

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CRISTIANO SCHMIDT DA CRUZ

**ESTUDOS DAS FUNCIONALIDADES DA VIRTUALIZAÇÃO EM PROCESSO DE
MANUFATURA INDUSTRIAL**

PORTO ALEGRE
2021

CRISTIANO SCHMIDT DA CRUZ

**ESTUDOS DAS FUNCIONALIDADES DA VIRTUALIZAÇÃO EM PROCESSO DE
MANUFATURA INDUSTRIAL**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

PORTO ALEGRE

2021

Catálogo de Publicação na Fonte

C957e Cruz, Cristiano Schmidt da.
Estudos das funcionalidades da virtualização em processo de
manufatura industrial. / Cristiano Schmidt da Cruz. – Porto Alegre,
2021.
40 f.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade
Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Tecnólogo em Automação
Industrial, Unidade em Porto Alegre, 2021.

1. Virtualização. 2. CLP. 3. Indústria 4.0. 4. Modbus. 5. Arduino.
I. Peixoto, João Alvarez. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Bibliotecas da Uergs

CRISTIANO SCHMIDT DA CRUZ

**ESTUDOS DAS FUNCIONALIDADES DA VIRTUALIZAÇÃO EM PROCESSO DE
MANUFATURA**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

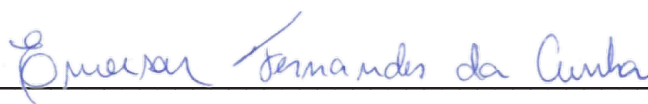
Aprovado em: 22 / 01 / 2021

BANCA EXAMINADORA



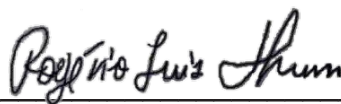
Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



Prof. Me. Émerson Fernandes Cunha

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



Prof. Dr. Rogério Luís Thum

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

PORTO ALEGRE

2021

Dedico este trabalho a minha esposa
Adriana e filhas pela paciência e apoio
durante estes anos de estudos.

AGRADECIMENTOS

No caminho percorrido para o final do curso, muitas pessoas me deram ajuda e apoio, portanto, pode não ser uma tarefa fácil e justa agradecer, pois há a possibilidade de excluir àqueles que são dignos de agradecimento. Dessa forma, quero agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta conquista. Sou especialmente grato às seguintes pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela vida e pelas oportunidades que surgiram durante minha existência.

À minha esposa Adriana pela paciência e incentivo, à minha filha Clarissa, à minha enteada Camila e à minha mãe Elisabeth que, mesmo com todos os percalços, apoiaram-me para ir à busca dos meus objetivos.

Aos amigos e colegas do curso de Automação Industrial pelo companheirismo.

Ao professor Dr. João Alvarez Peixoto, pela paciência na orientação e incentivo na construção e conclusão deste estudo.

À instituição UERGS pela oportunidade e, principalmente, por ser uma universidade pública que fornece educação de qualidade, compartilhando, disseminando e transmitindo conhecimentos em uma época, na qual as instituições públicas de educação e professores do nosso país não recebem a valorização merecida. Neste contexto, também quero deixar minha gratidão a todos os professores que contribuíram com minha formação acadêmica.

RESUMO

Há um longo tempo, o ser humano tem usado sua criatividade para mudar o ambiente e conseqüentemente melhorar sua qualidade de vida. Dessa forma, com o passar do tempo, novos produtos e novos equipamentos foram criados para substituir o processo de produção manual, proporcionando mais agilidade no processo produtivo e reduzindo custos. Neste contexto, novas tecnologias surgiram, dando origem às revoluções industriais, possibilitando o aparecimento de máquinas e o aperfeiçoamento do trabalho manual. Atualmente, estamos vivendo na Quarta Revolução Industrial ou na Indústria 4.0, a qual teve início na última década, possibilitando o aumento da produção industrial e agregando valor ao produto final. Diante disso, o presente estudo tem por objetivo avaliar os benefícios trazidos pela virtualização de um processo produtivo antes de sua implementação definitiva ou de sua modificação final, demonstrando de forma prática as vantagens deste fundamento da Indústria 4.0. A virtualização é um conceito que apresenta ferramentas que alteram a lógica de concepção de projeto, tornando virtual a planta física e os controladores reais, proporcionando uma melhor análise de viabilidade do projeto, sem a necessidade de montar fisicamente a planta e suas interligações, considerando reais a programação e os controladores. No entanto, o processo de virtualização de manufaturas industriais deve ocorrer por ferramentas digitais altamente dedicadas ou pode haver outros meios para se obter a virtualização de custo reduzido, que apresente resultados satisfatórios? Com a finalidade de responder tal questionamento, foi montando uma simulação em ambiente virtual, através de uma linha de produção que simula a separação de produtos com características específicas. Sensores são os responsáveis por detectar e separar os itens de acordo com suas dimensões. Esses sensores enviam as informações capturadas no ambiente virtual para o CLP, que está fisicamente no ambiente real, por meio do protocolo *Modbus*, que por sua vez processa as informações e aciona um separador pneumático. Os resultados do presente estudo mostram que a virtualização é comprovadamente executável, de modo que toda a programação e ajustes ao programa do CLP/Microcontrolador podem ser realizados de forma eficaz, de modo que todos os processos sejam percebidos em tempo real.

Palavras-chaves: Virtualização. CLP. Indústria 4.0. *Modbus*. *Arduino*.

ABSTRACT

A long time ago, the humans have been using their creativity in order to change the environment and consequently improve their quality of life. Therefore, in the course of time, new products and new equipments were created to replace the manual production process, providing more agility in the production process and reducing costs. In this context, new technologies arose giving rise to industrial revolutions, enabling the machines appearance and the improvement of manual labor. Currently, we are living in the Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0, which began in the new century, enabling the industrial production increase and adding value to the final product. Therefore, the objective of this present study is to evaluate the production virtualization benefits got through with the virtualization of a production process before the definitive implementation or final modification, showing with a practical way the advantages of this principle of Industry 4.0. Virtualization is a concept that presents tools to change the project design logics, making the physical plant virtual and the real controllers, providing a better feasibility analysis of the project without physically assemble needs and their plant interconnections, considering programming and controllers real. However, the process manufacturing virtualization should be with digital tools or could have other ways to get less costs and shows satisfactory results? In order to answer this question, a simulation was created in a virtual production line to simulate the products separation through specific characteristics. The sensors are responsible for detecting and separating items according to their dimensions. These sensors send the captured information in the virtual environment to the PLCs, which is physically in a real environment, through the Modbus protocol, which processes the information and activates a pneumatic separator. The study results show that the virtualization is feasible to be execute, so that all programming and adjustments to the PLC / Microcontroller program can be carried out effectively, allowing all processes are perceived in real time.

Keywords: Virtualization. CLP. Industry 4.0. Modbus. Arduino.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arquitetura da virtualização de um processo de manufatura	13
Figura 2 – As quatro revoluções industriais	16
Figura 3 - Maiores fabricantes de CLPs	23
Figura 4 – Lista dos 17 fabricantes de CLP.....	24
Figura 5 - Descrição do projeto de controle de nível com CLP	26
Figura 6 - Ambiente Proposto como manufatura virtual.	30
Figura 7 - Controlador lógico programável e microcontrolador Arduino	30
Figura 8 - Disposição da esteira e do dispositivo pneumático.....	32
Figura 9 - Disposição dos sensores	33
Figura 10 - Disposição dos componentes no painel de comando	34
Figura 11 – Comparação da metodologia tradicional de projeto e a metodologia proposta	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre o projeto com e sem virtualização.....	35
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i> (Máquina RISC avançada)
CLP	Controlador lógico programável
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i> (Sistemas ciber-físicos)
FBD	<i>Function Block Diagram</i> (Diagrama de blocos funcionais)
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comissão Eletrotécnica Internacional)
IDE	<i>Integrated Development Environment</i> (Ambiente de desenvolvimento integrado)
IL	<i>Instruction List</i> (Lista de Instruções)
IP	<i>Internet Protocol</i> (protocolo de internet)
IoT	<i>Internet of things</i> (Internet das coisas)
IoS	<i>Internet of Services</i> (Internet dos Serviços)
LD	<i>Ladder Diagram</i> (Linguagem ladder)
M2H	<i>Machine to human</i> (Máquina a humanos)
M2M	<i>Machine to Machine</i> (Máquina a máquina)
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados)
SFC	<i>Sequential Function Chart</i> (Sequencial gráfico de função)
ST	<i>Structural Text</i> (Texto estruturado)
TCP	<i>Transmission control protocol</i> (Protocolo de Controle de Transmissão)
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMÁTICA	12
1.2 HIPÓTESE	13
1.3 OBJETIVOS	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS.....	15
2.1.1 A revolução industrial.....	15
2.1.2 A indústria 4.0.....	17
2.1.3 Fundamentos da Indústria 4.0	19
2.1.4 Virtualização	20
2.1.5 Arduino	21
2.1.6 Protocolo <i>MODBUS</i>	22
2.1.7 Programação de controladores lógicos programáveis	22
2.2 PESQUISAS RELACIONADAS	25
2.2.1 Sistema de controle de nível virtualmente supervisionado	25
2.2.2 Aquisição de dados pelo <i>Modbus</i>	26
3.1 TIPO DE PESQUISA	28
3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	28
3.3 MÉTODO APLICADO	29
4 RESULTADOS.....	32
5 ANÁLISE.....	36
6 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Rosário (2009, p.37), o ser humano desde sempre tem usado a sua criatividade para melhorar e modificar o meio ambiente a seu favor, melhorando sua qualidade de vida. Sendo assim, no decorrer do tempo, surgiram novas criações e novos dispositivos que foram capazes de substituir os processos produtivos artesanais, os quais ofereceram mais agilidade no processo produtivo, bem como reduziram os custos. Nesse cenário, na metade do século XVIII, apareceram as primeiras máquinas, as quais foram responsáveis pela Primeira Revolução Industrial.

Klaus Schwab (2016) explica que a Segunda Revolução Industrial, que teve início no final do século XIX, permitiu produções em grandes quantidades, devido ao surgimento da eletricidade e da linha de montagem. Por sua vez, a Terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Digital ou do computador, iniciou na década de 1960, foi promovida pelo avanço tecnológico de sistemas automatizados, que garantem a repetibilidade em seus processos, padronizando a manufatura de produtos.

Para Schwab (2016), atualmente, estamos vivendo a Quarta Revolução Industrial, a qual começou na primeira década deste século e tem como base a revolução digital. Essa quarta revolução tem como particularidade uma *internet* global e móvel, sensores cada vez menores e mais potentes, inteligência artificial e aprendizado automático.

O presente estudo pretende abordar sobre as funcionalidades da virtualização em processos industriais, visto que esse assunto se destacou com a chegada da Quarta Revolução Industrial. Essa revolução já vem transformando o mercado de trabalho e o modo como nos comunicamos, ainda não se sabe o alcance e as mudanças geradas por esse período, mas se conhece sua complexidade e capacidade de globalização.

Diante disso, justifica-se este estudo sobre a virtualização na indústria, visto que ela está cada dia mais presente em nossa sociedade. Além disso, a virtualização pode trazer inúmeras vantagens para o setor industrial, tais como: segurança do processo, diagnósticos rápidos de problemas, custos reduzidos e tempo otimizado.

Ademais, pretende-se verificar, com esta pesquisa, se existe a possibilidade de utilizar ferramentas de virtualização que apresentem resultados satisfatórios e que representem menor custo na sua implementação. Para tanto, foi desenvolvido um protótipo funcional, o qual foi analisado em funcionamento em um processo fabril. Em seguida, se faz comparações entre o processo com virtualização e sem a virtualização.

1.1 PROBLEMÁTICA

De acordo com Ribeiro (2001, p.13), a automação surgiu da necessidade humana de substituir o trabalho manual pesado por máquinas. Logo a automação é o controle de processos com o mínimo de interferência humana, com vantagens econômicas e de segurança.

Rosário explica da seguinte forma o conceito de automação: “é todo processo que realiza tarefas e atividades de forma autônoma ou que auxilia o homem em suas tarefas do dia a dia” (ROSÁRIO, 2009, p. 23).

Ainda de acordo com Rosário (2009, p. 21), diante da modernização e a competitividade cada vez maior, a empresa que busca evitar sua decadência precisa sempre buscar formas de renovação, viabilizando seu desenvolvimento, sendo assim uma das maneiras para que isso ocorra é a atualização tecnológica, a automação.

Diante disso, se percebe que a necessidade de inovar. Automatizar uma empresa é requisito básico para que ela permaneça lucrativa. No entanto, devido a inúmeros fatores, essa automatização ainda é muito limitada em algumas empresas.

Segundo Magalhães e Vendramini (2018, p. 42), a tecnologia digital não é muito difundida na indústria brasileira. Uma pesquisa realizada pela consultoria *PricewaterhouseCoopers (PwC)*, com empresários da área, aponta que, no Brasil, apenas 9% dos entrevistados pensam ter níveis digitais avançados, enquanto no México e na China, a proporção é de 40%. De acordo com um levantamento realizado pela Federação Nacional da Indústria (CNI), no país, buscam-se melhorias graduais e melhorias de eficiência e produtividade. O potencial tecnológico dificilmente é usado para promover mudanças disruptivas, como o desenvolvimento de novos produtos ou novos modelos de negócios. Há deficiência no conhecimento

sobre qual tecnologia é a melhor para cada empresa, bem como o alto custo de implantação e a baixa qualidade da mão de obra são outros fatores limitantes para a automatização industrial.

Ainda de acordo com os autores mencionados, mesmo que, no Brasil, a adoção da tecnologia digital ainda seja lenta, o país ainda tem oportunidades. Para usá-las, o sistema de gestão deve ser alterado. A inovação e a sustentabilidade devem ser integradas a processos como gestão de riscos, desenvolvimento de produtos, gestão de fornecedores e desenvolvimento de pessoal.

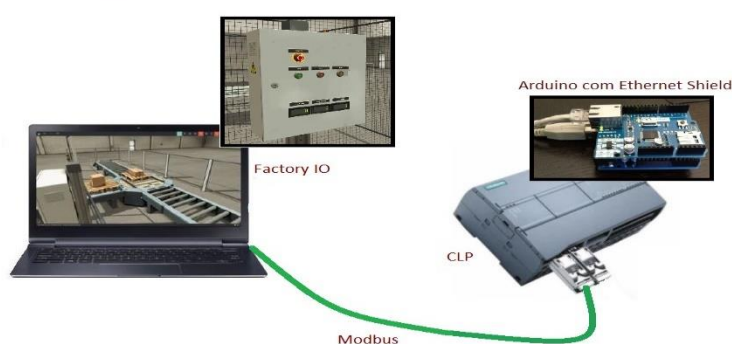
Como hipótese, a pergunta que se faz é se o processo de virtualização de manufaturas industriais deve ocorrer por ferramentas digitais altamente dedicadas ou pode haver outros meios para se obter a virtualização de custo reduzido, que apresente resultados satisfatórios?

1.2 HIPÓTESE

Uso de modelos virtuais simplificados de manufatura industrial, conectados a microcontroladores ou CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) reais garante a análise das funcionalidades de programação e permite análise mais completa da viabilidade de implementar fisicamente a planta de manufatura, com base no seu comportamento virtual.

Segundo Cardoso (2016), se pode chamar esta etapa do processo de virtualização de comissionamento virtual. Na Figura 1, pode-se observar como fica a arquitetura da virtualização utilizando um CLP, um computador e os aplicativos em *softwares*.

Figura 1 – Arquitetura da virtualização de um processo de manufatura



Fonte: Autor (2021)

Nesta figura, percebe-se o CLP ou microcontrolador, cuja função é gerenciar a lógica do processo de manufatura, conectado ao aplicativo de virtualização do processo, que irá simular os elementos de entrada e saída da planta, bem como a manufatura do produto propriamente dito. Neste caso específico, o aplicativo de simulação virtual é o *Factory IO*[®], desenvolvido pela empresa Real Games (REAL GAMES, 2020).

1.3 OBJETIVOS

Como objetivo geral do trabalho, a presente pesquisa tem como foco avaliar os benefícios trazidos pela virtualização de um processo produtivo antes de sua implementação ou de sua modificação, bem como demonstrar de forma prática as vantagens deste fundamento da Indústria 4.0.

1.3.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos se apresentam como método para segmentar o objetivo geral, com propósito de manter o foco em cada um de seus estágios. Eles representam o caminho que, uma vez alcançados paulatinamente, levam ao atingimento do objetivo geral. Neste trabalho, os seguintes objetivos específicos são desejados:

- a) pesquisar junto ao estado da arte os conceitos e aplicações de virtualização;
- b) propor uma planta industrial como um projeto a ser implementado;
- c) virtualizar a planta definida;
- d) interfacear com dispositivo de controle da planta;
- e) programar o dispositivo de controle da planta;
- f) analisar as funcionalidades que a virtualização trouxe a este processo implementado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação é a base de conhecimento do estado da arte, com propósito de facilitar o entendimento da proposta e resultados do trabalho aqui pesquisado. Nos fundamentos tecnológicos se propõe a apresentar as tecnologias e conceitos utilizados no trabalho, a fim de obter os resultados propostos como objetivo, confirmando a hipótese. Já os fundamentos de pesquisa ou pesquisas relacionadas trazem referências de trabalhos similares, métodos utilizados e resultados alcançados, a título de comparação para verificação da assertividade da proposta que este trabalho de conclusão propõe.

2.1 FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS

Este trabalho estuda a aplicação de virtualização em sistemas de manufatura gerenciado por CLP ou microcontrolador. Para o melhor entendimento da proposta, é necessário conhecer alguns aspectos tecnológicos referente a equipamentos, componentes e conceitos, tais como a Indústria 4.0, virtualização, microcontroladores Arduino, protocolo de comunicação *MODBUS* e controladores lógicos programáveis.

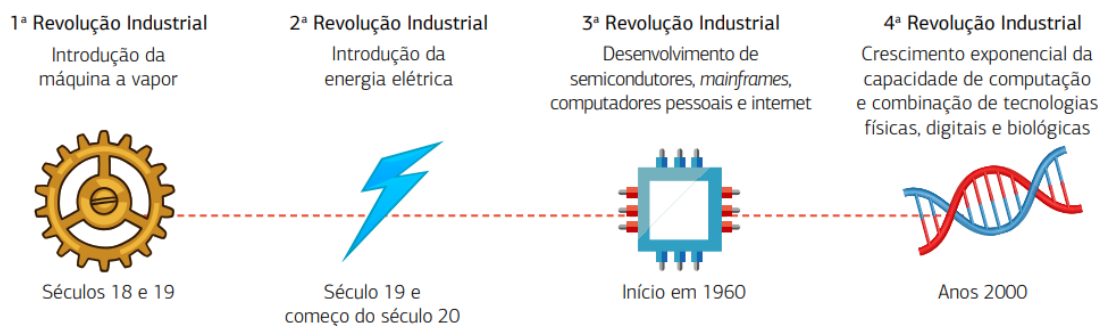
2.1.1 A revolução industrial

De acordo com Sacomano e Sátyro (2018), no início da civilização, o ser humano usou sua própria força muscular para trabalhar. E os escravos foram usados, muitas vezes, para tarefas repetitivas e árduas, como mover moinhos, girar remos para mover navios, entre outras. No entanto, com o desenvolvimento da civilização, a tração animal passou a ser utilizada e os animais substituíram parcialmente a energia humana. Mais tarde, as pessoas usaram a energia gerada por elementos naturais, como o vento para acionar os moinhos, as velas de navegação para mover navios e a energia da água para gerar energia hidrelétrica.

Neste contexto, percebe-se a necessidade humana de aperfeiçoar o trabalho, livrando-se de tarefas cansativas e repetitivas. A partir dessa necessidade, as quatro

revoluções industriais foram surgindo, possibilitando o surgimento de máquinas, conforme Figura 2 a seguir.

Figura 2 – As quatro revoluções industriais



Fonte: Magalhães e Vendramini (2018, p.41)

Para Schwab (2016), “Em nossa história, as revoluções têm ocorrido quando novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo desencadeiam uma alteração profunda nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos”.

Rosário (2019, p.37) esclarece que a Primeira Revolução Industrial, que também foi denominada de Revolução da Máquina, teve início na Inglaterra, no período entre 1760 a 1850. Essa fase foi caracterizada pela mudança de um processo maioritariamente agrícola de manutenção e produção de bens e consumo para uma sociedade industrializada, marcada pela introdução de uma máquina simples, substituindo a mecânica, executada pela força muscular humana em atividades repetitivas.

De acordo com Cardoso (2016), visando um lucro maior, alguns proprietários de indústrias procuravam por novas tecnologias e metodologias. A partir disso, a Segunda Revolução Industrial teve início. Para tanto, alguns estudiosos começaram a desenvolver invenções e teorias para aprimorar o conhecimento técnico da época, na busca de reduzir custos e encurtar o tempo de fabricação dos produtos, obtendo maiores lucros.

Nesse período, surgiram as linhas de montagem e uma definição para sistema produtivo. Nessa linha de montagem, o produto percorria diferentes postos de trabalho, em que o trabalhador era responsável pela montagem de uma parte específica do produto. Assim, esse novo processo permitiu a produção em série dos

artefatos, aumentando a velocidade de fabricação e garantindo assim aumento significativo dos lucros.

Ainda conforme Cardoso (2016), a Terceira Revolução Industrial começou por volta da metade do século XX, caracterizada por vários avanços tecnológicos. Também conhecida como a era da informática, a Terceira Revolução Industrial mudou principalmente o desenvolvimento da tecnologia eletrônica, o aparecimento dos computadores pessoais, a entrada de robôs na linha de produção, a flexibilidade do processo de produção e o surgimento da *internet*. Dessa forma, tarefas que antes eram realizadas apenas por humanos passaram a ser feitas por robôs e outros equipamentos automatizados.

O desenvolvimento da tecnologia eletrônica permitiu que o controlador lógico programável (CLP) assumisse o processo de fabricação, dando uma vantagem à automação. Ao mesmo tempo, as fronteiras que existiam entre as indústrias passaram a não existir e o processo de globalização ganhou espaço.

Segundo Schwab (2016), nos dias atuais, estamos vivendo na Quarta Revolução Industrial, a qual se iniciou na virada do século e tem como base a revolução digital. Além disso: “É caracterizada por uma internet mais ubíqua e móvel, por sensores menores e mais poderosos que se tornaram mais baratos e pela inteligência artificial e aprendizagem automática” (SCHWAB, 2016).

2.1.2 A indústria 4.0

Com o crescente avanço tecnológico mundial, a fim de se manter no mercado, as empresas, atualmente, vêm buscando constantemente oferecer produtos inovadores com qualidade e bons preços, atendendo a funcionalidades exigidas por um mercado mais exigente e digitalmente conectado. Nesse cenário, surgiu a Quarta Revolução Industrial ou a Indústria 4.0, com a finalidade de suprir a demanda de seus clientes.

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2016), o termo Indústria 4.0 se espalhou globalmente. Como as três primeiras revoluções da manufatura global, também é chamada de revolução industrial, sendo designada a 4ª revolução da indústria. Além disso, é caracterizada

por uma série de mudanças no processo de manufatura, *design*, produtos, operações e sistemas relacionados à produção, aumentando assim a produção e agregando valor ao produto.

A expressão 4.0 é derivada da quarta edição, em que o mundo virtual e o mundo físico se fundem por meio da *Internet*. Em outras palavras, tudo (fornecedores, distribuidores, unidades de manufatura e até produtos) dentro e ao redor da fábrica em operação está conectado digitalmente, fornecendo uma cadeia de valor altamente integrada.

Os autores do texto “Indústria 4.0: conceito e fundamentos” explicam que:

“No caso da indústria, a base existente de informatização automatizada e a visão de negócios voltada à transformação digital faz nascer o conceito de Indústria 4.0, cujo nome veio de um projeto da indústria alemã, denominado *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0), lançado em 2011, na Feira de Hannover. A indústria 4.0 assenta-se na integração de tecnologias de informação e comunicação que permitem alcançar novos patamares de produtividade, flexibilidade, qualidade e gerenciamento, possibilitando a geração de novas estratégias e modelos de negócio para indústria, sendo, por isso, considerada a Quarta Revolução Industrial ou o Quarto Paradigma de Produção Industrial” (SACOMANO; SÁTYRO, 2018, p.28).

Para Almeida (2019), o modelo da Quarta Revolução Industrial, a Indústria 4.0, teve início na Alemanha, em meados de 2012. Inicialmente, foi um plano institucional envolvendo empresas, universidades e governos para atualizar a tecnologia com o objetivo de melhorar a competitividade da indústria e modernizar ainda mais as indústrias locais existentes.

Dessa forma, os sistemas integrados das empresas mudaram para sistemas integrados com armazenamento em nuvens de dados, possibilitando o acesso às informações das máquinas e dos produtos em determinados locais da fábrica, facilitando a produção seriada de muitos itens. Além desse fato extremamente importante, o estoque de matérias-primas e insumos também foi reduzido ao mínimo necessário para a produção dos artefatos comercializados.

Ainda de acordo com o autor mencionado, partindo da Alemanha, o conceito da Indústria 4.0 foi cada vez mais desenvolvido em outros países, regiões e agora se tornou uma tendência comum. Algumas empresas já produziram 100% de seus produtos no modelo de Indústria 4.0 e poucos são os profissionais altamente qualificados.

No trecho a seguir, Sacomano e Sátyro exemplificam como funciona o

processo da Indústria 4.0: o início do processo acontece a partir de um pedido *online* feito pelo cliente. Após as conferências burocráticas e de materiais necessários para a produção, se o pedido for confirmado pelo cliente, inicia a alocação do pedido na linha de produção e as próximas etapas seguem da seguinte maneira:

“Na linha de produção, atuadores e sensores vão controlando a linha de produção, ao mesmo tempo em que passam informações sobre o processamento do pedido e/ou dados de máquinas para uma central, que retransmite estas informações pela internet ou intranet para sistemas supervisores, que vão atuando nos equipamentos. A estes sensores e atuadores conectados à internet ou intranet, chamamos de sistemas ciber físicos, ou em inglês, *Cyber-Physical Systems*, abreviado como CPS, pois conectam a linha de produção, mundo real, aos interessados, via mundo virtual, cibernético ou mecanismos de comunicação e controle de equipamentos. Cada estação de trabalho troca informações com as outras estações de trabalho de forma descentralizada [...]. Chamamos isso de comunicação máquina a máquina ou, em inglês, *machine to machine* (M2M). Nesse sistema, máquinas interagem entre si, seja enviando dados e informações ou mesmo comandos entre elas. Essas máquinas podem interagir com humanos, quando a comunicação máquina a humanos ou, em inglês, *machine to human* (M2H). O pedido é então produzido, o sistema informa o cliente, emite a documentação necessária para poder embarcar o pedido e solicita à logística o transporte” (SACOMANO; SÁTYRO, 2018, p.30).

A partir do que foi explanado neste capítulo, na Indústria 4.0, interconecta-se todos os sensores, máquinas e sistemas supervisórios por meio de uma rede, possibilitando o fornecimento de informações, em tempo real, para os interessados, por intermédio da *internet* ou *intranet*, de todas as etapas do processo de fornecimento, desde a entrada do pedido, passando pelos processos de produção até o transporte do produto ao cliente final.

2.1.3 Fundamentos da Indústria 4.0

Segundo Almeida (2019), os fundamentos da Indústria 4.0 são: acompanhamento em tempo real, virtualização, análise de dados e *big data*, robótica, simulação, sistemas de integração vertical e horizontal, internet das coisas (IOT), *cibersegurança*, computação em nuvem (*cloud computing*), manufatura aditiva, realidade aumentada, entre outras.

Segundo Sacomano e Sátyro (2018, p.34), “são considerados elementos base para Indústria 4.0 sistemas *ciberfísicos* (CPS), internet das coisas (IoT) e

internet de serviços (IoS)”.

De acordo com os autores supramencionados, o CPS é um sistema eletromecânico composto por sensores e atuadores, controlado por um *software* utilizado para monitorar e controlar processos industriais no campo físico. Essas redes físicas transmitem informações e dados em tempo real e conectam o mundo real ao mundo virtual para controle.

Almeida (2019) descreve a *internet* das coisas com uma conexão estabelecida entre objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas por meio de dispositivos eletrônicos, para que os dados possam ser coletados e trocados. Sacomano e Sátyro (2019, p.34) explicam que “na IoT emissor e/ou receptor são coisas, ou seja, objetos que utilizam a *internet* como um canal de comunicação”.

Conforme Almeida (2019, p.35), a expressão *internet* de serviços provém “do inglês, ou abreviadamente IoS. Pela IoS, nossos serviços são disponibilizados por meio da *internet* ou internamente à empresa”.

2.1.4 Virtualização

Almeida (2019) explica que, além do conceito existente de simulação computacional do processo de produção ou etapa do produto (na maioria dos casos, pode ser criado em um protótipo por meio da manufatura aditiva (impressão 3D), a Indústria 4.0 também recomenda o monitoramento remoto do processo de produção para evitar possíveis falhas e melhorar a confiabilidade e eficiência do caminho de produção. Por meio da coleta de dados em tempo real, a velocidade da tomada de decisões pode ser melhorada.

Ainda para Almeida (2019), a virtualização tem as seguintes vantagens:

- a) descentralização dos processos de tomada de decisão: para melhorar o nível de produção industrial, os sistemas *ciber-físicos* fazem escolhas com base na análise de dados sem depender de ações externas, tornando as decisões mais seguras e precisas;
- b) modularidade: neste conceito, o sistema está dividido em módulos, divididos em partes diferentes.

Sendo assim, o equipamento fabril produzirá de acordo com a demanda, pois

utiliza apenas os recursos necessários para a realização de cada tarefa, garantindo assim a otimização da produção e economia de energia.

2.1.5 Arduino

De acordo com Diego (2019), “*Arduino* é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em *hardware* e *software* fáceis de usar”. Com o passar dos anos, o *Arduino* se tornou o cérebro de milhares de projetos, desde objetos do dia a dia a instrumentos científicos complexos. Essa plataforma de código aberto reúne uma comunidade de criadores de todo o mundo, incluindo estudantes, amadores, artistas, programadores e profissionais. Suas contribuições adicionam um conhecimento incrível de acessibilidade para novatos e especialistas.

Ainda de acordo com Diego (2019), o *Arduino* nasceu na Instituição de *Design Interativo IVREA* e é uma ferramenta conveniente para prototipagem rápida, principalmente, para alunos sem treinamento em eletrônica e programação. Depois de entrar na comunidade mais ampla, a placa de desenvolvimento do *Arduino* começou a mudar para se adaptar às novas necessidades e desafios. Seus produtos variam de simples placas de desenvolvimento de 8 bits a IoT (*Internet of things* - Internet das Coisas), vestíveis, impressão 3D e aplicativos de ambiente integrado.

Todas as placas de desenvolvimento *Arduino* são totalmente de código aberto, permitindo que os usuários as criem de forma independente e, eventualmente, adaptem-nas às suas necessidades específicas. O *software* também é de código aberto e continua a evoluir por meio de contribuições de usuários em todo o mundo.

Para Oliveira e Zanetti (2015), *Arduino* é uma plataforma de *hardware* de código aberto, projetada com microcontrolador *Atmel AVR* e pode ser programada em uma linguagem de programação semelhante ao C/C++, permite a concepção de projetos com pouco ou nenhum conhecimento de eletrônica. O objetivo de sua criação é fornecer uma plataforma que torne o protótipo de projetos interativos fácil de implementar e combine as características de *software* e *hardware*, bem como de computação física.

2.1.6 Protocolo *MODBUS*

Segundo Petruzella (2014), *Modbus* é um protocolo de comunicação serial desenvolvido originalmente pela *Modicom* para seu CLP. Basicamente, esta é uma maneira de transmitir as informações por meio de linhas seriais entre dispositivos eletrônicos. Hoje ele é um protocolo aberto, ou seja, livre de *royalties*¹, podendo ser largamente implementado.

Atualmente, este é um protocolo muito utilizado dentro da indústria. Neste protocolo, o dispositivo que requisita a informação é denominado *Modbus* mestre e o que responde é chamado de *Modbus* escravo, sua comunicação pode ser realizada via portas seriais RS-232 e RS-422/485 e *Ethernet*.

2.1.7 Programação de controladores lógicos programáveis

De acordo com Gonçalves (2019), o CLP na automação industrial é considerado o “cérebro” da fábrica, porque pode se comunicar e comandar todos os componentes. Pode reconhecer a entrada e compará-la com a lógica do programa instalado na memória e sempre atualizar a saída sem intervenção humana. Sendo um computador muito poderoso que pode suportar as condições adversas da indústria.

Rosário também explica, no trecho a seguir, como foi criado o controlador lógico programável (CLP):

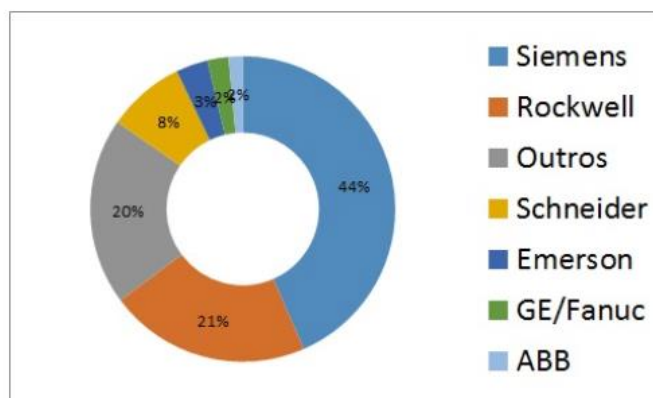
“O CLP foi criado, ao final da década de 1970, para substituir sistemas automáticos que utilizavam relés, temporizadores e sequenciadores mecânicos. Foram adotadas inicialmente pela indústria automotiva, pois a atualização anual dos modelos requeria que fosse refeita a fiação dos painéis de controle (a relés). O CLP trazia flexibilidade à automação, pois era necessário apenas carregar um novo programa no controlador. Concebido para processos discretos, o CLP cresceu em funcionalidade ao longo do tempo, passando a incorporar também controle de movimentos, controle de processos, controle distribuído e funcionamento em rede” (ROSÁRIO, 2009, p.47).

¹ *Royalties*: são uma quantia paga por alguém a um proprietário pelo direito de uso, exploração e comercialização de um bem

Conforme Rosário (2009), devido às suas grandes capacidades de processamento e de trabalho em tempo real, o CLP tem sido largamente utilizado em campos industriais, idealizados para controlar múltiplas entradas e saídas. Além disso, podem ser usados em ambientes com pouca proteção física e elétrica, pois ele pode suportar uma variedade de mudanças de temperatura e tem a capacidade de resistir a ruído elétrico, vibração e impacto.

Segundo Barbosa (2018), de acordo com a pesquisa, realizada pela *Murr Elektronik, Segunda Pesquisa de Automação Industrial do Mercado Brasileiro*, a *Siemens* aparece, na pesquisa, liderando como maior fabricante, seguida pelos demais produtores, conforme gráfico na Figura 3.

Figura 3 - Maiores fabricantes de CLPs

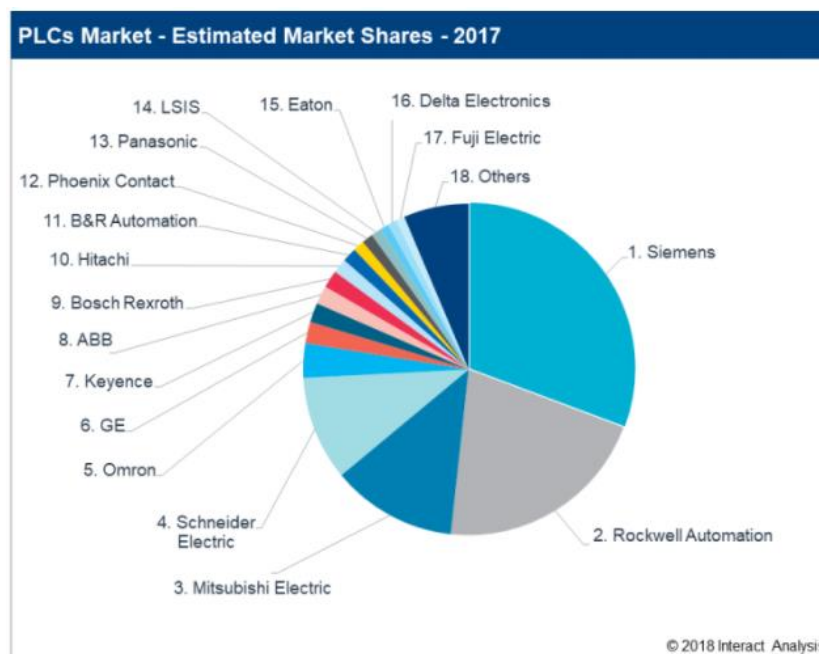


Fonte: Barbosa (2018).

De acordo com *Ladder Logic World (2020)*, devido à competitividade existente na indústria de automação industrial, determinados fabricantes de CLPs surgem, enquanto outros se integram para sobreviver no mercado acirrado.

Na Figura 4, apresenta-se a lista dos 17 fabricantes de CLP mais populares no mercado em 2017, segmentada por nível de participação no mercado (DAWSON, 2018).

Figura 4 – Lista dos 17 fabricantes de CLP



Fonte: Dawson (2018).

De acordo com o gráfico da figura acima, percebe-se que os líderes do mercado fornecedor de CLPs são: em primeiro lugar, a empresa SIEMENS, fundada na Alemanha no ano de 1847; em segundo lugar, vem a *Rockwell Automation (Allen Bradley)*, fundada nos Estados Unidos no ano de 1903; em terceiro e quarto lugares, aparecem, respectivamente, as organizações *Mitsubishi Electric*, fundada em 1921 no Japão, e a *Schneider Electric* fundada na França no ano de 1836. Por sua vez, no Brasil, há diversos outros fabricantes de CLPs como a Altus, Weg, BCM.

Todos os controladores lógicos programáveis são regidos pela norma IEC 61131, para padronização das linguagens de programação, segundo descrito na norma, as linguagens são:

- a) texto estruturado (*Structurad Text*, Sigla ST);
- b) lista de Instruções (*Instruction List*, sigla IL);
- c) linguagem *ladder* (*Ladder Diagram*, sigla LD);
- d) diagrama de blocos funcionais (*Function Block Diagram*, sigla FBD);
- e) sequencial gráfico de função (*Sequential Function Chart*, sigla SFC).

Sobre esse assunto referente às linguagens utilizadas, Ribeiro (2001, p.42) explica que: “O CLP é frequentemente programado emulando diagramas *ladder* de relés, pois estes diagramas são facilmente entendidos por muitas pessoas não

instrumentistas”.

2.2 PESQUISAS RELACIONADAS

Neste subcapítulo, seguem apresentadas de forma resumida algumas pesquisas que já foram realizadas e que têm algum tipo de relação com o presente estudo.

2.2.1 Sistema de controle de nível virtualmente supervisionado

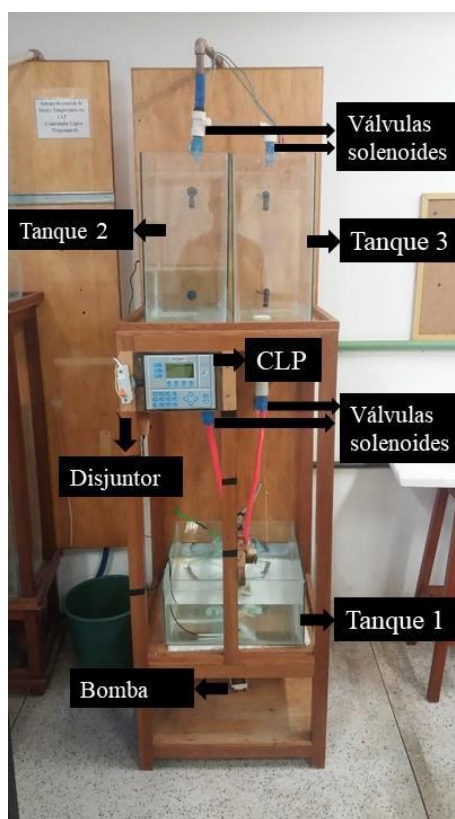
O estudo *Controle de nível de planta didática usando controlador lógico programável*, de Matheus Rocha Gonçalves, propõe um sistema amplamente utilizado em instalações industriais (GONÇALVES, 2019). O autor realizou pesquisas sobre o sistema de controle de nível do tanque com CLP (controlador lógico programável).

A partir disso, projetou um sistema que controla o nível de líquido de três tanques de armazenamento em escala de laboratório, usando um sensor ultrassônico, o qual foi utilizado para monitoramento do tanque principal, além de quatro sensores do tipo chave boia que foram empregados para controlar os tanques de suprimentos para o tanque principal.

A linguagem de programação utilizada no CLP foi a *Ladder*, tendo como ferramenta de programação o *software Master Tool IEC*. Na etapa final do teste funcional do projeto, pôde ser observada a operação completa da planta, a qual gerou resultados satisfatórios.

Vários ensaios auxiliaram a depurar a programação do *software* e a realizar a verificação final. A planta funcionou conforme planejado. O controle realizado pelo CLP foi satisfatório, porém houve erros de leituras dos sensores devido ao emprego de sensores de baixa precisão. Dessa forma, a margem de erro encontrada ficou na faixa de 1 litro, devido à utilização de equipamentos de baixa precisão, o controle obtido na fábrica é satisfatório, porém se fosse utilizado um equipamento eficiente, seria possível aumentar muito a precisão e, assim, obter-se uma redução de erros na medição. A Figura 5 apresenta o projeto desenvolvido por Gonçalves.

Figura 5 - Descrição do projeto de controle de nível com CLP



Fonte: Gonçalves (2019, p.26).

2.2.2 Aquisição de dados pelo *Modbus*

Vilela (2013), em seu estudo *Sistema de aquisição de dados em microcontrolador e comunicação pelo protocolo Modbus*, descreve o desenvolvimento de dispositivos que utilizam microcontroladores ARM para obtenção de valores de tensão.

O objetivo do projeto era desenvolver um protótipo utilizando comunicação *Modbus* para medir a tensão ou corrente da *Recriar Technologies*, parceira do *Laboratório de Energia Alternativa – LAFAE*. A partir do protótipo, o autor do estudo pretendia estender a utilização do protocolo em questão aos dispositivos que já estariam em operação.

O projeto de Vilela mostrou que é possível usar *software* livre e *kits* de desenvolvimento para desenvolver sistemas de baixo custo, obter retorno visual e usar um protocolo amplamente utilizado no mercado de automação, que ainda não possui uma biblioteca gratuita.

A comunicação foi realizada por meio do cabo serial e o protocolo foi implementado com sucesso, para que a mensagem enviada pelo programa SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition* - Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados) pudesse ser corretamente interpretada, executada e respondida, incluindo tratamento de erros. O erro de valor positivo do valor medido, usando componentes de circuito como parâmetros, foi de cerca de 20%, e o erro de valor negativo foi de cerca de 5%, mas o menor limite de medição possível é -10,3V.

O uso de métodos de calibração e de mínimos quadrados pôde reduzir os erros de medição e a variação entre as medições feitas na entrada e na saída do sistema foram zero. Além disso, as funções de entrada e saída discretas do SCADA, por meio das diversas funções do *Modbus* descritas no projeto, mostraram de forma intuitiva que o microcontrolador estava processando as informações corretamente.

3 METODOLOGIA

Para realização deste estudo, primeiramente, utilizou-se a pesquisa exploratória, ou seja, buscou-se explorar as características do tema em estudo, com a intenção de descobrir ideias e pensamentos relacionados ao problema de pesquisa. Isso foi realizado por meio de uma pesquisa bibliográfica.

De acordo com Cervo, Bervian e Silva (2007, p. 60), a pesquisa bibliográfica objetiva explicar o problema por meio de artigos, livros, dissertações e teses já publicadas sobre o assunto. Esse tipo de pesquisa pode ser independente ou parte de uma pesquisa experimental.

Sendo assim, este estudo também foi feito por intermédio de uma pesquisa experimental, a qual foi executada em um ambiente de teste de uma automação. Montado através do *software Factory IO*, o ambiente virtual foi controlado por um CLP localizado fisicamente fora do ambiente virtual. A comunicação entre CLP e ambiente de testes no mundo virtual se deu por meio do protocolo *Modbus TCP/IP*.

A partir disso, testou-se o painel de controle, bem como as funções programadas dentro do CLP. Esse ambiente de testes será deixado como legado para UERGS, a fim de que possa ser utilizado no ensino de componentes curriculares, como CLP.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa tem um caráter experimental, visto que pretende montar, observar e analisar o objeto de estudo. Cervo, Bervian e Silva (2007, p. 63) explicam que, neste tipo de pesquisa, para alcançar os resultados esperados, o pesquisador precisa manipular os aparelhos e instrumentos disponíveis, a fim de tornar percebíveis às relações presentes entre as variáveis existentes compreendidas no objeto de estudo.

3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

Esta pesquisa abrange a área de projetos de automação de processos de manufatura, bem como fabricação de máquinas e equipamentos. Para tanto, foi

utilizado e testado apenas um *software*, o *Factory IO*, levando-se em consideração que, em pesquisa realizada em *sites* de diversos fabricantes mundiais, tem-se diversos *softwares* que poderiam ser usados a fim de viabilizar a virtualização de fábrica e/ou processos produtivos como: o *Tecnomatix Plant Simulation*, fornecido pela empresa *Siemens*; o *FlexSim*, fornecido pela empresa *FlexSim Software Products*; o *Factory Design Utilities*, fornecido pela *Autodesk*, entre outros.

O estudo de virtualização é uma área quem vem ganhando espaço com o advento da Indústria 4.0 e vem se tornando cada vez mais tangível para empresas de grande e médio porte que visam redução de custos operacionais, melhorias na cadeia produtiva e, conseqüentemente, maior lucratividade.

3.3 MÉTODO APLICADO

Neste estudo, utilizou-se o método científico a fim de refutar ou ratificar as hipóteses levantadas. Além disso, usou-se a técnica da observação sobre o experimento, a fim de obter dele um conhecimento preciso.

Dessa forma, criou-se com o auxílio do *software Factory IO*, dentro do ambiente virtual, durante o mês de dezembro de 2020, uma linha de produção com duas esteiras. Nessa linha, uma esteira deveria receber caixas com dimensionais diferentes. Sendo assim, este ambiente simulava a separação de itens de acordo com o dimensional em um processo logístico. Na esteira principal, existiam quatro sensores capazes de detectar a passagem de objetos. O primeiro sensor detectava quando uma caixa era posicionada na esteira, dando início ao processo. O segundo sensor detectava caixas maiores, as caixas menores passavam sem serem detectadas pelo sensor. Ao final de cada esteira, existia um sensor que identificava a quantidade de caixas detectadas por ele. Dessa forma, esses sensores enviavam as informações verificadas, no ambiente virtual, para o *CLP*, que estava fisicamente em ambiente real, comunicando-se por meio do protocolo *MODBUS*, o qual processava as informações e acionava um separador pneumático, que, por sua vez, expedia as peças de maior altura para sua devida esteira, na qual as peças eram contadas e direcionadas para o próximo processo. O ambiente aqui descrito pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Ambiente Proposto como manufatura virtual.



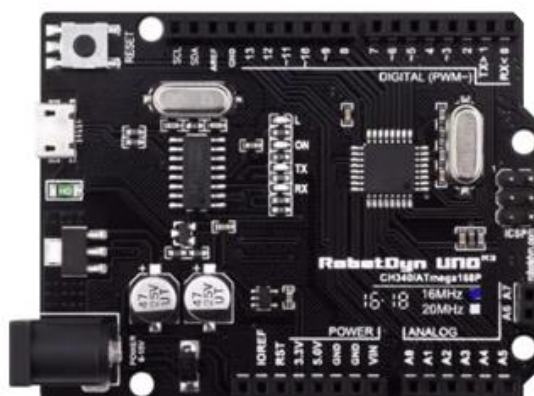
Fonte: Autor(2021).

Devido ao alto custo e a não disponibilidade de um *CLP* real, este foi substituído e simulado por uma placa de prototipagem *Arduíno*. A Figura 7 apresenta os dois componentes, com propósito de equivalência nesta atividade de virtualização.

Figura 7 - Controlador lógico programável e microcontrolador Arduino



a) CLP Siemens S7



b) Microcontrolador Arduino UNO

Fonte: Autor(2021).

Os elementos de entrada da planta de manufatura (botoeiras e sensores) foram montados dentro do aplicativo de *software* de virtualização e endereçados para o *Arduíno* por meio do protocolo *MODBUS*, e os atuadores (motores das esteiras e o acionador pneumático) também foram endereçados para o *Arduíno*.

Dessa maneira, o microcontrolador comandava todo o funcionamento do ambiente virtual, como se a máquina estivesse montada fisicamente, permitindo, assim, o *startup*² da parte de programação, antes mesmo de se montar qualquer componente mecânico ou quadro elétrico, reduzindo a possibilidade de erros e revisões de projeto.

² *Startup*: colocação em marcha de uma máquina ou equipamento, verificando todas as funcionalidades previstas e aferindo o comportamento em condições de erro de funcionamento e operação.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no projeto, sendo que, primeiramente, são apresentadas as funcionalidades da planta proposta e, ao final, as vantagens da implementação da virtualização em relação à implementação física diretamente.

A programação do microcontrolador *Atmel AVR*, presente na placa de prototipagem, se deu por intermédio da plataforma *IDE* do *Arduino* em linguagem *Wiring*, similar ao *C/C++*. Caso estivesse disponível para a simulação um *CLP*, a linguagem utilizada poderia ser uma das cinco descritas na norma *IEC 61131* que são: texto estruturado, lista de instruções, linguagem *ladder*, diagrama de blocos e diagrama de fluxo.

Para a virtualização da planta proposta, utilizou-se como atuadores duas esteiras transportadoras, um dispositivo contendo dois cilindros de acionamento pneumático, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Disposição da esteira e do dispositivo pneumático

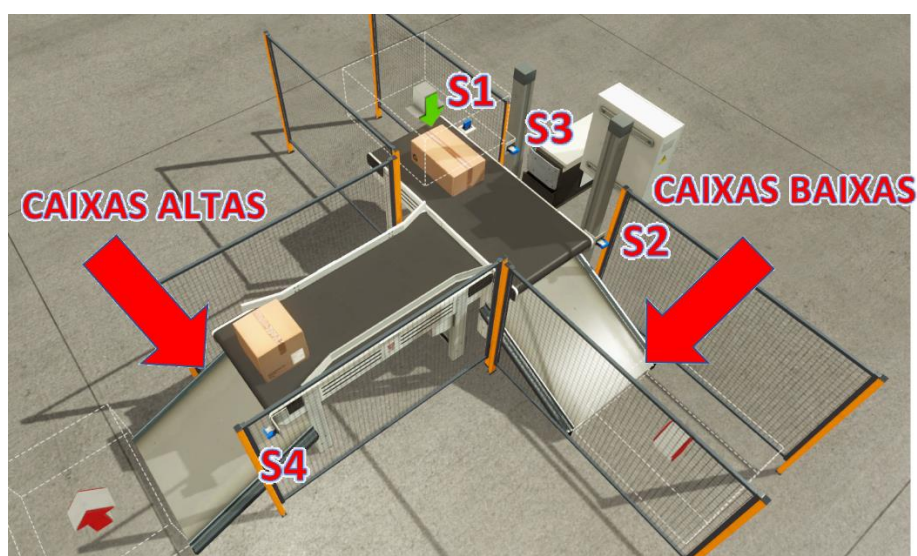


Fonte: Autor(2021).

No sensoriamento, foram utilizados quatro sensores difusos, denominados, neste estudo de S1, S2, S3 e S4. O primeiro sensor S1 tem a função de detectar a

caixa na esteira de número um e iniciar o processo de seleção de caixas altas ou baixas. Por sua vez, S3 deve detectar as caixas altas e, a partir disso, acionar o dispositivo separador, bem como ligar a esteira dois, a qual direcionará as caixas altas para a próxima etapa do processo. Em seguida, o sensor S4 constata as caixas altas vindas da esteira dois, bem como a desliga quando não há produtos para que ela o transporte. No que lhe diz respeito, o S2 é utilizado para captar a saída das caixas baixas da esteira um e informar a quantidade de caixas que passaram por ele para o CLP/Microcontrolador. O posicionamento dos quatro sensores e o destino das caixas pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Disposição dos sensores



Fonte: Autor(2021).

Na Figura 10, há o quadro elétrico disposto dentro do ambiente virtual. Nele fora instalado quatro botoeiras e dois contadores digitais. A botoeira de *Start*, na cor verde, disposta na parte superior esquerda, liga o equipamento. A botoeira amarela, disposta no centro na parte superior do painel, tem a função *Reset*, a qual zera ambos contadores. A botoeira vermelha de *Stop*, disposta no canto superior direito, tem a função de desligar a planta de forma normal. Já a botoeira vermelha de emergência, disposta na parte central inferior, serve para desligar a planta no caso de uma eventual incidente.

Pode-se ver a disposição dos componentes citados na Figura 10.

Figura 10 - Disposição dos componentes no painel de comando



Fonte: Autor(2021).

O funcionamento do equipamento separador de caixas é habilitado assim que a tecla verde *Start* é acionada, já o processo de separação inicia assim que uma caixa é detectada pelo sensor S1 no começo da esteira.

A caixa percorre a esteira, passando pelo sensor S3, disposto na altura pré-determinada para as caixas de maior altura. Se o sensor S3 não detectar caixa alta, ela segue até o próximo processo ainda na esteira um e, ao passar no sensor S2, localizado no final da esteira um, é contabilizada uma caixa pequena no painel de controle. Caso a caixa disponibilizada na esteira seja alta, ela é identificada pelo sensor S3, o qual aciona a esteira dois e o dispositivo pneumático (cilindro) que desloca a caixa para esteira dois.

Ao final da esteira dois, há um sensor que percebe a presença de caixas altas assim que elas passam para o próximo processo e as disponibiliza para contagem por meio do sensor S4, contabilizando-as no painel no contador de caixas grandes.

Após a planta ter sido criada em ambiente virtual, bem como o CLP/microcontrolador ter sido devidamente programado para o presente estudo, foi realizado um teste da virtualização, em que a simulação ficou rodando das 8 horas às 20 horas de um dia, contabilizando doze horas consecutivas, demonstrando pleno funcionamento, sem evidências de falhas.

Comparando a execução deste projeto com e sem a utilização das

funcionalidades de virtualização, compõe-se a Tabela 1, que traz esta análise comparativa.

Tabela 1 – Comparação entre o projeto com e sem virtualização.

Especificações	Sem virtualização	Com virtualização
Necessidade de aquisição de componentes	CLP, fonte, painel elétrico e todos seus componentes internos, motores, sensores, mecânica das esteiras, lona das esteiras, rolamentos, computador com software de programação do CLP e cabo de rede (todos itens de projeto)	CLP, fonte, computador com software para virtualização e software de programação do CLP e cabo de rede.
Tempo destinado a programação do controlador.	20% do tempo total de projeto	20% do tempo total do projeto
Necessidade de modificação no projeto	Grande probabilidade	Probabilidade média
Custo de alteração	Alto, impactando significativamente no prazo das alterações	Baixo, apenas alteração reprogramação do ambiente virtual
Custo do para se obter o primeiro resultado	Custo total do projeto	Uma fração do projeto
Capacitação da mão de obra	Necessita do equipamento montado para poder treinar os operadores	Possível treinar os operadores antes de ter o equipamento fisicamente montado
Qualificação da mão de obra	Necessário ter o equipamento montado e parar a produção para poder fazer qualificação	Possível com o uso do simulador demonstrar todas os aperfeiçoamentos sem parada de produção e inclusive treinamento de forma remota.
Validação de projeto	Necessário de todo projeto montado	Possível a validação antes de toda a montagem física e com pouco investimento.

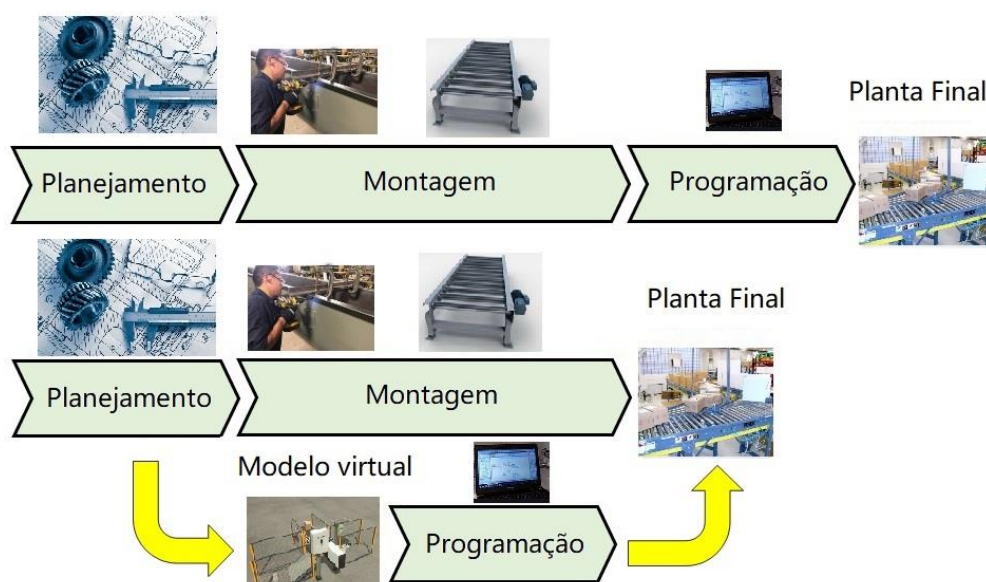
Fonte: Autor (2021).

5 ANÁLISE

Comparando-se a forma convencional de projeto de automação de uma planta, em que antes da programação era necessário criar todo o projeto, executar a aquisição e montagem da planta física e como última etapa fazer a programação e ajustes do CLP/Microcontrolador, com o conceito proposto pelos preceitos da Quarta Revolução Industrial, demonstrada neste trabalho, contemplando a virtualização, mostrou-se efetivo os ganhos no *Lead Time* (tempo de atravessamento) de um desenvolvimento de automação, mesmo que para isso se tenha que acrescentar uma etapa de modelagem virtual da planta.

Neste novo conceito, a programação e os muitos ajustes podem ser realizados em ambiente simulado em paralelo com a montagem real, conforme demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Comparação da metodologia tradicional de projeto e a metodologia proposta



Fonte: Autor(2021).

Se pode ver na figura anterior que utilizando o preceito da Indústria 4.0 pode-se trazer um grande benefício tanto em tempo, bem como em custo final de projeto,

reduzindo também os riscos de erros, mesmo que para isso seja necessário criar uma etapa de virtualização, que antes não existia.

6 CONCLUSÃO

A virtualização demonstrou-se totalmente viável permitindo toda a programação e ajustes do programa do CLP/ Microcontrolador de forma efetiva, permitindo assim visualizar todos os processos acontecendo em tempo real, mesmo não se tendo dispensado nenhum valor na aquisição nos atuadores e sensores, nem mesmo mão de obra para montagem de nenhum componente, além do CLP/Microcontrolador e de sua fonte de alimentação, demonstrando a sua total efetividade, permitindo que o processo de programação que em uma sequência antes entendida como convencional, sem os conceitos da indústria 4.0, poderia ocorrer apenas ao final de todo o projeto elétrico e mecânico e seus ajustes só seriam iniciados durante o seu comissionamento real.

Como limitações foram encontrados uma diversidade limitada de componentes dentro do *software Factory IO modulo SIEMENS*, o qual não permite acrescentar ou criar modelos de forma livre para ter a maior fidelidade possível da planta desejada, porém permite fazermos a simulação com componentes pré-existentes, alguns similares aos desejados alguns nem tanto.

Como possibilidades para o futuro, poderá ser realizada esta etapa utilizando um sistema *ciberfísico* mais flexível, com possibilidades de virtualização.

Os conhecimentos necessários para efetivar este estudo relacionados ao curso de Tecnologia em Automação Industrial foram: microcontroladores, programação em C/C++, para programação do *Arduino*; eletrônica digital, para interpretação de sinais digitais; redes industriais de comunicação, para a compreensão e utilização do protocolo *Modbus TCP/IP*; Controladores Lógicos Programáveis para correlacionar as funcionalidades do *Arduino* com as do CLP; circuitos para o entendimento e da montagem dos módulos eletrônicos utilizados; pneumática para entendimento do atuador utilizado; processos industriais para implementar a sequência do processo virtualizado entre outras intrínsecas a este processo. O que caracteriza um trabalho que conclui o curso (TCC).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Indústria 4.0: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial**. São Paulo: Érica, 2019. *E-book*.
- BARBOSA, Marcelo. **Conheça os maiores Fabricantes de CLPs!** 2018. Disponível em: <http://blog.murrelektronik.com.br/fabricantes-de-clps/#:~:text=A%20Siemens%20lidera%20a%20a%20pesquisa,e%20ABB%20tamb%C3%A9m%20est%C3%A3o%20baixos..> Acesso em: 17 dez. 2020.
- CARDOSO, Renan Coradine Moliga. **CAMINHOS DA MANUFATURA: uma abordagem à manufatura digital**. São Paulo: Amazon, 2016. *E-book*.
- CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; DA SILVA, Roberto. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- DAWSON, Tim. **Who Were the Leading Vendors of Industrial Controls in 2017?** 2018. Disponível em: <https://www.interactanalysis.com/who-were-the-leading-vendors-of-industrial-controls-plcs-and-dcs-in-2017/>. Acesso em: 17 dez. 2020.
- DIEGO. **O que é Arduino – 2019**. Disponível em: <https://tecnocap.com.br/o-que-e-arduino-2019/#:~:text=O%20Arduino%20%C3%A9%20uma%20plataforma,um%20LED%2C%20publicando%20algo%20online.> Acesso em: 21 out. 2020.
- FIRJAN. **Panorama da Inovação: indústria 4.0**. Indústria 4.0. 2016. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0-1.htm>.
- GONÇALVES, Matheus Rocha. **Controle de nível de planta didática usando controlador lógico programável**. 2019. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/2384>. Acesso em: 21 out. 2020.
- LADDER LOGIC WORLD. **PLC Basics**. Disponível em: <https://ladderlogicworld.com/programmable-logic-controller-plc-basics/>. Acesso em 18 dez. 2020.
- MAGALHÃES, R; VENDRAMINI, A. **Os impactos da quarta Revolução Industrial**. GVExecutivo, v. 17, n. 1, 2018. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/gvexecutivo/article/viewFile/74093/71080>. Acesso em: 14 dez. 2020.
- OLIVEIRA, Cláudio Luís Vieira; ZANETTI, Humberto Augusto. **Arduino descomplicado: como elaborar projetos de eletrônica**. São Paulo: Érica, 2015. Acesso em: 21 nov. 2020.
- PETRUZELLA, Frank D. **Controladores lógicos programáveis**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação Industrial**. 4. ed. Salvador, Ba: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 2001.
- REAL GAMES. **Company**. Disponível em: <https://realgames.co/company/>. Acesso em: 21 nov. 2020.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009.

SACOMANO, José Benedito; SÁTYRO, Walter Cardoso. Indústria 4.0: conceitos e elementos formadores. *In*: SACOMANO, José Benedito *et al*, (org.). **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018. cap. Capítulo 2. *E-book*.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

VILELA, Raphael Fernandes. **Sistema de Aquisição de Dados em Microcontrolador e Comunicação pelo Protocolo Modbus**. 2013. 82 p. Monografia (Departamento de Eletrônica e de Computação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9714/1/monopoli10007473.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2020.