

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

EDUARDO ESPIT CENTENARO

**CONCEPÇÃO DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA DE SIMULAÇÃO DE
PROCESSO DE ENVASAMENTO DE LÍQUIDOS CONTROLADO POR
CLP**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

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

EDUARDO ESPIT CENTENARO

**CONCEPÇÃO DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA DE SIMULAÇÃO DE
PROCESSO DE ENVASAMENTO DE LIQUIDOS CONTROLADA POR
CLP**

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 TCC22009.

Orientador:
Prof. Plínio Cornélio Filho, Dr.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Centenaro, Eduardo Espit Centenaro
CONCEPÇÃO DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA DE SIMULAÇÃO DE
PROCESSO DE ENVASAMENTO DE LIQUIDOS CONTROLADA POR CLP / Eduardo
Espit Centenaro Centenaro; orientação de Plínio
Cornélio Filho. - Florianópolis, SC, 2022.
81 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. Máquina didática. 2. CLP. 3. Acionamentos industriais.
4. Educação ABP. 5. Simulação de processos. I.
Cornélio Filho, Plínio . II. Instituto Federal de Santa
Catarina. III. CONCEPÇÃO DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA
DE SIMULAÇÃO DE PROCESSO DE ENVASAMENTO DE LIQUIDOS CONTROLADA
POR CLP.

CONCEPÇÃO DE UMA MÁQUINA DIDÁTICA DE SIMULAÇÃO DE PROCESSO DE ENVASAMENTO DE LIQUIDOS CONTROLADA POR CLP

EDUARDO ESPIT CENTENARO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro 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, 14 de dezembro, 2022.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
PLÍNIO CORNELIO FILHO
Data: 14/02/2023 11:33:44-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Plínio Cornélio Filho, Doutor em Engenharia



Documento assinado digitalmente
JULIANA MARTINS DE CARVALHO
Data: 14/02/2023 14:06:16-0300
CPF: 086.462.847-19
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Juliana Martins de Carvalho, Mestra em Engenharia



Documento assinado digitalmente
VITOR FARIAS DE BORBA
Data: 15/02/2023 15:38:56-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Vitor Farias de Borba, Mestre em Engenharia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, todo seu corpo docente, direção e administração, que juntos oferecem um curso de extrema qualidade e prestígio.

Deixo aqui o meu sincero agradecimento, respeito e admiração pelo meu orientador, professor Doutor Plínio Cornélio Filho, que sempre se mostrou proativo e empenhado em fornecer um excelente conteúdo e didática em suas aulas, elevando o nível do curso de Engenharia Elétrica do IFSC Florianópolis. A participação do professor Plínio nesta etapa da minha carreira, trata-se da realização de um sonho que nasceu lá no final do curso técnico, e poder finalizar este trabalho com o suporte de um professor desse nível é extremamente satisfatório.

Aos professores da banca, Ma. Eng Juliana Martins de Carvalho, Me. Eng. Vitor Farias de Borba, agradeço por dedicarem tempo e esforço para participar desta etapa tão importante na minha carreira.

Por fim, agradeço também ao apoio que toda a minha família me deu ao longo desta longa trajetória na Engenharia Elétrica. Sempre estiveram me incentivando ao longo da carreira acadêmica e profissional para que eu atingisse êxito em minhas escolhas.

RESUMO

A crescente aproximação entre academia e indústria tem evidenciado uma necessidade real de incorporar maior conhecimento prático ao ensino de engenharia. Diante desse cenário, é imprescindível a busca por métodos alternativos de aprendizagem, que possibilitem aos acadêmicos uma formação mais sólida e alinhada com as verdadeiras demandas do mercado de trabalho. Para enfrentar este problema, o presente trabalho investiga conteúdos pertinentes ao desenvolvimento de máquinas didáticas geridas por Controladores Lógico Programáveis (CLP), de modo a desafiar graduandos de engenharia e, ao mesmo tempo, aproximar suas competências e habilidades àquelas exigidas pelo mundo do trabalho. Entretanto, o alto custo de máquinas com esse propósito, normalmente inviabiliza sua aquisição por grande parte das instituições de ensino públicas. Portanto, a presente pesquisa propõe-se a contornar a dificuldade financeira por meio do projeto, simulação e implementação de um protótipo didático em escala reduzida, de uma máquina envasadora de líquidos personalizada aos interesses curriculares do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). Deste modo intenciona-se, de fato, aproximar teoria e prática, alinhando competências acadêmicas com profissionais, potencializando o ensino, a aprendizagem e maiores chances e oportunidades rumo ao primeiro emprego.

Palavras-chave: Máquina didática. CLP. Acionamentos industriais. Simulação de processos. Educação ABP

ABSTRACT

The growing rapprochement between academia and industry has shown a real need to incorporate greater practical knowledge into engineering education. Given this scenario, it is essential to search for alternative learning methods, which allow academics to have a more solid education aligned with the real demands of the labor market. To face this problem, the present work investigates contents relevant to the development of didactic machines managed by Programmable Logic Controller (PLC), in order to challenge engineering undergraduates and, at the same time, bring their skills and abilities closer to those required by the world of work. However, the high cost of machines for this purpose usually makes their acquisition unfeasible by most public educational institutions. Therefore, this research proposes to circumvent the financial difficulty through the design, simulation and implementation of a reduced-scale didactic prototype of a liquid filling machine customized to the curricular interests of the electrical engineering course at the Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). In this way, the intention is, in fact, to bring theory and practice closer together, aligning academic and professional skills, enhancing teaching, learning and greater chances and opportunities towards the first job.

Keywords: Didactic machine. PLC Industrial drives. Process simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da indústria e suas especificidades.	23
Figura 2 – Exemplo de uma <i>rung</i> de programação <i>ladder</i>	26
Figura 3 – Diagrama de blocos da arquitetura de um CLP.	27
Figura 4 – Controlador Lógico Programável WEG CLIC02	28
Figura 5 – Controlador Lógico Programável WEG TPW03.....	29
Figura 6 – Interface do CADe_SIMU.....	32
Figura 7 – Interface do Clic02 Edit	35
Figura 8 – interface do TPW PCLINK.....	36
Figura 9 – Esquema do processo de Prototipação.....	37
Figura 10 – Principais partes da impressora FDM.....	39
Figura 11 – Unidade de condicionamento de ar	42
Figura 12 – Válvulas direcionais universais.....	43
Figura 13 – Atuadores pneumáticos lineares	44
Figura 14 – Atuadores pneumáticos rotativo	44
Figura 15 – Diagrama esquemático de um sensor capacitivo	47
Figura 16 – Desenho esquemático do sensor <i>reed-switch</i>	48
Figura 17 – Layout da máquina virtual de envasamento de garrafas	57
Figura 18 – Atualização do <i>layout</i> da máquina envasamento de líquidos	59
Figura 19 – Fluxograma das etapas de funcionamento do protótipo	60
Figura 20 – Estrutura principal do protótipo.....	61
Figura 21 – Sistema de tração da esteira.....	61
Figura 22 – Sistema para colocar pote na esteira	62
Figura 23 – Estações de envase, recolhimento da tampa e selagem do pote	63
Figura 24 – Rampa para depositar os potes envasados	63
Figura 25 – Placa de bornes	64
Figura 26 – Detalhe da fixação das válvulas solenoide	64
Figura 27 – Projeto do protótipo de envasadura de líquidos.....	65
Figura 28 – Circuito de comando do protótipo.....	66
Figura 29 – Circuito eletropneumático.....	66
Figura 30 – Resultado da simulação de fatiamento através do Cura 4.1.....	68
Figura 31 – Montagem da estrutura em PLA do protótipo	68
Figura 32 – Montagem da parte estrutural do protótipo	69
Figura 33 – Estrutura final do protótipo	69

Figura 34 – Montagem preliminar do protótipo	70
Figura 35 – Montagem da placa de bornes	70
Figura 36 – Montagem final do protótipo	71
Figura 37 – Diagrama e programação <i>ladder</i> para testes simplificado dos atuadores	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das variáveis de entrada e saída do protótipo.....	65
Tabela 2 – Configurações básicas utilizadas na impressora 3D.....	67
Tabela 3 – Principais materiais utilizados para a construção do protótipo	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	<i>Aprendizagem Baseada em Projetos</i>
ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
CA	Corrente alternada
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CC	Corrente contínua
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
CNC	Comandos Numéricos Computadorizados
CPU	Unidade Central de Processamento
DAE	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
DAMM	Departamento Acadêmico de Metal Mecânica
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
GM	<i>General Motors</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IHM	Interfaces Homem Máquina
IOT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
PID	Proporcional, integral, derivativo
PLA	<i>Polylactic Acid</i>
PLC	<i>Programmable Logic Control</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SLA	<i>Stereo Lithography Apparatus</i>
STL	<i>Standard Tessellation Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Definição do Problema	15
1.3	Objetivo Geral	16
1.4	Objetivos Específicos.....	16
1.5	Estrutura do Trabalho.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	A evolução do ensino e o uso de protótipos nas escolas	18
2.1.1	Educação grega.....	18
2.1.2	Educação medieval.....	19
2.1.3	Educação moderna.....	19
2.1.4	A aprendizagem baseada em projetos - ABP.....	20
2.1.5	Construtivismo	21
2.2	Evolução da Indústria 1.0 a 4.0	22
2.3	Controlador Lógico Programável (CLP)	24
2.3.1	História do CLP	24
2.3.2	Linguagem de programação <i>ladder</i>	25
2.3.3	Arquitetura de um CLP	26
2.3.4	Detalhes do CLP WEG CLIC02	27
2.3.5	Detalhes do CLP WEG TPW03.....	28
2.4	Simulação computacional	29
2.4.1	Automation Studio 7.0 - Famic Technologies	30
2.4.2	CADe_SIMU	31
2.4.3	SolidWorks 2020 - Dassault Systèmes.....	33
2.4.4	Clic02 Edit - WEG	34
2.4.5	TPW PCLINK - WEG	35
2.5	Prototipagem.....	36
2.6	Manufatura aditiva – Impressão 3D	38
2.6.1	Modelagem por Fusão e Depósito	39
2.6.2	Software de fatiamento para impressão 3D	40
2.7	Eletropneumática.....	40
2.7.1	Principais componentes do sistema pneumático.....	41
2.7.2	Vantagens e desvantagens da pneumática/eletropneumática.....	45
2.8	Sensores utilizados na automação.....	46
2.8.1	Sensor capacitivo.....	46
2.8.2	Sensor fotoelétrico	47
2.8.3	Sensor <i>reed-switch</i>	47
2.9	Máquina envasadora de líquidos	49
2.9.1	Mercado brasileiro de bebidas	50
2.9.2	Controle de envase	51
3	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....	53
3.1	Softwares escolhidos	53
3.2	Apresentação do caso original	53
3.3	Ajustes e adaptações do caso original	54
3.4	Definição dos materiais	54
3.5	Projeto estrutural, mecânico e elétrico	55

3.6	Manufatura e montagem da máquina	55
3.7	Testes e validação	56
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	57
4.1	Estudo do caso original.....	57
4.2	Apresentação do modelo protótipo	58
4.3	Projeto estrutural e mecânico	60
4.4	Projeto elétrico	65
4.5	Manufatura e montagem.....	67
4.6	Testes e validações do protótipo.....	71
4.6.1	Testes iniciais	71
4.6.2	Validação final.....	72
4.7	Custos do projeto	73
5	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	75
	ANEXOS	79
	ANEXO A – Projeto elétrico completo do protótipo – Folha A3	80

1 INTRODUÇÃO

A automação industrial nasceu no momento em que os trabalhos sistemáticos estavam de alguma forma prejudicando a sociedade, esgotando fisicamente os trabalhadores e potencializando acidentes de trabalho devido a necessidade de suprir a demanda de uma sociedade moderna que apresentava maior consumo. Portanto, quando se automatiza um processo as vantagens são diversas, como: maior produtividade, medições e controle de qualidade mais confiáveis, garantia de padronização do processo, redução de possibilidades de acidente, assim como tendência na redução de custos.

Nos dias de hoje, a automação de processos ganhou mais força e notoriedade, devido a contínua expansão e evolução da indústria. Saímos dos teares manuais dos anos 1780, para uma linha de produção altamente monitorada e integrada, permitindo tomadas de decisões rápidas, reduzindo os custos operacionais e evitando desperdícios. Toda essa evolução foi dividida em quatro períodos, e hoje estamos vivenciando o quarto período, chamado de Indústria 4.0. (ARBEGAUS, 2018)

Diversas máquinas e controladores digitais trouxeram grande parte dessa evolução na fabricação industrial de alimentos, bebidas, veículos e até mesmo residências. Arbegaus (2018), ressalta que o salto de desempenho das indústrias pode ser observado quando olhamos para o setor de bebidas por exemplo, onde só no século XX tivemos um aumento de 100 vezes na produção e envase de garrafas.

Para atender este nível de produção, a automação foi uma grande contribuidora e, atualmente, oferece uma série de dispositivos e instrumentos voltados a este fim, como sensores, relés, contadores, cilindros e válvulas pneumáticas e eletropneumáticas, relés programáveis, motores, servomotores e motores de passo.

Essa estrutura é comandada por sistemas de programação, monitoramento, controle e comandos. E nesse universo se destacam no mercado os controladores lógicos programáveis (CLP), interfaces homem máquina (IHM), computadores industriais, conversores de frequências, os robôs e os comandos numéricos computadorizados (CNC). (JEFERSON, 2013)

Para acompanhar a evolução da indústria, Ribeiro (2005) ressalta que as escolas precisam fornecer uma preparação técnica e científica sólida aos futuros

engenheiros. Em vez do ato de anotar a aula expositiva do professor, os alunos são estimulados a se envolverem em desafios reais ou simulados. A ideia é tornar o ensino mais atrativo, sem a imposição do conteúdo de modo passivo.

Técnicas de prototipagem, simulação via software e manufatura aditiva, são ótimas ferramentas para melhorar o ensino e aprendizado dos futuros engenheiros, afim de torná-los capazes de otimizar ainda mais os atuais processos industriais.

Este trabalho tem o intuito de aprofundar o estudo no universo da automação industrial e de técnicas para melhorar o ensino e aprendizagem relacionados a automação. Para tanto, a pesquisa investigará técnicas de prototipagem, simulação e manufatura aditiva, de maneira que o pesquisador obtenha subsídios sólidos para conceber um produto didático real. Com isto, almeja-se contribuir, de maneira relevante, no desenvolvimento de competências e habilidades dos futuros engenheiros que a instituição deseja formar e o mercado necessita absorver.

1.1 Justificativa

No Brasil, existem muitas indústrias, ou até mesmo pequenos negócios, cujos processos de produção são executados manualmente e, por este motivo, resultam em baixa performance. Então, na indústria brasileira, o uso de tecnologias digitais é promissor e demanda por envolvidos para sua difusão, que elevará o país à patamares significativos rumo ao desenvolvimento da indústria nacional, incluindo nesse cenário também empresas menores. Corroborando com esse argumento, CNI, 2016, afirma que do total das indústrias, 58% conhecem a importância dessas tecnologias para a competitividade da indústria, porém menos da metade utiliza, de fato, algum processo relacionado a automação industrial. Nesse sentido percebe-se que a indústria brasileira precisa se desenvolver e criar cada vez mais competitividade no ramo tecnológico, utilizando automação para desenvolvimento de projetos, aumentando sua visibilidade neste mercado. (ANDRADE, 2016)

Atualmente, os maiores desafios das empresas na aquisição das tecnologias, geralmente, estão relacionados com o alto custo de implantação, com a falta de clareza na definição do retorno do investimento e da sua cultura

organizacional. Também nas escolas, preparadoras para o mercado, o desafio é o mesmo e, nesse sentido, tanto a carência financeira como o descompasso tecnológico são ainda maiores. Porém, o Brasil tem total capacidade para ascender cada vez mais na automação, aperfeiçoando e qualificando acadêmicos e profissionais da área. Para tanto, é imprescindível, que, ainda nos bancos escolares, alunos possam desenvolver e treinar suas habilidades em protótipos didáticos, similares aos processos profissionais. Com isso aproximar-se-á teoria e prática, formar-se-ão potenciais forças de trabalho já alinhadas ao que o mercado necessita, reduzindo ou eliminando tempo e custo de capacitação do trabalhador quando já no mercado de trabalho. (CNI, 2016)

1.2 Definição do Problema

O setor industrial alimentício vem crescendo e gerando bons resultados para o Brasil, no ramo de bebidas. No relatório do segundo trimestre 2021 da Ambev, reportou-se um volume total produzido de 39,8 milhões de hectolitros, um aumento significativo em relação a 2020. (LIMA, 2021). Mas a automação ainda é um luxo para pequena parcela produtiva brasileira, e seria necessário aumentar mais a amplitude de empresas beneficiadas por esse avanço tecnológico.

Este trabalho procura investigar e comprovar a hipótese de que tecnologias modernas para o ensino de controle e automação podem proporcionar grande diferença na formação e preparação para o emprego. A tecnologia contemporânea de equipamentos inteligentes e a evolução da informática na área de simulação, sinalizam uma grande oportunidade na solução do atual problema de baixa produtividade na cadeia produtiva devido ao, ainda, baixo nível de automação no referido segmento. A simulação virtual, em especial, foi extremamente estimulada nos últimos 2 anos devido às restrições provocadas pela pandemia do COVID-19. Então, o autor acredita que as tecnologias aliadas a uma estratégia pedagógica voltada à constatação prática por meio de réplicas funcionais em escala reduzida, apresentam-se como grandes impulsionadores na formação de melhores profissionais ainda quando estão nos bancos escolares.

1.3 Objetivo Geral

Caracteriza-se como objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso, a concepção virtual e real de uma máquina didática de envasamento de líquidos, monitorada e controlada por CLP. Tal produto deverá, por si só, validar sua eficácia como facilitador no desenvolvimento de competências e habilidades dos estudantes do curso de Engenharia Elétrica e técnico em Eletrotécnica do IFSC, campus Florianópolis.

1.4 Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo geral, o presente trabalho propõe-se a, especificamente, se debruçar nos seguintes objetivos:

- a) examinar conteúdos recentes relacionados com automação de processos produtivos industriais, processos de envasamento, controladores lógico programáveis, simulação computacional por meio do software Automation Studio 7.0, assim como maquetes/protótipos acadêmicos;
- b) elaborar os requisitos de funcionamento (elétrico e mecânico) desejados para o projeto de uma envasadora de líquidos didática;
- c) elaborar e apresentar o projeto estrutural em 3D, com dimensionamentos e especificações da envasadora de líquidos desejada, utilizando para isso o software SolidWorks 2020;
- d) projetar uma máquina virtual envasadora de líquidos, similar à pretendida, com o uso do software Automation Studio 7.0, constatando sua obediência aos requisitos de funcionamento desejados;
- e) adaptar o projeto da máquina virtual à plataforma de programação específica do controlador lógico programável modelo/fabricante CLIC02/WEG;
- f) construir e validar a máquina didática no laboratório de acionamentos industriais, onde majoritariamente será utilizada.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, referências e anexos. O primeiro capítulo apresenta a importância do tema, sua justificativa, assim como definição do problema, objetivo geral e específicos.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica. Inicialmente resgata-se a evolução da educação e da indústria, na sequência discorre-se sobre os componentes, técnicas e tecnologias que serão utilizados no protótipo, como, por exemplo: CLP, simulação computacional, prototipagem, manufatura aditiva, eletropneumática e tecnologia de sensoriamento. Por fim é apresentado um panorama sobre máquina de envasamento de líquidos

No capítulo 3, é apresentada a metodologia e a forma como o trabalho foi dividido. Também são apresentados os materiais, *softwares*, técnicas escolhidas para a construção do protótipo e por fim os testes utilizados

No capítulo 4, são expostos os resultados obtidos e os detalhes do desenvolvimento do protótipo.

Já no capítulo 5, é apresentada a conclusão do presente trabalho, bem como uma breve sugestão de melhorias para trabalhos futuros.

E por fim, são apresentadas as referências das pesquisas realizadas para o desenvolvimento deste trabalho e os anexos pertinentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Será exposto neste capítulo a evolução da educação ao longo dos anos, seus impactos e objetivos. Também resgata-se as mudanças que a indústria sofreu ao longo dos anos, tecnologias utilizadas para controle e automação e um panorama dos *softwares* utilizados neste trabalho. Além disso, discorre-se sobre o estado da arte sobre prototipagem, impressão 3D, envasamento de líquidos e sensoriamento.

2.1 A evolução do ensino e o uso de protótipos nas escolas

A educação como conhecemos hoje em dia é resultado de uma evolução lenta e milenar. Enfrentando desafios desde os primórdios da Grécia antiga, a educação segue com o objetivo de desenvolver o homem, seja em suas capacidades físicas, intelectual ou moral. Para entendermos a educação atual e os problemas que ela enfrenta hoje em dia, é importante conhecermos um pouco da sua origem e adversidades enfrentadas no passado.

É de extrema importância entendermos que ao longo da história, a educação foi moldada para atender diferentes objetivos e, por isso, toda sua análise requer um intenso esforço de contextualização e reflexão.

Trataremos da educação em três períodos históricos, sendo eles: educação grega, educação medieval, educação moderna e, por fim, exploraremos sobre o método da aprendizagem baseada em projetos (ABP).

2.1.1 Educação grega

O princípio de organização social e educativa, que serviu de modelo para diversas sociedades no decorrer dos séculos, surgiu na Grécia antiga. As cidades estado de Atenas e Esparta possuíam sistemas de educação bem distintos entre si. Esparta era conhecida por seu poder militar superior, honra e personalidade guerreira, o modelo de educação espartano baseava-se no autoritarismo, na disciplina rígida, códigos de conduta, artes de guerra, no estímulo da competitividade entre os alunos e nas exigências extremas de desempenho. (AMADO, 2007)

Enquanto isso, o exercício da palavra e prática da retórica, faziam parte do ideal educacional de Atenas. Os mestres da retórica e da oratória eram chamados de sofistas. Eles ensinavam a arte das palavras para que seus pupilos fossem capazes de construir argumentos vitoriosos em debates políticos. Em contrapartida, Sócrates propunha ensinar mais do que retórica e oratória, ele defendia a arte de pensar através de perguntas cujas respostas dependiam de uma análise lógica. (AMADO, 2007)

2.1.2 Educação medieval

Na idade média, os rígidos dogmas da igreja Católica norteavam os pensamentos da época, logo, os estudantes eram formados e doutrinados de acordo com a filosofia católica. Até o século XVII os valores morais e éticos, além do ofício responsável pela subsistência da família, eram transmitidos por pessoas dentro do círculo familiar próximo. Após a reforma religiosa e a ascensão do Renascimento, ideias sobre os objetivos da educação voltaram a ser debatidas. (ALVES, 2012)

O pensamento dominante da época tratava o conhecimento como um corpo sagrado e essa ideia permaneceu sólida desde o desaparecimento do Absolutismo até a constituição dos Estados Nacionais. Desde então o conhecimento passa a ser organizado para ser transmitido pela escola, através da autoridade do professor, sujeito detentor do saber e mantenedor da ordem e da disciplina. (ALVES, 2012)

2.1.3 Educação moderna

Ao longo dos séculos XVIII e XIX, impulsionado principalmente pela Revolução Industrial, a urbanização e aumento demográfico o modelo de educação centrado na figura do professor como transmissor do conhecimento se expandiu. O fortalecimento de regimes democráticos motivou a reivindicação pelo acesso a escola, e à educação passou a ser atribuída a tarefa de formar cidadãos cientes de direitos e deveres e capazes de exercê-los perante a sociedade. (AMADO, 2007)

A partir do século XIX, o modelo de educação que caracterizou as instituições escolares, até então hierarquizado e autoritário, passou a ser questionado por educadores como Maria Montessori, na Europa, e John Dewey, nos Estados Unidos. Aliado ao desenvolvimento dos estudos de psicologia sobre aprendizagem e

desenvolvimento humano, Montessori e Dewey passaram a analisar e criticar a pedagogia tradicional e a forma como os conteúdos curriculares eram impostos aos alunos, expondo a ideia de uma participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem. (AMADO, 2007).

2.1.4 A aprendizagem baseada em projetos - ABP

Apesar do esforço de cientistas alertarem para as necessárias mudanças para o progresso da educação, percebe-se que ainda há muito o que fazer para promover participação ativa dos discentes. Algumas disciplinas dos cursos de engenharia como: cálculo, física, otimização e outras, são abordadas majoritariamente de forma teórica, contando com poucas ou até mesmo nenhuma atividade prática aplicada. Como consequência dessa metodologia, observa-se uma dificuldade de aprendizagem em grande parte dos alunos, causando desinteresse no curso e até mesmo desistência. (TEIXEIRA, 2020)

No contexto de análise e proposta de prática de ensino ativo, aliado a materiais didáticos que promovam a qualidade da aprendizagem, Teixeira (2020), salienta que o professor deve buscar aplicar técnicas de ensino que transformem os alunos em protagonistas, despertando o interesse e interação sobre os assuntos apresentados. O autor enfatiza também, que tal ação promove o desenvolvimento de habilidades, tais como: autonomia, iniciativa, responsabilidades, relacionamento interpessoal, comunicação, entre outras.

Para Ribeiro (2005) as escolas precisam fornecer uma preparação técnica e científica sólida aos futuros engenheiros, para que o desenvolvimento de atributos profissionais auxilie em uma melhor atuação no mercado de trabalho, fornecendo uma maior flexibilidade do profissional, conseqüentemente maior empregabilidade.

Em vez do ato de anotar a aula expositiva do professor, os alunos são estimulados a se envolverem em desafios reais ou simulados. A ideia é tornar o ensino mais atrativo, diminuindo a imposição do conteúdo de modo passivo. As investigações envolvidas na execução do projeto permitem que os alunos aprendam conceitos, utilizem informações e representem o conhecimento em uma variedade de maneiras. (TEIXEIRA, 2020)

A ideia central dessa metodologia é que os problemas do mundo real promovam o interesse dos alunos e provoquem uma reflexão de como adquirir e aplicar novos conhecimentos em um contexto de resolução de problemas.

2.1.5 Construtivismo

O Construtivismo é uma corrente de pensamento, inspirada na obra de Jean Piaget, biólogo suíço que faleceu em 1980 com 84 anos. Piaget é reconhecido por dedicar sua obra ao entendimento dos processos de aquisição do conhecimento humano. Os conceitos piagetianos mais fundamentais fazem referência aos mecanismos de funcionamento da inteligência e a construção do sujeito a partir de sua interação com o meio. (PEREIRA, 2018)

Embora não seja uma técnica de aprendizagem ou um método de ensino propriamente dito, o construtivismo se opõe às concepções inatistas (concepção de que alguns conhecimentos estão presentes desde o nascimento) e comportamentalistas, pois, entende-se que a aprendizagem só tem significado quando potencializa o desenvolvimento da inteligência. Isso então, seria resultado das combinações entre a bagagem hereditária e as experiências adquiridas através das circunstâncias oferecidas pelo meio. (PEREIRA, 2018)

Diante disso, a prática construtivista demanda de uma metodologia de trabalho e uma organização curricular diferenciada, cabendo ao professor a tarefa de criar possibilidades enquanto mediador da aprendizagem. Deve-se promover situações problema que permitam o avanço cognitivo de cada aluno na sua individualidade, promovendo o desenvolvimento das estruturas de pensamento, raciocínio lógico, julgamento e argumentação. Assim, o aluno em sua individualidade deve ocupar o centro do processo de aprendizagem, através de uma metodologia ativa que tenha por objetivo a construção do conhecimento a partir dos conhecimentos prévios que cada indivíduo carrega consigo. (PEREIRA, 2018)

2.2 Evolução da Indústria 1.0 a 4.0

Entender as revoluções industriais e as evoluções pelas quais a sociedade passou ao longo dos últimos séculos é indispensável para compreender o caminho que trilhamos até hoje e até refletir como a educação também delas se beneficiou. A Primeira Revolução Industrial começou no século XVIII através do uso de energia a vapor e mecanização da produção. Com isso, processos simples começaram a ser executados até oito vezes mais rápido, sendo este o maior avanço de produtividade que a humanidade presenciava. Desenvolvimentos como o navio a vapor ou a locomotiva a vapor provocaram mais mudanças massivas no desenvolvimento humano. (DESOUTTER, 2022)

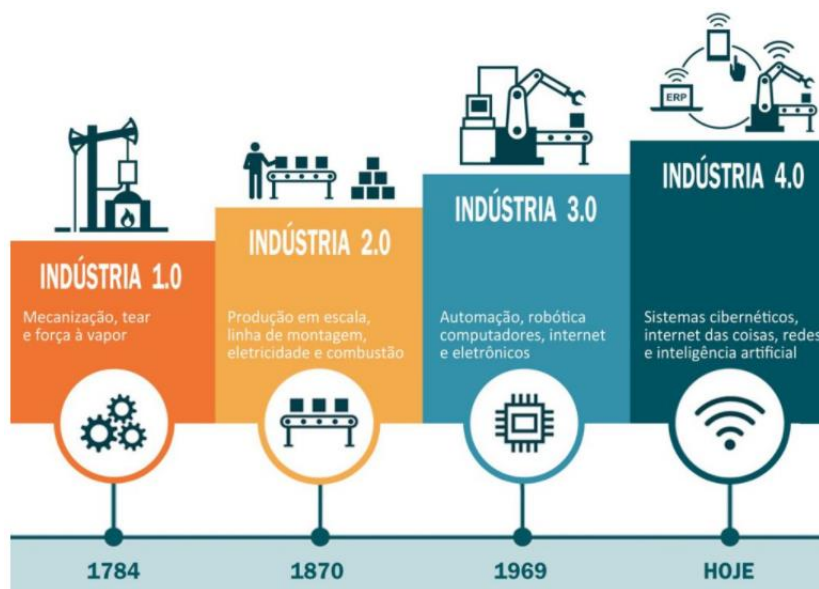
A segunda revolução industrial começou no século XIX, marcada pela introdução da energia elétrica, do motor de combustão e pela produção em grande escala de aço e alumínio. O ano de 1914, marca o advento fordismo, termo este relacionado com a filosofia de linha de produção criada por Henry Ford. Tal linha produtiva foi implementada inicialmente em um matadouro em Chicago, posteriormente evoluída e adaptada para a produção do veículo Ford T. Antes da filosofia Ford, uma estação montava o automóvel inteiro, mas com Ford, os veículos eram produzidos em etapas parciais, sendo significativamente mais rápido e com menor custo. (ACCEPT, 2019)

A Terceira Revolução Industrial começou nos anos 70, marcados por avanços significativos nas áreas da informática, robótica, telecomunicações, transportes, biotecnologia e química fina. Os modelos de produção altamente competitivos, praticados pelas grandes corporações, foram fundamentalmente alterados, exigindo a adoção de tecnologia mais sofisticada e complexa, requerendo agora um menor número de recursos humanos, porém com crescente nível de qualificação. (ACCEPT, 2019)

A quarta revolução industrial se deu com a introdução da Internet das Coisas (IOT- *Internet of Things*) e Serviços no ambiente de produção. Dessa forma, uma indústria que está conectada com suas atividades no meio físico com um sistema digital, faz com que a tomada de decisão e os reconhecimentos de falhas melhorem exponencialmente. (AZEVEDO, 2018, p.15) A seguir, na Figura 1, é possível

identificar as quatro fases da evolução da indústria e seus principais pontos de inovação.

Figura 1 – Evolução da indústria e suas especificidades.



Fonte: BBC News Brasil (2022)

Em seu trabalho, Schuh (2020) definiu seis estágios de uma indústria para que ela possa ser considerada como indústria 4.0, sendo eles: informatização, conectividade, visibilidade, transparência, capacidade de prever eventos e adaptabilidade. Com isso é possível situar em qual nível de desenvolvimento tecnológico a indústria está. Assim, as etapas seriam, primeiro a informatização e depois a conectividade, pois esses estágios trariam as informações necessárias para a tomada de processos decisórios mais eficazes. (AZEVEDO, 2018, p.17)

De modo geral, a implantação de processos modernos que utilizam internet das coisas ou outras tecnologias de ponta, possuem um elevado custo inicial. Devido a necessidade da digitalização dos processos físicos, este custo inicial em tecnologia é o maior empecilho para as empresas. Além do custo, existe um desafio muito grande dos desenvolvedores de *hardware*, de conseguir conciliar todos os processos de forma que possam ser facilmente integrados. Isso acontece porque muitos equipamentos, *softwares* e outros, operam muitas vezes com linguagens

computacionais diferentes e a comunicação entre os processos fica bastante dificultosa. (AZEVEDO, 2018)

2.3 Controlador Lógico Programável (CLP)

Um elemento importante no processo de automação industrial denomina-se PLC (*Programmable Logic Control*) que, traduzido para o português é descrito como CLP (Controlador Lógico Programável). Este equipamento é praticamente um computador dedicado e robusto, projetado para o comando e controle de processos industriais, e um dos mais utilizados hoje em dia na indústria. O CLP monitora o estado dos dispositivos de entrada, toma decisões baseado na programação projetada para ele, e comanda o estado dos dispositivos conectados em si. (ALFACOMP, 2019)

Como o CLP é semelhante a um computador, sua composição é muito parecida, tendo como componentes: memória, cartão de entrada, processador, cartão de saída, barramento e fonte de energia. O seu princípio de funcionamento é bastante simples, recebendo informações de sensores e dispositivos na sua entrada, processando os dados e controlando os atuadores e dispositivos, gerando uma resposta para saída conforme sua programação. (ALFACOMP, 2019)

2.3.1 História do CLP

Com a chegada da terceira revolução industrial, o aumento da competitividade fez com que a indústria melhorasse o desempenho das suas linhas de produção, tanto em qualidade quanto em produtividade. Fazia-se necessário encontrar uma solução para os sistemas de controle. (MOREIRA, 2020)

A indústria pioneira no estudo e desenvolvimento de novas tecnologias foi a automotiva. O sistema baseado em computadores foi idealizado pela General Motors e, assim, em 1968 a empresa determinou os critérios para o projeto do CLP, sendo que em 1969 a Goulds Modicon conseguiu desenvolver o primeiro dispositivo que atendeu as especificações da GM. (MOREIRA, 2020)

Com a criação dos CLP's devido a necessidade de mercado, estes equipamentos começaram a mostrar uma versatilidade e praticidade muito maior que

os painéis elétricos tradicionalmente utilizados. Com o passar do tempo foi se realizando mudanças significativas e aprimoramentos, como por exemplo, a variedade de tipos de entrada e saídas, aumento da velocidade de processamento, a inclusão de blocos lógicos complexos para tratamento das informações e, principalmente, o modo de programação e a interface com o usuário. (MOREIRA, 2020)

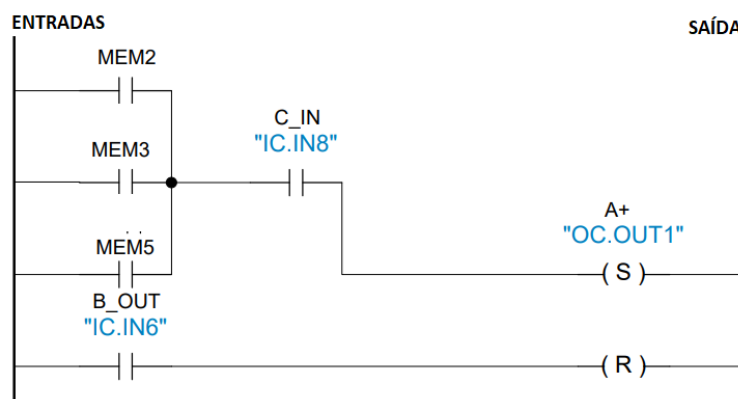
2.3.2 Linguagem de programação *ladder*

A linguagem *ladder* não foi a primeira que surgiu para a programação dos CLPs. Inicialmente se utilizava *assembly*, uma linguagem de baixo nível, que fornece pouca ou nenhuma abstração da arquitetura do conjunto de instruções de um computador. Basicamente é uma linguagem estruturalmente semelhante às instruções que um processador recebe. Com essa linguagem de programação, qualquer atualização de hardware, como por exemplo, a adição de um novo sensor ou uma nova funcionalidade, o programa precisava ser reescrito. (MOREIRA, 2020)

Para mitigar os efeitos negativos da linguagem *assembly*, foi dado início ao desenvolvimento da linguagem *ladder*, que foi baseada nos antigos diagramas elétricos, utilizados pelos técnicos, engenheiros e pessoas habituadas com diagramas e esquemas elétricos. (MOREIRA, 2020)

O nome *ladder* deve-se à representação da linguagem se parecer com uma escada, na qual duas barras verticais paralelas são interligadas formando os degraus da escada. A cada lógica de controle existente no programa de aplicação dá-se o nome de *rung*, que é composta por colunas e linhas, como pode ser visto na Figura 2. (MOREIRA, 2020). Existem outras linguagens que são utilizadas em CLPs, como a lista de instruções e o diagrama de blocos, padronizados pela norma IEC-61131-3.

Figura 2 – Exemplo de uma *rung* de programação *ladder*.



Fonte: Elaboração própria (2022).

2.3.3 Arquitetura de um CLP

O CLP é projetado seguindo um padrão de arquitetura, composto basicamente de unidade de entrada e saída de dados, uma central de processamento, memórias e uma central de comunicação ou IHM, como pode ser visto na Figura 3.

A Unidade de Entrada fornece as conexões entre os dispositivos externos e a unidade central de processamento (CPU). Podem ter um ou mais canais de aquisição de dados que codifica o sinal analógico ou digital de diversos níveis de tensão, provenientes de botoeiras, chaves, sensores, termostatos, pressostatos, termopares, *encoders*, tensões e correntes. As entradas digitais recebem sinais binários de tensão, por exemplo 0V e 5V..Já as entradas analógicas recebem sinais que podem assumir vários valores de tensão em uma faixa determinada.

A Unidade de Saída da mesma forma que a unidade de entrada, fornece as conexões entre os dispositivos de campo e a CPU. Esse módulo irá comutar as tensões de controle fornecidas, necessárias para energizar vários dispositivos, como contadores, solenoides, atuadores dentre outros. Assim como na unidade de entrada, as saídas podem ser do tipo digital ou analógica.

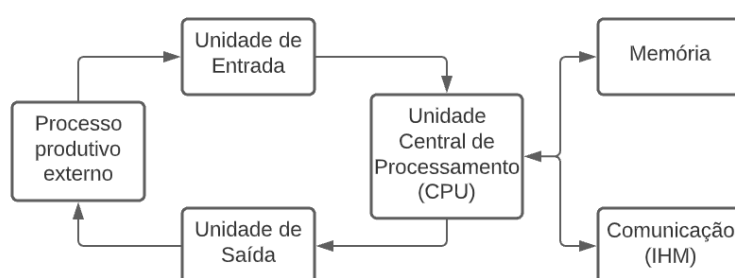
A Unidade Central de Processamento (CPU), é responsável pelo gerenciamento e processamento das informações e é composta de microprocessador ou microcontrolador. Ela recebe os sinais digitais e os sinais analógicos dos sensores do campo conectado aos módulos de entrada e recebe os comandos e o dado via comunicação de rede. Em seguida executa as operações lógicas, aritméticas e/ou

avançadas como as de controle de malha programada na memória do usuário e atualiza os cartões de saída.

Quanto à Memória, podemos dividir em três tipos: memória básica, memória de dados, memória de usuário. A memória básica contém um conjunto de programas armazenados permanentemente, com o objetivo de controlar e supervisionar as atividades do sistema. A memória de dados, podendo ser volátil ou não, é atualizada a cada ciclo de varredura, e nela são armazenados todos os dados de controle do sistema. Por fim, a memória de usuário é destinada ao armazenamento das instruções de programação, ou seja, o programa de usuário.

Por fim, a Interface Homem-Máquina (IHM) é utilizada principalmente para a introdução e visualização de dados e mensagens, permitindo uma interação do homem com a máquina que está sendo utilizada.

Figura 3 – Diagrama de blocos da arquitetura de um CLP.



Fonte: Elaboração própria (2022)

2.3.4 Detalhes do CLP WEG CLIC02

O CLP da linha CLIC02 da WEG possuiu um tamanho compacto, e excelente relação custo-benefício, podendo, seu modelo mais básico, de 6 entradas e 4 saídas à rele - Figura 4, ser adquirido, atualmente, por aproximadamente R\$1.300,00. Tal modelo foi idealizado para aplicações de pequeno e médio porte em tarefas de intertravamento, temporização e contagem, substituem com vantagens os contadores auxiliares, temporizadores e contadores eletromecânicos, reduzindo consideravelmente o espaço necessário para conexões elétricas, facilitando significativamente as atividades de manutenção.

O CLIC02, possui controle PID (Proporcional, Integral, Derivativo), funções aritméticas como soma, subtração, multiplicação e divisão, maior capacidade de programação, quando comparado com outros relés programáveis da WEG, mais expansões e temporizadores, marcadores e contadores. A linha de relés programáveis CLIC02 possibilita comunicação em rede, atendendo às mais variadas necessidades de aplicação em processos de automação, através das funções *Datalink*, *Modo Remoto* e *Modbus*. (WEG, 2010b)

A maior limitação desta linha de CLP, é o fato dele possuir apenas 4 colunas para programação. Uma coluna sempre vai ficar orientada a uma saída, portanto, há apenas 3 colunas para de fato programar lógicas.

Figura 4 – Controlador Lógico Programável WEG CLIC02



Fonte: WEG (2022b).

2.3.5 Detalhes do CLP WEG TPW03

O CLP da linha TPW-03 e 04 da WEG (Figura 5) é um equipamento de última geração desenvolvido com alta qualidade e excelente velocidade de processamento. Possui 90 mm de altura, seguindo a tendência de CLP de tamanho pequeno/médio como pode ser visto na Figura 5. Seu modelo mais básico pode ser adquirido, nos dias de hoje, por aproximadamente R\$6.000,00. É um equipamento idealizado para aplicações de médio e grande porte.

O equipamento está incorporado com diversos meios de comunicação, compatível com PG, MINIUSB, TCP/IP e PROFIBUS. O controle de posicionamento

inclui contadores de alta velocidade, sendo a média do tempo de instrução de $0,18 \mu\text{s}$ /passo. (WEG, 2010a)

Esta linha de CLP integrou as instruções básicas e de aplicação, como as instruções de operação, como adição, subtração, multiplicação, divisão. Instruções de trigonometria como seno, cosseno e tangente também podem ser exploradas. Além disso, outras instruções, como entrada de matriz e instruções PID com controle flutuante, podem ser implementadas nele. (WEG, 2010a)

Quando comparamos a linha TPW com a linha Clic02, notamos um aumento significativo no número de colunas disponíveis para programar, no total são 15 colunas por linha TPW. Este detalhe ajuda muito o usuário na hora de programar, dando mais liberdade na programação.

Figura 5 – Controlador Lógico Programável WEG TPW03



Fonte: WEG (2022a).

2.4 Simulação computacional

A simulação computacional como conhecemos hoje em dia teve como impulsionador a Segunda Guerra Mundial, onde computadores como o Mark I e o ENIAC do exército dos Estados Unidos, foram utilizados para simular rotas balísticas com o intuito de minimizar os erros de um disparo de míssil. (BALADEZ, 2009)

Como tudo que envolvia informática e tecnologia, construir simuladores na década de 70 era extremamente caro. Apenas grandes corporações, governos e universidades possuíam máquinas com poder computacional para isso. Outro fator relacionado ao alto custo, era a necessidade de grupos especializados e com alto

nível de conhecimento para trabalhar e desenvolver tais sistemas. Apenas nos anos 90, com equipamentos mais baratos e com maior poder de processamento, o uso de simuladores se tornou mais intenso. (BALADEZ, 2009)

A necessidade de simular sistemas é antiga, muito anterior às máquinas. Segundo Baladez (2009), há uma diferença conceitual entre representação e simulação: a representação é estática, reproduz os objetos nos sistemas, enquanto a simulação é dinâmica, onde ocorrem processos de movimento e/ou comportamento dos objetos nos sistemas representados. Modelagem é um termo bastante próximo de representação, entretanto, a modelagem refere-se ao processo de construção de modelos que compõem um sistema. Ao tratarmos da simulação, inevitavelmente trataremos também de representação através dos modelos.

A simulação pode ser a ferramenta necessária para solucionar vários tipos de problemas, reduzir custos e, em alguns casos, pode ser a única saída para o estudo e entendimento de um sistema. Os benefícios da simulação estão em expansão devido o desenvolvimento de novas tecnologias, proporcionando análises cada vez mais próximas da realidade. Por exemplo: hoje em dia é impensável um piloto de avião comercial ou militar não praticar suas habilidades em simuladores de voo. Mesmo sendo equipamentos extremamente caros, ainda assim é muito mais vantajoso comparado com o preço de um avião e os riscos associados. (BALADEZ, 2009)

Ao longo de uma simulação é possível conhecer dados importantes e mudar totalmente as condições simuladas sem o risco de prejuízos reais/físicos. A flexibilidade e a repetição, também são fatores fundamentais para qualquer treinamento. Tais fatores tornam mais eficiente e assertivo o desenvolvimento da habilidade e da certeza na tomada de decisões ou, até mesmo, uma tomada de atitude mais veloz diante de situações extremas.

2.4.1 Automation Studio 7.0 - Famic Technologies

A Famic Technologies, sediada em Montreal no Canada, foi fundada em 1986 e, desde então, oferece uma série de produtos e serviços de ponta na área de engenharia de *software* e automação industrial. Segundo a própria empresa, inovação, qualidade e desempenho são os pilares para o sucesso da companhia. Em

1995, a empresa foi uma das primeiras empresas do país a ver seus contínuos esforços em pesquisa e controle de qualidade serem recompensados com uma certificação ISO 9001, reflexo dos critérios rigorosos estabelecidos pelos clientes em todo o mundo. Diante disso, a Famic Technologies conseguiu consolidar sua abordagem para engenharia de *software*, baseada em padrões internacionais como IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

Sempre um passo à frente com o desenvolvimento do Automation Studio, a empresa lançou a primeira versão do *software* em 1996, com o foco em educação e treinamento em sistemas de energia.

Segundo a Famic (2022) o *software* segue em constante atualização para se adequar ao mercado. Atualmente é usado em todos os setores, desde design de sistemas, passando por engenharia, manutenção, serviço e treinamento.

O Automation Studio™ E7.0 - *Educational Edition* tem como objetivo apoiar os professores na entrega de conteúdo, bem como melhorar a experiência de aprendizagem do aluno, usando componentes ilustrados de aparência real para criar e simular circuitos. Já para os projetistas, especialistas em teste e confiabilidade, treinadores, técnicos e engenheiros de manutenção, a versão Automation Studio™ P7 - *Professional Edition* se adequa melhor ao serviço, tendo como objetivo alcançar maior produtividade com menor esforço. (FAMIC, 2022)

Para a simulação do acionamento de máquinas via programação *ladder*, o *software* permite a construção de sistemas e máquinas virtuais controlados por CLP externo ou com as lógicas de programação presentes no *software*. Além disso permite, através de suas bibliotecas, disponibilizar diversos componentes para as simulações de acionamentos de modo geral, permitindo programar uma infinidade de processos utilizando motores, sensores, bobinas, temporizadores, cilindros pneumáticos e muitos outros. (EXSTO, 2021)

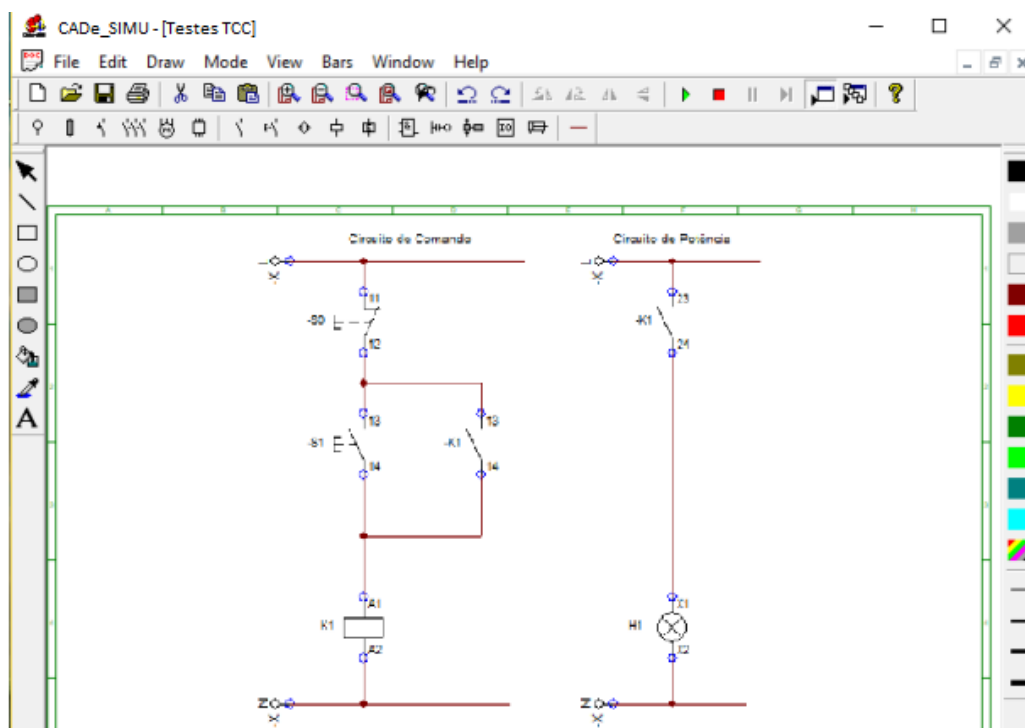
2.4.2 CADe_SIMU

O CADe_SIMU é um *software* para o desenvolvimento de projetos para a área de eletrotécnica com foco em comandos elétricos. Devido a sua fácil instalação,

interface simplificada e também por ser um *software* gratuito, ele é excelente como uma ferramenta para o ensino e aprendizado.

Neste *software* encontramos uma vasta biblioteca envolvendo os componentes mais comuns do mercado: fusíveis, contatores, disjuntores, motores dentre outros atuadores. Além disso, possuiu também a parte de pneumática e automação, possibilitando simulações com CLP's. O *software* apresenta uma interface simples conforme a Figura 6. No site do desenvolvedor, há uma ampla gama de materiais de apoio online e gratuitos, o que facilita muito o seu entendimento para quem precisar se aprofundar no ramo de comandos elétricos. (GUIMARÃES, 2018)

Figura 6 – Interface do CADe_SIMU



Fonte: Elaboração própria (2022)

O PC_SIMU é um software complementar ao CADe_SIMU, ele serve para auxiliar de forma visual as simulações elétricas criadas. Ele conta com uma biblioteca de imagens de equipamentos reais, a fim de ajudar o usuário a entender o que ocorre no software. É possível visualizar o resultado da simulação em tempo real e observar o comportamento do projeto simulado de forma gráfica. (GUIMARÃES, 2018)

2.4.3 SolidWorks 2020 - Dassault Systèmes

O SolidWorks foi idealizado por Jon Hirschtick em dezembro de 1993. Hirschtick recrutou um time de engenheiros com o objetivo de criar um programa 3D CAD (Computer Aided Design) com a intenção de torná-lo econômico, acessível e disponível para o Windows. Então, em novembro de 1995, o SolidWorks foi lançado, sendo o primeiro modelador 3D importante para a plataforma Windows.

O AutoCAD foi lançado muito antes do SolidWorks, no final de 1982. Porém, o SolidWorks era capaz de criar modelos 3D, algo bem revolucionário para a época. A plataforma utilizada por engenheiros mudou de UNIX para PC, e o custo com *software* e treinamento diminuíram de \$18,000 dólares para \$4,000. (RAZOR, 2020)

A Dassault Systèmes, empresa fundada em 1981, sediada em Vélizy-Villacoublay, na parte norte do polo de tecnologia Paris-Saclay, nasceu com o propósito de informatizar o design da aviação. Ela estendeu suas atividades para o desenvolvimento e comercialização de *softwares* para a indústria aeronáutica e defesa, engenharia e construção, energia, bens de consumo, etc. Atualmente Dassault Systèmes é uma editora de *software* especializada em design 3D e *mock-up* digital 3D. Em 2015, a Dassault era a editora de *software* francesa líder em termos de faturamento e a segunda na Europa depois da SAP alemã. (SYSTÈMES, 2022)

Após a aquisição da Dassault Systèmes, o SolidWorks ganhou mais funcionalidades e capacidade de design. O *software* é, inclusive, utilizado pela indústria aeroespacial, devido sua capacidade de maximizar a performance e atender padrões de segurança. Adicionalmente, o programa também é muito utilizado para criação de sistemas mecânicos e elétricos, podendo ser usado para projetar maquinário, sistemas de resfriamento e produzir estimativas de custo de produção de projetos. O SolidWorks fornece, de maneira integrada, várias ferramentas para o desenvolvimento de diversos produtos no formato 3D, desde a criação até a fabricação, aliado com a tecnologia CAD. Tem como base, objetos sólidos, que podem ser modelados para a criação de outras variedades e diferenciações. (FEREGUETTI, 2018)

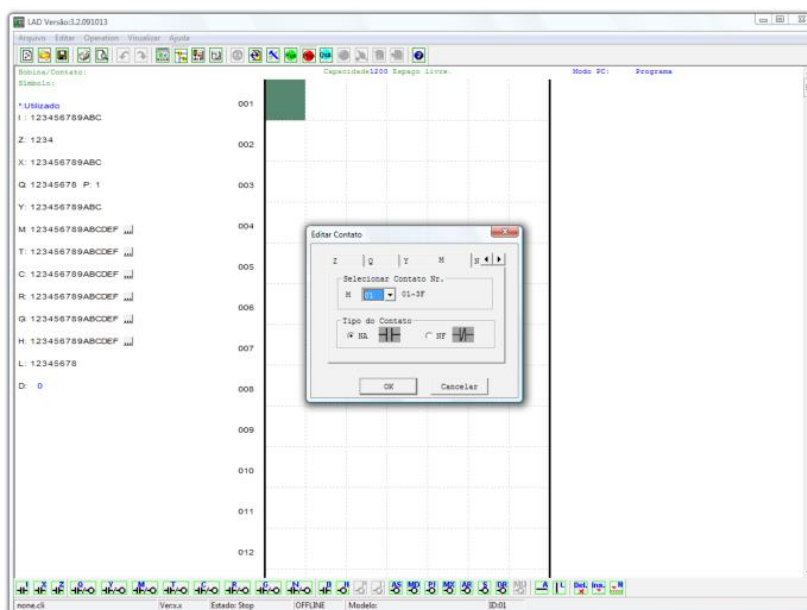
2.4.4 Clic02 Edit - WEG

O CLP Clic02 é um equipamento (*hardware*) que pode ser programado por meio de uma IHM (Interface homem máquina) incorporada no equipamento. Porém, a operacionalização desta função é bastante cansativa e não se torna viável para programas mais complexos, ou com grande quantidade de linhas de programação. A forma mais habitual de programar CLP é através do *software* gratuito Clic02 Edit, da WEG, que nos fornece dois modos de edição de linguagem: lógica ladder ou *Function Block Diagram* (FBD). A programação dessas linguagens é operacionalizada na tela do computador ao invés de uma tela de display IHM que só permite visualizar 2 linhas de programação. Assim, na tela do computador, o projetista tem à sua disposição muito mais recursos disponíveis e maior visualização das linhas programadas. Além disso, no computador a programação é orientada a objetos, isto é: programa-se com base na captura de um objeto desejado e seu arrasto para a área de programação.

O *software* também possui um modo de simulação que permite ao usuário colocar seus programas em funcionamento e testá-los antes de serem carregados no controlador propriamente dito.

Além disso, a interface do programa Clic02 Edit é bastante simplificada e intuitiva como pode ser visto na Figura 7. Na esquerda temos as informações de quais entradas, saídas, memórias e outros componentes do CLP estão sendo utilizados. Na parte inferior da tela estão dispostos todos os componentes utilizáveis do CLP, dentre eles: contatos abertos, contatos fechados, bobinas, temporizadores e contadores. Os componentes desejados podem ser alocados na parte central da tela por meio de sua captura (arrasta e solta) na parte inferior da tela, ou pelo uso de teclas de atalho.

Figura 7 – Interface do Clic02 Edit



Fonte: WEG (2022a).

2.4.5 TPW PCLINK - WEG

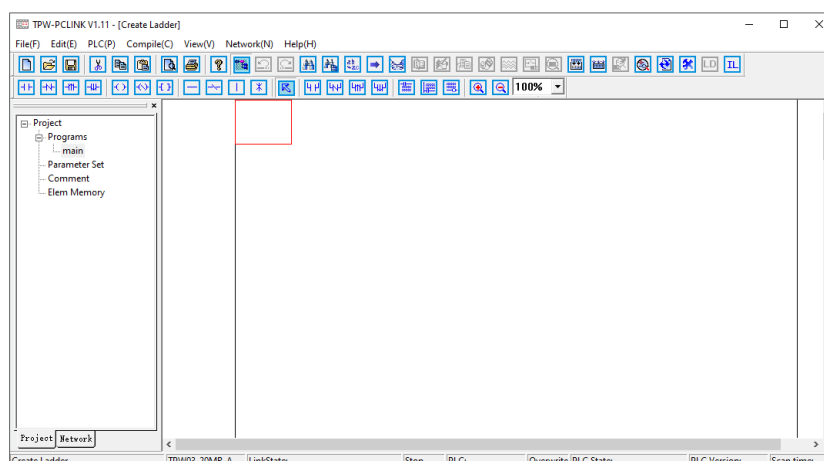
O TPW PCLINK é a ferramenta de programação responsável pela programação *ladder* dos CLPs da série TPW03 e TPW04. Podemos ver na Figura 8, que o *software* fornece interface de edição amigável, fácil de aprender, mesmo para pessoas inexperientes, sem o manual de edição, segundo WEG (2015).

Quando comparado com o CLIC02 Edit, o TPW PCLINK é muito mais completo, podendo exportar os comentários e os dados em Excel e Word para o programa por meio da opção copiar e colar. Pode também realizar a importação e exportação do programa através de um arquivo de texto. (WEG, 2015)

A comunicação do *software* com o CLP pode ser feita por meio de conexão via RS232, USB, RS485 e EN01.

Na visão do autor deste trabalho, apesar de mais completo, robusto e abrangente que o CLIC02, a linha TPW é ligeiramente menos amigável que o CLIC02 pois não possui IHM incorporada e sua simulação não é tão intuitiva/amigável quanto o CLIC02. Entretanto a questão da ausência da IHM pode ser resolvida via aquisição de acessório IHM específico para essa linha.

Figura 8 – interface do TPW PCLINK



Fonte: WEG (2015)

2.5 Prototipagem

Um protótipo é um modelo preliminar de algum projeto para teste de conceito ou até mesmo como prova de produto viável. O termo protótipo vem do grego *prótos* (primeiro) e *typos* (tipo), em tradução literal significa primeiro tipo ou primeiro modelo. (VASCONCELOS; PEREIRA, 2017)

Durante a fase de testes e planejamento de um produto, os protótipos são utilizados para aumentar a chance de sucesso do projeto. A ideia é que, com o feedback coletados a partir da utilização do protótipo, o produto final tenha mais sucesso entre o público. (RIBEIRO, 2005)

A partir do protótipo inicial outros modelos e aprimoramentos podem ser desenvolvidos até a validação final de um produto. Realizar a etapa de prototipagem reduz incertezas sobre a aparência, requisitos, usabilidade e até o desempenho do produto, podendo evitar prejuízos desnecessários. É essencial haver equilíbrio entre o nível de detalhes do protótipo e despesa, basicamente, uma boa relação custo-benefício. (RIBEIRO, 2005)

Podemos dividir os protótipos em duas categorias: de baixa a média fidelidade e de alta fidelidade.

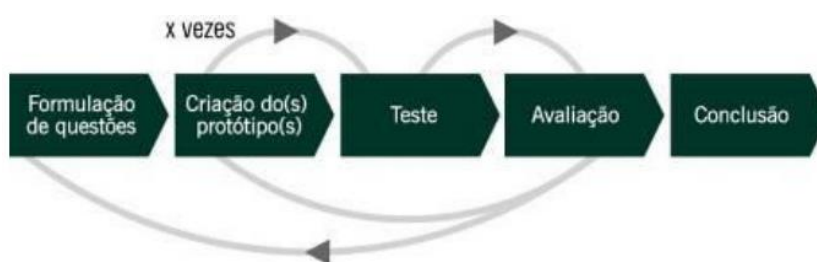
Os protótipos de baixa a média fidelidade são os mais simples de todo o processo e têm como objetivo consolidar a ideia e transformá-la num conceito de produto. Estes tipos de protótipos podem ir desde simples desenhos a modelos

físicos, focados em identificar as funções essenciais a implementar. Não tem como objetivo uma aparência próxima à do produto final, servindo apenas para verificar se o conceito é funcional, se os aspetos técnicos e os componentes são compatíveis. (VASCONCELOS; PEREIRA, 2017)

Já os protótipos de alta fidelidade, apresentam quase todas as funções e elementos estéticos que se pretende integrar no modelo final, sendo por isso mais caros do que os protótipos de baixa fidelidade. Mesmo que se assemelhem muito ao produto final, ainda são testes, devendo ser utilizados apenas para experimentos. Estes tipos de protótipos podem ser usados para demonstrações a alguns elementos do público-alvo. Dedicam-se, geralmente, na detecção de falhas e identificação de elementos a melhorar. (VASCONCELOS; PEREIRA, 2017)

Para o sucesso da etapa de prototipagem é necessário entender e aplicar algumas metodologias. A ideia de Vianna et al (2012) apresentada no trabalho de Vasconcelos e Pereira (2017) remete a um modelo cíclico onde a formulação da questão precede a criação do protótipo, que por sua vez é submetido a testes e avaliações a fim de obter uma conclusão sólida e objetiva, conforme Figura 9.

Figura 9 – Esquema do processo de Prototipação



Fonte: Vasconcelos e Pereira (2017).

Essa metodologia permite encontrar soluções para problemas complexos através de um processo de teste e validação constante no desenvolvimento de uma ideia.

2.6 Manufatura aditiva – Impressão 3D

A manufatura aditiva é um processo de fabricação por meio da adição de material na forma de camadas, com informações obtidas através de uma representação geométrica tridimensional, originado de um sistema CAD. Esse processo aditivo pode ser realizado a partir de diferentes materiais, permitindo a criação de peças para inúmeras aplicações. O processo de construção é quase todo automatizado e ocorre de maneira relativamente rápida, quando comparado aos meios tradicionais de fabricação. (VIGARANI, 2021)

Todos os sistemas de manufatura aditiva dependem de um modelo tridimensional dos objetos a serem fabricados. O formato *Standard Tessellation Language* (STL) é o mais utilizado atualmente, sendo gerado a partir de modelagem CAD 3D. Além da modelagem, é possível utilizar técnicas de scanners 3D, termografia, ressonância magnética, ultrassonografia 3D, fotografia, entre outros métodos, para obter o modelo CAD. (VIGARANI, 2021)

Com base na filosofia da indústria 4.0, onde a redução de custos e aumento da eficiência na produção fazem partes das vertentes do movimento, a fabricação através de impressão 3D tem um papel importante neste cenário. A fabricação por meio de técnicas de impressão 3D já tem capacidade de produzir em escalas tão pequenas como em bioengenharia, quanto em escalas tão grandes como construção civil. (PORTO, 2016)

À medida que a demanda por produtos sob medida e de fabricação personalizada aumentam, as impressoras 3D se destacam pela sustentabilidade, visto que os desperdícios são desprezíveis, pois não se usa mais material do que necessário na impressão. Nota-se aqui que a impressão 3D facilita a individualização e customização, ao contrário da fabricação em massa que favorece a repetição e a padronização. (PORTO, 2016)

Existem três tecnologias principais na área de impressão 3D, sendo que cada uma delas possuem qualidades, aplicações e custos distintos, sendo elas: modelagem por fusão e deposição, estereolitografia e sinterização seletiva a laser.

2.6.1 Modelagem por Fusão e Depósito

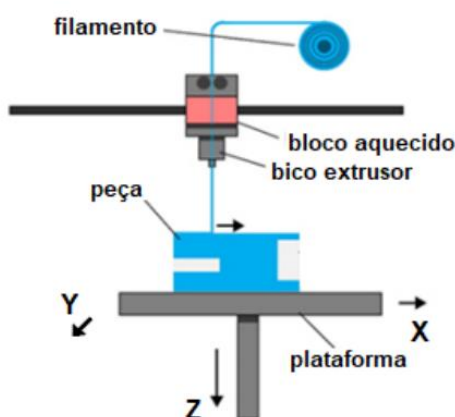
A tecnologia *Fused Deposition Modelling* (FDM) apresenta algumas vantagens em relação a outras técnicas de impressão, como: o menor desperdício de material e a menor necessidade de limpeza. Este tipo de impressão é mais utilizado para a fabricação de produtos menos exigentes, direcionados a atividades acadêmicas e produtos customizáveis para comercialização. (PORTO, 2016)

Esta técnica consiste no aquecimento de um filamento de material plástico, geralmente PLA (*Polylactic Acid*) ou ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), para que o mesmo fique num estado maleável para a conformação. Após o aquecimento o material é depositado pelo bico em uma mesa aquecida, no final de cada camada o cabeçote se movimenta para cima e inicia uma nova camada. (ARAUJO, 2016)

Neste processo, a mesa se move no eixo Y enquanto o cabeçote se move no eixo X e Z. Esse tipo de impressora pode ter variações no processo: a base se movimenta no eixo Z enquanto o cabeçote se movimenta nos eixos X e Y. Essas etapas são repetidas até formar o objeto 3D completo. (PORTO, 2016)

A seguir a Figura 10 apresenta um desenho com as principais partes de uma impressora do tipo FDM.

Figura 10 – Principais partes da impressora FDM



Fonte: Thomazetti (2019).

2.6.2 Software de fatiamento para impressão 3D

Através de um arquivo STL, os softwares de fatiamento atuam diretamente no processo de converter estes arquivos, em um código G, linguagem de programação com parâmetros para a movimentação da máquina. O programa tem a função de, literalmente, fatiar a peça em inúmeras camadas e definir as coordenadas que a impressora 3D deve seguir. (GOZZO, 2017)

Dentro deste programa é possível definir a velocidade com que a impressora deve trabalhar, a altura das camadas, a porcentagem de preenchimento da peça, temperatura do bico e da mesa de impressão, dentre outros inúmeros parâmetros. Os softwares de fatiamento com maior destaque são: Slicer3R, Cura e Simplify3D. (GOZZO, 2017)

O Cura3D é um programa gratuito e de código aberto, desenvolvido pela Ultimaker. Possui milhões de usuários em todo o mundo. O autor deste trabalho ressalta através de seus conhecimentos e experiências prévias, que este *software* possuiu alguns perfis pré-definidos que possibilitam uma introdução eficiente dos novatos ao mundo da impressão 3D. Além disso, possui mais de 200 configurações específicas que se adequam às mais variadas necessidades dos usuários.

2.7 Eletropneumática

Os primeiros registros do uso de ar comprimido aparecem nos anos de 2500 a.C. Nessa época eram fabricados foles e órgãos que essencialmente geravam sons baseado no escoamento do ar sob pressão em tubos com furos. Já no século I, Heron de Alexandria, um matemático grego, descreveu o uso de vapor ou vento para gerar energia e transportar objetos. (CYRINO, 2017)

Por volta de 1650, o físico alemão Otto Von Guericke foi um pouco mais longe. Ele inventou a bomba de vácuo e realizou diversos experimentos para comprovar a versatilidade da pneumática. Já nos anos de 1800, baseados nos estudos de Guericke, conseguimos constatar por exemplo, a invenção do compressor de ar, da broca pneumática, do martelo pneumático, máquinas que foram essenciais para a evolução da indústria. (CYRINO, 2017)

Ainda segundo Cyrino (2017), no final da década de 1960, os primeiros componentes pneumáticos controlados digitalmente começaram a entrar no mercado, revolucionado novamente a forma como estes equipamentos atuavam na indústria. Na atualidade, a maioria das máquinas modernas utilizam alguma forma de sistemas pneumáticos para cumprir determinadas funções.

2.7.1 Principais componentes do sistema pneumático

Um sistema pneumático possuiu inúmeros componentes, no entanto se destacam: compressor, unidade de condicionamento, válvulas e atuadores.

Compressores são máquinas destinadas a elevar a pressão de um certo volume de ar, até um determinado valor exigido na execução dos trabalhos ao qual o sistema foi projetado. Essencialmente podem ser separados em deslocamento positivo e deslocamento dinâmico. (RICHTER, 2013)

No primeiro caso, a elevação da pressão é conseguida com a redução do volume ocupado pelo gás. Inicialmente, uma certa quantidade de gás é admitida no interior de uma câmara de compressão, que então é cerrada e sofre redução de volume. Quando uma certa pressão é atingida, provoca a abertura de válvulas de descarga, o ar é empurrado para um tubo de descarga durante a contínua diminuição do volume da câmara de compressão. (RICHTER, 2013)

Já o deslocamento dinâmico, a pressão é obtida por meio de conversão de energia cinética em energia de pressão. O ar admitido é colocado em contato com impulsores de alta velocidade. Este ar é acelerado, atingindo altas velocidades, posteriormente, seu escoamento é retardado por meio de difusores, obrigando a uma elevação na pressão. (RICHTER, 2013)

Após a produção do ar comprimido, ele passa por um processo de beneficiamento, que consiste em: filtragem, regulagem da pressão e introdução de uma certa quantidade de óleo para a lubrificação de todas as partes mecânicas dos componentes pneumáticos. (HANNIFIN, 2001)

Uma duração prolongada e funcionamento regular de qualquer componente em um circuito pneumático dependem, do grau de filtragem do ar, da

isenção de umidade, da estabilidade da pressão de alimentação do equipamento e da lubrificação das partes móveis. (HANNIFIN, 2001)

Isto tudo é superado quando se aplicam os componentes de tratamento preliminar do ar comprimido: filtro, válvula reguladora de pressão e lubrificador, formando a unidade de condicionamento, Figura 11. (HANNIFIN, 2001)

Figura 11 – Unidade de condicionamento de ar



Fonte: FESTO (2019).

Para desenvolverem suas ações produtivas, os cilindros pneumáticos devem ser alimentados ou descarregados convenientemente, no instante em que desejarmos, ou em conformidade com o sistema programado. Estes comandos são coordenados por válvulas. (FESTO, 2019)

As válvulas, Figura 12, possuem diferentes funções, tamanhos e especificações. Portanto, para facilidade de estudo, as válvulas pneumáticas foram classificadas nos seguintes grupos: válvulas de controle direcional, válvulas de bloqueio, válvulas de controle de fluxo e válvulas de controle de pressão. Cada grupo se refere ao tipo de trabalho a que se destina mais adequadamente. (FESTO, 2019)

Figura 12 – Válvulas direcionais universais



Fonte: Adaptado de FESTO (2019).

Válvulas de controle direcional, têm como função, orientar a direção que o fluxo de ar deve seguir, a fim de realizar um trabalho proposto. Já as válvulas de bloqueio, impedem o fluxo de ar comprimido em um sentido determinado, possibilitando livre fluxo no sentido oposto. (HANNIFIN, 2001)

As válvulas de controle de fluxo são usadas quando é necessário diminuir a quantidade de ar que passa através de uma tubulação, e essa ação é muito utilizada quando é preciso diminuir a velocidade de um cilindro. Por fim, as válvulas de controle de pressão têm por função influenciar ou serem influenciadas pela intensidade de pressão de um sistema, podendo limitar a pressão de um reservatório, compressor, linha de pressão, etc. (HANNIFIN, 2001)

Os atuadores são dispositivos que convertem a energia do ar comprimido em trabalho. Nos circuitos os atuadores são ligados mecanicamente à carga, sendo assim, ao serem influenciados pelo ar comprimido, sua energia é convertida em força ou torque, que é transferido para a carga. (HANNIFIN, 2001)

Os cilindros são divididos em três grupos: lineares, rotativos e oscilantes. Os lineares, Figura 13, são constituídos de componentes que convertem a energia pneumática em movimento linear ou angular.

Figura 13 – Atuadores pneumáticos lineares



Fonte: Adaptado de FESTO (2019).

Já os cilindros do tipo rotativos, Figura 14, convertem a energia do ar em energia mecânica através de momento torsor contínuo. Os oscilantes, são similares aos rotativos, mas possuem um limitador no ângulo de trabalho. (HANNIFIN, 2001)

Figura 14 – Atuadores pneumáticos rotativo



Fonte: Adaptado de FESTO (2019).

Além das três categorias mencionadas, os cilindros também são diferenciados entre si por detalhes construtivos. Existem dois tipos de cilindros: simples efeito ou simples ação, duplo efeito ou dupla ação, com e sem amortecimento. Simples ação recebe esta denominação porque utiliza ar comprimido para conduzir trabalho em um único sentido de movimento, seja para avanço ou retorno. Já quando um cilindro pneumático utiliza ar comprimido para produzir trabalho em ambos os sentidos de movimento, diz-se que é um cilindro de dupla ação. (HANNIFIN, 2001)

2.7.2 Vantagens e desvantagens da pneumática/eletropneumática

Na engenharia é comum nos depararmos com várias possíveis soluções para um problema. Então, cabe ao responsável analisar os pontos fortes de cada uma das soluções encontradas e comparar com os pontos fracos. Por este motivo, serão abordadas a seguir, as vantagens e desvantagens do uso da pneumática na indústria, sob a ótica das ideias de Hannifin (2001).

As vantagens dos sistemas pneumáticos são:

Redução dos custos operacionais: a velocidade nos movimentos pneumáticos e a libertação do operário de operações repetitiva, possibilitam o aumento do ritmo de trabalho e de produtividade, com menor custo operacional.

Robustez dos componentes pneumáticos: esta característica é inerente aos controles pneumáticos, torando-os insensíveis a vibrações e golpes. Além disso, são resistentes a ambientes hostis.

Facilidade de implantação: pequenas modificações nas máquinas convencionais, aliadas à disponibilidade de ar comprimido, são os requisitos necessários para implantação dos controles pneumáticos.

Simplicidade de manipulação: os controles pneumáticos não necessitam de operários altamente treinados para sua manipulação.

Segurança: como os equipamentos pneumáticos envolvem sempre pressões moderadas, tornam-se seguros contra possíveis acidentes, tanto no pessoal, quanto no próprio equipamento.

Redução do número de acidentes: a fadiga é um dos principais fatores que favorecem acidentes, logo a implantação de controles pneumáticos reduz sua incidência.

Já as principais desvantagens dos sistemas pneumáticos segundo Hannifin (2001) são:

Qualidade do ar comprimido: necessita de uma boa preparação para realizar o trabalho proposto, remoção de impurezas, eliminação de umidade, caso contrário pode causar corrosão nos equipamentos, engates ou travamentos e maiores desgastes nas partes móveis do sistema.

Pouca força para tarefas pesadas: os componentes pneumáticos são normalmente projetados e utilizados a uma pressão máxima de 1723,6 kPa, por isso as forças envolvidas são pequenas se comparadas a outros sistemas. Assim, não é conveniente o uso de controles pneumáticos em operação de extrusão de metais

Controle de velocidade: velocidades muito baixas são difíceis de serem obtidas com o ar comprimido devido às suas propriedades físicas. Neste caso, recorre-se a sistemas mistos, hidráulicos e pneumáticos.

Poluição sonora: O ar comprimido gera muito barulho quando são efetuadas exaustões para a atmosfera. Esta poluição pode ser evitada com o uso de silenciadores nos orifícios de escape.

Pouca manobrabilidade: o ar é um fluido altamente compressível, portanto, é impossível se obterem paradas intermediárias e velocidades uniformes nos processos pneumáticos.

2.8 Sensores utilizados na automação

Sensores são equipamentos que respondem a um estímulo específico e o convertem em sinal elétrico. O sinal elétrico pode ser um pulso de tensão, ou corrente. Podemos ainda dividir os sensores em ativos ou passivos, onde o sensor ativo necessita de energia externa para seu correto funcionamento, enquanto os sensores passivos não precisam de fonte de energia externa, gerando um sinal elétrico diretamente como resposta a um estímulo. (FUHRMANN, 2017, p19)

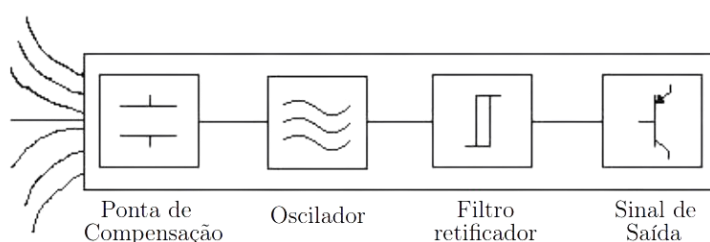
A seguir, serão abordados os aspectos principais dos sensores mais comuns em automação.

2.8.1 Sensor capacitivo

Os sensores de proximidade capacitivos são sensores ativos de presença projetados para operar gerando um campo eletrostático e detectando mudanças neste campo causadas quando um objeto se aproxima do sensor. Conforme pode ser visto na Figura 15, estes sensores são compostos de uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída. Na ausência de

um objeto, o oscilador está inativo. Porém, quando um objeto se aproxima, ele aumenta a capacitância do circuito da ponta capacitiva. Uma vez que a capacitância atinge um determinado valor, o oscilador é ativado e o circuito muda de estado, alterando o sinal de saída (MAZZAROPPI, 2007). Tal oscilação de sinal na presença ou ausência de corpo estranho, será utilizado para alimentar uma entrada do CLP e este, executar uma determinada ação.

Figura 15 – Diagrama esquemático de um sensor capacitivo



Fonte: Mazzaroppi (2007).

2.8.2 Sensor fotoelétrico

Um sensor fotoelétrico é um sensor ativo de presença que detecta um feixe de luz visível ou invisível, e responde a uma variação na intensidade de luz recebida. A intensidade luminosa é amplificada e modulada e é produzido um sinal elétrico de saída. O modo de detecção, que é o método com o qual um sensor envia e recebe a luz, é um dos critérios mais importantes na seleção de um sensor fotoelétrico. Sua escolha adequada agregará confiabilidade à detecção dos objetos desejados, rejeitando perturbações decorrentes de fatores ambientais, relacionados às condições nas quais o sensor encontra-se comissionado. (TURRA, 2018)

2.8.3 Sensor *reed-switch*

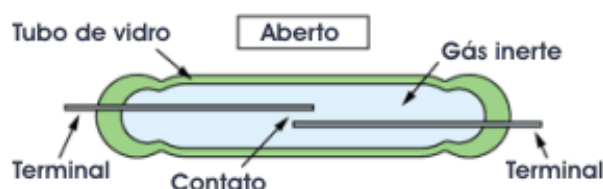
Tal componente, Figura 16, pode ser muito útil numa diversidade de aplicações mecatrônicas, robóticas e de automação. Ele consiste em dispositivos formados por um bulbo de vidro, no interior do qual existem lâminas flexíveis feitas de materiais que sofrem a ação de campos magnéticos. O bulbo de vidro é cheio com

um gás inerte de modo a evitar a ação corrosiva do ar sobre as lâminas, o que afetaria o contacto elétrico em pouco tempo. (BRAGA, 2011)

Existem quatro topologias para o *reed-switch*, sendo elas: SPST-NA (*Single Pole Single Throw*) normalmente aberto, SPST-NF (*Single Pole Single Throw*) normalmente fechado, SPDT (*Single Pole Double Throw*) saída intercambiável e, por fim, a topologia *Latch* que após comutado permanece inalterado mesmo após a retirada do campo magnético, até que um campo oposto seja induzido em seus terminais. (Nano Technology, 2007)

Para exemplificar o funcionamento deste sensor, vamos adotar a topologia onde as lâminas estão separadas e nenhuma corrente pode circular através do componente conforme a Figura 16. De forma simplificada ele opera como uma chave aberta. Aproximando um ímã permanente do dispositivo, a ação do campo magnético faz com que as lâminas se magnetizem e com isso se atraiam, nestas condições o contacto elétrico é fechado.

Figura 16 – Desenho esquemático do sensor *reed-switch*



Fonte: Braga (2011).

Os *reed-switches* comuns são dispositivos de baixa corrente, especificados para controlar correntes que não vão muito além dos 200 mA. Assim, nunca devemos usar esses componentes para controlar diretamente cargas de maior potência, como motores, solenoides, lâmpadas cujas correntes sejam maiores do que os valores indicados. Para que isso então possa ocorrer, temos que fazer com que tais sensores energizem reles auxiliares, cujos contatos suportem correntes mais elevadas.

2.9 Máquina envasadora de líquidos

Segundo Silva (2018), a revolução industrial impulsionou o enriquecimento da classe média, assim o luxo ocupou as festas da burguesia, sendo o vinho a principal bebida. A crescente demanda da bebida propiciou a sua produção em maior escala, e no final do século XIX o método Charmat, patenteada por Eugène Charmat.

A indústria de envasamento de água mineral, deu seus primeiros passos ao longo do século XIX. Devido as suas propriedades medicinais, eram vendidas em frascos, com o intuito de serem levadas para casa. Assim, com o desenvolvimento dos transportes, principalmente ferrovias, efetuou-se a abertura do comércio para os países vizinhos. (SILVA, 2018)

Com relação à cerveja, de acordo com Silva (2018), no final do século XIX, o francês Louis Pasteur descobriu o método da pasteurização, através de seus estudos relacionados ao fermento e micro-organismos, proporcionando à indústria maneiras mais eficientes de preservação do produto, e, através do alemão Carl von Linde, surgiu a refrigeração artificial.

Tais evoluções impactaram na fabricação da cerveja, e em 1892, a tampinha metálica foi patenteada por um irlandês nos Estados Unidos, William Painter, o que, aliado ao crescimento da indústria do vidro possibilitou a comercialização da cerveja em garrafas, permitindo a sua locomoção até as residências.

No Brasil, a produção de refrigerantes possui a maior demanda do mercado de bebidas, seguido pela produção de cervejas. Diante disso, este setor gera milhares de postos de trabalho ano após ano. A cadeia produtiva das bebidas industrializadas é composta pela fabricação, pelo fornecimento de insumos e pela distribuição do produto até o ponto de venda. Os principais recursos utilizados nesta indústria são silos de armazenagem, moinhos, filtros, tanques, caldeiras, trocadores de calor e esteiras. Assim, a produção possui um nível maduro de tecnologia. (SILVA, 2018)

As grandes empresas que produzem por linhas de envase com alta velocidade de enchimento de latas e garrafas, possuem poucas alternativas para escolha de fornecedores já que estas máquinas dispõem de tecnologia dominada por poucos fabricantes de atuação mundial. Atualmente as empresas que fabricam

envasadoras com maior representatividade no mercado, conhecidas como fornecedoras para as indústrias de bebidas que as utilizam são ZELGA, DELGO e CarbonaTech. O suprimento para as embalagens utilizadas é composto de garrafas de vidro, rótulos, tampas metálicas e latas de alumínio. As empresas líderes do setor de bebidas verticalizam sua demanda de rótulos, rolhas metálicas e uma parte dos recipientes. O envase pode ser feito em garrafas, latas ou barris. O canal de distribuição pode incluir os próprios centros de distribuição e contratos com empresas terceirizadas. (SILVA, 2018)

2.9.1 Mercado brasileiro de bebidas

Para Júnior et al. (2018) o mercado de bebidas no Brasil é caracterizado pela sua alta concentração de fabricantes e comerciantes do seguimento. Assim, existem grandes obstáculos para a inserção de novos concorrentes, principalmente devido à necessidade de se obter cadeias produtivas com demanda em larga escala, a fim de reduzir os custos, oferecendo preços competitivos para explorar as oportunidades de economias. Esta tendência de concentração é uma característica do mercado global do setor, cujas transformações ocorridas nos últimos anos resultaram em fusões, aquisições e licenciamentos de marcas entre companhias de atuação mundial, demonstrando o dinamismo.

A empresa que mais se destaca no mercado brasileiro de bebidas é a Ambev, fundada em 1999 através da fusão das companhias rivais, Cervejaria Brahma e Antarctica Paulista. Posteriormente após comprar a maior cervejaria americana em 2008, a Anheuser-Bush e se juntar à belga Interbrew, se tornou a maior empresa de produção e comercialização de bebidas do mundo, a AB Inbev.

Com amplo portfólio de produtos, é responsável pela produção de cervejas, refrigerantes, sucos, energéticos, isotônicos, água e chás das marcas mais conhecidas e consumidas no mundo, utilizando linhas de envase com alta velocidade de enchimento de latas e garrafas.

2.9.2 Controle de envase

O controle de envase pode ser dividido em quatro métodos, sendo que primeiro é o de medição gravimétrico, ou envase por peso, onde uma célula de carga digital ou analógica mede o peso da garrafa vazia e do conteúdo a ser envasado. A célula de carga possui *strain gauges* para este propósito, que detectam de forma precisa a mudança no peso durante o processo de envase. A vantagem das células de carga digitais é a comunicação simplificada com um CLP. (WEIGHTECH, 2018)

Para encher uma garrafa, a máquina de envase primeiro posiciona esta garrafa em uma plataforma ou a suspende pelo gargalo. Então, uma máquina pesa a garrafa vazia, enquanto se enche a garrafa, a célula de carga mede a mudança no peso total. Uma vez que o peso total pré-definido é atingido, o processo de envase faz a aferição do peso da garrafa, na sequência, ela é transportada para o sistema de fechamento. O envase por peso não é apenas altamente preciso, mas como também possui inúmeras vantagens. (WEIGHTECH, 2018)

O segundo método é através de sensor de nível. O equipamento é inserido na abertura da garrafa e esta é completada até o líquido atingir o sensor. Portanto, apenas produtos eletricamente condutores, ou seja, líquidos com um teor mínimo de sal, são adequados para este processo. O método do sensor de nível é a técnica de medição menos precisa com resultados dispersos para determinar a quantidade de envase, porque o volume do recipiente flutua muito, em particular, no caso de garrafas de vidro. Consequentemente, os sensores de nível são usados quase que exclusivamente para produtos baratos e condutores. Outra grande desvantagem é que o sensor entra em contato com o produto. (WEIGHTECH, 2018)

Já a terceira forma de controle é através da medição por volume, onde é detectada a quantidade de líquido que passa pela válvula de envase. Aqui, o volume do líquido na garrafa é medido de forma magneto-indutiva. Um campo magnético divide os íons do líquido que passa, produzindo uma tensão nos eletrodos de medição. Esta tensão pode ser medida, permitindo que a taxa de fluxo volumétrico seja calculada. Este processo só é adequado para líquidos condutores. Além disso, o equipamento de envase deve ser calibrado individualmente para cada líquido porque cada produto contém diferentes números de íons. (WEIGHTECH, 2018)

Por fim, medição do fluxo de massa que usa o princípio da força de Coriolis é a quarta maneira de controle. Aqui, o líquido vai para a garrafa através de dois tubos vibrantes e a força de Coriolis atuante no par de tubos gera uma mudança de fase nestas vibrações. Isso permite que a massa do líquido que passou pelos tubos seja calculada. Este método também é ideal para líquidos não condutores. Entretanto, ele é extremamente caro para comprar porque requer uma calibração demorada durante a produção do sensor. (WEIGHTECH, 2018)

3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Para validar o trabalho proposto, o processo de escolhas e decisões baseou-se na fundamentação teórica explorada, sendo que o desenvolvimento foi dividido em algumas etapas, sendo elas: definição dos *softwares* utilizados, estudo do caso original, ajustes e adaptações do caso original para que se torne viável sua construção, definição de materiais utilizados, elaboração do projeto mecânico, elaboração do projeto elétrico, manufatura e por fim os testes e validações. A seguir serão abordadas de forma detalhada cada uma dessas etapas.

3.1 Softwares escolhidos

O SolidWorks 2020 foi o *software* escolhido para a modelagem das peças do protótipo devido as experiências prévias que o autor possuiu com sua utilização.

O Cura 4.3 foi utilizado para fazer o fatiamento das peças que foram impressas em 3D. Além de ser gratuito, a escolha deste programa também se deu pela experiência previa do autor. A tecnologia de impressão 3D utilizada será abordada na sequência do texto.

Para a elaboração do projeto elétrico do protótipo, foi escolhido o Automation Studio 7.0 devido a sua superioridade acerca dos concorrentes, além da disponibilidade que o departamento acadêmico possuiu para a utilização deste *software*. Em paralelo ao Automation, foi utilizado o Clic02 Edit para programar o CLP.

3.2 Apresentação do caso original

Durante as aulas de Acionamento Industriais, ministradas pelo professor Dr. Eng. Plinio C. Filho, do curso de Engenharia Elétrica do IFSC Florianópolis, foi apresentado e utilizado o *software* Automation Studio como uma das ferramentas base da disciplina. O *software* oferece como apoio pedagógico, diversas máquinas virtuais em sua base de dados para que os alunos possam simular diferentes cenários da indústria. Diante disso, o professor planeja o semestre curricular, selecionando algumas máquinas que proporcionam o desejado e gradual nível de aprofundamento de conteúdo a desenvolver. Assim, de maneira mais eficiente, moderna e dinâmica,

ele explora conteúdo, linguagens e técnicas de simulação, a fim de elucidar pontos importantes na área de acionamentos industriais e aguçar a criatividade dos alunos, usando para isso a proposta pedagógica ABP.

Dentro da proposta pedagógica ABP utilizada, destaca-se a corrente de pensamento construtivista, onde o conhecimento do aluno é resultado da construção pessoal, enquanto o professor é apenas o mediador do processo de ensino-aprendizagem. Apresentando projetos como esse, o professor cria possibilidades para promover situações problema, permitindo o conflito intelectual e consequentemente o avanço das habilidades cognitivas, da estrutura de pensamentos e do raciocínio lógico de cada aluno.

Dentre todos os projetos apresentados na disciplina, a máquina escolhida como base de estudo para este trabalho é uma envasadora de garrafas. Ela possui como premissa, o recebimento de garrafas vazias e, a partir de então, realiza um processo eletromecânico de paradas para inserção de líquido, tampagem e despacho do produto.

3.3 Ajustes e adaptações do caso original

Com o intuito de minimizar os custos de implantação e operação, diminuição da complexidade e aumentar a segurança do protótipo construído, foram realizadas algumas mudanças e adaptações na máquina original estudada mediante o software Automation Studio 7.0.

Essas alterações trouxeram o protótipo para um cenário mais realista e próximo ao que os futuros alunos vão encontrar no mercado de trabalho. O detalhamento das alterações realizadas é descrito nos itens a seguir deste trabalho.

3.4 Definição dos materiais

A definição dos materiais e equipamentos no início do projeto foi importante para limitarmos as dimensões e funcionalidades do protótipo.

O CLP da linha CLIC02 da WEG foi o primeiro item selecionado para o projeto devido ao seu uso ser o mais rotineiro nas aulas das disciplinas de

acionamentos industriais dos cursos técnicos e engenharia elétrica, no entanto é possível utilizar qualquer outro CLP disponível no laboratório de acionamentos industriais do DAE (Departamento Acadêmico de Eletrotécnica) devido ao layout modular desenvolvido para o protótipo.

Na área de sensoriamento, optou-se pela utilização de sensor fotoelétrico, sensor capacitivo e sensor *reed-switch*. Desta forma, o aluno trabalhará com sensores de tipos diferentes e poderá analisar o impacto que cada tipo de sensor causa na máquina e na programação do CLP, otimizando o processo de aprendizagem.

Para a estrutura, optou-se por utilizar perfil de alumínio 2020. Este modelo de perfil possuiu uma ótima relação entre o seu peso e sua resistência. Também foi utilizado perfil 3030 para a fixação das válvulas e respectivas solenoides acoplados.

3.5 Projeto estrutural, mecânico e elétrico

No projeto de infraestrutura elétrica foi levado em consideração como os circuitos de força e comando seriam distribuídos ao redor da máquina para que não houvesse desperdício de material. Neste ponto, foi confeccionado e instalado o endereçamento na fiação elétrica e na placa de bornes e, então, todos os contatos dos componentes do painel, e dos sensores espalhados pela máquina, ficaram disponíveis e organizados para os usuários.

Com o objetivo de ser compacto e sem abrir mão das funcionalidades desejadas, foi necessário criar um projeto único e exclusivo para a estrutura do protótipo. Foi levada em consideração a estrutura da máquina, os encaixes dos sensores e a forma de fabricação de suportes e partes móveis.

O projeto elétrico foi sumariamente desenvolvido no Automation Studio 7.0 enquanto que para o projeto mecânico foi utilizado o SolidWorks 2020.

3.6 Manufatura e montagem da máquina

Para a montagem da estrutura, foi utilizado perfil de alumínio 20x20 como parte principal da máquina. Os suportes para sensores e acabamentos, foram manufaturados com o material PLA, através da impressora 3D Creality Ender 3.

Utilizou-se este modelo de impressora devido a disponibilidade que o autor possuiu. Além disso, a área de impressão deste equipamento é de 220 mm x 220 mm x 250 mm, tornando esta impressora ideal para o projeto. Este equipamento faz o uso da técnica FDM para realizar a confecção de objetos tridimensionais.

A fase seguinte, compreendeu a montagem elétrica e mecânica do protótipo. Na parte mecânica, foram fixados os sensores, suportes, esteira e os cilindros pneumáticos. Na montagem elétrica, foram executadas todas as conexões e passagem de fiação até a caixa de bornes.

As instalações do IFSC Florianópolis foram essenciais nesta parte do trabalho pois a etapa de corte do perfil de alumínio foi realizada em parceria com o laboratório da mecânica. A montagem elétrica ocorreu no laboratório de acionamentos industriais, supervisionada pelo professor orientador.

3.7 Testes e validação

Para a segurança dos envolvidos e dos equipamentos implementados no protótipo, a etapa de testes e validações ocorreu no laboratório de acionamentos industriais do IFSC Florianópolis.

Nesta fase foram testados de forma isolada, todas as etapas da máquina e, para isso, foram desenvolvidas algumas versões de programações *ladder* destinadas aos testes. Além disso, testes de confiabilidade das conexões elétrica e de sobrecarga foram executados a fim de validar a segurança implantada no projeto. O principal objetivo foi comprovar que a máquina didática estava segura para uso frequente nas aulas.

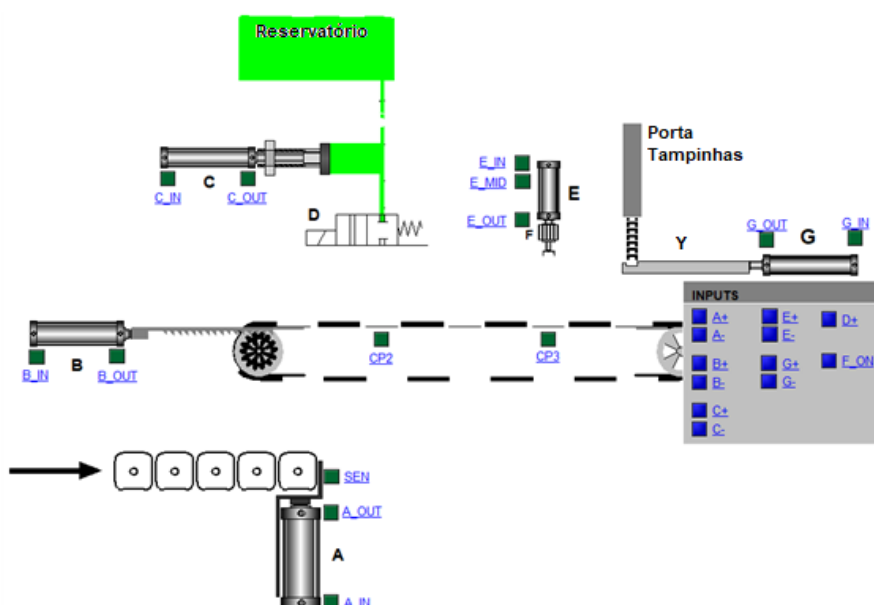
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como premissa, apresentar o desenvolvimento do presente trabalho. Será abordado de forma detalhada o estudo do caso original, os ajustes realizados para tornar viável a construção do caso original, todo o detalhamento dos projetos mecânicos e elétricos, além da manufatura e dos testes envolvendo o protótipo.

4.1 Estudo do caso original

A máquina inicia seu funcionamento a partir do recebimento de garrafas vazias por meio de um tipo de esteira que não está contida no problema, porém é representada pela seta preta, Figura 17. A partir da entrega destas garrafas vazias, há o início da programação da máquina.

Figura 17 – Layout da máquina virtual de envasamento de garrafas



Fonte: Adaptada de Automation Studio version 6.0.

O **cilindro A** tem como função empurrar a garrafa vazia para a esteira e retornar para esperar a próxima. Este processo se repete conforme as demais funcionalidades da máquina ocorreram. A partir da entrega do **cilindro A**, o **cilindro**

B tem a função de movimentar a esteira, enviando a garrafa vazia até o primeiro sensor contido no processo, denominado **CP2**.

Após parar em **CP2**, o recipiente pode ser preenchido com o conteúdo do reservatório, representado pela cor verde. Simultaneamente, o **cilindro C** injeta líquido com a liberação dele para a garrafa por meio da **eletroválvula D**. Com a conclusão do envase, a esteira leva o recipiente até o sensor **CP3**, e tanto o **cilindro C** quanto **eletroválvula D** retornam ao seu estado original.

Chegando ao último estágio, ocorre o processo de selagem da garrafa por meio de uma tampa rosqueável. Este processo consiste na atuação do **cilindro G**, acoplado a um **braço mecânico Y**, entregar a tampa, armazenada em um magazine, ao **cilindro E**, que por sua vez, desce até a boca da garrafa para que o **motor F** possa ser acionado, realizando o fechamento da garrafa e finalizando o processo de envase de uma unidade. O cilindro E possui três sensores acoplados a ele: **E_IN** que é acionado quando o cilindro está totalmente recolhido, **E_MID** é acionado em uma posição intermediária, por fim, **E_OUT** é sensibilizado quando o cilindro está totalmente esticado.

A partir do processo enunciado acima, há a repetição conforme programação da máquina, ou seja, é possível manter a máquina em funcionamento contínuo para que todas as etapas sejam executadas de forma simultânea, otimizando a produção.

4.2 Apresentação do modelo protótipo

Com base na máquina original, desenvolveu-se um modelo protótipo, similar, o qual possibilita potencializar no discente, o desenvolvimento de competências relevantes na área de automação, que são: acionamentos elétricos, circuitos eletropneumáticos, programação em *ladder* e, especialmente, lógica.

Não foram usadas garrafas, tal como no modelo original, mas sim potes descartáveis tampáveis, com capacidade de 250ml. O motivo dessa alteração se deu pelo fato do alto custo e complexidade envolvidos na etapa de selagem da garrafa. Além disso, um dos itens mais impactantes para o projeto, referente a complexidade e custo, refere-se a etapa de fechamento do pote, onde eram utilizados dois cilindros

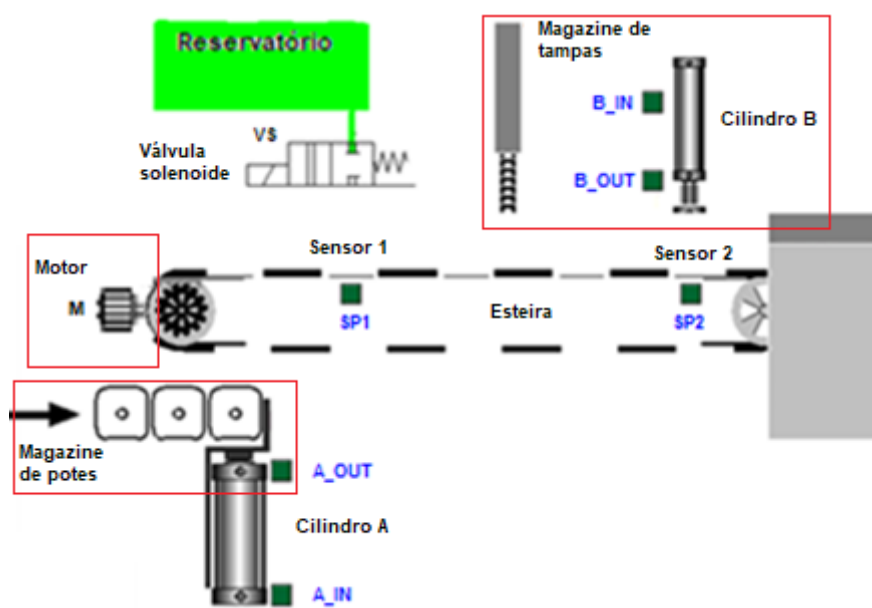
pneumáticos e um motor. Optou-se por um sistema com apenas um cilindro que pressiona as tampas que caem por gravidade na parte superior dos potes. Tais tampas caem em cima dos potes através de uma rampa.

Na etapa de envase, o cilindro C foi removido, restando apenas a eletroválvula D, que é responsável pela liberação do líquido. O controle do volume de líquido transferido para o pote, foi implementado através de programação, sendo possível alterar facilmente o volume inserido nos potes.

Por fim, a etapa de movimentação da esteira também foi atualizada. No projeto original foi utilizado um cilindro pneumático para esta tarefa, enquanto que no protótipo, o movimento da esteira será conduzido pelo motor B.

Para deixar a associação dos nomes com os objetos mais direto, os nomes dos elementos foram alterados. Os cilindros ficaram com os índices A e B, o motor é identificado por M, a válvula solenoide responsável por controlar o fluxo de líquido, recebeu o nome de VS, e por fim, os sensores de posição ficam com o índice SP1 e SP2. O novo layout do protótipo pode ser visto na Figura 18, sendo que as principais mudanças estão marcadas em vermelho.

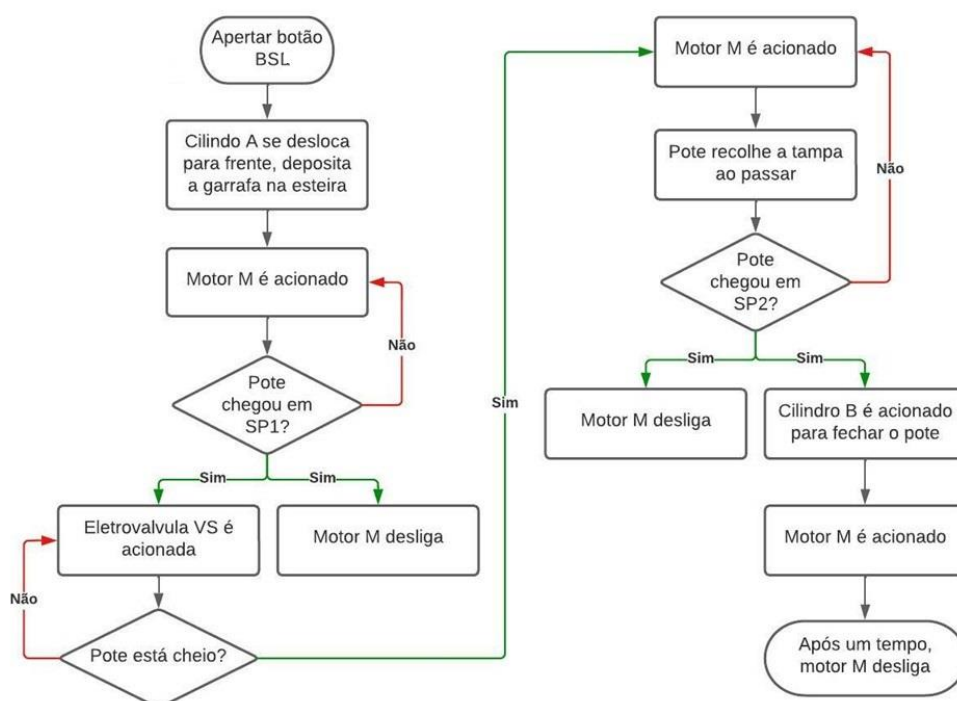
Figura 18 – Atualização do *layout* da máquina envasamento de líquidos



Fonte: Adaptada de Automation Studio version 6.0.

Ainda visando a redução de custos, foi decidido utilizar a infraestrutura de CLPs e botoeiras já existente no laboratório de acionamentos industriais. Em resumo, a máquina não possuiu esses equipamentos, sendo necessário a utilização das bancadas como plataformas de apoio. Esta ideia também contribuiu para o aumento da segurança do projeto devido ao alto grau de proteção que as bancadas do laboratório possuem. A seguir, na Figura 19, é apresentado o fluxograma simplificado do funcionamento do protótipo.

Figura 19 – Fluxograma das etapas de funcionamento do protótipo

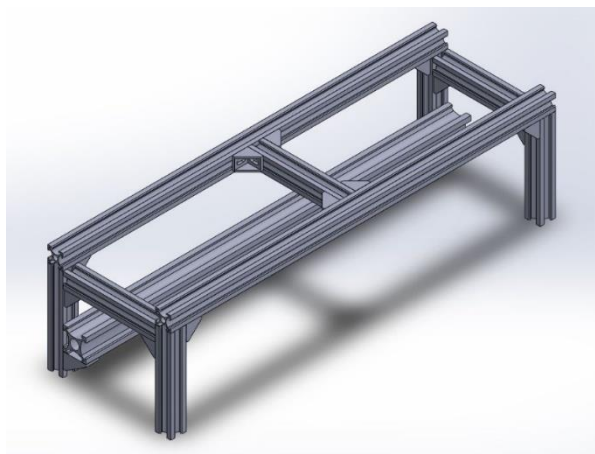


Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3 Projeto estrutural e mecânico

Após a definição dos equipamentos utilizados no protótipo, foi possível desenhar a estrutura da máquina com o auxílio do SolidWorks 2020 conforme pode ser visto na Figura 20.

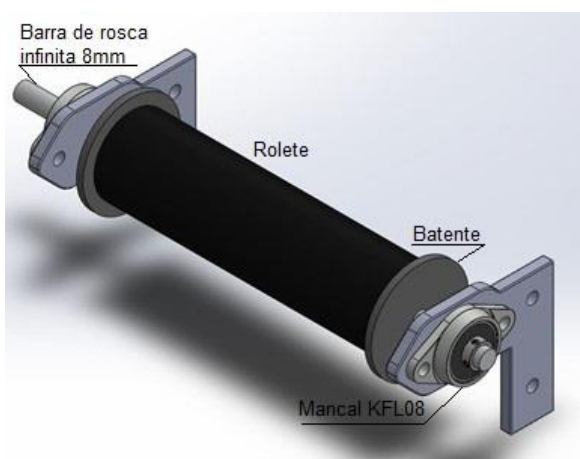
Figura 20 – Estrutura principal do protótipo



Fonte: Elaboração própria (2022).

O sistema de tração da esteira, que pode ser visto na Figura 21 à seguir, consiste em um rolete encaixado em uma barra de rosca infinita de 8mm de diâmetro. Nas extremidades há uma espécie de batente para que a esteira não saia do eixo central. Além disso, há mancais do tipo KFL08 para fazer o apoio do sistema. Por fim, duas aletas foram projetadas para serem acopladas no perfil 2020 de alumínio.

Figura 21 – Sistema de tração da esteira

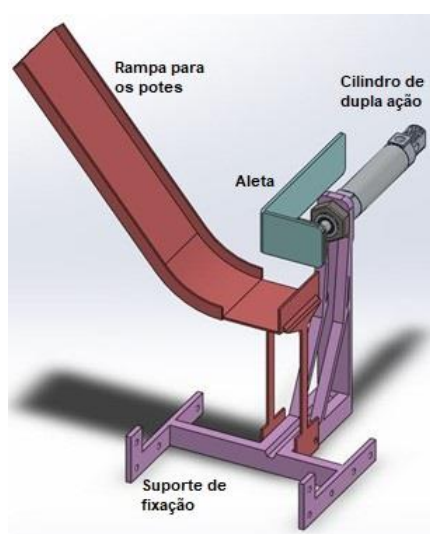


Fonte: Elaboração própria (2022).

Para que os potes possam chegar na esteira, foi desenvolvido o sistema de três peças que pode ser visto na Figura 22. Para facilitar a visualização e a montagem do projeto, cada parte desse sistema possui uma cor diferente no *software*.

Os potes ficam enfileirados na rampa vermelha, quando o recipiente chegar na posição correta, o cilindro é acionado e o empurra até o início da esteira. Esta rampa é fixada no suporte lilás junto com o cilindro de dupla ação. A terceira peça desse sistema é a aleta, em verde claro, ela possuiu esse desenho para poder empurrar apenas um pote por vez.

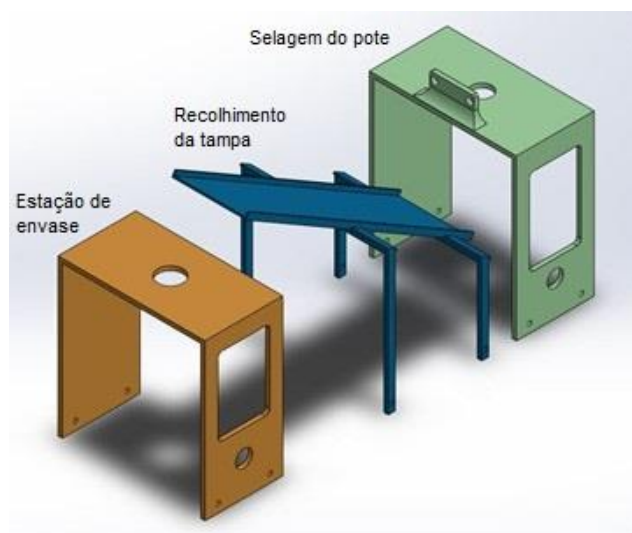
Figura 22 – Sistema para colocar pote na esteira



Fonte: Elaboração própria (2022).

Existem três etapas que ocorrem em cima da esteira, são elas: envase do líquido, recolhimento da tampa e selagem do pote. Para cada uma das etapas, foi desenhada uma estação, como pode ser visto na Figura 23. Cada elemento foi desenhado com uma cor diferente apenas para facilitar visualização.

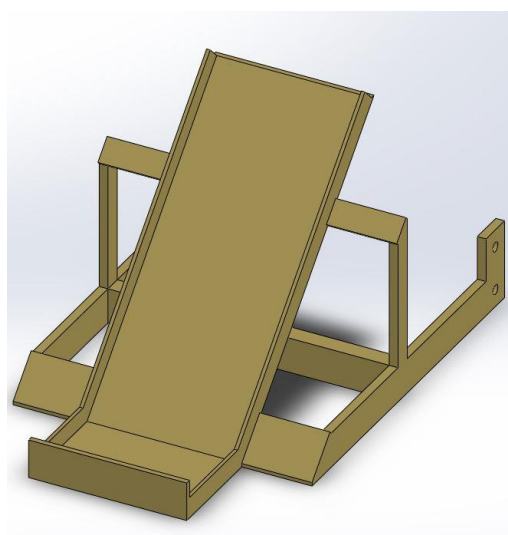
Figura 23 – Estações de envase, recolhimento da tampa e selagem do pote



Fonte: Elaboração própria (2022).

Após o pote passar por todas as etapas, ele vai sair da esteira e ser depositado em uma rampa. A peça da Figura 24 foi projetada para acomodar um pote na sua base inferior e dois potes na rampa.

Figura 24 – Rampa para depositar os potes envasados

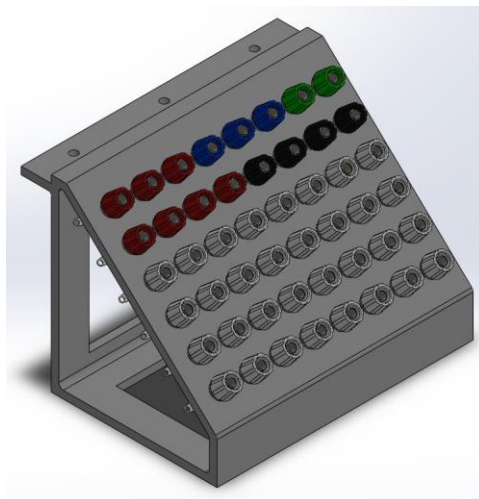


Fonte: Elaboração própria (2022).

A placa de bornes tem uma função fundamental neste protótipo, pois é nela que todos os contatos elétricos da máquina ficarão acessíveis de maneira segura para

os usuários. A peça foi projetada para acomodar 40 bornes, sendo que os contatos de força, 220V e 24V, possuem mais de um borne de conexão para facilitar a montagem e o acesso à energia. Com isso os bornes de força não ficam super utilizados. A placa pode ser observada na Figura 25.

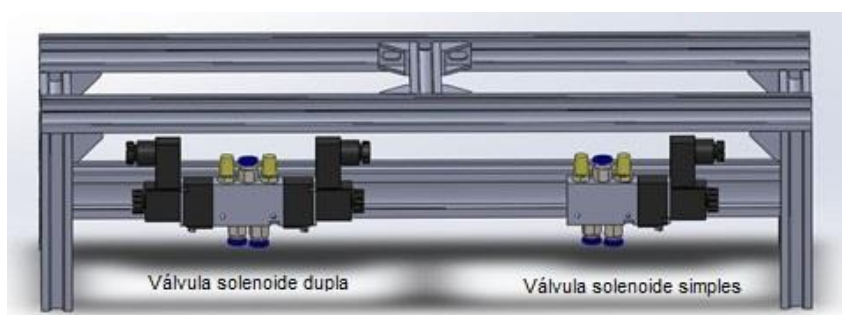
Figura 25 – Placa de bornes



Fonte: Elaboração própria (2022).

As válvulas solenoide do sistema pneumático foram alocadas na parte inferior da estrutura do protótipo como pode ser visto na Figura 26. Foi utilizado um perfil 3030 de alumínio para acoplar as válvulas solenoide. Para fixar o perfil 3030 foi projetado uma cantoneira específica para unir este perfil com o modelo 2020 da estrutura principal do protótipo.

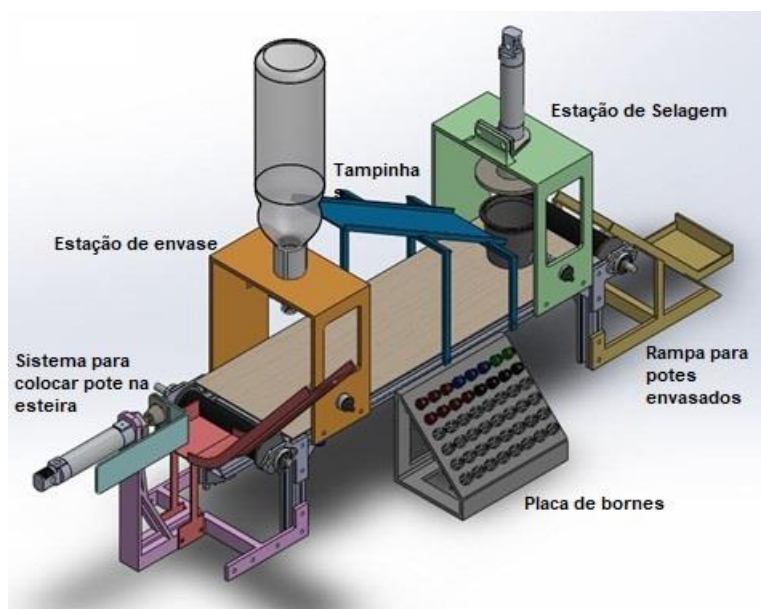
Figura 26 – Detalhe da fixação das válvulas solenoide



Fonte: Elaboração própria (2022).

Por fim, a Figura 27 apresenta a montagem completa do protótipo. Nele é possível identificar que uma garrafa será utilizada como reservatório de líquido.

Figura 27 – Projeto do protótipo de envasadura de líquidos



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.4 Projeto elétrico

Para o desenvolvimento do projeto elétrico do protótipo, foi utilizado o *software* Automation Studio 7.0. Inicialmente foram definidas as variáveis de entrada e saída da máquina, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das variáveis de entrada e saída do protótipo

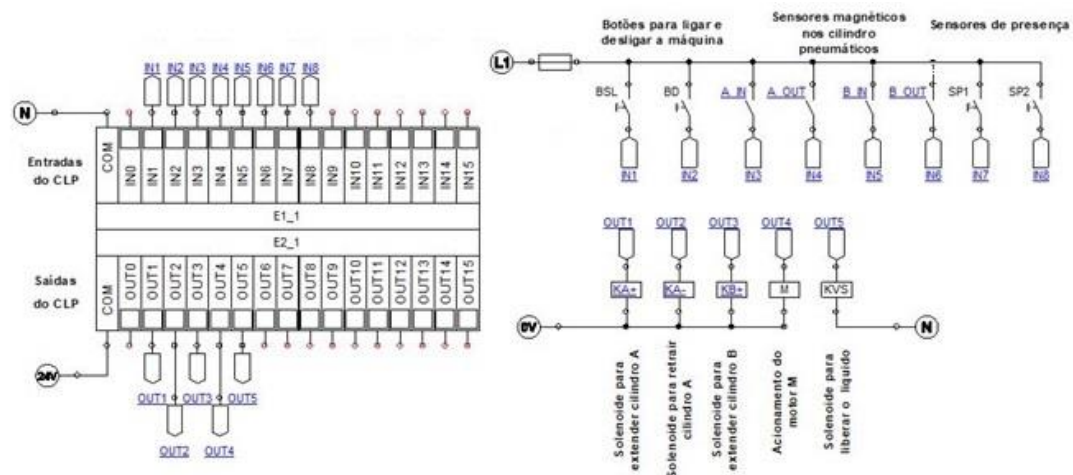
VARIÁVEIS DE ENTRADA		
Real	Imaginária	Descrição do funcionamento
BSL	IN1	Botão que comanda a sequência livre de potes
BD	IN2	Botão que desliga a máquina
A_IN	IN3	Sensor que identifica a retração do cilindro A
A_OUT	IN4	Sensor que identifica a expansão do cilindro A
B_IN	IN5	Sensor que identifica a retração do cilindro B
B_OUT	IN6	Sensor que identifica a expansão do cilindro B
SP1	IN7	Sensor que identifica presença de pote à ser envasado
SP2	IN8	Sensor que identifica pote à ser lacrado
VARIÁVEIS DE SAÍDA		

Real	Imaginária	Descrição do funcionamento
A+	OUT1	Energiza a solenoide para expandir o cilindro A
A-	OUT2	Energiza a solenoide para retrainr o cilindro A
B+	OUT3	Energiza a solenoide para expandir o cilindro B
M_ON	OUT4	Liga o motor B para movimentar a esteira
VS_ON	OUT5	Energiza a solenoide para liberar e interromper o líquido

Fonte: Elaboração própria (2022).

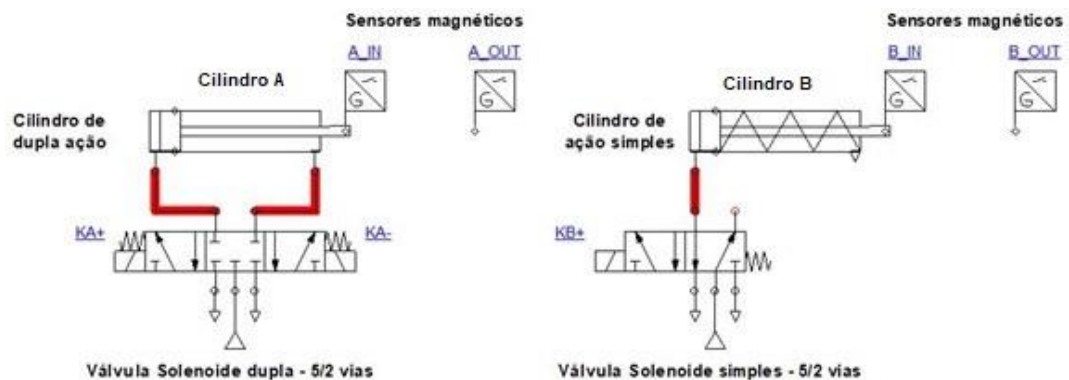
Com base na declaração de variáveis, foi montado o circuito do comando do protótipo conforme a Figura 28. Além disso, foi desenvolvido o circuito dos atuadores eletropneumáticos conforme Figura 29.

Figura 28 – Circuito de comando do protótipo



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 29 – Circuito eletropneumático



Fonte: Elaboração própria (2022).

A fim de adicionar um grau a mais de complexidade para os futuros usuários, nenhum borne possuiu identificação. Com isso, a ideia é de que o usuário tenha que realizar testes de continuidade para montar o mapa dos bornes. O mapa oficial da disposição dos bornes que ficará, estrategicamente, de posse do professor. Há quatro bornes sem uso que, futuramente, podem ser utilizados para instalar novos recursos no protótipo.

A programação *ladder* desenvolvida para o protótipo, é bastante compacta visto que algumas funcionalidades do caso original foram removidas. Para a programar o CLP, foi utilizado o Clic02 Edit. Devido aos testes e validações desenvolvidos no Automation Studio, a passagem da programação *ladder* para o software da WEG foi bastante simples.

4.5 Manufatura e montagem

Após a conclusão dos projetos, deu-se início a fase de construção propriamente dita. Através do método FDM de impressão 3D, foi possível criar peças únicas para o protótipo. Nesta etapa foi utilizado o *software* de fatiamento Cura 4.3. Nele é possível variar as configurações de impressão para que se obtenha maior rigidez em alguma área específica, ou para reduzir a quantidade de material utilizado. As configurações principais de impressão estão descritas na Tabela 2.

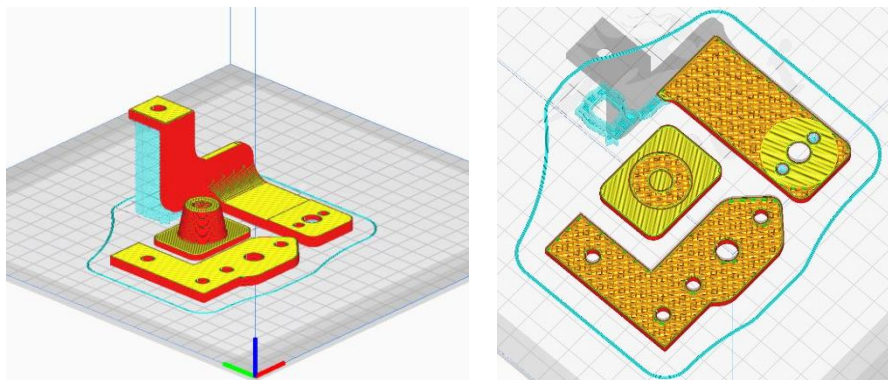
Tabela 2 – Configurações básicas utilizadas na impressora 3D

Parâmetro	Valor
Altura de camada	0,28mm
Densidade do preenchimento	20%
Número de paredes	2
Temperatura do bico	200 °C
Temperatura da mesa	60 °C
Velocidade de impressão	50 mm/s

Fonte: Elaboração própria (2022).

Com os devidos parâmetros ajustados no *software* Cura 4.3, o resultado final das peças pode ser visto na Figura 30.

Figura 30 – Resultado da simulação de fatiamento através do Cura 4.1



Fonte: Elaboração própria (2022).

Após definidos os parâmetros de impressão, a estrutura do protótipo foi impressa em plástico PLA e montada conforme o projeto proposto, como pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Montagem da estrutura em PLA do protótipo



Fonte: Elaboração própria (2022).

Após a montagem da estrutura, foram impressas as estações de envase, recolhimento da tampa e selagem do pote. A impressão das peças do sistema de tração da esteira e sua montagem também foram executadas na sequência. Essas peças culminaram na montagem preliminar do protótipo, como pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – Montagem da parte estrutural do protótipo



Fonte: Elaboração própria (2022).

Com a montagem preliminar concluída e aprovada, foi iniciado o processo de montagem da estrutura final em alumínio. Para tal etapa, obtivemos apoio de infraestrutura por parte do laboratório de Máquinas Operatrizes (MOP) do Departamento Acadêmico de Metal Mecânica (DAMM). Nele foi possível utilizar a serra fita, para cortar de forma precisa e rápida o perfil de alumínio.

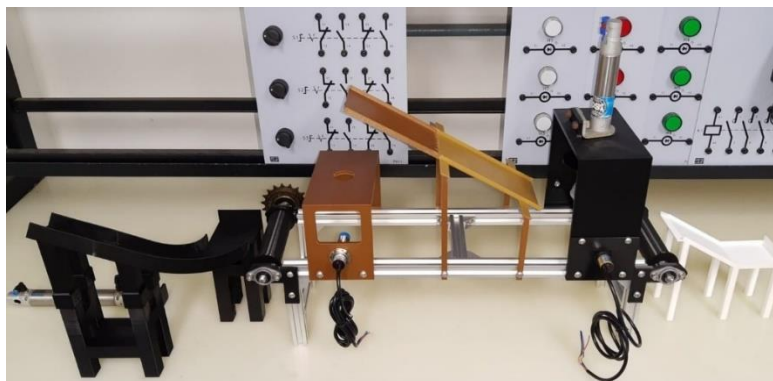
Com a montagem da estrutura final concluída, Figura 33, foi possível instalar alguns periféricos para testar os encaixes Figura 34.

Figura 33 – Estrutura final do protótipo



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 34 – Montagem preliminar do protótipo



Fonte: Elaboração própria (2022).

A seguir, na Figura 35 temos a montagem completa da placa de bornes, que será o meio de comunicação/interligação entre os componentes da máquina com as plataformas/equipamentos de ensino do laboratório de acionamentos industriais do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Figura 35 – Montagem da placa de bornes



Fonte: Elaboração própria (2022).

Algumas atualizações de peças ocorreram durante a montagem, em prol do design mais funcional possível. A montagem final pode ser vista na Figura 36.

Figura 36 – Montagem final do protótipo



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.6 Testes e validações do protótipo

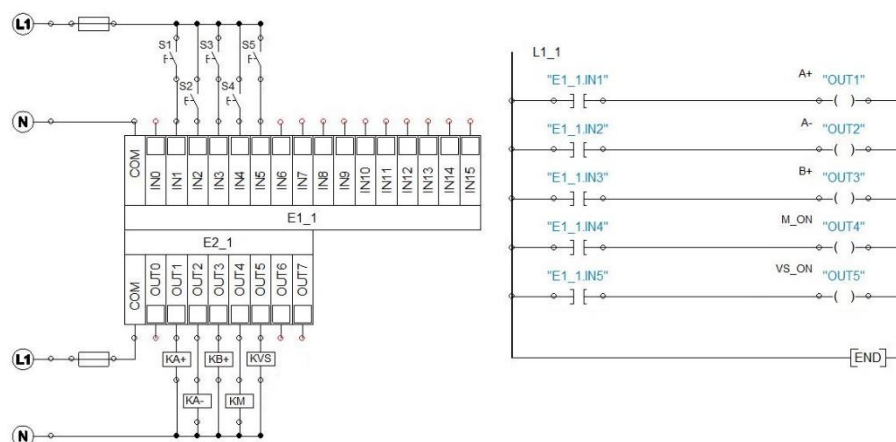
Utilizando o Laboratório de Acionamentos Industriais do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica do IFSC, campus Florianópolis, foram realizados os testes e validações no protótipo. Foram testados de forma isolada cada componente e, por isso, foi necessário desenvolver uma programação *ladder* simplificada destinada aos testes, Figura 37. Para a validação final do desenvolvimento do protótipo, foi utilizado a programação *ladder* completa apresentada no item 4.4.

4.6.1 Testes iniciais

Inicialmente foram testados os sensores de posição, SP1 e SP2, sensores magnéticos do cilindro A, A_IN e A_OUT, os sensores magnéticos do cilindro B, B_IN e B_OUT. Para realizar o teste, os sensores foram conectados à uma entrada do CLP. Em seguida, foram sensibilizados individualmente para comprovar o seu correto funcionamento.

Os atuadores, por sua vez, foram conectados à uma saída do CLP, que através das linhas de código da Figura 37, o cilindro A, cilindro B, motor M e a válvula solenoide VS, foram acionados. No diagrama, o motor M está representado por um contator, porém vale salientar que o acionamento desse motor ocorre de forma direta através do CLP. Isso só é possível devido as capacidades de corrente de 8A por ponto para carga resistiva e 4A por ponto para carga indutiva.

Figura 37 – Diagrama e programação *ladder* para testes simplificado dos atuadores



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para verificar a confiabilidade das conexões elétricas, foram executados testes de continuidade elétrica, com o auxílio de um multímetro, e testes de resistência mecânica das conexões, via tracionamento dos cabos e manipulação repetida de esforço transversal e longitudinal. Chegamos aos resultados satisfatórios esperados com tais testes.

4.6.2 Validação final

Para a validação final do protótipo, foi utilizada a programação desenvolvida. Também todos os aspectos mecânicos e elétricos foram avaliados nesta etapa. O maior problema encontrado foram os ajustes mecânicos, no que diz respeito a distância de sensor, altura dos elementos e posição dos potes na esteira.

O ciclo proposto para o processo de envase foi repetido inúmeras vezes a fim de encontrar falhas no projeto.

Os testes realizados foram bem sucedidos e auxiliaram na evolução dos ajustes finos do protótipo, tais como: força dos cilindros, tempo de acionamento do motor e o tempo para envazar os potes, possibilitando que os futuros usuários tenham uma melhor experiência com o com o mesmo.

4.7 Custos do projeto

A seguir na Tabela 3 há um descritivo de cada item que foi utilizado juntamente com o seu preço. O custo base foi obtido no mercado a tempo da escrita desse trabalho, podendo variar consideravelmente a época de sua leitura.

Tabela 3 – Principais materiais utilizados para a construção do protótipo

Componente	Quantidade	Custo total
Perfil de alumínio 2020	3 metros	R\$ 162,00
Perfil de alumínio 3030	0,5 metros	R\$ 30,00
Parafuso Allen M5 x 10mm	70	R\$ 42,00
Porca martelo T M5 série 20	70	R\$ 54,00
Cantoneira para perfil 2020	20	R\$ 58,90
CLP Clic02 CLW-02 20HR-D	1	R\$ 1590,00
Unidade expansão CLP Clic02 CLW-02 8ER-D	1	R\$ 899,00
Sensor fotoelétrico	1	R\$ 54,80
Sensor capacitivo NPN	1	R\$ 89,90
Sensor reed-switch	2	R\$ 9,90
Cilindro pneumática de dupla ação (Festo)	1	R\$ 420,00
Cilindro pneumática de ação simples (Festo)	1	R\$ 380,00
Válvula solenoide simples 5/2 vias – MFH-5-1/8	1	R\$ 490,00
Válvula solenoide dupla 5/2 vias – JMFH-5-1/8	1	R\$ 550,00
Válvula solenoide simples entrada de água	1	R\$ 32,55
Sensor magnético SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M12	4	R\$ 1.200,00
Bobina Para Válvula Solenoide Festo Msfg-24/42 - 50/60	3	R\$ 540,00
Bloco distribuidor FR-8-1/8	1	R\$ 390,00
Motor CC 24V 60 RPM	1	R\$ 76,90
Mancal KFL08	4	R\$ 46,93
Polia GT2 20 dentes	2	R\$ 23,90
Correia GT2 6mm alma de aço	2 metros	R\$24,50
Filamento PLA – impressão em 3D	3 kg	R\$ 383,70
TOTAL		R\$ 7.693,68

Fonte: Elaboração própria (2022).

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse protótipo didático foi realizado como um trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica, com o foco em aperfeiçoar o ensino aprendizagem na disciplina de automação industrial do IFSC Florianópolis. Serviu também como grande desafio pessoal ao próprio autor do presente trabalho, instigado pela estratégica e benéfica provocação pedagógica do orientador, que usa como rotina em suas aulas a Aprendizagem baseada em Projetos (ABP).

O objetivo relacionado ao aprofundamento no estudo do estado da arte sobre automação de processos produtivos industriais, bem como, processos de envasamento, controladores lógico programáveis, simulação computacional por meio do software Automation Studio 7.0 e protótipos acadêmicos, foi concluído com sucesso. Ainda como objetivo atingido, foram elaborados os requisitos de funcionamento elétrico e mecânico desejados bem como a elaboração dos respectivos projetos. Este desenvolvimento ocorreu após a definição dos materiais e do CLP.

A confecção da estrutura do protótipo ocorreu conforme o planejado mesmo havendo grandes desafios na concepção da máquina devido a intenção do autor em executar tal protótipo como réplica da máquina virtual explorada em sala de aula. Os testes realizados mostraram que o protótipo é funcional e confiável, podendo ser utilizado tanto por professores quanto por alunos, sendo de grande relevância para a aprendizagem e fixação do conteúdo teórico/prático estudado em sala de aula.

Para projetos futuros, sugere-se a concepção de uma nova forma de colocar as tampas em cima do pote, visando aumentar a complexidade do protótipo. Sugere-se também, a expansão das dimensões da esteira para que os processos fiquem mais fáceis de serem visualizados e novas etapas possam ser inseridas, como por exemplo um teste de qualidade com possibilidade de expurgo do pote defeituoso. Outra sugestão seria a inserção de chaves cuja manipulação inseririam defeitos nos circuitos elétricos, ocasionando ausência de funcionamento de algum componente, ausência de energia em alguma parte do circuito. Tal situação enriquece muito o aprendizado, pois a descoberta de defeitos exige um viés diferenciado de comportamento intelectual do aluno.

REFERÊNCIAS

ACCEPT. **As várias fases da revolução industrial**. Maio, 2019. Disponível em: <https://www.accept.pt/as-varias-fases-da-revolucao-industrial/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

ALFACOMP. **CLP - O que é e como funciona o Controlador Lógico Programável**. 2019. Disponível em: <https://alfacomp.net/2021/03/19/clp-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 28 dez. 2021.

ALVES, Luís A. M. **História da educação - uma introdução**. Biblioteca Digital: Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2012. 320 p.

AMADO, Casimiro M. M. **História da pedagogia e da educação: Guião para acompanhamento das aulas**. Portugal: Universidade de Évora, 2007. 237 p.

ANDRADE, Robson. **Desafio para a indústria 4.0 no Brasil**, Brasília, 2016. Confederação Nacional Da Indústria. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>. Acesso em: 20 nov. 2021.

ARAUJO, Gabriel G. **A impressão 3D e os parâmetros que influenciam o produto final** 2016. 63 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia de Produção), Centro Universitário Eurípides de Marília, Marília, São Paulo, 2016.

ARBEGAUS, Aloisio. **A indústria 4.0 e o setor de alimentos e bebida**. Disponível em: <https://www.teclogica.com.br/industria-4-0-e-o-setor-de-alimentos-e-bebida/>. Acesso em: 20 nov. 2021.

AZEVEDO, Hugo C.D. W. J. **Controlador Lógico Programável Aplicado à Indústria 4.0**. 2018. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Inovação), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

BALADEZ, Fabio. **O passado, o presente e o futuro dos simuladores**. FaSCi-Tech - Periódico Eletrônico da FATEC, São Caetano do Sul, v. 1, p. 29-40, ago/dez 2009.

BRAGA, Newton C. **Como funciona o Reed-Switches (MEC089)**. Julho, 2011. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3860-mec089>. Acesso em: 17 jan. 2022.

CNI (Confederação Nacional da Indústria). **Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira**. Abril, 2016. Confederação Nacional Da Indústria. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/e0/aa/e0aabd52-53ee-4fd8-82ba-9a0ffd192db8/sondespecial_industria40_abril2016.pdf. Acesso em: 20 nov. 2021.

CYRINO, Luiz. **Pneumática, história e sua evolução**. Novembro, 2017. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/pneumatica-historia-e-sua-evolucao/>. Acesso em: 20 jun. 2022

DESOUTTER. **Revolução Industrial - Da Indústria 1.0 à Indústria 4.0**. Disponível em: <https://www.desouttertools.com.br/industria-4-0/noticias/507/revolucao-industrial-da-industria-1-0-a-industria-4-0>. Acesso em: 20 fev. 2022.

EXSTO. **Automation Studio - Automação e Controle**. Disponível em: <https://exsto.com.br/automation-studio-automacaoecontrole>. Acesso em: 28 dez. 2021.

FAMIC, Technologies. **Automation Studio**. Disponível em: <https://www.famictech.com/pt/Produtos/Automation-Studio/Edição-Profissional>. Acesso em: 10 mar. 2022.

FEREGUETTI, Larissa. **SolidWorks na Engenharia: conheça e entenda o seu uso** Disponível em: <https://engenharia360.com/solidworks-na-engenharia/>. Acesso em: 28 dez. 2021.

FESTO. **Produtos para automação de fábrica e processos**. 9. ed. Esslingen, Alemanha, 2019. 340 p. Disponível em: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/699417/Distributor-Catalogue_2019_6Edition_PT-BR_low.pdf. Acesso em: 25 jun. 2022.

FUHRMANN, Augusto C. **Elaboração de bancada didática de instalações elétricas residenciais**. 2017. 60 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, Curitiba 2017.

GOZZO, Lucas F. **Projeto e construção de uma impressora 3D baseada na tecnologia de modelagem por fusão e deposição**. 2017. 67 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

GUIMARÃES, Tiago E. **Aplicações Práticas e Didáticas da Utilização dos Softwares CADE SIMU e PC SIMU Para A Simulação Computacional de Comandos Elétricos**. 2018. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Controle e Automação), Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Ouro Preto, 2018.

HANNIFIN, Parker. **Tecnologia eletropneumática industrial**. São Paulo, Jacareí, 2001. 152 p. Disponível em: https://www.parker.com/literature/Brazil/m_1002_2.pdf. Acesso em: 22 jun. 2022.

JEFERSON, Willian. **Aplicação industrial de controladores lógicos programáveis, interface homem máquina e computadores industriais bosch rexroth**. 2013. 79 f. Trabalho de conclusão de curso (Pós-graduação Automação industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, Curitiba 2013.

JÚNIOR, O. et al. **O setor de bebidas no Brasil**. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%20O%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil_P.pdf. Acesso em: 17 abr. 2022.

LIMA, Monique. **Ambev (ABEV3) vê lucro crescer 130% no 2T21 com forte volume de produção**. Disponível em: <https://www.suno.com.br/noticias/ambev-abev3-lucro-2t21-producao/>. Acesso em: 20 nov. 2021.

MAZZAROPPI, Marcelo. **Sensor de presença e movimento**. 2007. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2007.

MOREIRA, Caio A. **Linguagem ladder aplicada a profissionais da ciência**. 2020. 69 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência da Computação), Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, São Paulo, Assis, 2020.

NANO TECHNOLOGY. **Tecnologia Ampola Reed-Switch**. Agosto, 2017. Disponível em: <http://nano-br.com/wp-content/uploads/2017/08/Reed-Switches-Manual-de-Utilização-v1.1.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2022.

PEREIRA, Luciana Conceição. **Construtivismo na escola**. Novembro, 2018. Disponível em: <https://www.infoescola.com/educacao/construtivismo/#>. Acesso em: 20 out. 2022

PORTO, Thomás M. S. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3d e da sua aplicação na construção civil**. 2016. 93 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

RAZOR. **História dos softwares: solidworks**. Outubro, 2020. Disponível em: <https://razor.com.br/tecnologia/historia-dos-softwares-solidworks/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

RICHTER, Douglas. **Análise de Sistema de Produção, Preparação e Distribuição de Ar Comprimido, com Ênfase na Utilização de Compressor Centrífugo Radial**. 2013. 62 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

RIBEIRO, Luis R. C. **A aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores**. 2005. 209 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2005.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; DUMITRESCU, R.; KRÜGER, A.; HOMPEL, M. **Industrie 4.0 maturity index**. 2020. Acatech – *National Academy of Science and Engineering*. Disponível em: https://boundarysys.com/wp-content/uploads/2021/03/Acatech_Maturity_Index_2020-IAN.pdf. Acesso em: 28 dez. 2021

SILVA, Natália P. A. **Indústria 4.0: aplicação do projeto conceitual em uma envasadora de líquidos**. 2018. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação

Engenharia de Produção), Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Ituiutaba, 2018.

SOLIDWORKS. **SolidWorks - Solutions**. Disponível em: <https://www.solidworks.com/pt-br/solutions>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SYSTEMES, Dassault. **What we do**. Disponível em: <https://www.3ds.com/about-3ds/what-we-do>. Acesso em: 10 mar. 2022.

TEIXEIRA, Renilson L. **Aprendizagem baseada em projetos: na prática de projetos e de protótipos de estruturas de concreto armado**. 2020. 20 f. 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.

TURRA, Renan S. **Inspeção automatizada na aplicação de canudos em embalagens cartonadas**. 2018. 107 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Engenharia Elétrica), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2018.

VASCONCELOS, Catharina T.; PEREIRA, Marco A. C. **O design thinking como atividade no ensino de engenharia: um estudo de caso**. XXXVII Encontro Nacional De Engenharia De Produção, Joinville, p. 1-25, 10 out. 2017.

VIGARANI, Leonardo E. **Estudo De Módulo Multifilamentar Para Impressão 3D**. 2021. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

WEG. **Manual do Micro Controlador Lógico Programável**: Manual do Usuário Série: TPW-03. 2010a. 136 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h75/hba/WEG-instalacao-tpw-03-p4-10000350069-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

WEG. **Manual Micro Controlador Programável**: Manual do Usuário Série: CLIC-02. 2010b. 214 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h80/h42/WEG-rele-programavel-clic-02-3rd-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

WEG. **Série TPW-04**: Manual do Usuário. 2015. 164 p. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h14/h65/WEG-controlador-logico-programavel-tpw04-manual-do-usuario-10003853210-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

WEIGHTECH. **Como funciona um processo de envase totalmente automatizado usando tecnologia de pesagem?**. 2018. Disponível em: <https://blog.weightech.com.br/2018/01/como-funciona-um-processo-de-enchimento.html>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ANEXOS

80