com algum sinal elétrico, corrente ou tensão. O sinal elétrico advindo desses sensores pode ainda passar por outros equipamentos para que seja filtrado ou amplificado para se tornar um sinal de controle. Dentre os tipos de sensores, há uma divisão entre analógicos e digitais, onde os analógicos possuem uma escala linear e podem representar valores em qualquer lugar da escala. Enquanto os digitais, por sua vez, possuem apenas dois valores, geralmente representados binariamente por 0 (desligado) e 1 (ligado). Os sinais digitais podem ser submetidos a outros equipamentos que transformam seu sinal em uma escala, funcionando então de forma similar a um sensor analógico para o controlador. Ambos os tipos são amplamente utilizados nas indústrias e são parte essencial de máquinas mais complexas, sendo a principal forma de obtenção do estado das máquinas do sistema (THOMANZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

Dentre os tipos de sensores mais comuns, se encontram as chaves fim de curso, que têm esse nome por serem comumente empregadas demarcando o final ou início do percurso de uma máquina. Estas funcionam de forma simples, possuindo uma alavanca com alguma resistência mecânica, geralmente sendo uma mola, que permite sua movimentação com a aplicação de força e depois retornam a posição original. A movimentação dessa alavanca aciona contatos que são utilizados para comandar as máquinas, geralmente servindo para informar quando há algo posicionado no início ou fim de um percurso. Devido à forma como é construída, a chave fim de curso possui operação simples, é robusta, não sofre interferência eletromagnética e tem alta resistência a desgaste por comutação. Essas chaves possuem algumas desvantagens em relação a outros sensores, como uma menor velocidade de comutação e a necessidade dos objetos de interesse encostarem fisicamente no sensor durante a atividade. Outra desvantagem é que por vezes, devido à força demasiada durante o acionamento, ou a má fixação, o sensor sofra um deslocamento na sua posição fazendo com que a carga não comute mais o sensor (FRANCHI; CAMARGO, 2021).

Existem também sensores que não precisam de contato físico com equipamentos para sentir sua presença. Um dos mais comuns é o sensor

magnético, também chamados de *reed switch*. Este sensor é formado por lâminas de metal dentro de um encapsulamento, comumente de vidro, assim, quando essas lâminas são envolvidas por um campo magnético externo, elas se encostam, fechando assim o circuito que envia sinal de controle (PAIXÃO SOBRINHO, 2008). Este tipo de sensor pode ser utilizado quando se quer medir a posição de um objeto, porém, não é desejável que os dois se toquem, por isso, este equipamento é fixado em um ponto próximo. Para que haja a comutação do sinal, adiciona-se um ímã junto ao objeto ao qual se quer saber a posição, quando o campo magnético atravessar os sensores, o controlador receberá um sinal, sem necessidade de contato direto com o sensor.

Outros sensores comumente utilizados na indústria são os sensores de proximidade indutivo ou capacitivo. Estes se valem de um princípio de perturbação do campo magnético ou elétrico ao seu redor, por um material externo, para que então seja enviado um sinal para o controlador. O indutivo funciona através de um circuito oscilador interno que gera um campo magnético. Quando este campo magnético é perturbado por um material metálico externo, esse campo oscilante gerado perde energia, devido a correntes de Foucault induzidas, então é acionado um gatilho interno que envia o sinal para o controlador. O capacitivo funciona de maneira análoga, porém, gerando agora um campo eletrostático, que quando perturbado por um material externo, aumenta o valor da capacitância até um valor de gatilho. Quando este valor de gatilho é atingido, o circuito interno do sensor envia um sinal para o controlador. Quanto mais dielétrico e mais próximo do sensor o material estiver, maior a influência deste no sensor e mais confiável o sinal de saída enviado para o controlador (THOMANZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

Uma característica importante que diferencia estes sensores é que o sensor indutivo detecta apenas metais magnéticos, enquanto o capacitivo detecta qualquer material, desde que esse tenha uma característica dielétrica que influencie o campo eletrostático do sensor.

2.4 Máquinas automatizadas e a prototipagem

As máquinas automatizadas são essenciais para as indústrias, pois possibilitam o trabalho repetitivo e preciso por um longo período de tempo sem

descanso. Assim, as importantes características desses sistemas são a precisão e a resposta rápida dos controladores. Contudo, esses dispositivos são construídos e programados por humanos e, portanto, necessitam de testes e profissionais treinados para perceber e resolver problemas envolvendo conceitos de lógica, estruturas mecânicas e elétricas que compõem tais aparelhos.

Uma possibilidade de garantir treinamento aos profissionais seria o uso de protótipos para testes elétricos e mecânicos em réplicas, fiéis na reprodução do funcionamento de equipamentos a serem implementados na indústria. Com base no protótipo, os profissionais fazem análises quanto aos problemas e podem propor e testar possíveis melhorias antes do produto ser efetivamente viabilizado industrialmente. Nas escolas, a prototipagem também é muito válida, pois, através dela é possível ensinar utilizando modelos em menor escala, simplificados, de maneira a acostumar os alunos ao ambiente parecido com o industrial, mas sem os riscos e custos envolvidos.

2.4.1 Aplicação das máquinas na vida real e como forma de aprendizagem

Diversos setores incorporam a automação visando ampliar a produtividade e mitigar as falhas inerentes aos processos. Um campo em que essa tecnologia é amplamente empregada diz respeito às unidades de armazenamento com paletes. Um exemplo dessa aplicação é o equipamento de armazenagem de paletes em múltiplos andares fabricado pela U-PACK (2020). Considerando que o propósito desse dispositivo é elevar paletes com produtos a alturas significativas dentro do depósito, a implementação da automação possibilita realizar essa tarefa de maneira segura, eficiente e com mínimos riscos de acidentes.

O setor da indústria automobilística tem como uma de suas características o alto investimento tecnológico nas suas fábricas. Os carros são produzidos aplicando uma estratégia de padronização das plantas, e também adotando uma técnica chamada de modularização. Nessa técnica, as partes do carro são produzidas separadamente e integradas posteriormente. Os modelos produzidos em fábricas são escolhidos de forma a possuírem partes em comum, necessitando pouca mudança das plantas. São utilizados equipamentos de forma a ocupar menos espaço da fábrica e, quando necessário, a reorganização dos

mesmos deve possibilitar a construção de modelos diferentes. O Brasil passou por um processo de crescimento na produção de automóveis graças ao ambiente econômico e a atualização tecnológica das plantas, possibilitada pelo uso da microeletrônica (CARVALHO, 2008; COSTA; HENKIN, 2016).

A padronização da indústria automobilística pode ser garantida através do uso da automação, por exemplo, as máquinas automatizadas possuem mais precisão e, portanto, produzem componentes extremamente similares. Essa padronização permite que as peças se encaixem mais facilmente, sem a necessidade de ajustes, facilitando o modelo modularizado de produção. Pode-se citar também a produção dita como enxuta, na qual uma máquina pode realizar o trabalho de várias pessoas em um espaço reduzido, seja este um trabalho repetitivo ou até um trabalho envolvendo o uso da força, tal como na movimentação de objetos. Observa-se na Figura 3, a presença de equipamentos automatizados na indústria automotiva, onde as carrocerias dos carros estão sendo trabalhadas por robôs industriais.

Figura 3 – Fábrica da Volkswagen



Fonte: Gazeta do Povo (2019).

Quando uma empresa opta por substituir sua força de trabalho humana por equipamentos automatizados, surgem questões cruciais, como aquelas abordadas por Oliniski e Prado (2019) em seu estudo de caso realizado em uma indústria do setor alimentício (neste caso, de laticínios). No decorrer da pesquisa, destacou-se que a automação da planta fabril foi implementada principalmente nas

áreas onde uma grande quantidade de trabalho era previamente realizada por seres humanos. Essa escolha foi deliberada com o objetivo de reduzir desperdício e erros na produção. Para efetuar essa transição, a empresa precisou realizar demissões e aposentadorias antecipadas, resultando na redução do quadro de funcionários. Entretanto, aqueles que permaneceram, passaram por programas de capacitação especializada, transformando-se em um ativo valioso para a empresa.

No final das contas, o impacto da automação da planta foi percebido de forma positiva pelos funcionários. Além de contribuir para a redução das consequências ambientais decorrentes da diminuição da geração de resíduos devido às falhas operacionais, também houve uma diminuição na produção de resíduos relacionados à habitação humana. Em termos de lucratividade, a empresa observou uma redução nos gastos com mão de obra, o que ao longo do tempo permitirá a recuperação do investimento inicial da automatização.

Uma prática amplamente empregada na automação é a prototipagem, que viabiliza a condução de testes em equipamentos por meio de protótipos em escala reduzida. Além disso, o uso desses dispositivos menores possibilita a realização de treinamentos para o pessoal encarregado do controle das máquinas, mitigando quaisquer riscos durante essa fase de aprendizado.

Um exemplo de uso de prototipagem em cursos de engenharia é a construção de um mini elevador predial concebido por Elias *et al.* (2008). O funcionamento desse protótipo foi simplificado em relação a um modelo real, mas ainda assim apresenta uma complexidade maior que o que é visto em aulas práticas em bancadas. Durante o seu projeto, os alunos precisaram tomar diversas decisões quanto à estrutura mecânica (tamanho, esforço físico submetido, material empregado, *etc.*), estrutura elétrica (níveis de sinais elétricos, estruturação compacta, equipamentos de conversão de sinal, *etc.*) e estrutura de comando (posicionamento e escolha de sensores, escolha de comandos e sinalizações, limitações físicas dos equipamentos, *etc.*).

Um exemplo adicional de uma máquina didática desenvolvida por um estudante, com foco na futura montagem por outros alunos em sala de aula, é o projeto concebido por Centenaro (2022). No caso desta envasadora de líquidos, ele realizou adaptações em relação a um modelo apresentado em sala de aula. Estas modificações foram implementadas com o objetivo de tornar a máquina mais segura

e realista. Isso demonstra uma preocupação com a usabilidade do equipamento e como ele impacta o processo de ensino dos alunos. Afinal, o objetivo é proporcionar uma experiência que aproxime a aplicação prática fora da sala de aula com a teoria ensinada dentro dela. Além disso, vale destacar a variedade de *softwares* empregados neste projeto, incluindo o SolidWorks 2020 para a modelagem das peças, Cura 4.3 para a impressão 3D, *Automation Studio* 7.1 e Clic02 Edit para o projeto elétrico e a elaboração da lógica. Também merece atenção o fato de que este trabalho incorporou dispositivos relacionados à pneumática, uma matéria frequentemente abordada em sala de aula, mas que nem sempre é facilmente compreendida em sua aplicação prática, ao contrário dos motores, que são amplamente conhecidos e utilizados.

A utilização de máquinas didáticas apresenta como característica desafiadora, a limitação de efetuar mudanças estruturais. Muitos desses projetos possuem configurações elétricas fixas, impossibilitando a alteração de cabos e a reorganização de sensores. Essas restrições exigem que os alunos realizem uma análise prévia minuciosa da máquina, buscando compreender as conexões dos cabos entre as cargas e os bornes. Essa análise prévia coloca os alunos diante de desafios que não existem em instalações montadas em bancadas, onde geralmente são eles mesmos que posicionam os componentes durante a execução do projeto. Outra dificuldade diretamente relacionada a essa limitação é a elaboração de uma lógica que se adapte à estrutura física da máquina. Afinal, essa lógica deve ser implementada considerando uma quantidade predeterminada de sensores, botoeiras e cargas, como motores, sinalizações, entre outros.

Esses desafios proporcionam aos alunos a oportunidade de desenvolver habilidades de resolução de problemas, aumentando seu comprometimento com o projeto e aproximando o conhecimento teórico adquirido com as práticas do mundo real. Através disso, é possível enriquecer significativamente as experiências de aprendizado dos estudantes e os preparar para enfrentar situações práticas mais complexas em ambientes industriais.

2.4.2 Noções sobre estacionamento vertical

Dois grandes problemas enfrentados cotidianamente pelos moradores de Florianópolis são o trânsito e a dificuldade dos condutores encontrarem vagas públicas para estacionar seus veículos. Fieldmann (2016) apresenta dados sobre a alta taxa de carros por habitante e também o aumento no número de acidentes de trânsito na cidade de Florianópolis. Esses dados corroboram com a ideia de que o trânsito na região vem piorando com os anos. A ideia do estacionamento vertical possui o intuito de reduzir os carros estacionados nas vias, gerando maior fluidez no trânsito e agilidade na hora de estacionar. O posicionamento estratégico deste tipo de estacionamento pode resultar em menor circulação de carros nas vias mais movimentadas para procura de vagas, assim como na diminuição de fluxo nas vias de entrada e saída da cidade.

Esse tipo de estacionamento já é implementado em outros lugares do mundo, tal como a Autostadt que apresenta a *Car Towers*, existente em Wolfsburg, na Alemanha. Composto por duas torres feitas em uma estrutura de aço galvanizado e totalmente envidraçadas como apresentado na Figura 4, estas estruturas acomodam 400 carros em cada uma. Contando com um sistema automatizado, este estacionamento consegue transportar um carro da entrada até a vaga mais alta, em 1 minuto e 44 segundos. Uma visão da parte interna deste estacionamento pode ser vista na Figura 5, onde é possível identificar algumas vagas e o mecanismo que transporta os carros (AUTOSTADT, 2022).

Figura 4 – Estacionamento vertical *Car Towers* visão externa



Fonte: AUTOSTADT (2022).

Figura 5 – Estacionamento vertical *Car Towers* visão interna



Fonte: AUTOSTADT (2022).

É notória a importância das máquinas nos tempos atuais, afinal elas estão presentes em diversas aplicações nas indústrias, na resolução de problemas do cotidiano e até nas escolas, auxiliando no processo de ensino-aprendizagem. A utilização das tecnologias de automação permite que estas sejam confiáveis, precisas e rápidas o suficiente para otimizar e facilitar o modo de vida da sociedade. A motivação para implementação de sistemas de automação surge com esse propósito de resolver problemas do dia a dia. Portanto, quando se apresenta um problema cotidiano a um aluno, e lhe é solicitado que o solucione através de uma máquina didática, busca-se também despertar sua motivação, fazendo com que ele se envolva mais com o conteúdo da aula, pois será necessário para atingir seu objetivo e solucionar um problema.

3 METODOLOGIA E APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE *RETROFIT* NA MÁQUINA DIDÁTICA

A máquina didática que será submetida a um *retrofit* é um estacionamento vertical, desenvolvido no ano de 2012, por um aluno do curso técnico em eletrotécnica do IFSC campus Florianópolis, como parte do estudo sobre comandos industriais. Representada na Figura 6, essa máquina foi construída utilizando uma estrutura de madeira, sensores fins de curso mecânicos e um conjunto de relés. Em termos de *software*, a lógica implementada é simplificada, limitando-se a posicionar o carro sempre em uma única vaga das 4 disponíveis.

A máquina conta com diversos componentes, incluindo um motor para movimento horizontal, outro para movimento vertical, além de um leitor de CD adaptado para controlar o deslocamento da plataforma para frente e para trás. Percebeu-se então uma excelente oportunidade de execução de *retrofit* devido às limitações mecânicas, elétricas e lógicas. Essa condição de operação aquém do planejado também é um cenário frequentemente observado em ambientes industriais, onde equipamentos defeituosos têm suas funções reduzidas ou eliminadas, visando economia de recursos em detrimento do reparo adequado, resultando na degradação da funcionalidade original da máquina ou processo.

Figura 6 – Máquina didática baseada em estacionamento vertical antes do *retrofit*



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para a execução do *retrofit* foi adotada uma abordagem metodológica de natureza exploratória com foco prático. A execução englobou a substituição e instalação de componentes, seguida de testes abrangentes destinados a validar a eficácia das modificações implementadas. A atualização dos dispositivos existentes, bem como a otimização da lógica estrutural e operacional, visaram aprimorar tanto a eficiência, quanto a durabilidade e a confiabilidade da máquina, assim como tornar todas as vagas de garagem utilizáveis.

3.1 Análise e projeto da máquina *as built*

Mediante a uma inspeção visual minuciosa da máquina, foi compilado o Quadro 1, que cataloga os componentes visíveis no equipamento. Devido à inevitável degradação ao longo do tempo, muitos desses componentes não cumpriam mais com seu objetivo original. Ademais, a situação é agravada pela falta

de padronização dos dispositivos, muitos exibiam características muito diferentes, apesar de realizarem funções similares. As propriedades que se sobressaíam eram dimensões e cores diferentes em relação aos equipamentos adjacentes.

Nesse contexto, observou-se uma diversidade de marcas empregadas nos diversos componentes, evidenciando a não padronização de marcas ou atributos para funções equiparáveis.

Quadro 1 – Materiais presentes na máquina *as built*

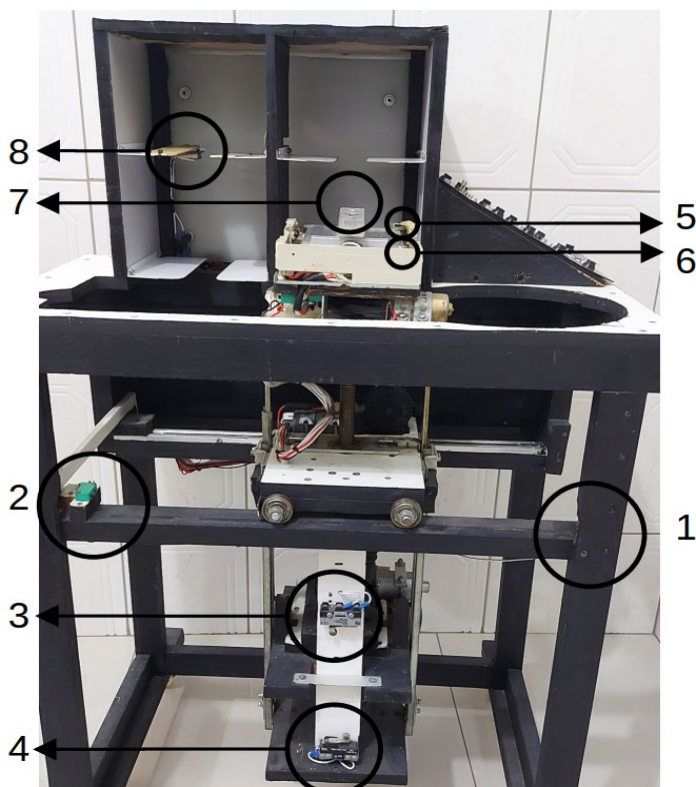
Quantidade	Descrição
8	Fim de curso NA
2	Seletores NA
11	Botões Pulsantes NA
4	<i>Display</i> numérico
18	LED verde
9	LED vermelho
3	Motores Bosch 12 V
1	Fonte 220 Vca / 3/5/12 Vcc
1	CLP WEG TP02 – 20MR
3	Barras de conectores
90	Relés 12 Vcc TIANBO
6	Relés 24 Vcc finder
-	Cabos 0,75 mm (Branco / Preto / Vermelho)
-	Estrutura em madeira
4	Rolamentos
4	Rodas de silicone
1	Cremalheira + Pinhão
1	Guia de ferro
1	Leitor de CD

Fonte: Elaboração própria (2022).

Foram identificados oito Fins de Curso presentes na máquina, evidenciados por círculos pretos na Figura 7. Estes foram estrategicamente posicionados para capturar informações acerca da posição, tanto do carro, quanto da plataforma de estacionamento. É importante salientar que somente havia sensor posicionado na vaga superior esquerda, deixando a entender que o funcionamento do estacionamento estava degradado, somente entregando carros para uma vaga. As oito posições monitoradas são definidas da seguinte maneira:

- 1 – Plataforma no início do percurso horizontal;
- 2 – Plataforma no fim do percurso horizontal;
- 3 – Plataforma elevada;
- 4 – Plataforma baixada;
- 5 – Plataforma avançada;
- 6 – Plataforma contraída;
- 7 – Carro sobre a plataforma;
- 8 – Carro na vaga superior esquerda.

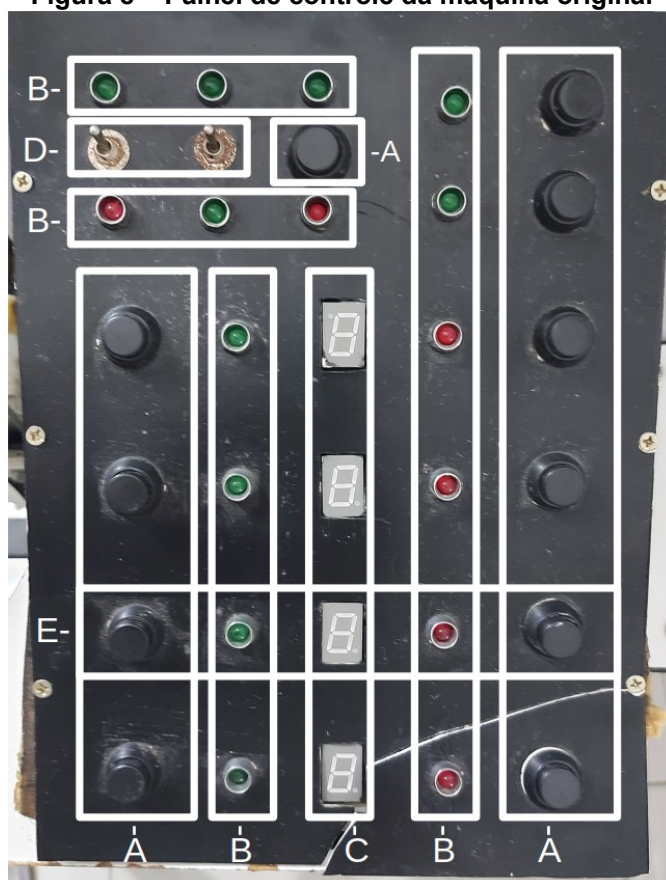
Figura 7 – Posição dos sensores fins de curso na máquina original



Fonte: Elaboração própria (2022).

A Figura 8 ilustra o painel de controle da máquina em sua forma original, compreendendo um conjunto diversificado de elementos identificados na figura por letras, como botoeiras (A), indicadores luminosos de LED (B), *displays* numéricos (C) e dois interruptores seletores (D). Notou-se que o painel apresenta alguns danos visíveis, incluindo uma rachadura na porção inferior direita, sinais de corrosão nos interruptores seletores e marcas evidentes na pintura. Os interruptores seletores desempenham a função de energizar a máquina, sendo que o apresentado à esquerda permite o fornecimento de energia a todos os componentes, enquanto o da direita habilita o CLP e a botoeira adjacente (quadrado verde ao lado dos seletores na figura) para ativar efetivamente o CLP. Sob esta configuração, quando a máquina era energizada, os *displays* numéricos exibiam os números correspondentes às vagas disponíveis. Contudo, dado que apenas uma vaga estava em uso (foi de fato programada), somente os botões próximos ao terceiro *display* estão destinados a funções de estacionamento e recuperação de veículos. Um LED verde posicionado ao lado esquerdo do *display* referente à terceira vaga indicava a disponibilidade da vaga, ao passo que o LED vermelho, ao lado direito do mesmo *display*, denotava a presença de um veículo na vaga, pronto para ser recuperado (os componentes referentes à terceira vaga estão sinalizados pela letra E na figura). Com base nessa configuração, é plausível supor que as demais botoeiras e indicadores luminosos foram planejados para operar de maneira análoga.

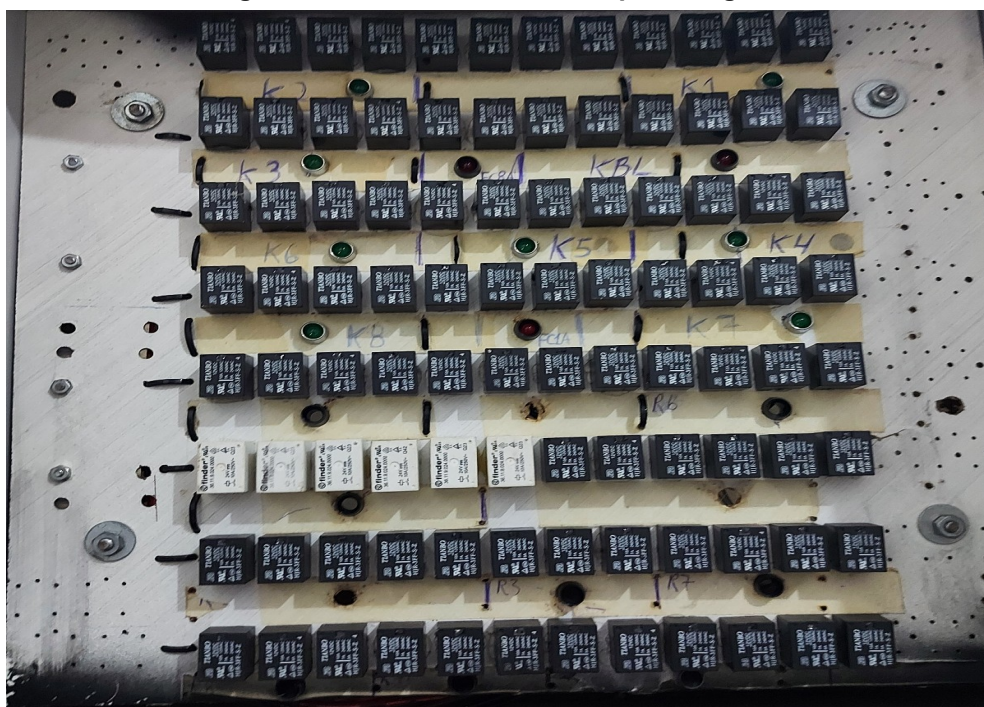
Figura 8 – Painel de controle da máquina original



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na parte posterior da máquina, situada exatamente atrás das vagas se encontrava a placa contendo os relés, exibida na Figura 9. Confeccionada em madeira, essa placa hospedava uma quantidade significativa de relés responsáveis pela ativação de diversos componentes na máquina. Durante a avaliação, constatou-se que apenas os dispositivos das cinco primeiras linhas foram utilizados. A placa de madeira destinada a sustentar os equipamentos apresentava uma série de furos, espaçados para acomodar os terminais dos mesmos, além de manchas de tinta preta, possivelmente remanescentes de processos anteriores.

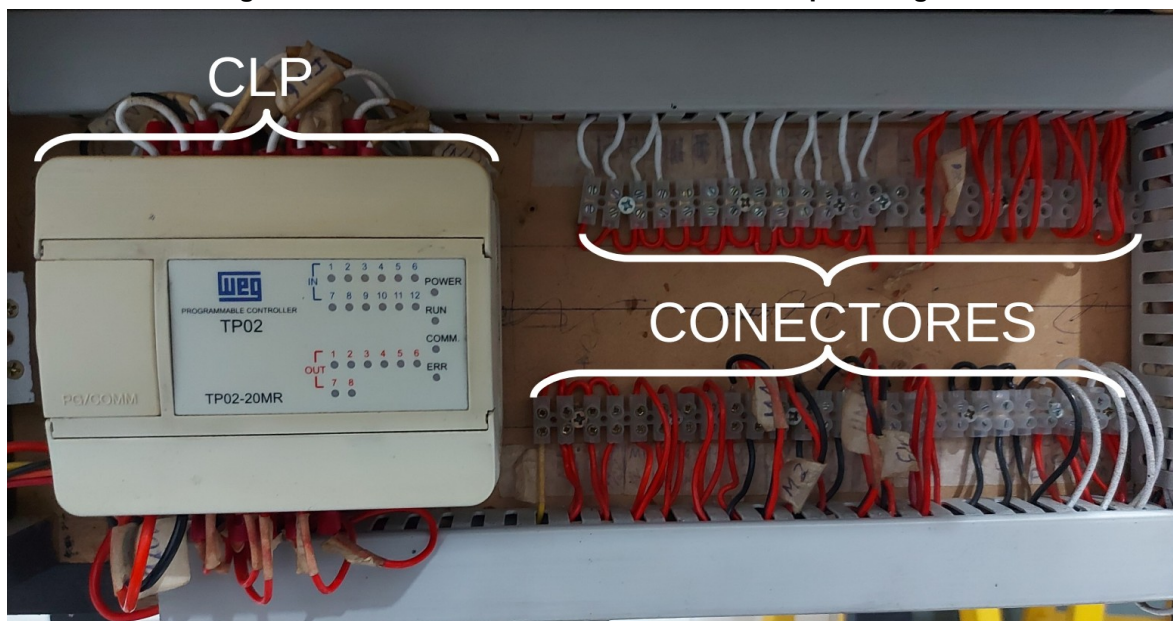
Figura 9 – Placa de relés da máquina original



Fonte: Elaboração própria (2022).

O CLP empregado na versão original da máquina está destacado na Figura 10, ao lado das barras de conectores. Identificado como modelo TP02-20MR, esse CLP exibe características datadas e não incorpora uma IHM, o que implica que a transferência da lógica de operação é exclusivamente realizada via cabo, utilizando um computador, equipado com um *software* da WEG. Em decorrência da máquina ser muito antiga, o programa WEG compatível com este CLP só admite o uso do Windows XP, que dificilmente é encontrado nos computadores atuais.

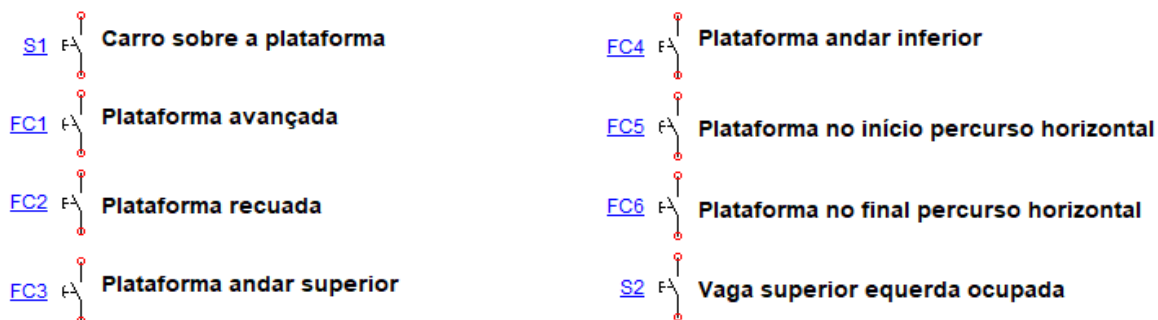
Figura 10 – CLP e barras de conectores da máquina original



Fonte: Elaboração própria (2022).

Mediante a observação do comportamento da máquina durante a ativação das botoeiras e sensores, com base na sua disposição física, foi possível conceber o projeto *as built* da configuração original da máquina. Este projeto foi desenvolvido utilizando o *software Automation Studio 7.1*. Na Figura 11, são representadas as botoeiras no ambiente do *Automation Studio*. No contexto da simulação, foram consideradas apenas as entradas funcionais da máquina, enquanto botões sem funções específicas foram excluídos. Os contatos designados pela sigla 'FC' retratam os sensores de fim de curso posicionados nas extremidades do percurso da plataforma. Por sua vez, os identificados pela letra 'S', embora também referidos como sensores de fim de curso, desempenham a função de detectores, sendo ativados somente na presença de um veículo ou da plataforma sobre eles.

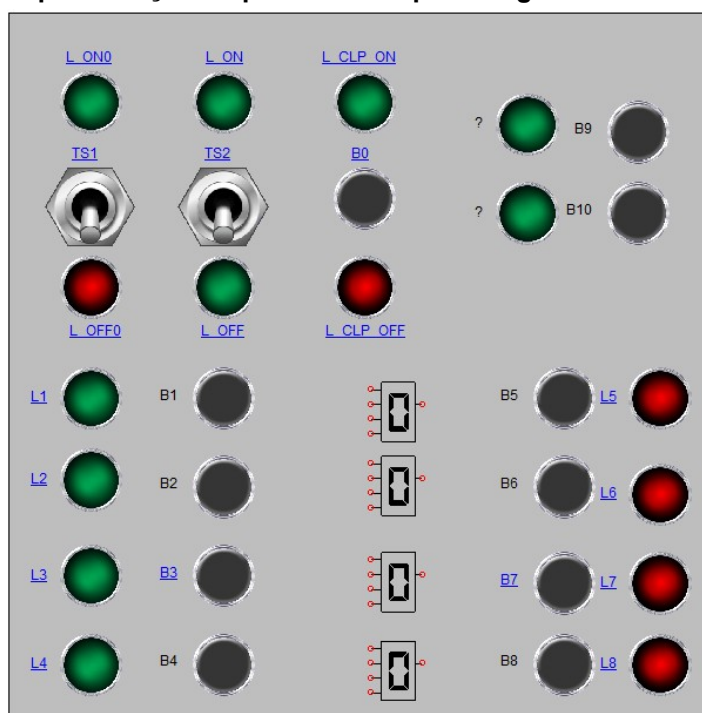
Figura 11 – Representação dos sensores no *software Automation Studio*



Fonte: Elaboração própria (2023).

Além dos sensores de fim de curso mencionados anteriormente, a máquina também contava com outras botoeiras e indicadores localizados no painel ilustrado na Figura 8. Através da utilização da biblioteca de objetos de IHM, foi desenvolvido no *Automation Studio* o painel representado na Figura 12. As conexões presentes neste painel estabelecem ligações, tanto com as entradas, como com as saídas do CLP, além de também acionar dispositivos, incluindo o próprio CLP e, desta forma, o mesmo aparece também no diagrama elétrico.

Figura 12 – Representação do painel da máquina original no *Automation Studio*

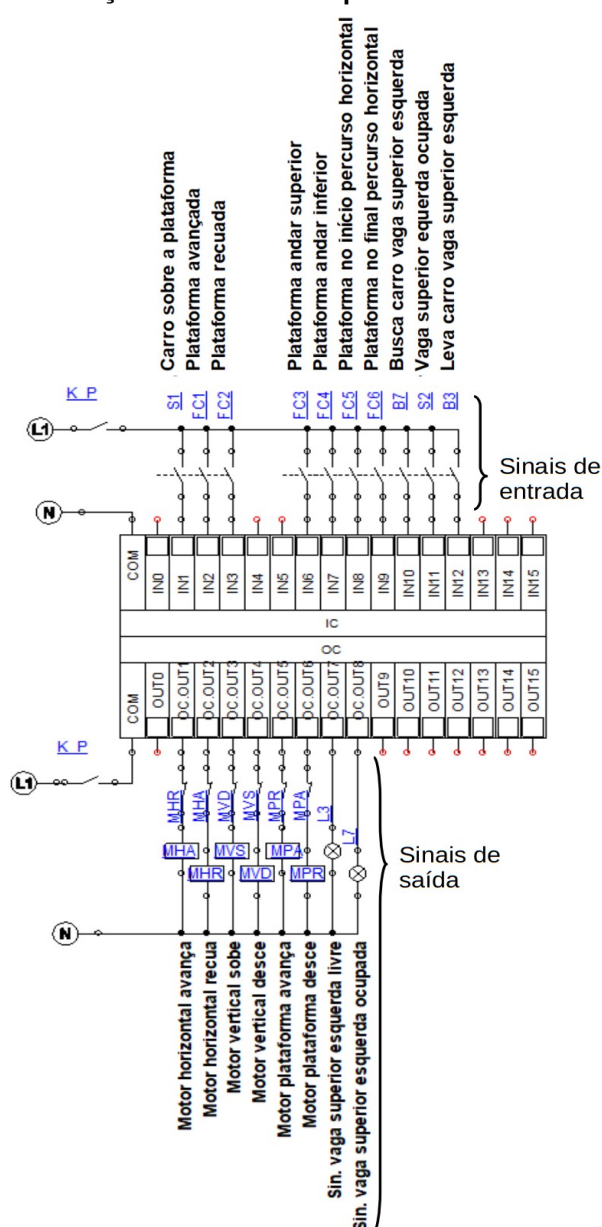


Fonte: Elaboração própria (2023).

Na Figura 13, os contatos conectados no bloco superior representam os sinais de entrada do CLP, além dos botões B3 e B7 presentes na Figura 12. Esses sinais quando ativados, atuam como os desencadeadores da lógica, resultando na ativação ou desativação das saídas. No âmbito do projeto, as saídas do CLP estão vinculadas às bobinas, no entanto, na configuração original da máquina, essas bobinas correspondiam aos relés. Estes relés das saídas do CLP estavam associados ao movimento de um dos três motores presentes. Desses motores, dois são da marca Bosch, e o último é um leitor de CD. Para cada motor foram fornecidas duas saídas, cada uma responsável por um sentido de rotação. Ademais, também se disponibilizou duas saídas para a sinalização do estado da vaga superior esquerda, indicando se está livre ou ocupada.

Quanto às siglas atribuídas aos motores, a nomenclatura segue a seguinte convenção: o primeiro caractere 'M' identifica o componente como motor, o segundo caractere denota o tipo de movimento do motor ou se este é o motor da plataforma (H para Horizontal, V para Vertical, P para Plataforma). Por fim, o último caractere caracteriza o sentido da movimentação (A para Avança, R para Recua, S para Sobe, D para Desce).

Figura 13 – Representação do CLP da máquina *as built* no *Automation Studio*



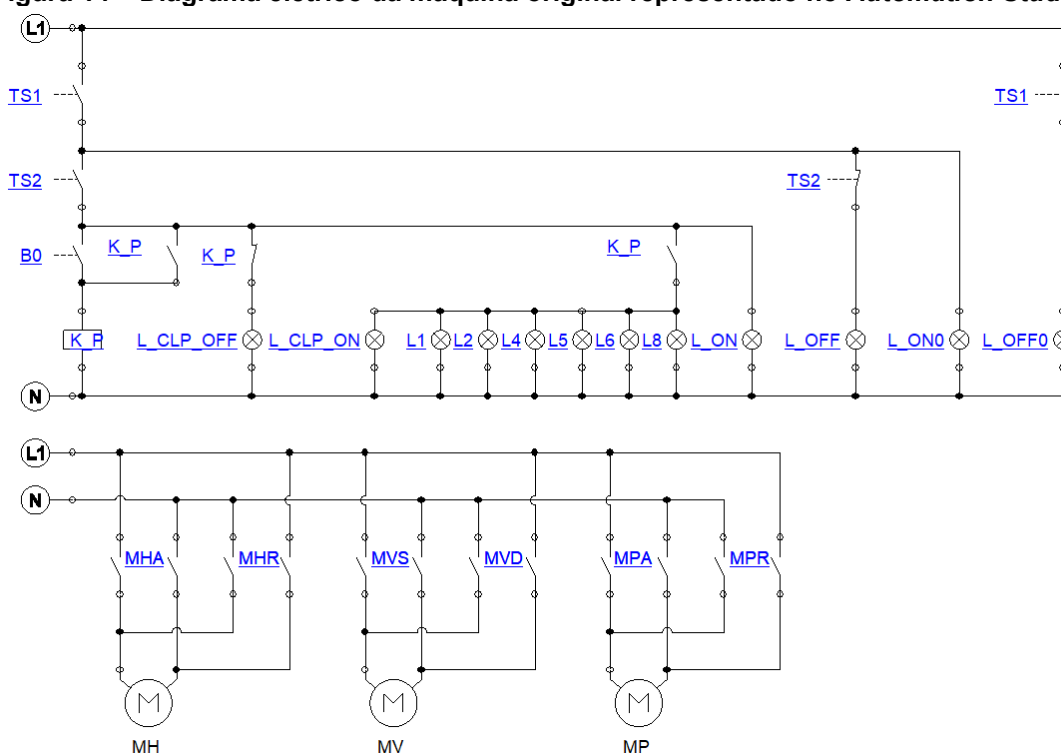
Fonte: Elaboração própria (2023).

No *Automation Studio* existe uma configuração padronizada de entradas e saídas. Neste projeto, optou-se por utilizar a opção com 16 destas, no entanto, na máquina real, o CLP estava equipado com 12 entradas e 8 saídas. Vale ressaltar

que essa discrepância no número não acarretou problemas na simulação, uma vez que foi respeitada a mesma quantidade da máquina real.

No projeto elétrico da configuração original da máquina, visualizado na Figura 14, estão ilustradas as interconexões elétricas existentes no sistema. Este diagrama é segmentado em duas partes: a porção superior exibe as ligações referentes às sinalizações e ao relé K_P, que desempenha a função principal de energizar e manter o CLP operante, além das entradas associadas. Já na seção inferior, encontram-se retratadas as conexões dos motores. É perceptível a presença de duas conexões em paralelo para cada motor, sendo que cada uma delas diz respeito a um sentido de rotação. As sinalizações representadas no diagrama podem ser observadas também na Figura 12.

Figura 14 – Diagrama elétrico da máquina original representado no *Automation Studio*



Fonte: Elaboração própria (2023).

A lógica utilizada na máquina original foi elaborada em linguagem de programação *Ladder* e está apresentada no APÊNDICE A – LÓGICA DA MÁQUINA ORIGINAL NO AUTOMATION STUDIO. Essa lógica foi desenvolvida com base no modo de operação da máquina no seu estado degradado. Através de uma série de testes realizados com a máquina e o acionamento das entradas, juntamente com a

observação do comportamento das saídas correspondentes, a lógica foi estruturada de acordo com as conclusões obtidas.

O funcionamento da máquina segue esta sequência: quando um carro é posicionado sobre a plataforma e a botoeira B3 é pressionada, o motor horizontal é energizado no sentido de avançar, movendo a máquina até o final do percurso horizontal. Após alcançar o fim de curso no limite desse percurso, o motor horizontal é desligado e o motor vertical é energizado, elevando a plataforma junto ao carro. Uma vez que o fim de curso indicando a plataforma elevada é acionado, o motor vertical é desenergizado e o motor interno do leitor de CD é energizado para avançar a plataforma, levando o carro até a vaga 3. Nesse ponto, um temporizador e o motor vertical são ativados, fazendo a plataforma descer até que se atinja o tempo estipulado. Então, outro temporizador é acionado, o motor vertical é energizado e faz a plataforma descer até que o tempo estipulado seja alcançado. A partir da comutação a plataforma é recuada, utilizando-se dessa lógica com temporizador a máquina deposita o carro na vaga e libera a plataforma. Uma vez completado esse processo, a lógica direciona a plataforma para baixo e para o início do percurso horizontal.

A lógica de buscar o carro opera de maneira semelhante com as principais diferenças, sendo o gatilho para seu acionamento e a inclusão de um temporizador. Para iniciar essa lógica, o carro deve estar posicionado sobre o sensor interno da vaga 3 e o temporizador é utilizado de forma distinta. Durante o retorno, um novo temporizador é empregado para parar a plataforma durante sua movimentação ascendente. A seguir, a plataforma é avançada para ficar abaixo da vaga, onde o carro está posicionado. Então, a plataforma é elevada novamente até que o carro esteja apoiado sobre ela e é recuada quando atinge o fim de curso. A partir desse ponto, o processo de retorno à posição inicial ocorre de maneira similar ao descrito anteriormente, com a plataforma sendo abaixada e retornando à posição inicial, agora com o carro sobre ela. Uma versão mais detalhada desta lógica está disponibilizada no APÊNDICE B – PLANILHA DESCRITIVA DA MÁQUINA ORIGINAL, onde estão destacados os componentes e suas funções na lógica, acompanhado de outras informações pertinentes à máquina.

3.2 Proposição de melhorias e atualização do projeto

Com a finalidade de aprimorar a implementação das melhorias, optou-se por separar os principais pontos a serem aprimorados e desenvolver um projeto atualizado que focasse nessas questões. Esse enfoque visou trazer organização ao processo, proporcionando uma direção mais clara para as modificações propostas. Uma vantagem adicional de atualizar o projeto com as melhorias foi a capacidade de identificar quais melhorias eram urgentes e quais eram possíveis simplificar, resultando em uma otimização de recursos, tanto de tempo, quanto de materiais.

O primeiro ponto de melhoria observado foi a modernização da estrutura de suporte, que na versão original da máquina era confeccionada em madeira. Essa estrutura apresentava diversas falhas, evidenciadas na Figura 15, onde podem ser observados problemas como desgaste da madeira, deformações em partes da estrutura e indícios de inchaço devido à umidade. Nesse contexto, era obrigatório substituir a estrutura de madeira por materiais que proporcionassem maior durabilidade e resistência como alumínio, polímeros ou acrílicos.

Essa mudança aumenta a vida útil da máquina, reduzindo a necessidade de manutenções frequentes e evitando problemas decorrentes do desgaste e da umidade. Além disso, a escolha de materiais mais duráveis promove a estabilidade e a segurança operacional da máquina, resultando em uma base sólida para a implementação das demais melhorias propostas.

Figura 15 – Estruturas de madeira com irregularidades



Fonte: Elaboração própria (2023).

Para assegurar o funcionamento ideal da máquina, incluindo a entrega de veículos em todas as quatro vagas, era essencial a instalação de sensores adicionais. A ausência desses sensores acarretava desafios ou impossibilidade na detecção de veículos nas vagas. Com o propósito de solucionar essa questão, optou-se pela incorporação de um sensor indutivo em cada vaga no projeto. Esse sensor quando posicionado sob a vaga, detecta a presença de objetos metálicos sobre esta, fornecendo uma informação necessária para o controle adequado do sistema.

Outra dificuldade encontrada está relacionada à parada do movimento no meio do percurso, tanto horizontal, quanto vertical. Para solucionar essa questão, era indispensável a implementação de sensores que pudessem monitorar os movimentos em duas direções distintas. Para isso, houve a necessidade de incluir três sensores adicionais: dois para a movimentação vertical e um para a movimentação horizontal. Esses sensores permitem um controle mais preciso dos movimentos da máquina, garantindo paradas seguras nos pontos desejados.

Com o intuito de facilitar a montagem da máquina por parte dos alunos e aprimorar a segurança durante o processo, eram necessárias algumas modificações. Por exemplo, a inserção de bornes para conexão utilizando conectores tipo banana-banana simplificando as conexões elétricas e garantindo uma montagem mais eficiente.

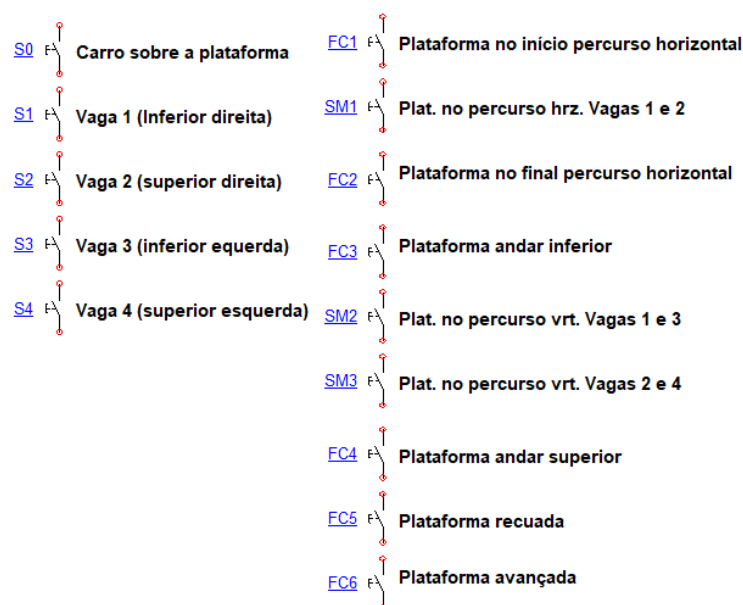
Outra medida essencial para aumentar a segurança dos alunos foi a inclusão de um botão de emergência no projeto. Esse dispositivo interrompe imediatamente o funcionamento da máquina em caso de situações inesperadas, assegurando um ambiente de trabalho mais seguro.

Algumas das modificações também envolvem atualizações tecnológicas para otimizar o desempenho e a compatibilidade da máquina. Um exemplo foi a substituição do CLP, devido à sua incompatibilidade com computadores atuais causada pelo avanço rápido da tecnologia. Além disso, a baixa quantidade de entradas e saídas do CLP anterior limitava a complexidade das lógicas que poderiam ser implementadas. Portanto, foi incluído um CLP de um modelo mais moderno e com maior capacidade de I/O (entradas e saídas).

Um desafio significativo identificado na máquina foi a lentidão do movimento vertical, resultante do mecanismo utilizado, que envolvia uma rosca infinita com um passo pequeno. Para resolver essa questão, este mecanismo foi substituído por outro mais eficiente, que possibilitasse a transferência do movimento circular do rotor do motor para um movimento linear com maior velocidade.

O novo projeto foi desenvolvido considerando todas essas melhorias propostas. As alterações mais notáveis incluem a adição de sensores extras, que podem ser observados na Figura 16, a simplificação do painel de controle, conforme demonstrado na Figura 17 e a introdução de bandejas para transportar os carros até as vagas. Todas essas modificações visaram aprimorar a operação, eficiência e segurança da máquina.

Figura 16 – Representação dos sensores do novo projeto no *software Automation Studio*

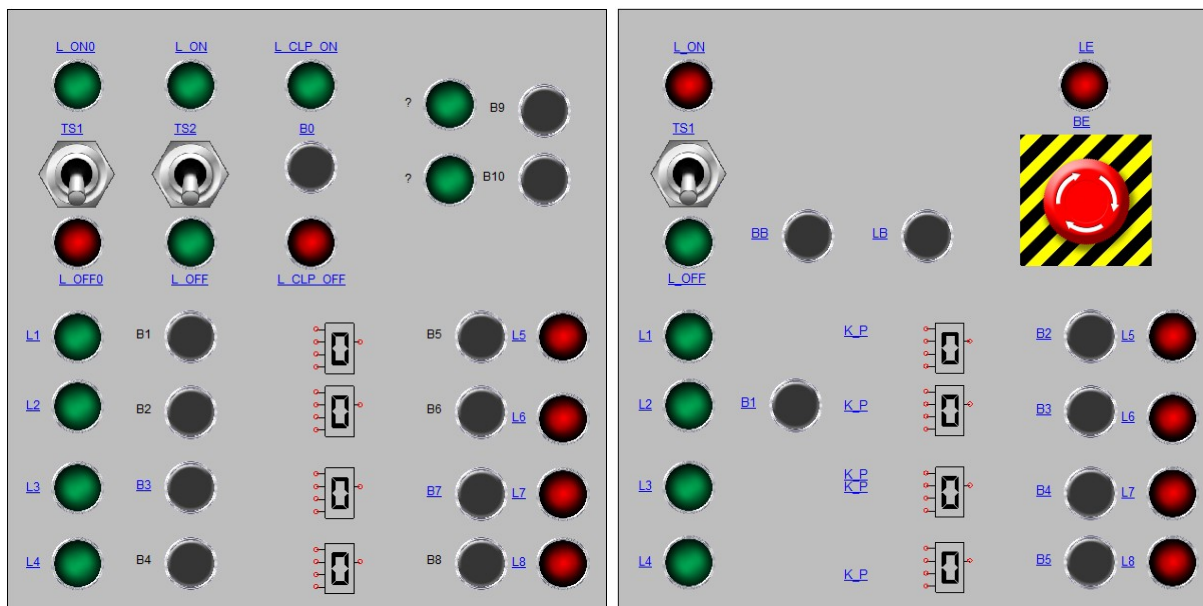


Fonte: Elaboração própria (2023).

Esses sensores são cruciais para permitir que a máquina determine com precisão a posição dos elementos móveis, como a plataforma vertical e as bandejas, possibilitando um controle seguro e eficiente das operações.

Além disso, a adição desses sensores reflete a abordagem proativa na melhoria do sistema, aumentando a precisão, a confiabilidade e a segurança geral da máquina, ao mesmo tempo em que contribui para o cumprimento das metas de entrega nas quatro vagas de estacionamento.

Figura 17 – Comparação entre painéis antigo (esquerda) e novo (direita) elaborados no *Automation Studio*

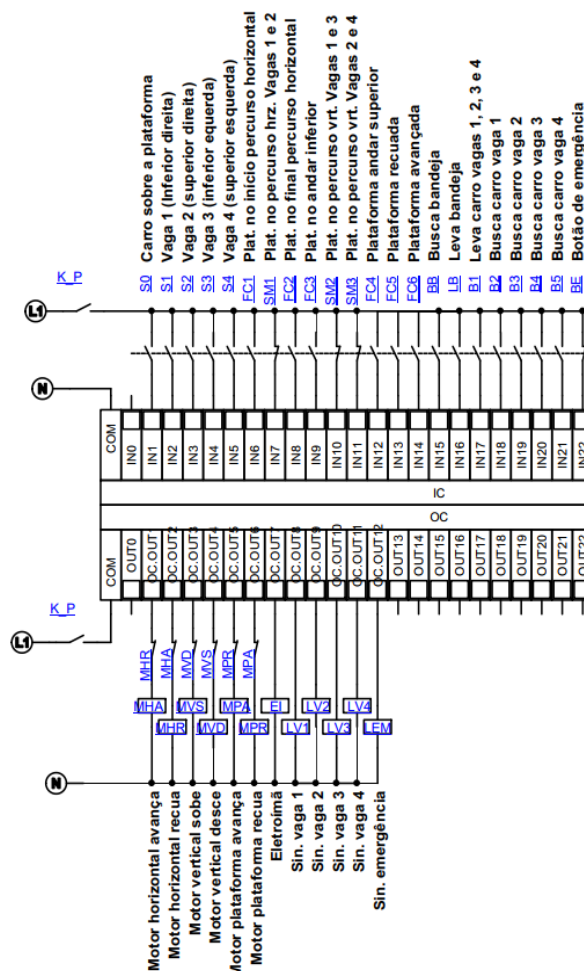


Fonte: Elaboração própria (2023).

A simplificação no painel do novo projeto é observada na Figura 17, onde são apresentados os painéis antigo e novo. Foram eliminadas as botoeiras que não estavam sendo empregadas, assim como um seletor ON/OFF não utilizado. A complementação dessas modificações com a inclusão de um botão de emergência representa uma abordagem que não apenas reduz o excesso de componentes previamente presentes, mas também aprimora a segurança geral da máquina. Ao simplificar o painel de controle e eliminar elementos não utilizados, a interface de operação torna-se mais clara e intuitiva.

A atualização do CLP oferece a vantagem de uma maior disponibilidade de entradas e saídas, como pode ser observado na Figura 18, resultando em um nível mais elevado de complexidade na parte lógica do sistema. Com esse aumento na quantidade de sinais, tanto de entrada, quanto de saída, a implementação do código para a máquina apresentará aos alunos desafios mais substanciais. Além da complexidade adicional, essa expansão das possibilidades de movimentação e controle da máquina também introduzirá mais opções e métodos para operá-la.

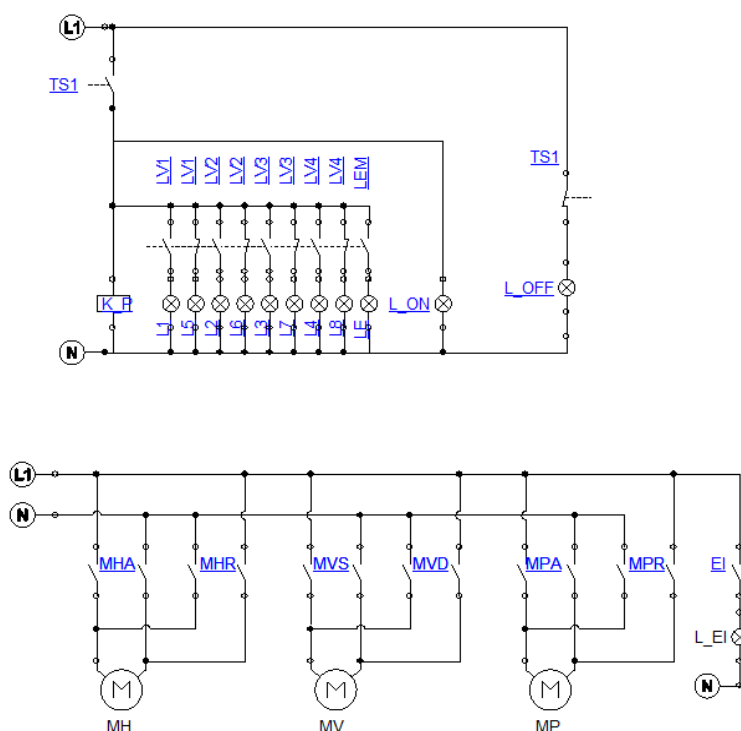
Figura 18 – Representação do CLP do novo projeto no *Automation Studio*



Fonte: Elaboração própria (2023).

No projeto elétrico da máquina, apresentado na Figura 19, é evidente uma simplificação que segue a redução do painel de controle, que envolve a remoção de contatos e equipamentos não utilizados, alinhando-se à abordagem de otimização e eficiência. Adicionalmente, houve alterações na disposição dos LEDs e a introdução de um novo sinal denominado aqui como "EI" (Eletroímã), representado na simulação por uma lâmpada (L_EI).

Figura 19 – Diagrama elétrico do novo projeto representado no *Automation Studio*



Fonte: Elaboração própria (2023).

Apesar da simplificação nas configurações externas e nos diagramas do projeto, a inclusão de mais sinais de entrada e saída gera uma complexidade acentuada no código *Ladder* que controlará a máquina. O código do novo projeto encontra-se disponível no APÊNDICE C – LÓGICA DO NOVO PROJETO NO AUTOMATION STUDIO e é notório o incremento da complexidade do projeto somente observando a ampliação da quantidade de linhas de código. O número total de linhas aumentou de 34 para 179. Outra característica distintiva no novo código é a extensiva utilização de memórias, as quais desempenham a função de indicar "estados" dentro da lógica.

Por exemplo, a memória M01 quando ativada, indica que a máquina está realizando o movimento de entrega de um carro para uma das vagas. Por sua vez, a memória M02 representa o movimento de buscar o carro. Quando uma destas memórias é acionada, a lógica interna permite somente o comando do movimento específico identificado. Para um entendimento mais aprofundado dos componentes, das memórias e da lógica implementada, é fornecida uma descrição mais detalhada no APÊNDICE D – PLANILHA DESCRITIVA DO NOVO PROJETO.

Essa expansão na complexidade do código demonstra a evolução substancial da funcionalidade da máquina, abrangendo uma variedade de movimentos e estados operacionais distintos. O projeto detalhado e documentado serve como um guia abrangente para a compreensão do funcionamento interno da máquina e da interação com os diversos componentes e sensores adicionados.

3.3 Implementação das melhorias propostas

A implementação das melhorias foi conduzida com base nas propostas previamente estabelecidas. Essas propostas foram formuladas como soluções direcionadas aos defeitos mais críticos identificados na máquina original. Cada melhoria foi cuidadosamente planejada e executada com o objetivo de resolver os problemas de forma abrangente e eficaz.

O processo de implementação, guiado pelas propostas de melhorias, visou não apenas resolver questões específicas, mas também aprimorar a usabilidade, eficiência e segurança geral da máquina.

3.3.1 Mudanças na estrutura mecânica

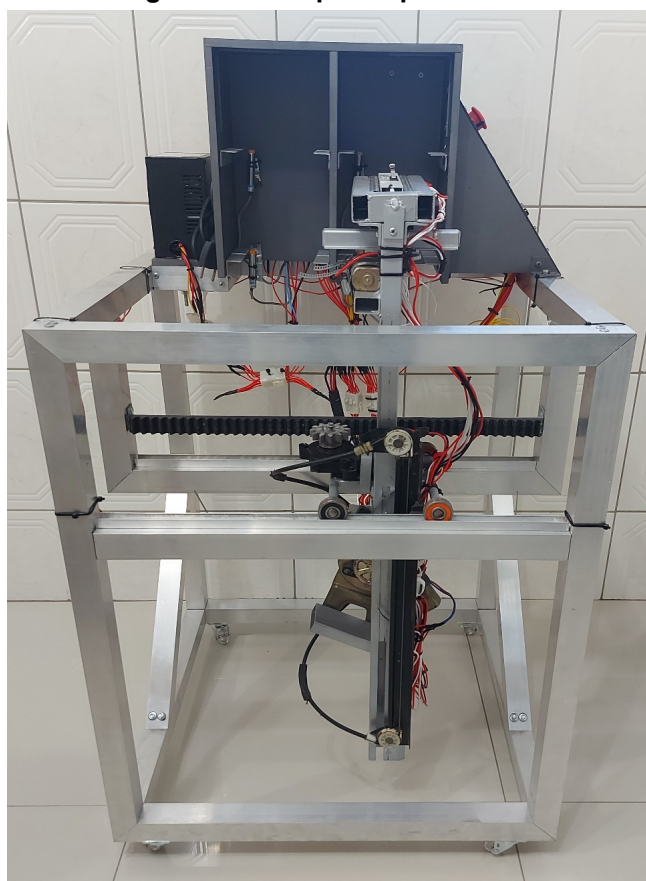
As principais mudanças na parte mecânica derivam diretamente do desgaste observado na máquina original, resultado do tempo e da construção majoritariamente em madeira não tratada. No novo projeto, optou-se por materiais mais resistentes e duráveis. O alumínio foi escolhido para a parte estrutural, enquanto o PVC expandido (Policloreto de Vinila) foi utilizado para construção das vagas, conforme apresentado na Figura 20.

A escolha do alumínio traz benefícios substanciais. Sua resistência mecânica superior à madeira proporciona uma estrutura mais robusta e confiável. Além disso, sua característica impermeável previne problemas relacionados à umidade, o que é especialmente importante para a durabilidade em longo prazo. A leveza do alumínio facilita o transporte e manuseio da máquina, tornando-a mais prática para uso em diferentes ambientes.

O uso do PVC expandido para revestir as vagas também traz diversas vantagens. Sua leveza e facilidade de manipulação simplificam o processo de montagem e manutenção. Ao contrário da madeira, o PVC expandido não é suscetível a danos causados por cupins ou degradação ao longo do tempo. Essa durabilidade é crucial, especialmente considerando que a máquina será frequentemente utilizada em salas de aula, onde a robustez e a longevidade são qualidades valorizadas.

O foco na escolha de materiais duráveis e de alta qualidade reflete o compromisso em criar um projeto que não apenas resolva os problemas existentes, mas também garanta a funcionalidade e confiabilidade contínuas da máquina em um ambiente de aprendizado dinâmico, sujeito a interferências rotineiras dos alunos.

Figura 20 – Máquina após *retrofit*



Fonte: Elaboração própria (2023).

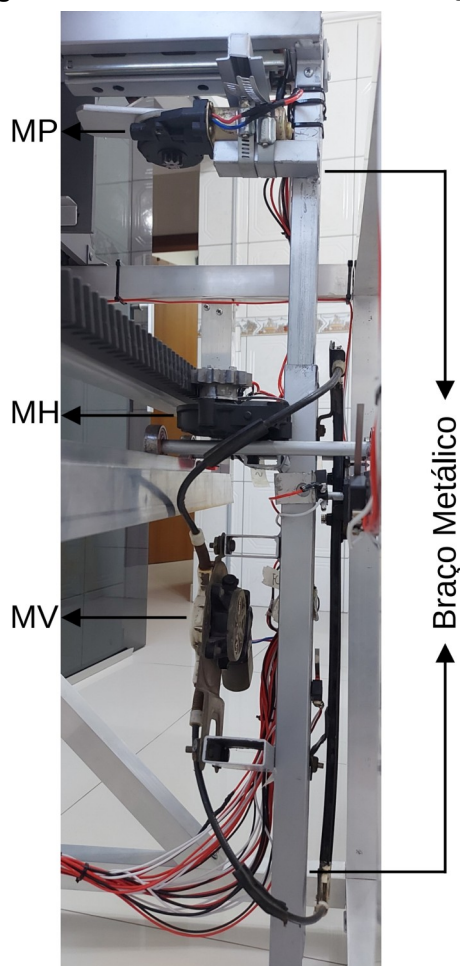
A mudança mais significativa implementada na máquina está no mecanismo de movimentação, cuja nova configuração é ilustrada na Figura 21. Este novo mecanismo mantém os mesmos sentidos de movimento que a configuração

original, porém adota um método de operação diferente, o que resulta em uma melhoria substancial no desempenho.

Na movimentação horizontal (motor identificado como MH na Figura 21), a máquina preserva sua abordagem anterior, usando uma cremalheira e um motor de vidro de carro para realizar a movimentação.

A transformação mais perceptível ocorreu na movimentação vertical (motor identificado como MV na Figura 21). Em vez de empregar a rosca infinita, foi implementado um motor de vidro de carro com suporte para este fim. Esse ajuste resulta em um movimento vertical mais rápido e estável, proporcionando uma melhora considerável na operação.

Figura 21 – Mecanismo de movimentação

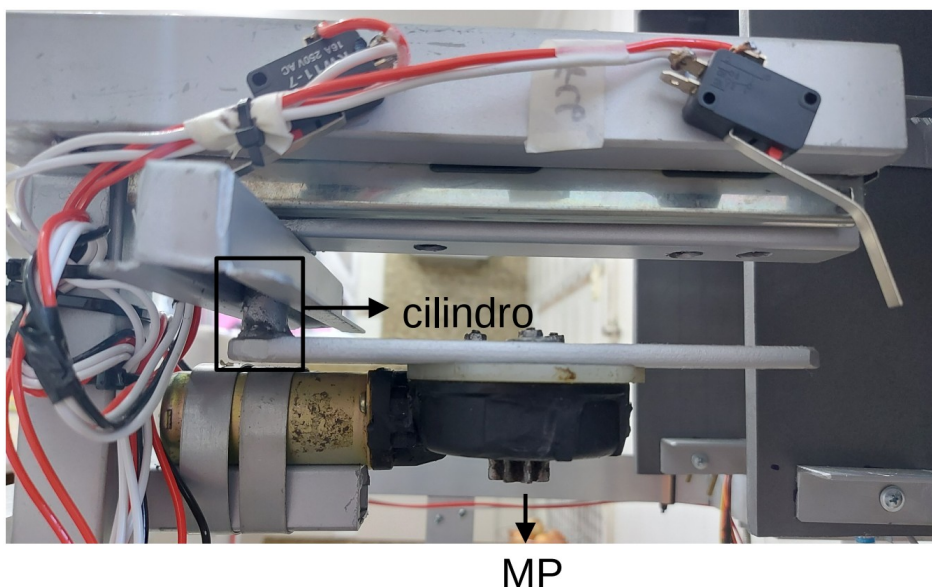


Fonte: Elaboração própria (2023).

Uma segunda modificação impactante se dá na movimentação da plataforma. Na Figura 22, é possível observar outro motor de vidro de carro

(identificado na figura como MP) conectado a uma barra metálica, na ponta da qual se encontra um cilindro. Posicionado sob um compartimento também metálico, este cilindro se conecta à plataforma e a desloca através de um movimento circular do motor. O acoplamento entre o cilindro e o compartimento converte o movimento circular em um movimento linear da plataforma.

Figura 22 – Mecanismo de movimentação da plataforma



Fonte: Elaboração própria (2023).

A escolha de utilizar motores de vidro de carro foi inicialmente motivada pela tentativa de reutilizar os motores presentes na máquina original. Posteriormente, após uma análise do *datasheet*, tornou-se evidente que esses motores possuíam características altamente desejáveis para a aplicação no novo dispositivo.

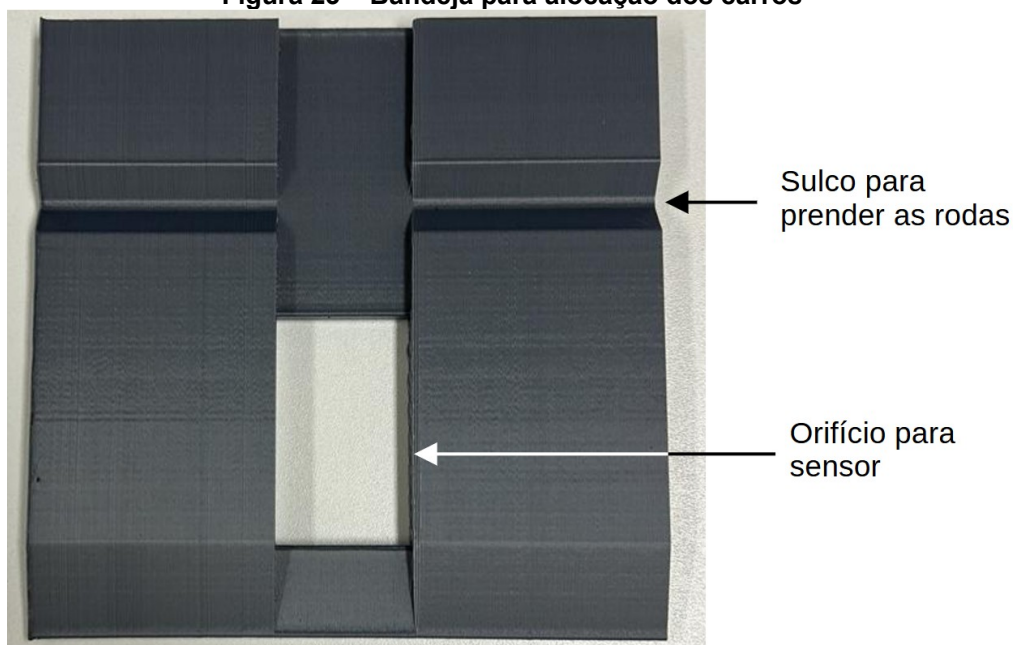
Através do *datasheet* da Bosch (2023), foi possível identificar que esses motores apresentavam uma potência e corrente nominais relativamente baixas, de 8,9 W e 6 A, respectivamente. Na prática, esses valores seriam ainda menores devido à carga utilizada no novo contexto ser significativamente menor do que a nominal. Um aspecto interessante é a velocidade de rotação de 85 rpm, com a capacidade de alterar o sentido de rotação. Além disso, ao aplicar uma tensão inferior à nominal de 12 V, era possível reduzir a velocidade de rotação, com uma diminuição correspondente no torque gerado. No entanto, devido à carga reduzida, essa diminuição no torque não afetava o desempenho do motor de forma significativa.

Outra vantagem desse tipo de motor era a facilidade de encontrá-lo em bom estado, estando disponível em ferros-velhos ou lojas de peças automotivas usadas. Isso tornou a obtenção desses motores uma tarefa acessível e conveniente.

Todos os motores foram fixados a um braço metálico (mostrado na Figura 21), que desempenha o papel de suporte para os motores e serve como guia para o deslocamento vertical. Essa abordagem teve o objetivo de simplificar e baratear o sistema, reduzindo a quantidade de guias, peças e componentes de suporte. Além disso, contribuiu para uma movimentação vertical mais suave e confiável, uma vez que o braço metálico proporciona um guia preciso e estável para essa locomoção.

Em resposta à nova lógica implementada, foi necessária a criação de bandejas para acomodar os carros, o modelo criado está apresentado na Figura 23. Dadas as características detalhadas dessas bandejas, optou-se por fabricá-las usando impressora 3D. O resultado foi bandejas leves, equipadas com um sulco que prende a roda dos carros e um orifício central onde o sensor da plataforma detecta a presença dos carros.

Figura 23 – Bandeja para alocação dos carros



Fonte: Elaboração própria (2023).

A utilização de tecnologia de impressão 3D para fabricar as bandejas destaca a busca por soluções modernas, existentes na instituição e personalizadas para atender às demandas específicas do projeto.

3.3.2 Mudanças na estrutura elétrica

Com o intuito de aprimorar a organização do circuito elétrico e garantir a segurança dos alunos, foi realizada a atualização da placa de relés da máquina, utilizando uma placa de fenolite como base e reaproveitando os relés do equipamento original. Fica evidenciado na Figura 24 que a nova placa instalada é de dimensões reduzidas e apresenta menos relés em comparação à anterior.

Figura 24 – Placa de relés da máquina nova



Fonte: Elaboração própria (2023).

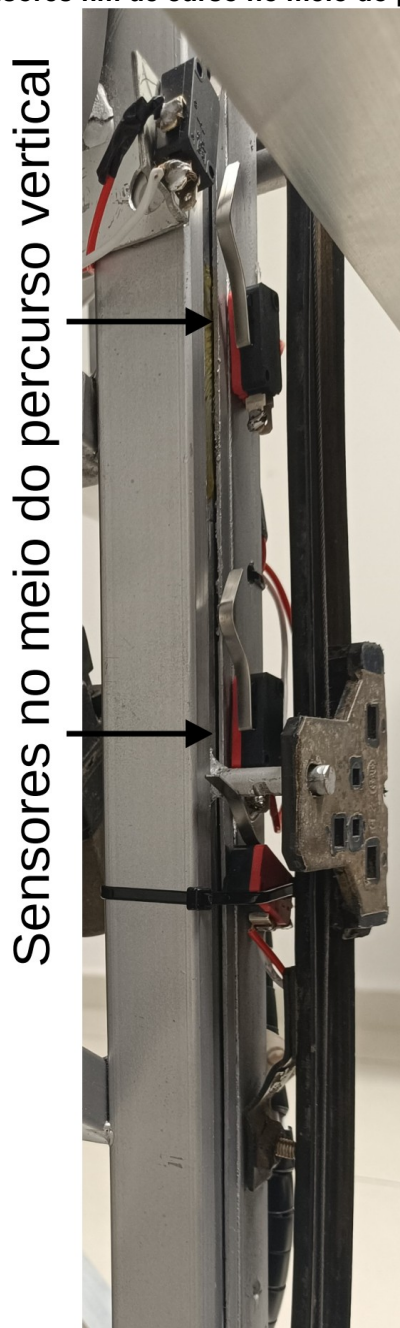
A construção do painel de comandos, mostrado na Figura 25, foi realizada se baseando diretamente no projeto elaborado no *Automation Studio*, seguindo o mesmo layout e conexões elétricas. Destaca-se a sua estrutura base, que foi feita com ACM (*Aluminium Composite Material*), material leve e resistente utilizado em revestimento de fachadas.

Figura 25 – Painel de comandos da máquina nova

Fonte: Elaboração própria (2023).

Como mencionado anteriormente novos sensores foram adicionados a máquina, sendo eles três fins de curso e quatro indutivos. Os sensores de fim de curso foram acrescentados para sinalizar quando a plataforma estiver posicionada horizontalmente nas vagas 1 e 2, marcando assim o ponto intermediário do percurso horizontal. Além disso, foram adicionados mais dois sensores para sinalizar a plataforma diretamente sobre as vagas do térreo (sinalização inferior da Figura 26), e logo abaixo das vagas superiores (sinalização superior da Figura 26).

Figura 26 – Sensores fim de curso no meio do percurso vertical



Fonte: Elaboração própria (2023).

Quanto aos sensores indutivos (sinalizados com uma seta branca), eles foram posicionados ao lado dos suportes das vagas, conforme ilustrado na Figura 27. Esses têm a função de detectar a presença dos carros ou bandejas nas vagas, fornecendo informações cruciais para o controle da máquina.

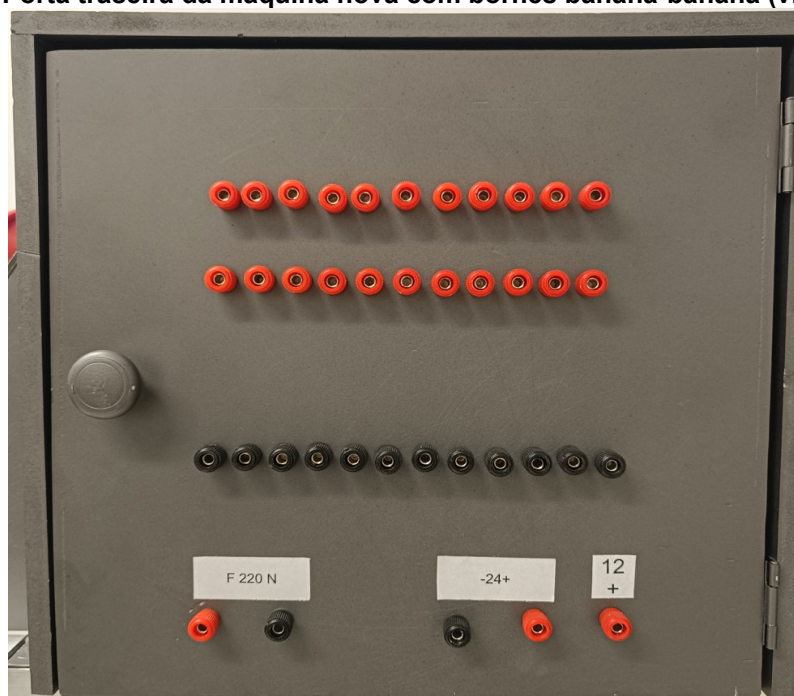
Figura 27 – Sensores indutivos posicionado sob os suportes das vagas



Fonte: Elaboração própria (2023).

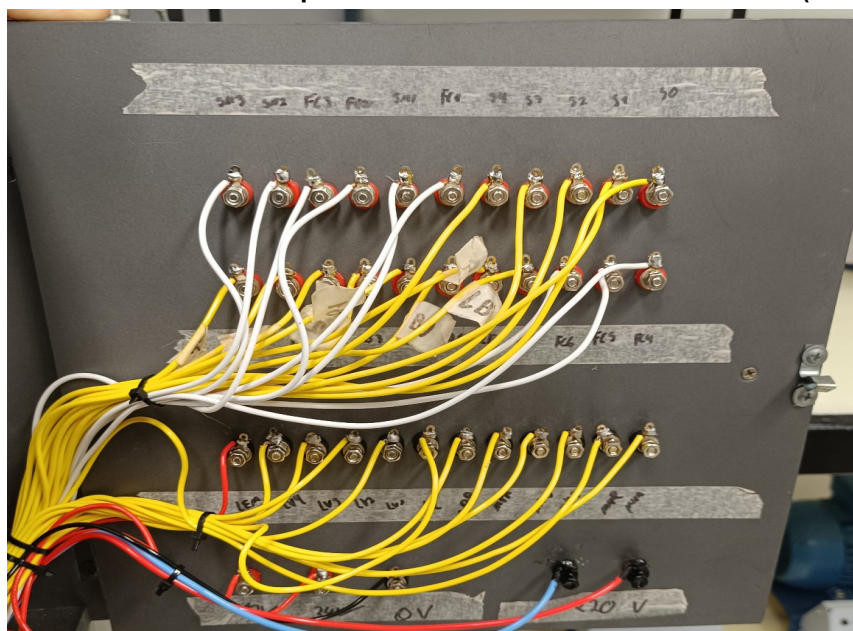
Em vez de utilizar um CLP fixo na máquina, optou-se por utilizar bornes para cabos banana-banana, que podem ser observados nas Figuras 28 e 29, permitindo a conexão a um equipamento externo. Usualmente serão utilizados os CLPs presentes nas bancadas do IFSC. Essa abordagem não apenas elimina a necessidade de um dispositivo dedicado à máquina, mas também possibilita a fácil modificação dos terminais e conexões com o mesmo, permitindo uma variedade de configurações, que garante flexibilidade na programação e consequente funcionamento do produto. Esta possibilidade de diversificação garante variedade de estratégias pedagógicas do professor em virtude dos tipos de alunos que encontrará a cada semestre, a cada curso ministrado e também permite o uso de diferentes CLPs para públicos deferentes, como alunos do ensino médio e alunos de ensino superior.

Figura 28 – Porta traseira da máquina nova com bornes banana-banana (visão externa)



Fonte: Elaboração própria (2023).

Figura 29 – Porta traseira da máquina nova com bornes banana-banana (visão interna)



Fonte: Elaboração própria (2023).

Durante as alterações realizadas, vários componentes foram reutilizados, incluindo relés, sensores, motores, fonte de energia, barras de conectores e botoeiras. O mesmo não aconteceu com os cabos, que apresentavam emendas e partes sem isolamento. Além disso, houve uma redução significativa na quantidade de relés. Enquanto a máquina original contava com cerca de 80 relés, a nova

configuração utiliza 45, sendo que alguns não foram empregados e servem como peças reserva.

O Quadro 2 apresenta uma lista dos principais equipamentos utilizados na máquina renovada. Em comparação com o Quadro 1 (que se encontra na página 39) destaca-se a reutilização e otimização dos recursos previamente existentes.

Quadro 2 – Materiais presentes na máquina nova	
Quantidade	Descrição
10	Fim de curso 7 NA / 3 NF
4	Sensores Indutivos NA
1	Seletores NA
7	Botoeiras Pulsantes NA
1	Botão de emergência NF
5	LED verde
6	LED vermelho
3	Motores Bosch 12 V
1	Fonte 220 Vca / 3/5/12 Vcc
45	Relés 12 Vcc TIANBO
-	Cabos 0,75 mm (Branco / Preto / Vermelho / Amarelo)
3	Barras de conectores
-	Estrutura em alumínio
4	Rolamentos
4	Rodas de silicone
1	Cremalheira + Pinhão
1	Conjunto suporte + guia de ferro

Fonte: Elaboração própria (2023).

3.4 Testes comprobatórios

Após a etapa de construção mecânica e elétrica, é necessário testar a parte de *software*, conectando o CLP à máquina e executando o código

desenvolvido em linguagem *Ladder*. O programa foi previamente simulado no *Automation Studio 7.1*, permitindo verificar e corrigir potenciais erros em diversas situações. Nos testes físicos, buscou-se não apenas validar a lógica, mas também avaliar como o comportamento real dos sensores e motores afetaria o sistema, considerando o atraso no tempo de resposta real em relação ao simulado.

Foram realizados quatro tipos de testes:

- a) de funcionamento normal: Durante esse teste, foram identificadas diferenças na velocidade de comutação dos contatos internos do CLP em comparação com o *Automation Studio*. Isso exigiu ajustes na ordem de alguns contatos internos, para garantir o correto funcionamento da lógica;
- b) de repetição: Esse teste visou manter a máquina em operação, estacionando e retirando carros em ordens diversas, simulando o fluxo contínuo de um estacionamento real. Ele proporcionou um ajuste fino na posição dos sensores de fim de curso, especialmente o que sinaliza horizontalmente as vagas 1 e 2, garantindo que a plataforma pare no mesmo lugar independentemente do sentido do movimento horizontal;
- c) de continuidade de lógica após botão de emergência: Nesse teste, a máquina foi submetida ao acionamento do botão de emergência. Essa experiência é importante pois há uma dificuldade intrínseca em programar um movimento que continue após ser interrompido, sem que gatilhos específicos (sensores e botoeiras) sejam acionados. Para contornar isso foram adicionadas memórias para que a máquina “lembre” qual parte da programação estava sendo executada antes de parar. A lógica reagiu conforme esperado, permitindo que a máquina parasse após concluir o último movimento iniciado, aguardando o desacionamento do botão. Não foram necessárias mudanças na lógica ou na máquina, o que pode ser atribuído aos testes efetuados durante a simulação;
- d) de erro humano: Este teste foi executado ao pressionar botões em momentos indevidos. O resultado foi positivo, pois a máquina não interrompeu a ação atual e nem iniciou a movimentação quando a plataforma estava sem as pré-condições previstas. Esse sucesso é explicado pela utilização de uma lógica separada em estados, em que os

gatilhos de movimento são independentes da lógica de movimentação, permitindo a aceitação de novos comandos somente após a conclusão completa da movimentação inicialmente solicitada.

Após passar por todos esses testes, a máquina está pronta para operar com segurança, não apresentando risco de falhas lógicas ou mecânicas. Os testes realizados garantem a operação da máquina de acordo com o projeto, entregando carros de forma contínua, mesmo diante de certo nível de erro humano na operação, além de proporcionar segurança através do uso de um botão de emergência.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fabricação da máquina didática foi concluída após a finalização da etapa de testes, culminando em resultados muito satisfatórios. Estes foram alcançados graças aos conhecimentos adquiridos durante a pesquisa realizada no início do processo, bem como à análise de exemplos de outras máquinas didáticas construídas. Além disso, foram aplicados conhecimentos sobre a condução do ensino-aprendizagem por meio da ABP para criar um projeto que potencializasse tal estratégia pedagógica.

Devido à natureza do *retrofit* foi necessário projetar a máquina de forma a reutilizar ao máximo os componentes da máquina anterior. Essa decisão foi tomada para adequar a construção à realidade das empresas, nas quais a economia exerce grande influência na escolha entre adquirir equipamentos novos ou executar o *retrofit* dos antigos.

Durante todo o processo ficou evidente a importância dos *softwares* de projeto e simulação, que permitiram antecipar e evitar problemas que poderiam surgir durante a construção da máquina. A capacidade de simular as lógicas e o movimento da máquina não apenas amadureceu as ideias preexistentes, mas também estimulou o surgimento de novas. Além disso, a simulação economizou tempo nos testes, permitindo a identificação e correção de problemas, especialmente na lógica, durante a etapa de projeto. Portanto, erros de montagem e de funcionamento foram evitados ainda na etapa de simulação/concepção.

A abordagem adotada na construção da máquina possibilitou uma evolução significativa na funcionalidade e no desempenho do equipamento, considerando aspectos de operação e segurança. Cada detalhe das melhorias, desde a integração de sensores até a otimização do código *Ladder* e a atualização dos componentes tecnológicos, foi planejado para contribuir com a resolução dos problemas identificados no início do trabalho de pesquisa.

Com a conclusão do projeto, ainda assim, é possível sugerir futuras atualizações de modo a aprimorar o funcionamento e despertar maior interesse nos alunos. Para o aperfeiçoamento físico da máquina pode ser necessário atualizar os sensores e equipamentos utilizados, tendo em vista que novos sensores surgem

continuamente no mercado. Outra atualização sugerida é a implementação de um sistema supervisor, pois tal recurso permite monitorar e até comandar a máquina pela tela de um computador ou telefone celular. Durante os testes, observou-se um leve deslocamento das bandejas devido às vibrações dos motores, o que poderia resultar em um encaixe inadequado da plataforma nessas mesmas. Uma solução para esse problema seria identificar meios de garantir a estabilidade das bandejas dentro das respectivas vagas. Por fim, para propósitos didáticos, seria pertinente elaborar uma Tabela de Fiação, que contemplasse o endereçamento dos cabos.

Ao término do projeto, todos os objetivos propostos foram atingidos e a máquina encontra-se plenamente operacional. Além disso, vale mencionar que para o autor desta pesquisa, foram adquiridos conhecimentos de diversas áreas ao longo do processo de concepção e construção do trabalho.

REFERÊNCIAS

AHRENS, Carlos Henrique; FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; PETRUSH, Günther; CARVALHO, Jonas de; SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos; SILVA, Jorge Vicente Lopes da; VOLPATO, Neri. **Prototipagem rápida: Tecnologias e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2006.

ARAÚJO, Ícaro Bezerra Queiroz de; SOUTO, Filipe Vidal; COSTA JUNIOR, Ademar Gonçalves da; SOUZA, Cleonilson Protasio de. Desenvolvimento de um protótipo de automação predial/residencial utilizando a plataforma de prototipagem eletrônica arduino. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Belém, ed. 40, 2012. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/7/artigos/103723.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.

AUTOSTADT (Alemanha). **Car Towers**. Wolfsburg, 2022. Disponível em: <https://www.autostadt.de/en/explore/car-towers>. Acesso em: 13 nov. 2022.

BELHOT, Renato Vairo; FIGUEIREDO, Reginaldo Santana; MALAVÉ, Cesar O. O uso da simulação no ensino de engenharia. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Porto Alegre, ed. 29, p. 445-451, 2001. Disponível em: <https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/18/trabalhos/NTM093.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.

BENDER, William N. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. Porto Alegre: PENSO, 2014.

BOETTCHER, Maicon. **Revolução Industrial: Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0**. Joinville, 26 nov. 2015. LinkedIn: Maicon Boettcher. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>. Acesso em: 8 out. 2022.

BOSCH. **CATÁLOGO 2004 | 2005**. 2004. Disponível em: https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/bosch/catalogo_mot_eletri.pdf. Acesso em: 25 set. 2023.

CARVALHO, Enéas Gonçalves de. Inovação tecnológica na indústria automobilística: características e evolução recente. **Scientific Eletronic Library Online: Economia e Sociedade**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 429-461, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ecos/a/dZZpqddXTF5dKJzwkf5qxKp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 nov. 2022.

CENTENARO, Eduardo Espit. **CONCEPÇÃO DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA DE SIMULAÇÃO DE PROCESSO DE ENVASAMENTO DE LÍQUIDOS CONTROLADO POR CLP**. Orientador: Prof. Dr. Plínio Cornélio Filho. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

CIDADE, Guilherme Klegues; CORNÉLIO FILHO, Plínio; DIAS, Roberto Alexandre. Desenvolvimento de uma Planta Didática para Ensino de Acionamentos

Eletropneumáticos. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e 1º Simpósio Internacional de Educação em Engenharia**, Salvador, n. 46, 3 set. 2018.

CORTÊS, José Guilherme Pinheiro. **Introdução à Economia da Engenharia**: Uma visão do processo de gerenciamento de ativos de engenharia. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

COSTA, Rodrigo Morem da; HENKIN, Hélio. Estratégias competitivas e desempenho da indústria automobilística no Brasil. **Scientific Electronic Library Online**: Economia e Sociedade, Campinas, v. 25, n. 2, p. 457-487, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ecos/a/pBhPh94WKjVzP5S8XqZKz3G/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 nov. 2022.

ELIAS, Jean C. M.; SILVA, Fabiano T. da; POLLI, Horácio B.; BAUMER, Márcio R. Construção de um mini-elevador predial: uma bancada didática para o ensino de engenharia. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, São Paulo, n. 36, 9 set. 2008.

FAMIC TECHNOLOGIES INC. **Perfil da empresa**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.famictch.com/pt/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

FIELDMANN, Simone. **Mobilidade Ihada**: os desafios do trânsito em Florianópolis. 2016. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Jornalismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/166379/Relat%c3%b3rio_T%c3%a9cnico_TCC_Simone_Feldmann_2016.1.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 9 out. 2022.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controaldores Lógicos Programáveis**: sistemas discretos e analógicos. 3. ed. São Paulo: Érica, 2021.

GAZETA DO POVO. **Indústria automotiva alavanca produção no Paraná, que lidera ranking nacional**. Paraná, 9 out. 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/parana/breves/industria-parana-ranking/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

GRAMS, Cassiano André; CETNAROWSKI, Enrique. **Retrofit em máquinas industriais**: estudo de caso. 2014. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9475/2/CT_COMET_2014_1_03.pdf. Acesso em: 9 out. 2022.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. Porto Alegre: AMGH, 2015.

LOBÃO, Elídio de Carvalho; PORTO, Arthur José Vieira. Evolução das técnicas de simulação. **Scientific Electronic Library Online**: Produção, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 13-22, 1999. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/prod/a/qZG5jQ8qQXzjZSprgnKc4kC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MARTINS, Nicholas Felipe de Souza; ALMEIDA, Eduardo Viana de. A revolução industrial e a indústria 4.0. **Congresso Nacional de Iniciação Científica**, [s. l.], ed. 18, 2018. Disponível em: <https://www.conic-semesp.org.br/anais/files/2018/trabalho-1000000129.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2022.

OLINISKI, Dominique Côrtes Lopes; PRADO, Guilherme Quelim Baron do. **Implicações da automação no desenvolvimento sustentável**: Estudo de caso em uma indústria do setor alimentício. Orientador: Prof. Dr. Fábio Neves Puglieri. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24066>. Acesso em: 23 set. 2023.

PAIXÃO SOBRINHO, Almir Farias da. **Princípio de funcionamento de sensores**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2008. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/17304>. Acesso em: 17 jan. 2023.

SANTOS, Vinícius Henrique dos. **Retrofit**: um caminho para o setor têxtil rumo à indústria 4.0? 2022. 99 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina Centro de Blumenau, Blumenau, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/232867/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. As revoluções industriais até a Indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/386/335>. Acesso em: 14 nov. 2022.

SILVA, Dorotéia Bueno da; SILVA, Ricardo Moreira da; GOMES, Maria de Lourdes Barreto. O reflexo da terceira revolução industrial na sociedade. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Curitiba, ed. 22, 2002. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr82_0267.pdf. Acesso em: 14 nov. 2022.

SILVEIRA, Leonardo; LIMA, Weldson Q. Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial. **ACADEMIA**: Accelerating the world's research, [s. l.], 2003. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43839581/Redes_Industriais_e_Automacao-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1668546908&Signature=QBYZTyTSHyYzFe2XPfM6OByqWIHqyAwCT8MGhZvcxMR3I8USpw72UmSWMaQRthEG4wkLJN6UKyu2Ed1HdwnKlOrCmZHefgw993CJs~j5oXdIBoZc~ZtUK8AFYGFpJmQgfZPCEOrka9DQ~ltk6uMoi6cBXU2PftBN1NpcqieL6FyoZQHnWtcxeGM4GlfY6fW3irV0qghArF-47uHFHuMTf6TSf6l6t1QBaeRqcPKqU7uAJ~yZeM0eh7MdOZL-

V9Y44zlyL7oa4ZkUnXD-34Nb0xJ89S1Fcl~HYdJOEMvnaOY4tZVfewcHbJ~7iMLYSfMvNcnN8qeK4vpWT~16DHtO9Q__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 15 nov. 2022.

SIMAS, Maria Elciene Lopes. **Simulações e modelagem como estratégia para a melhoria do processo de ensino aprendizagem de física**. 2018. 217 p. Dissertação (Pós-Graduação em Ensino de Ciências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 2018. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/6907/6/Disserta%3%a7%c3%a3o_MariaElcieneSimas_PPGE CIM.pdf. Acesso em: 8 out. 2022.

TEIXEIRA, Renilson Luiz. **Aprendizagem baseada em projetos**: na prática de projetos e de protótipos de estruturas de concreto armado. 2020. 20 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Pós-Graduação Lato Sensu em Práticas Pedagógicas para Professores) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Colatina, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/820/5%c2%aaEtapa-Vers%c3%a3o%20Final-21-12-2020-TCF-Renilson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 out. 2022.

THOMANZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais**: fundamentos e aplicações. 9. ed. São Paulo: Érica, 2020.

TONINI, Adriana Maria; PEREIRA, Tânia Regina Dias Silva (org.). **Formação em engenharia**: tecnologia, inovação e sustentabilidade. Brasília: ABENGE, 2021. 236 p. Disponível em: http://www.abenge.org.br/cobenge/2021/arquivos/Livro_SD_2021_publicado.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

U-PACK Machinery. **Pallet Automatic Warehouse System**. [S. l.], 18 fev. 2020. Disponível em: <https://www.u-packmachinery.com/product/4.html>. Acesso em: 8 dez. 2023.

WEG. **Manual do micro controlador WEG Clic-02**. [S. l.], 2006. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h30/hb7/1-492.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.

WEG. **Manual do micro controlador lógico programável**. [S. l.], 2010. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h75/hba/WEG-instalacao-tpw-03-p4-10000350069-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.

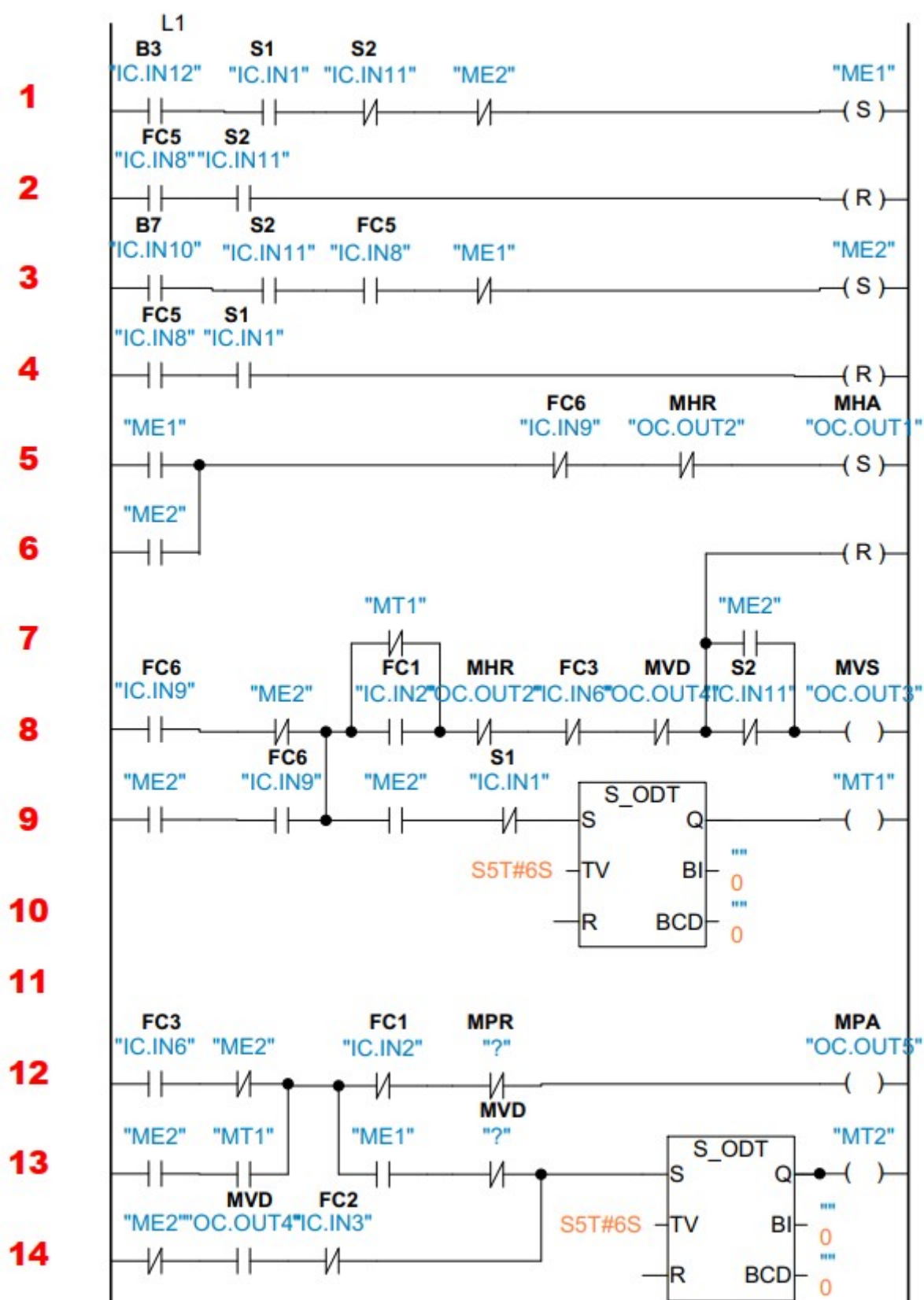
WILGTEN, Filipe. Protótipos e prototipagem rápida aditiva: sua importância no auxílio do desenvolvimento científico e tecnológico. **Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, São Carlos, ed. 10, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen/publication/335507334_PROTOTIPOS_E_PROTOTIPAGEM_RAPIDA_ADITIVA_-_SUA_IMPORTANCIA_NO_AUXILIO_DO_DESENVOLVIMENTO_CIENTIFICO_E_TECNOLOGICO_PROTOTYPES_AND_FAST_ADDITIVE_PROTOTYPING_-_ITS_IMPORTANCE_IN_AID_TO_SCIENTIFIC_AND_TEC/links/5e95c6024585150839db2134/PROTOTIPOS-E-PROTOTIPAGEM-RAPIDA-ADITIVA-SUA-IMPORTANCIA-NO-AUXILIO-DO-DESENVOLVIMENTO-

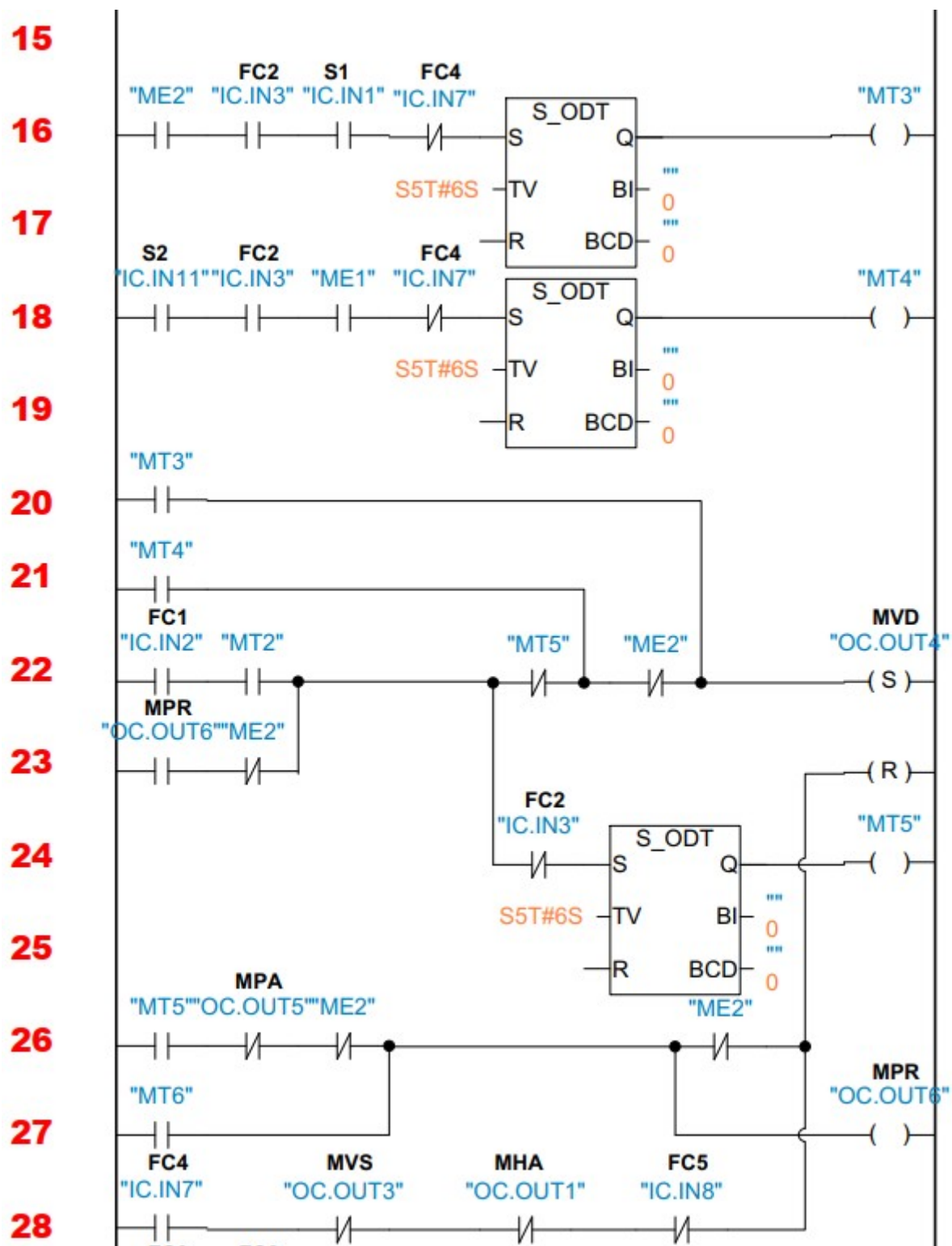
CIENTIFICO-E-TECNOLOGICO-PROTOTYPES-AND-FAST-ADDITIVE-PROTOTYPING-ITS-IMPORTANCE-IN-AID-TO-SCIENTIFIC-AND-TE.pdf. Acesso em: 15 nov. 2022.

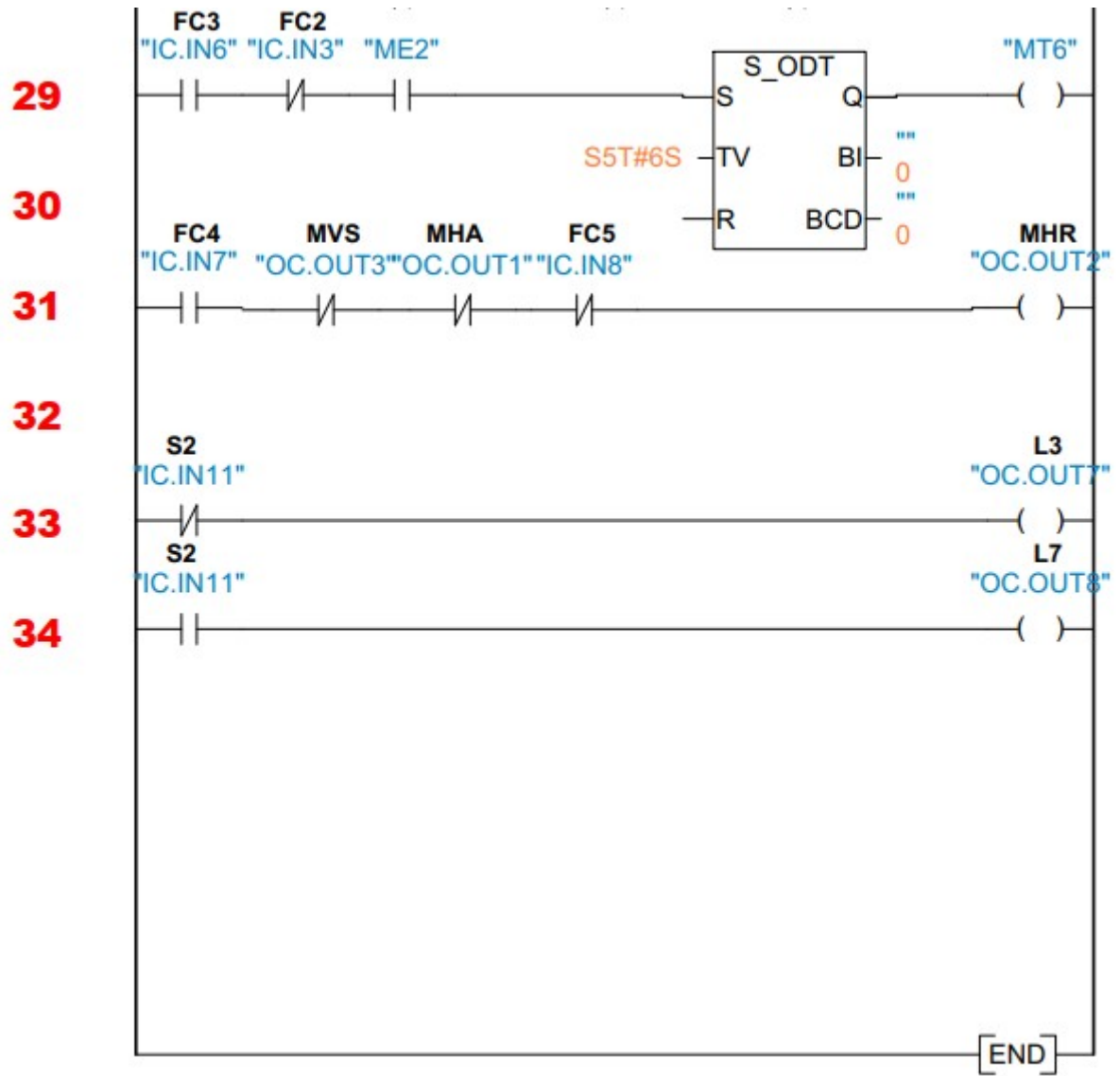
YAMADA, Viviane Yukari; MARTINS, Luís Marcelo. Indústria 4.0: um comparativo da indústria brasileira perante o mundo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, Londrina, v. 34, n. esp., p. 95-109, abr. 2019. ISSN 2596-2809. Disponível em: <http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/1011>. Acesso em: 08 out. 2022.

ZILLI, Guilherme Matinago; LAMBERT, Gustavo. Desenvolvendo a educação através da robótica móvel: uma proposta pedagógica para o ensino de engenharia. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Fortaleza, n. 38, 12 set. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Guilherme-Zilli/publication/281207088_DESENVOLVENDO_A_EDUCACAO_ATRAVES_DA_ROBOTICA_MOVEL_UMA_PROPOSTA_PEDAGOGICA_PARA_O_ENSINO_DE_ENGENHARIA/links/55db364f08aec156b9afe084/DESENVOLVENDO-A-EDUCACAO-ATRAVES-DA-ROBOTICA-MOVEL-UMA-PROPOSTA-PEDAGOGICA-PARA-O-ENSINO-DE-ENGENHARIA.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A – LÓGICA DA MÁQUINA ORIGINAL NO *AUTOMATION STUDIO*

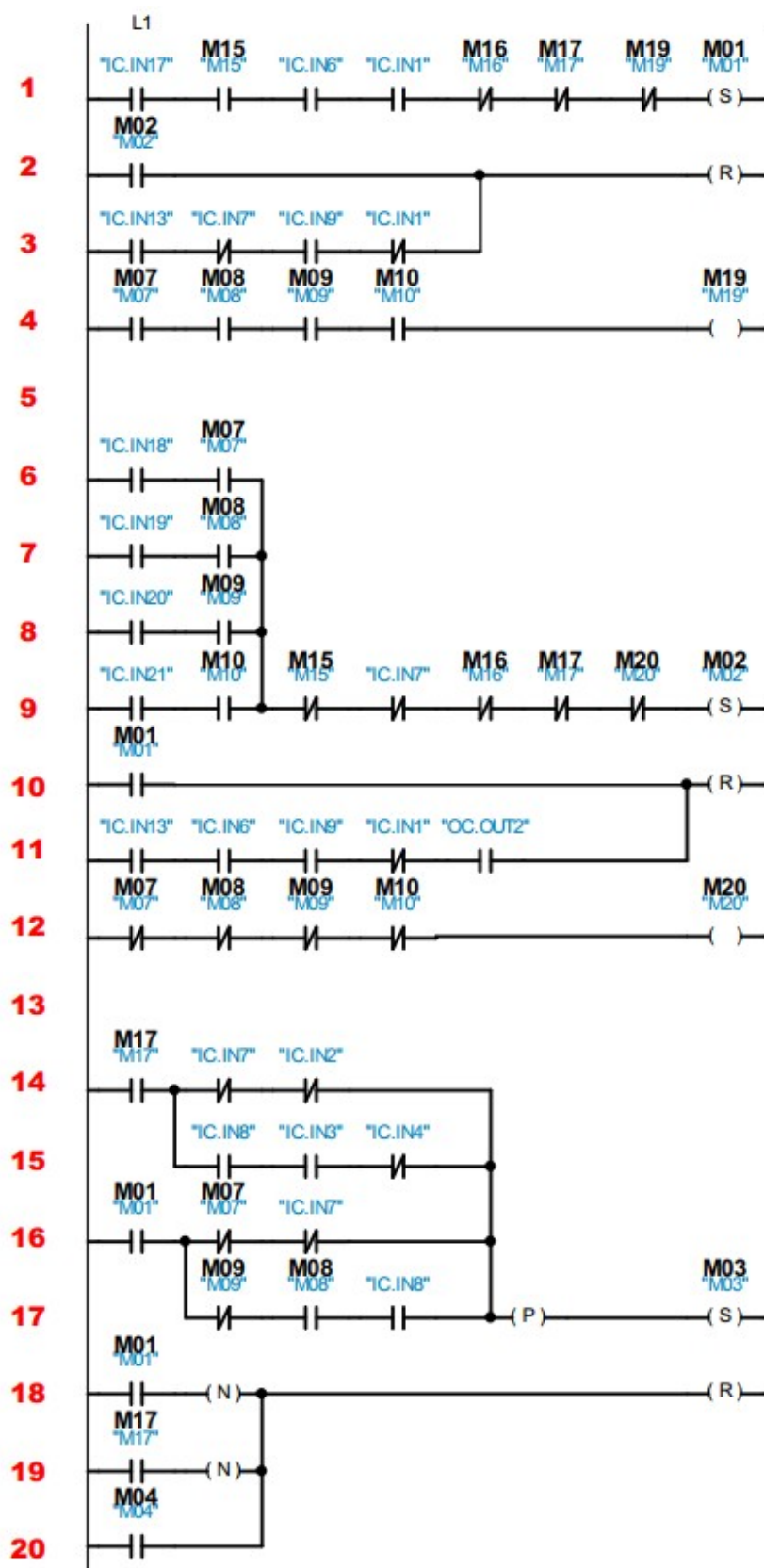


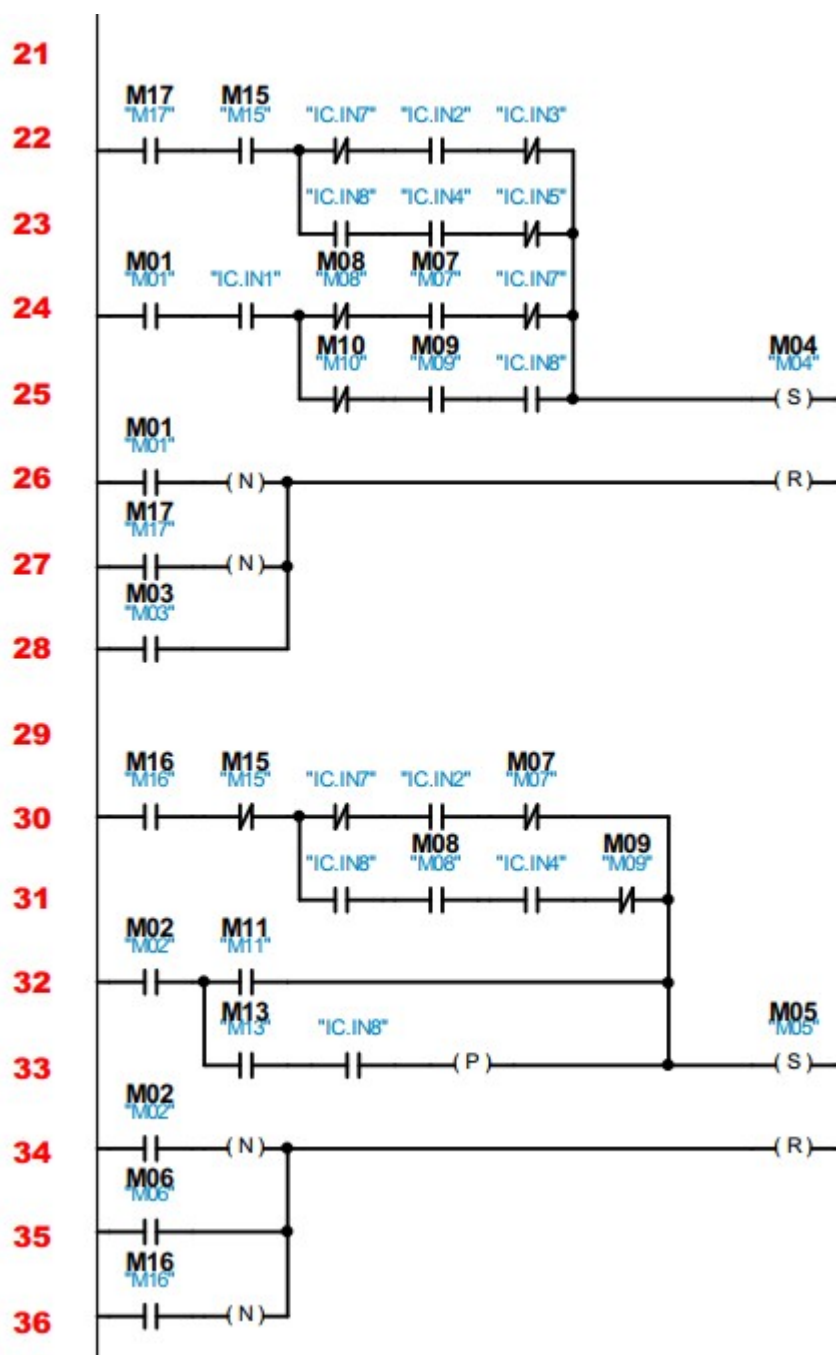


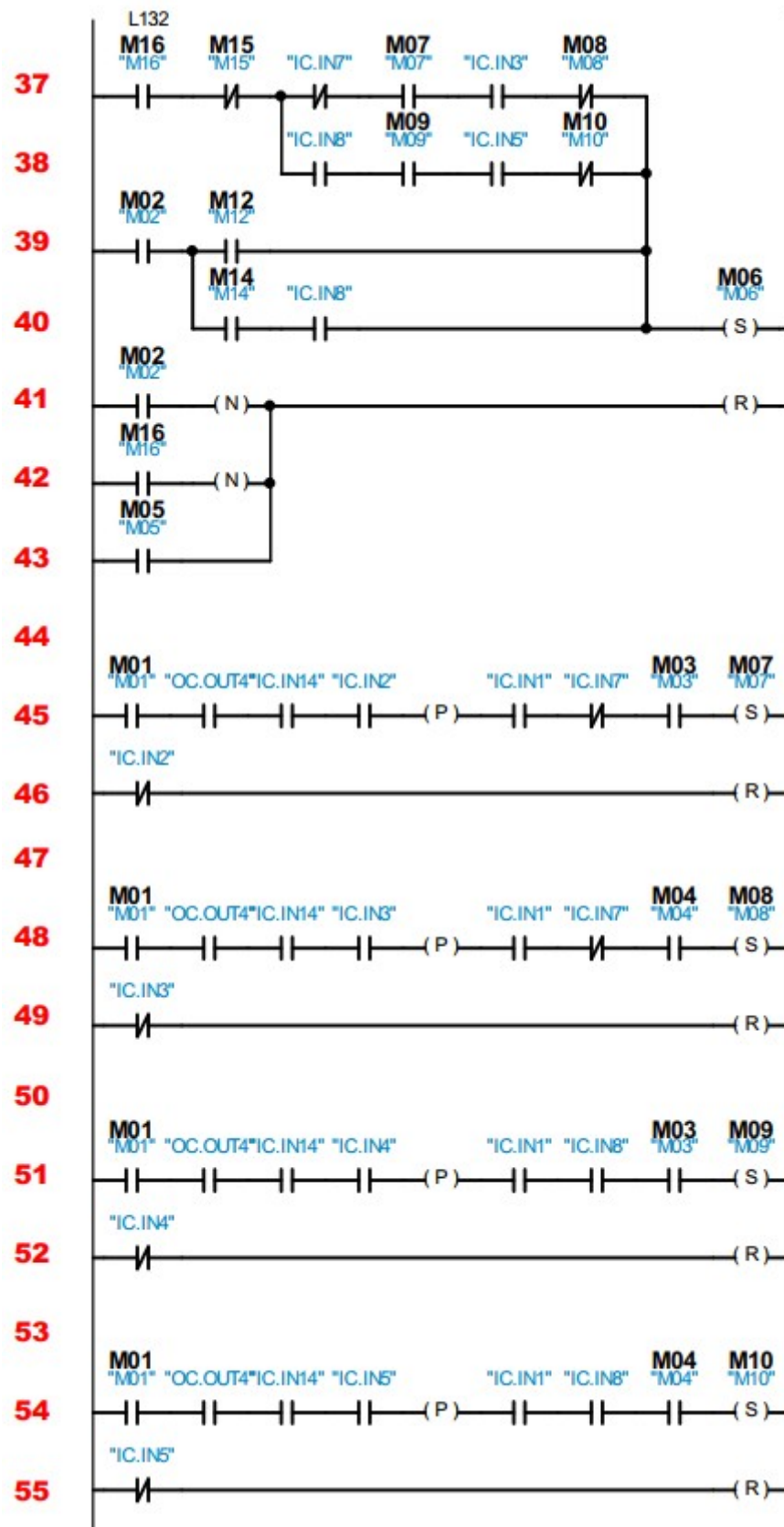
APÊNDICE B – PLANILHA DESCRITIVA DA MÁQUINA ORIGINAL

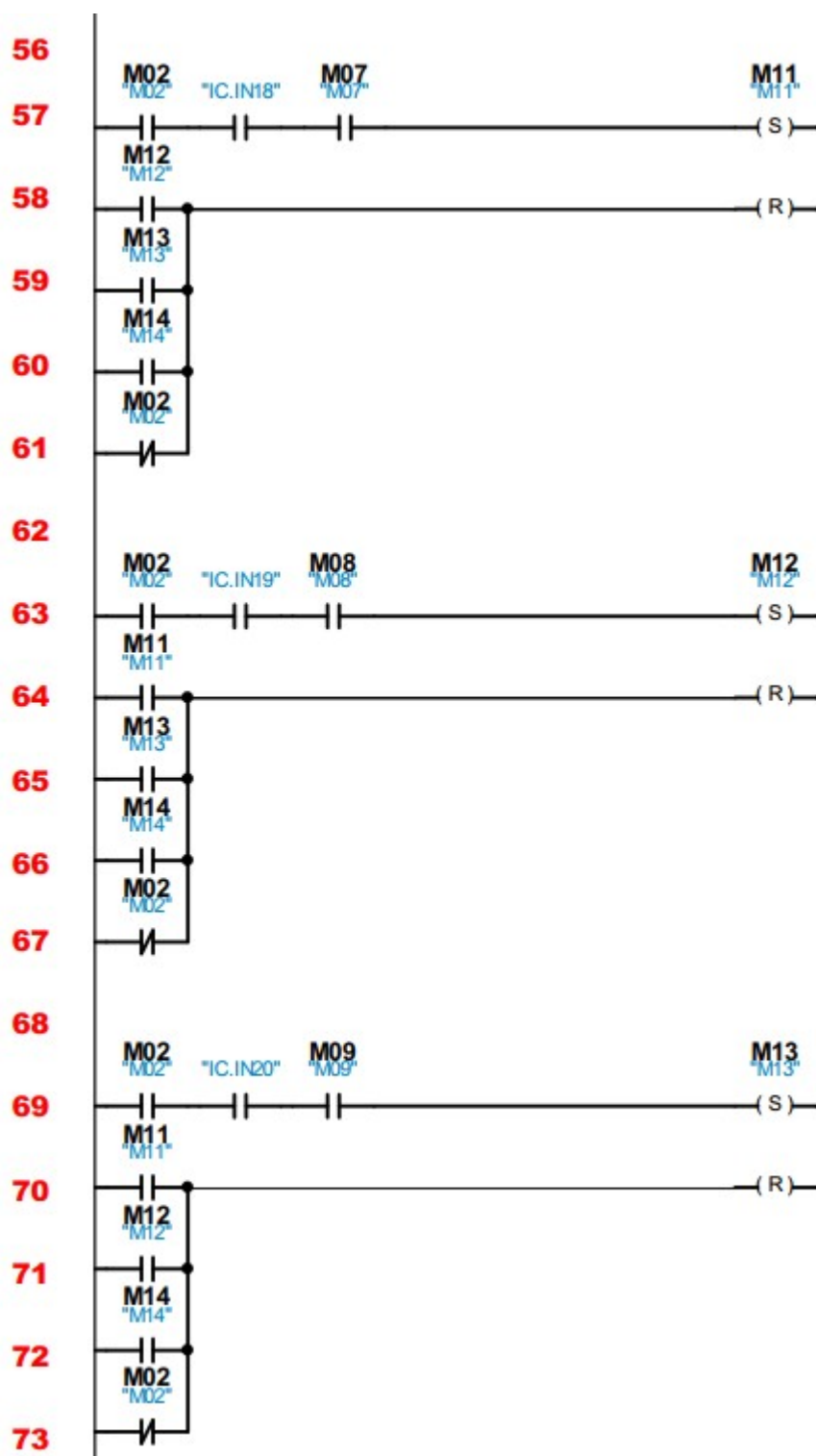
PLANILHA DESCRITIVA - ESTACIONAMENTO VERTICAL				
Nota: As saídas referentes aos motores MHA e MHR, MVS e MVD e MPA e MPR possuem intertravamento interno, na lógica do CLP, e externo com a utilização de relés nas saídas do CLP.				
Entradas				
Real	Virtual	Tipo	Explicação	Frase Curta
S1	IN1	Sensor	Fim de curso posicionado sobre a plataforma. Quando sensibilizado indica que o carro esta posicionado sobre a plataforma. Habilita ligar/liga ME1 (Habilita levar carro).	Carro sobre a plataforma
FC1	IN2	Sensor	Fim de curso posicionado na parte frontal da plataforma, quando sensibilizado indica que a plataforma está avançada. Habilita ligar/liga MVS (Motor vertical sobe), MVD (Motor vertical desce) e MT5 (Temp.: Desliga MVD / Liga MPR). Desliga/impede ligar MPA (Motor plataforma avança) e MHA (Motor horizontal avança).	Plataforma avançada
FC2	IN3	Sensor	Fim de curso posicionado na parte traseira da plataforma, quando sensibilizado indica que a plataforma está recuada. Habilita ligar/liga MT3 (Temp.: Liga MVD) e MT4 (Temp.: Liga MVD). Desliga/impede ligar MT2 (Temp.: Hab. ligar MVD), MT5 (Temp.: Desliga MVD / Liga MPR) e MT6 (Desliga MVD / Liga MPR).	Plataforma recuada
FC3	IN6	Sensor	Fim de curso posicionado na parte superior da estrutura, quando sensibilizado indica que a plataforma está no andar superior. Habilita ligar/liga MPA (Motor plataforma avança) e MT6 (Temp.: Desliga MVD / Liga MPR). Desliga/impede ligar MHA (Motor horizontal avança) e MVS (Motor vertical sobe).	Plataforma andar superior
FC4	IN7	Sensor	Fim de curso posicionado na parte inferior da estrutura, quando sensibilizado indica que a plataforma está no andar inferior. Habilita ligar/liga MPR (Motor plataforma recua) e MHR (Motor horizontal recua). Desliga/impede ligar MT3 (Temp.: Liga MVD), MT4 (Temp.: Liga MVD) e MVD (Motor vertical desce).	Plataforma andar inferior
FC5	IN8	Sensor	Fim de curso posicionado no início do percurso horizontal, quando sensibilizado indica que a plataforma está no início do percurso horizontal. Habilita ligar/liga ME2 (Habilita buscar carro). Desliga/impede ligar ME1 (Habilita levar carro), ME2 (Habilita buscar carro), MPR (Motor plataforma recua) e MHR (Motor horizontal recua). Impede desligar MVD (Motor vertical desce).	Plataforma no início percurso horizontal
FC6	IN9	Sensor	Fim de curso posicionado no final do percurso horizontal, quando sensibilizado indica que a plataforma está no final do percurso horizontal. Habilita ligar/liga MVS (Motor vertical sobe) e MT1 (Temp.: Desliga MVS / Hab. ligar MPA e MT2). Desliga/impede ligar MHA (Motor horizontal avança).	Plataforma no final percurso horizontal
B7	IN10	Botoeira pulsador NA	Quando pulsada inicia comandos para buscar o carro na vaga superior esquerda. Habilita ligar/liga ME2 (Habilita buscar carro).	Busca carro vaga superior esquerda
S2	IN11	Sensor	Fim de curso posicionado na vaga superior esquerda. Quando sensibilizado indica que o carro esta ocupando a vaga superior esquerda. Habilita ligar/liga ME2 (Habilita buscar carro), MT4 (Temp.: Liga MVD), L3 (Sin. vaga superior esquerda livre) e L7 (Sin. vaga superior esquerda ocupada). Desliga/impede ligar ME1 (Habilita levar carro) e MVS (Motor vertical sobe).	Vaga superior esquerda ocupada
B3	IN12	Botoeira pulsador NA	Quando pulsada inicia comandos para levar o carro na vaga superior esquerda. Habilita ligar/liga ME1 (Habilita levar carro).	Leva carro vaga superior esquerda
Saídas				
Real	Virtual	Tipo	Explicação	Frase Curta
MHA	OUT1	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma no sentido horizontal avançando (afastando do início do percurso).	Motor horizontal avança
MHR	OUT2	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma no sentido horizontal recuando (aproximando do início do percurso).	Motor horizontal recua
MVS	OUT3	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma para cima.	Motor vertical sobe
MVD	OUT4	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma para baixo.	Motor vertical desce
MPA	OUT5	Relé	Quando energizada, irá movimentar o carro para frente - avançando (movendo o carro para dentro da vaga).	Motor plataforma avança
MPR	OUT6	Relé	Quando energizada, irá movimentar o carro para trás - recuando (movendo o carro para fora da vaga).	Motor plataforma desce
L3	OUT7	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza que o carro não está dentro da vaga superior esquerda	Sin. vaga superior esquerda livre
L7	OUT8	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza que o carro está dentro da vaga superior esquerda	Sin. vaga superior esquerda ocupada

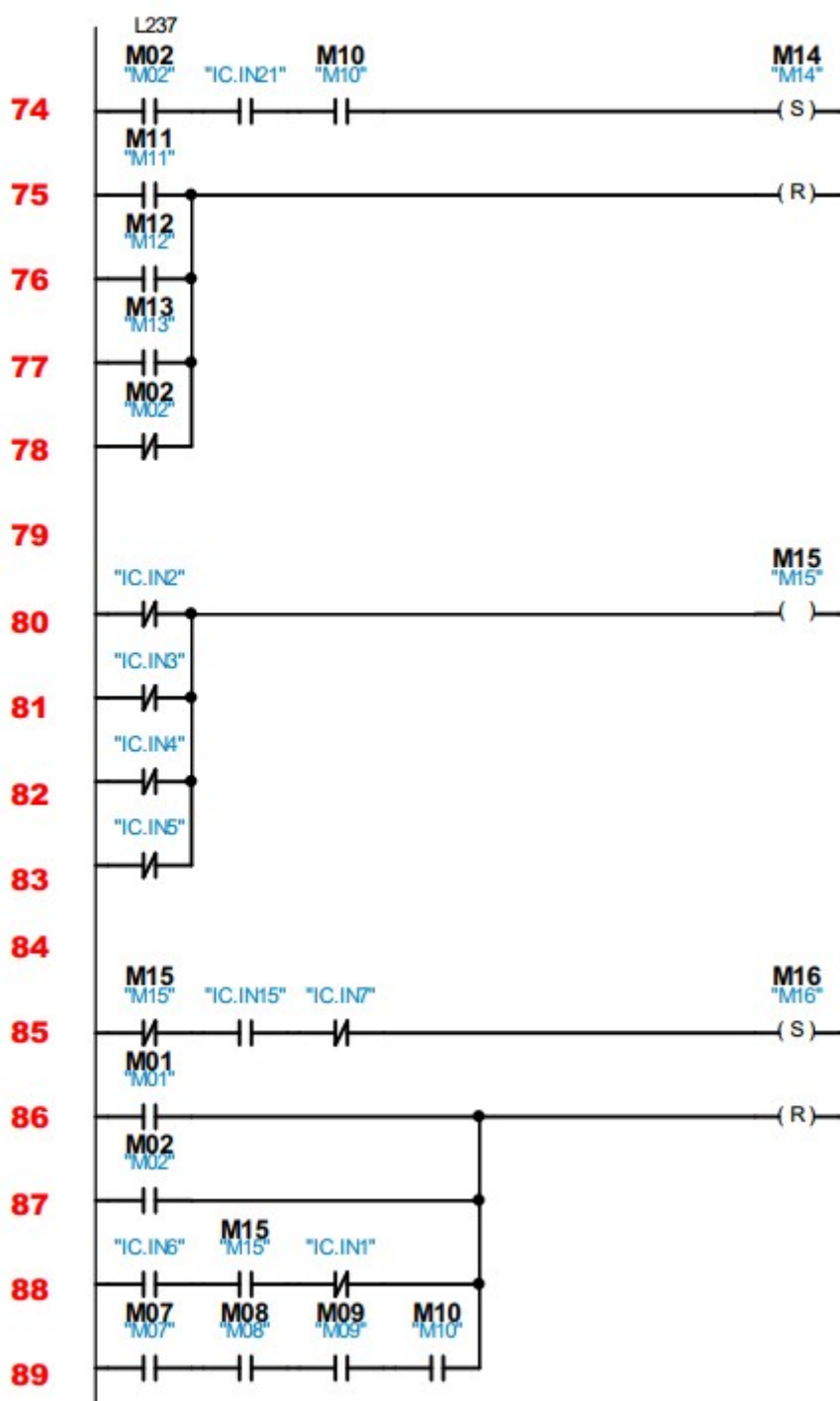
Componentes externos			
Identificação	Tipo	Explicação	Frase Curta
TS1	Interruptor	Quando na posição OFF aciona a L_OFF0, na posição ON aciona L_ON0 e conecta a fonte de alimentação com a máquina.	Conecta fonte com a máquina
TS2	Interruptor	Quando na posição OFF aciona a L_OFF, na posição ON aciona L_ON e liga a máquina.	Liga máquina
B0	Botoeira pulsador NA	Quando pulsada aciona o relé K_P (Relé alimentação geral), realizando a retenção da alimentação e alimentando o CLP.	Liga alimentação com CLP
B1	Botoeira pulsador NA	Boteira sem função.	N/A
B2	Botoeira pulsador NA	Boteira sem função.	N/A
B4	Botoeira pulsador NA	Boteira sem função.	N/A
B5	Botoeira pulsador NA	Boteira sem função.	N/A
B6	Botoeira pulsador NA	Boteira sem função.	N/A
B8	Botoeira pulsador NA	Boteira sem função.	N/A
L_ON0	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza a fonte de alimentação conectada com a máquina.	Sin. fonte conectada com a máquina
L_OFF0	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza a fonte de alimentação desconectada da máquina.	Sin. fonte desconectada da máquina
L_ON	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza a máquina ligada, permitindo conexão entre fonte e CLP.	Sin. máquina ligada
L_OFF	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza a máquina desligada.	Sin. máquina desligada
L_CLP_ON	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza CLP ligado.	Sin. CLP ligado
L_CLP_OFF	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza CLP desligado.	Sin. CLP desligado
L1	Lâmpada de Sinalização	Lâmpada sem função.	N/A
L2	Lâmpada de Sinalização	Lâmpada sem função.	N/A
L4	Lâmpada de Sinalização	Lâmpada sem função.	N/A
L5	Lâmpada de Sinalização	Lâmpada sem função.	N/A
L6	Lâmpada de Sinalização	Lâmpada sem função.	N/A
L8	Lâmpada de Sinalização	Lâmpada sem função.	N/A
K_P	Relé	Relé que realizada a retenção da alimentação para as lâmpadas de L1 até L8, L_CLP_ON e do CLP.	Relé alimentação geral
MH	Motor	Motor que realiza a movimentação da plataforma no eixo horizontal para levar e buscar o carro.	Motor horizontal
MV	Motor	Motor que realiza a movimentação da plataforma no eixo vertical para subir e descer o carro.	Motor vertical
MP	Motor	Motor conectado a plataforma que realiza a movimentação do carro no eixo horizontal para frente e para trás, inserindo e retirando o carro da vaga.	Motor plataforma
Temporizadores			
Identificação	Explicação		Frase Curta
MT1	Função temporizador interna do CLP. Quando acionado habilita ligar/liga MPA (Motor plataforma avança) e MT2 (Temp.: Hab. ligar MVD). Desliga/impede ligar MVS (Motor vertical sobe).		Temp.: Desliga MVS / Hab. ligar MPA e MT2
MT2	Função temporizador interna do CLP. Quando acionado habilita ligar/liga MVD (Motor vertical desce) e MT5 (Temp.: Desliga MVD / Liga MPR).		Temp.: Hab. ligar MVD
MT3	Função temporizador interna do CLP. Quando acionado habilita ligar/liga MVD (Motor vertical desce) e MT5 (Temp.: Desliga MVD / Liga MPR).		Temp.: Liga MVD
MT4	Função temporizador interna do CLP. Quando acionado habilita ligar/liga MVD (Motor vertical desce) e MT5 (Temp.: Desliga MVD / Liga MPR).		Temp.: Liga MVD
MT5	Função temporizador interna do CLP. Quando acionado habilita ligar/liga MPA (Motor plataforma avança) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar MVD (Motor vertical desce).		Temp.: Desliga MVD / Liga MPR
MT6	Função temporizador interna do CLP. Quando acionado habilita ligar/liga MPA (Motor plataforma avança) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar MVD (Motor vertical desce).		Temp.: Desliga MVD / Liga MPR
Memórias			
Identificação	Explicação		Frase Curta
ME1	Função de memória interna do CLP. Quando acionada permite e aciona os comandos para levar o carro até a vaga superior esquerda. Todas saídas estão envolvidas nos comandos para levar o carro até a vaga, porém somente os temporizadores MT2 (Temp.: Hab. ligar MVD) e MT4 (Temp.: Liga MVD) serão habilitados por ME1.		Habilita levar carro
ME2	Função de memória interna do CLP. Quando acionada permite e aciona os comandos para buscar o carro até a vaga superior esquerda. Todas saídas estão envolvidas nos comandos para levar o carro até a vaga, porém somente os temporizadores MT1 (Temp.: Desliga MVS / Hab. ligar MPA e MT2), MT3 (Temp.: Liga MVD) e MT6 (Temp.: Desliga MVD / Liga MPR) serão habilitados por ME2.		Habilita buscar carro

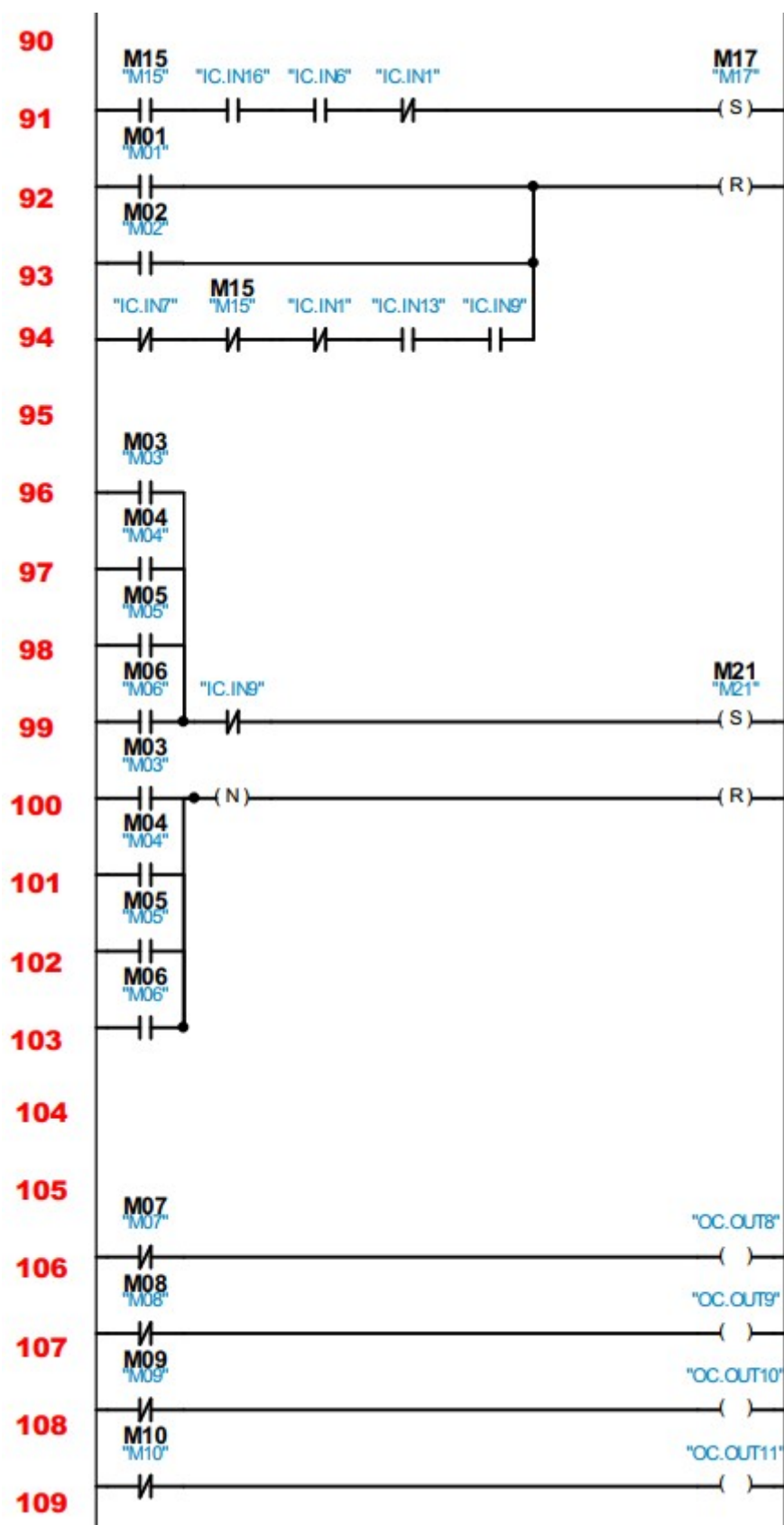
APÊNDICE C – LÓGICA DO NOVO PROJETO NO *AUTOMATION STUDIO*

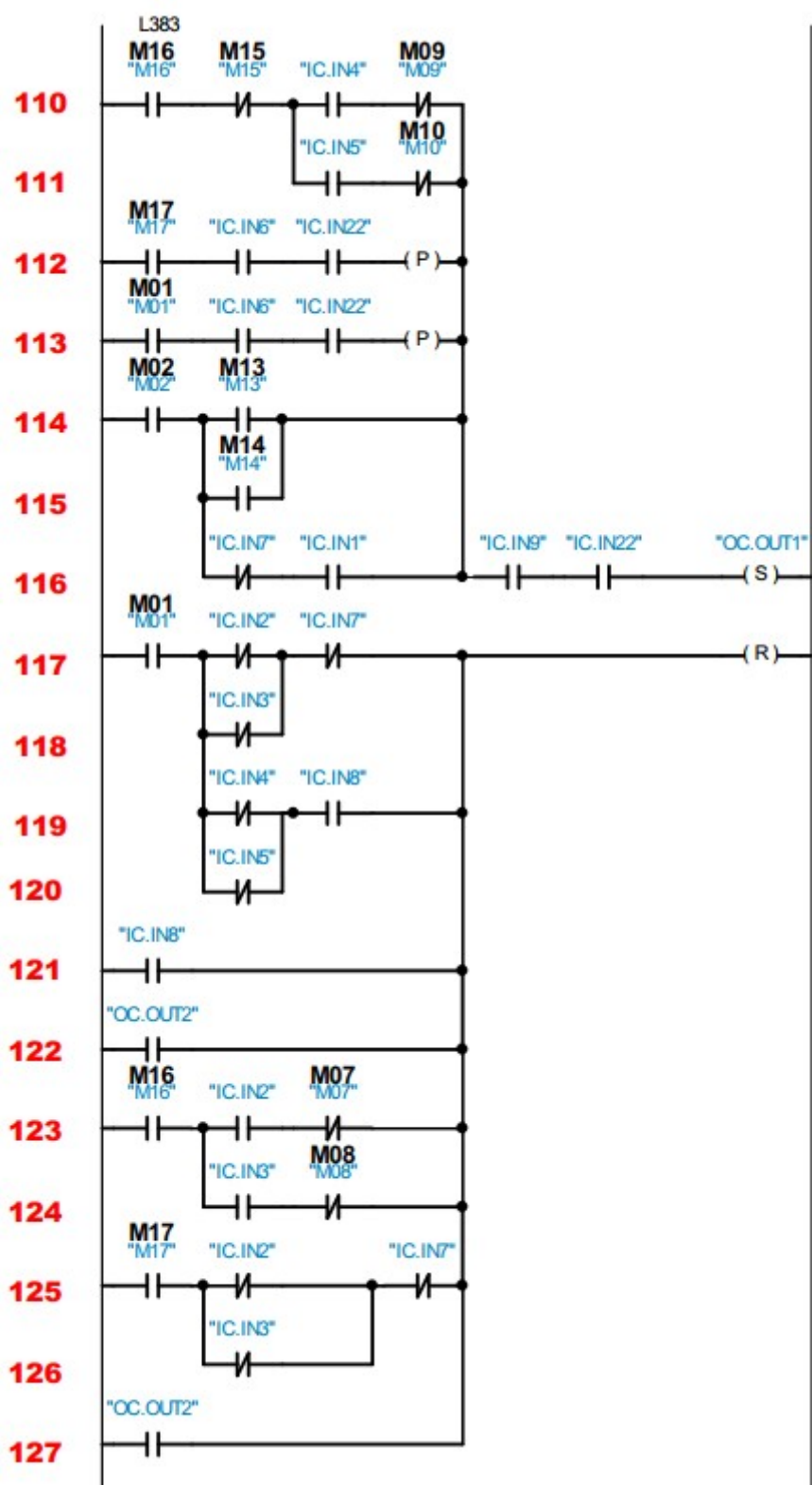


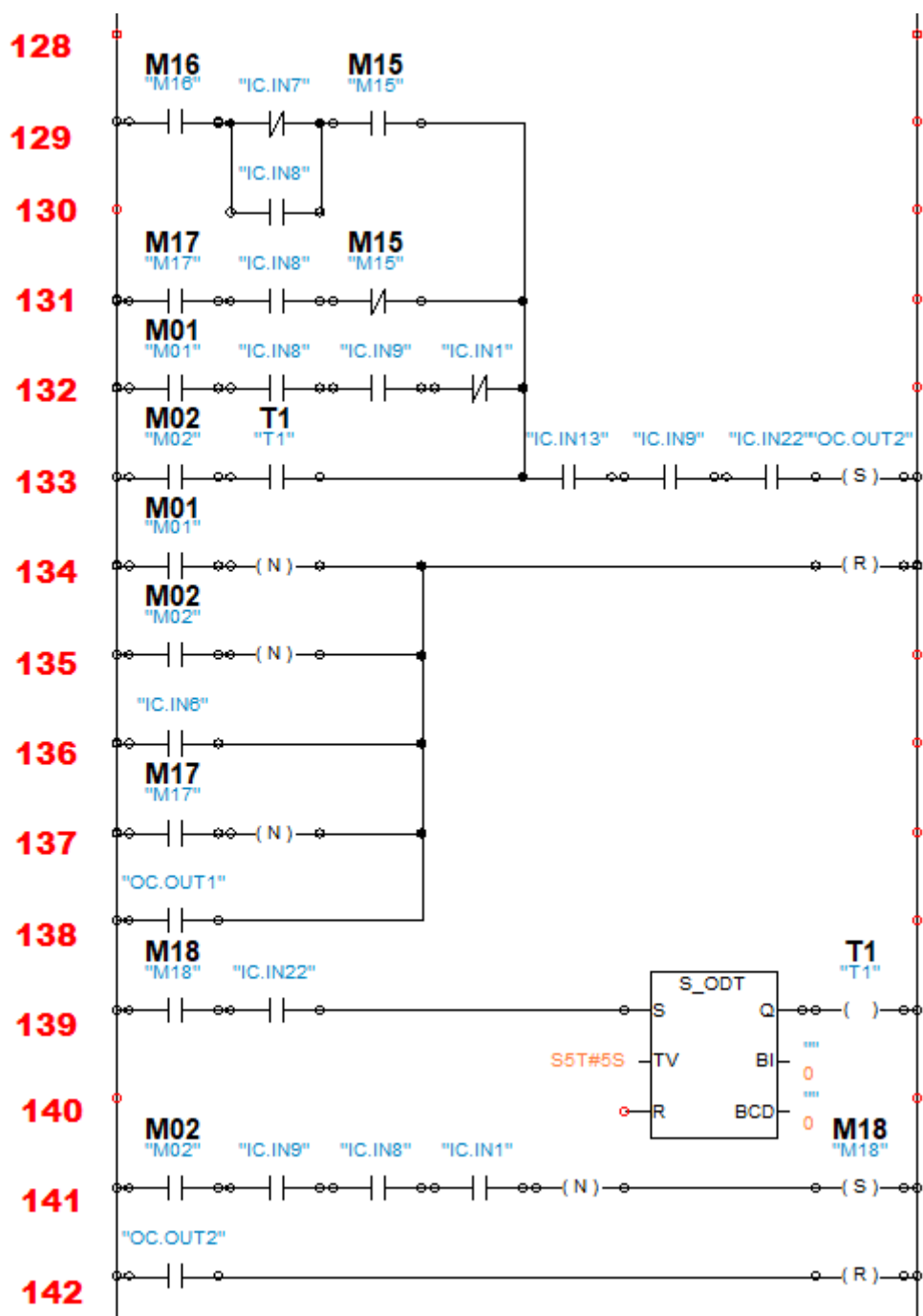


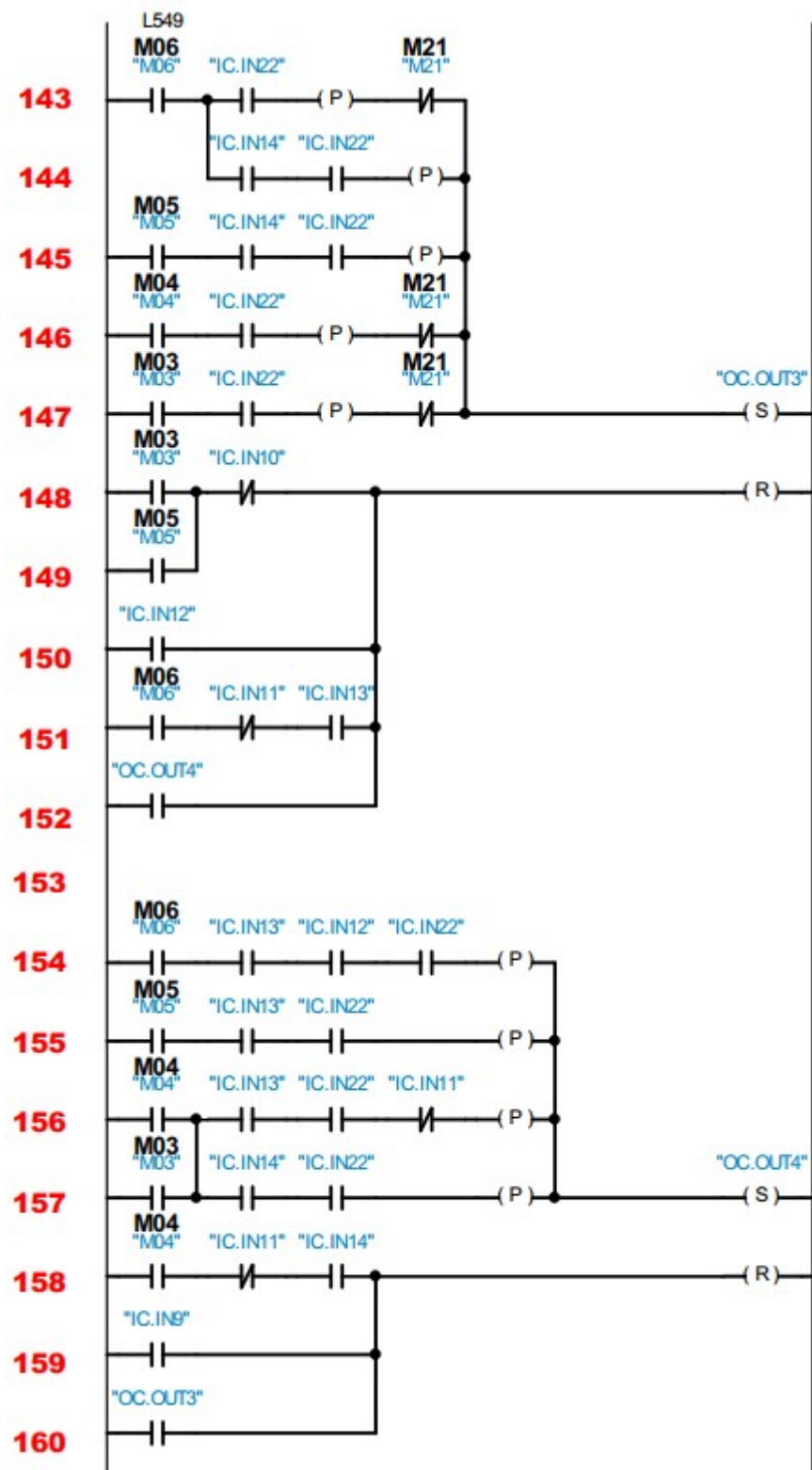


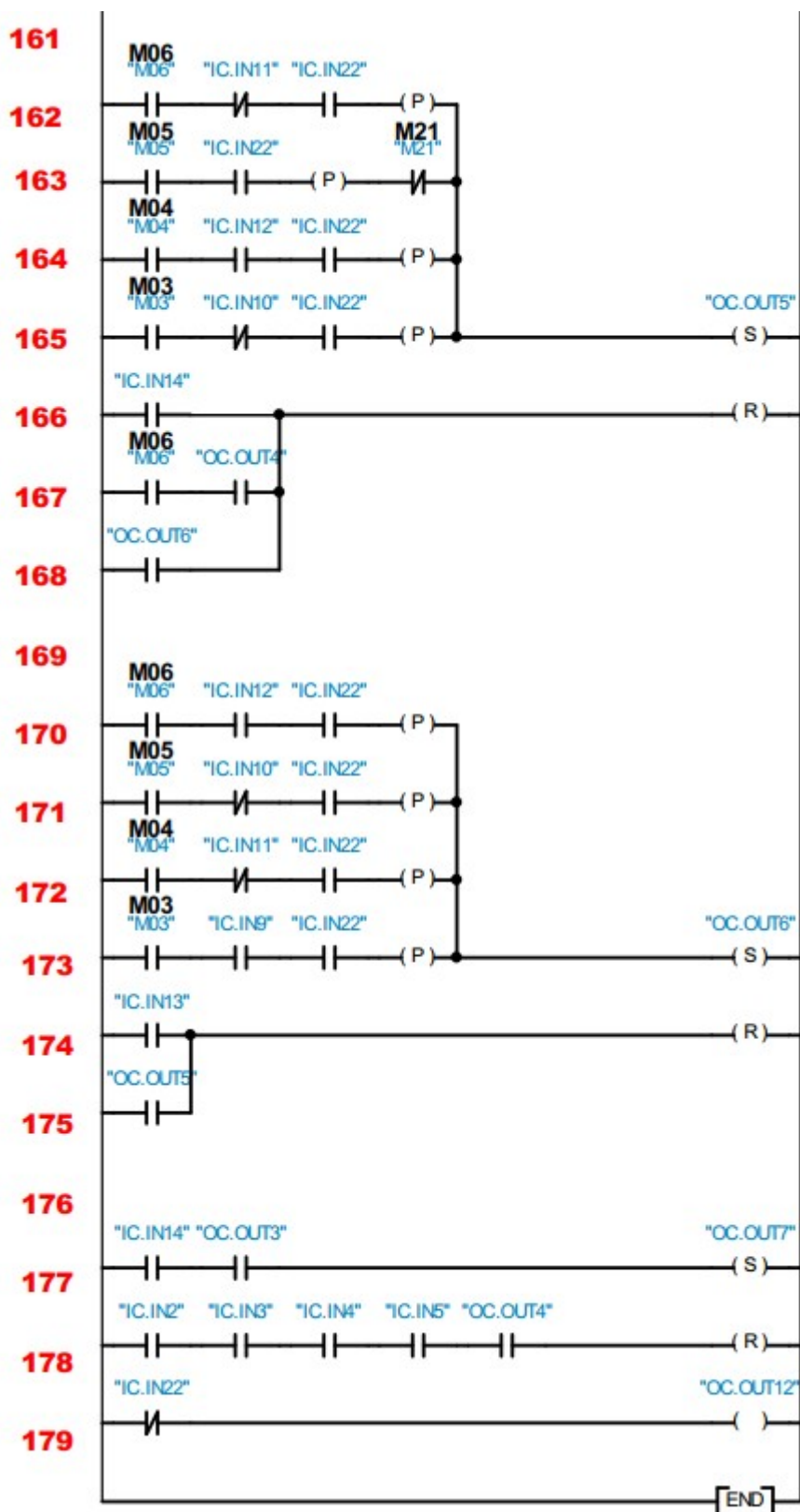












APÊNDICE D – PLANILHA DESCRITIVA DO NOVO PROJETO

PLANILHA DESCRITIVA - ESTACIONAMENTO VERTICAL				
Nota: As saídas referentes aos motores MHA e MHR, MVS e MVD e MPA e MPR possuem intertravamento interno, na lógica do CLP, e externo com a utilização de relés nas saídas do CLP.				
Entradas				
Real	Virtual	Tipo	Explicação	Frase Curta
S0	IN1	Sensor fim de curso	Fim de curso posicionado sobre a plataforma. Quando sensibilizado indica que o carro esta posicionado sobre a plataforma. Habilita ligar/liga M01 (Habilita levar carro), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M07 (Carro na vaga 1), M08 (Carro na vaga 2), M09 (Carro na vaga 3), M10 (Carro na vaga 4), M16 (Pegar bandeja), M17 (Levar bandeja), MHA (Motor horizontal avançar), MHR (Motor horizontal recua) e M18 (Memória para temporizador). Desliga/impede ligar M01 (Habilita levar carro), M02 (Mov. Buscar carro), M16 (Pegar bandeja) e M17 (Levar bandeja).	Carro sobre a plataforma
S1	IN2	Sensor indutivo	Sensor indutivo posicionado na vaga 1, quando sensibilizado indica que a bandeja nesta vaga. Habilita ligar/liga M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M07 (Carro na vaga 1) e M15 (Bandeja sobre a plataforma). Desliga/impede ligar MHA (Motor horizontal avançar) e EI (Eletroímã).	Vaga 1 (Inferior direita)
S2	IN3	Sensor indutivo	Sensor indutivo posicionado na vaga 2, quando sensibilizado indica que a bandeja nesta vaga. Habilita ligar/liga M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M08 (Carro na vaga 2) e M15 (Bandeja sobre a plataforma). Desliga/impede ligar MHA (Motor horizontal avançar) e EI (Eletroímã).	Vaga 2 (superior direita)
S3	IN4	Sensor indutivo	Sensor indutivo posicionado na vaga 3, quando sensibilizado indica que a bandeja nesta vaga. Habilita ligar/liga M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M09 (Carro na vaga 3), M15 (Bandeja sobre a plataforma) e MHA (Motor horizontal avançar). Desliga/impede ligar MHA (Motor horizontal avançar) e EI (Eletroímã).	Vaga 3 (inferior esquerda)
S4	IN5	Sensor indutivo	Sensor indutivo posicionado na vaga 4, quando sensibilizado indica que a bandeja nesta vaga. Habilita ligar/liga M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M10 (Carro na vaga 4), M15 (Bandeja sobre a plataforma) e MHA (Motor horizontal avançar). Desliga/impede ligar MHA (Motor horizontal avançar) e EI (Eletroímã).	Vaga 4 (superior esquerda)
FC1	IN6	Sensor fim de curso	Fim de curso posicionado no início do percurso horizontal, quando sensibilizado indica que a plataforma está no início do percurso horizontal. Habilita ligar/liga M01 (Mov. entregar carro), M17 (Levar bandeja) e MHA (Motor horizontal avançar). Impede desligar M02 (Mov. Buscar carro) e M16 (Pegar bandeja).	Plat. no início percurso horizontal
SM1	IN7	Sensor fim de curso	Sensor fim de curso posicionado no meio do percurso horizontal, quando sensibilizado indica que a plataforma está na metade do percurso horizontal. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro), M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M07 (Carro na vaga 1), M08 (Carro na vaga 2), M16 (Pegar bandeja), MHA (Motor horizontal avançar) e MHR (Motor horizontal recua). Desliga/impede ligar M01 (Mov. entregar carro), M17 (Levar bandeja) e MHA (Motor horizontal avançar).	Plat. no percurso hrz. Vagas 1 e 2 (NF)
FC2	IN8	Sensor fim de curso	Fim de curso posicionado no final do percurso horizontal, quando sensibilizado indica que a plataforma está no final do percurso horizontal. Habilita ligar/liga M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M09 (Carro na vaga 3), M10 (Carro na vaga 4), MHR (Motor horizontal recua) e M18 (Memória para temporizador). Desliga/impede ligar MHA (Motor horizontal avançar).	Plat. no final percurso horizontal
FC3	IN9	Sensor fim de curso	Fim de curso posicionado embaixo do percurso vertical, quando sensibilizado indica que a plataforma está embaixo do percurso vertical. Habilita ligar/liga M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência), MHA (Motor horizontal avançar), MHR (Motor horizontal recua), M18 (Memória para temporizador) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar M01 (Mov. entregar carro), M02 (Mov. Buscar carro), M17 (Levar bandeja) e MVD (Motor vertical desce).	Plat. andar inferior
SM2	IN10	Sensor fim de curso	Sensor fim de curso posicionado na primeira metade do percurso vertical, quando sensibilizado indica que a plataforma está na primeira metade do percurso vertical. Habilita ligar/liga MPA (Motor plataforma avançar) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar MVS (Motor vertical sobe).	Plat. no percurso vrt. Vagas 1 e 3 (NF)
SM3	IN11	Sensor fim de curso	Sensor fim de curso posicionado na segunda metade do percurso vertical, quando sensibilizado indica que a plataforma está na segunda metade do percurso vertical. Habilita ligar/liga MVD (Motor vertical desce), MPA (Motor plataforma avançar) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar MVS (Motor vertical sobe) e MVD (Motor vertical desce).	Plat. no percurso vrt. Vagas 2 e 4 (NF)

FC4	IN12	Sensor fim de curso	Fim de curso posicionado em cima do percurso vertical, quando sensibilizado indica que a plataforma está em cima do percurso vertical. Habilita ligar/liga MVD (Motor vertical desce), MPA (Motor plataforma avança) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar MVS (Motor vertical sobe).	Plataforma andar superior
FC5	IN13	Sensor fim de curso	Fim de curso posicionado na parte traseira da plataforma, quando sensibilizado indica que a plataforma está recuada. Habilita ligar/liga MHR (Motor horizontal recua), MVS (Motor vertical desce). Desliga/impede ligar M01 (Mov. entregar carro), M02 (Mov. Buscar carro), M17 (Levar bandeja), MVS (Motor vertical sobe), MPR (Motor plataforma recua).	Plataforma recuada
FC6	IN14	Sensor fim de curso	Fim de curso posicionado na parte dianteira da plataforma, quando sensibilizado indica que a plataforma está avançada. Habilita ligar/liga M07 (Carro na vaga 1), M08 (Carro na vaga 2), M09 (Carro na vaga 3), M10 (Carro na vaga 4), MVS (Motor vertical sobe), MVD (Motor vertical desce) e EI (Eletroímã). Desliga/impede ligar MVD (Motor vertical desce) e MPA (Motor plataforma avança).	Plataforma avançada
BB	IN15	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada inicia comandos para buscar bandeja vazia de uma vaga. Habilita ligar/liga M16 (Pegar bandeja).	Busca bandeja
LB	IN16	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada inicia comandos para levar bandeja vazia para uma vaga disponível. Habilita ligar/liga M17 (Levar bandeja).	Leva bandeja
B1	IN17	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada inicia comandos para levar o carro para uma vaga disponível. Habilita ligar/liga M01 (Mov. entregar carro).	Leva carro vagas 1, 2, 3 e 4
B2	IN18	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada inicia comandos para buscar o carro da vaga 1. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro) e M11 (Buscar carro vaga 1).	Busca carro vaga 1
B3	IN19	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada inicia comandos para buscar o carro da vaga 2. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro) e M12 (Buscar carro vaga 2).	Busca carro vaga 2
B4	IN20	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada inicia comandos para buscar o carro da vaga 3. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro) e M13 (Buscar carro vaga 3).	Busca carro vaga 3
B5	IN21	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada inicia comandos para buscar o carro da vaga 4. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro) e M14 (Buscar carro vaga 4).	Busca carro vaga 4
BE	IN22	Botoeira emergência NF	Quando pressionada para as lógicas internas do CLP. Liga LEM (Sin. Emergência). Impede ligar MHA (Motor horizontal avança), MHR (Motor horizontal recua), MVS (Motor vertical sobe), MVD (Motor vertical desce), MPA (Motor plataforma avança), MPR (Motor plataforma recua).	Botão de emergência (NF)
Saídas				
Real	Virtual	Tipo	Explicação	Frase Curta
MHA	OUT1	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma no sentido horizontal avançando (afastando do início do percurso).	Motor horizontal avança
MHR	OUT2	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma no sentido horizontal recuando (aproximando do início do percurso).	Motor horizontal recua
MVS	OUT3	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma para cima.	Motor vertical sobe
MVD	OUT4	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma para baixo.	Motor vertical desce
MPA	OUT5	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma para frente - avançando (movendo a plataforma para dentro da vaga).	Motor plataforma avança
MPR	OUT6	Relé	Quando energizada, irá movimentar a plataforma para trás - recuando (movendo a plataforma para fora da vaga).	Motor plataforma recua
EI	OUT7	Relé	Quando energizada aciona o eletroímã	Eletroímã
LV1	OUT8	Relé	Sinaliza quando o carro está ou não dentro da vaga inferior direita	Sin. vaga 1
LV2	OUT9	Relé	Sinaliza quando o carro está ou não dentro da vaga superior direita	Sin. vaga 2
LV3	OUT10	Relé	Sinaliza quando o carro está ou não dentro da vaga inferior esquerda	Sin. vaga 3
LV4	OUT11	Relé	Sinaliza quando o carro está ou não dentro da vaga superior esquerda	Sin. vaga 4
LEM	OUT12	Lâmpada de Sinalização	Sinaliza quando o botão de emergência for acionado	Sin. emergência

Componentes externos			
Identificação	Tipo	Explicação	Frase Curta
TS1	Seletor	Quando na posição OFF aciona a L_OFF, na posição ON aciona L_ON e conecta a fonte de alimentação com o CLP.	Conecta fonte com o CLP
BB	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada a máquina busca uma bandeja e posiciona no início do percurso.	Busca bandeja
LB	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada a máquina leva a bandeja vazia sobre a plataforma para uma vaga vazia.	Leva bandeja
B1	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada entrega o carro para uma vaga disponível.	Levar carro
B2	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada busca o carro da vaga 1.	Buscar carro vaga 1
B3	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada busca o carro da vaga 2.	Buscar carro vaga 2
B4	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada busca o carro da vaga 3.	Buscar carro vaga 3
B5	Botoeira pulsadora NA	Quando pulsada busca o carro da vaga 4.	Buscar carro vaga 4
BE	Botão de emergência NF	Quando pressionado para a máquina.	Botão de emergência
L_ON	LED de Sinalização	Sinaliza a máquina ligada.	Sin. máquina ligada
L_OFF	LED de Sinalização	Sinaliza a máquina desligada.	Sin. máquina desligada
L1	LED de Sinalização	Vaga 1 disponível	Sin. vaga 1 disponível
L2	LED de Sinalização	Vaga 2 disponível	Sin. vaga 2 disponível
L3	LED de Sinalização	Vaga 3 disponível	Sin. vaga 3 disponível
L4	LED de Sinalização	Vaga 4 disponível	Sin. vaga 4 disponível
L5	LED de Sinalização	Vaga 1 ocupada	Sin. vaga 1 ocupada
L6	LED de Sinalização	Vaga 2 ocupada	Sin. vaga 2 ocupada
L7	LED de Sinalização	Vaga 3 ocupada	Sin. vaga 3 ocupada
L8	LED de Sinalização	Vaga 4 ocupada	Sin. vaga 4 ocupada
MH	Motor	Motor que realiza a movimentação da plataforma no eixo horizontal.	Motor horizontal
MV	Motor	Motor que realiza a movimentação da plataforma no eixo vertical para subir e descer.	Motor vertical
MP	Motor	Motor conectado a plataforma que realiza a movimentação do carro no eixo horizontal para frente e para trás, inserindo e retirando a bandeja da vaga.	Motor plataforma
Temporizadores			
Identificação	Explicação		Frase Curta
T1	Função temporizador interna do CLP. Quando acionado habilita ligar/liga MPR (Motor horizontal recua). Desliga M18 (Memória para temporizador).		Tempo para saída do carro da plataforma
Memórias			
Identificação	Explicação		Frase Curta
M01	Função de memória interna do CLP. Quando acionada permite e aciona os comandos para entregar o carro. Habilita ligar/liga M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M07 (Carro na vaga 1), M08 (Carro na vaga 2), M09 (Carro na vaga 3), M10 (Carro na vaga 4), MHA (Motor horizontal avança) e MHR (Motor horizontal recua). Desliga/impede ligar M02 (Mov. Buscar carro), M03 (Mov. Buscar carro), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M16 (Pegar bandeja), M17 (Levar bandeja), MHA (Motor horizontal avança), MHR (Motor horizontal recua)		Mov. entregar carro
M02	Função de memória interna do CLP. Quando acionada permite e aciona os comandos para buscar o carro. Habilita ligar/liga M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M11 (Buscar carro vaga 1), M12 (Buscar carro vaga 2), M13 (Buscar carro vaga 3), M14 (Buscar carro vaga 4), MHA (Motor horizontal avança), MHR (Motor horizontal recua) e M18 (Memória para temporizador). Desliga/impede ligar M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M11 (Buscar carro vaga 1), M12 (Buscar carro vaga 2), M13 (Buscar carro vaga 3), M14 (Buscar carro vaga 4), M16 (Pegar bandeja), M17 (Levar bandeja), MHR (Motor horizontal recua)		Mov. Buscar carro
M03	Função de memória interna do CLP. Quando acionada permite e aciona os comandos do movimento de 'levar' para as vagas 1 e 3. Habilita ligar/liga M07 (Carro na vaga 1), M09 (Carro na vaga 3), M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência), MVS (Motor vertical sobe), MVD (Motor vertical desce), MPA (Motor plataforma avança) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência) e MVS (Motor vertical sobe).		Mov. de entrega vagas 1 e 3
M04	Função de memória interna do CLP. Quando acionada permite e aciona os comandos para do movimento de 'levar' para as vagas 2 e 4. Habilita ligar/liga M08 (Carro na vaga 2), M10 (Carro na vaga 4), M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência), MVS (Motor vertical sobe), MVD (Motor vertical desce), MPA (Motor plataforma avança) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar M03 (Mov. Buscar carro), M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência) e MVD (Motor vertical desce).		Mov. de entrega vagas 2 e 4

M05	Função de memória interna do CLP. Quando acionada permite e aciona os comandos do movimento de 'buscar' para as vagas 1 e 3. Habilita ligar/liga M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência), MVS (Motor vertical sobe), MVD (Motor vertical desce), MPA (Motor plataforma avança) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência) e MVS (Motor vertical sobe).	Mov. de Buscar vagas 1 e 3
M06	Função de memória interna do CLP. Quando acionada permite e aciona os comandos do movimento de 'buscar' para as vagas 2 e 4. Habilita ligar/liga M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência), MVS (Motor vertical sobe), MVD (Motor vertical desce), MPA (Motor plataforma avança) e MPR (Motor plataforma recua). Desliga/impede ligar M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M21 (Impede acionar movimentos indevidos após botão de emergência), MVS (Motor vertical sobe) e MPA (Motor plataforma avança).	Mov. de Buscar vagas 2 e 4
M07	Função de memória interna do CLP. Quando acionada registra que há um carro posicionado na vaga 1. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro), M19 (Impede o movimento de entregar carro quando todas as vagas estão ocupadas), M20 (Impede o movimento de buscar carro quando todas as vagas estão vazias), M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4) e M11 (Buscar carro vaga 1), Sin. vaga 1. Desliga/impede ligar M02 (Mov. Buscar carro), M16 (Pegar bandeja) e MHA (Motor horizontal avança).	Carro na vaga 1
M08	Função de memória interna do CLP. Quando acionada registra que há um carro posicionado na vaga 2. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro), M19 (Impede o movimento de entregar carro quando todas as vagas estão ocupadas), M20 (Impede o movimento de buscar carro quando todas as vagas estão vazias), M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M12 (Buscar carro vaga 2) e Sin. vaga 2. Desliga/impede ligar, M16 (Pegar bandeja) e MHA (Motor horizontal avança).	Carro na vaga 2
M09	Função de memória interna do CLP. Quando acionada registra que há um carro posicionado na vaga 3. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro), M19 (Impede o movimento de entregar carro quando todas as vagas estão ocupadas), M20 (Impede o movimento de buscar carro quando todas as vagas estão vazias), M03 (Mov. de entrega vagas 1 e 3), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M13 (Buscar carro vaga 3), Sin. vaga 3 e MHA (Motor horizontal avança). Desliga/impede ligar M16 (Pegar bandeja).	Carro na vaga 3
M10	Função de memória interna do CLP. Quando acionada registra que há um carro posicionado na vaga 4. Habilita ligar/liga M02 (Mov. Buscar carro), M19 (Impede o movimento de entregar carro quando todas as vagas estão ocupadas), M20 (Impede o movimento de buscar carro quando todas as vagas estão vazias), M04 (Mov. de entrega vagas 2 e 4), M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4), M14 (Buscar carro vaga 4), Sin. vaga 4 e MHA (Motor horizontal avança). Desliga/impede ligar M16 (Pegar bandeja).	Carro na vaga 4
M11	Função de memória interna do CLP. Quando acionada registra que a lógica sendo realizada é para buscar o carro da vaga 1. Habilita ligar/liga M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3) e M06 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3). Desliga/impede ligar M12 (Buscar carro vaga 2), M13 (Buscar carro vaga 3) e M14 (Buscar carro vaga 4).	Buscar carro vaga 1
M12	Função de memória interna do CLP. Quando acionada registra que a lógica sendo realizada é para buscar o carro da vaga 2. Habilita ligar/liga M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4). Desliga/impede ligar M11 (Buscar carro vaga 1), M13 (Buscar carro vaga 3) e M14 (Buscar carro vaga 4).	Buscar carro vaga 2
M13	Função de memória interna do CLP. Quando acionada registra que a lógica sendo realizada é para buscar o carro da vaga 3. Habilita ligar/liga M05 (Mov. de Buscar vagas 1 e 3) e MHA (Motor horizontal avança). Desliga/impede ligar M11 (Buscar carro vaga 1), M12 (Buscar carro vaga 2) e M14 (Buscar carro vaga 4).	Buscar carro vaga 3
M14	Função de memória interna do CLP. Quando acionada registra que a lógica sendo realizada é para buscar o carro da vaga 4. Habilita ligar/liga M06 (Mov. de Buscar vagas 2 e 4) e MHA (Motor horizontal avança). Desliga/impede ligar M11 (Buscar carro vaga 1), M12 (Buscar carro vaga 2) e M13 (Buscar carro vaga 3).	Buscar carro vaga 4