



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
CECAU - Colegiado do Curso de
Engenharia de Controle e Automação



Arthur Bertoni Nascimento

Um Breve Tópico na História da Automação: do Painel Elétrico ao Controlador Lógico Programável

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2022

Arthur Bertoni Nascimento

Um Breve Tópico na História da Automação: do Painel Elétrico ao Controlador Lógico Programável

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof. Danny Augusto Vieira Tonidandel, DSc.

Ouro Preto

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

N244u Nascimento, Arthur Bertoni.
Um breve tópico na história da automação [manuscrito]: do painel elétrico ao controlador lógico programável. / Arthur Bertoni Nascimento. - 2022.
62 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Danny Augusto Vieira Tonidandel.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Controle e Automação .

1. Automação - História. 2. Controladores programáveis. 3. Computação - História. 4. Disjuntores elétricos. 5. Controlador lógico programável (CLP). I. Tonidandel, Danny Augusto Vieira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Arthur Bertoni Nascimento

**Um Breve Tópico na História da Automação: do Painel Elétrico ao
Controlador Lógico Programável**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 27 de outubro de 2022.

Membros da banca

[Doutor] - Danny Augusto Vieira Tonidandel - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Doutora] - Karla Boaventura Pimenta Palmieri - (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Mestre] - Regiane de Sousa e Silva Ramalho - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Danny Augusto Vieira Tonidandel, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/11/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Danny Augusto Vieira Tonidandel, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/11/2022, às 19:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0418828** e o código CRC **ECB3975F**.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, por ter a consciência do privilégio que tenho entre tantos outros. Sigo meus à agradecendo minha família, instituição fundamental na vida de qualquer ser humano e base para construção da nossa sociedade. Agradeço também à Escola de Minas juntamente à UFOP, Universidade pública, de qualidade e referência na formação engenheiros à 146 anos. Trago meus mais sinceros agradecimentos ao Prof. Danny Augusto Vieira Tonidandel por me guiar durante o processo e pelo apoio de Luiz Felipe Casali e Heitor Klippel pelo apoio na abordagem do estudo de caso.

“Se queres prever o futuro, estuda o passado.” (Confúcio)

Resumo

É apresentado um estudo preliminar acerca da transição dos primeiros sistemas de automação analógica e sua conseqüente digitalização a partir da criação de Controlador Lógico Programável (CLP), na década de 1960. São levantadas hipóteses quanto às possíveis causas dessa transição, utilizando, para isso, um estudo de caso que retrata uma transição semelhante, porém em uma planta industrial à relé remanescente – que ainda se encontra em operação, em uma instalação industrial localizada no estado do Espírito Santo. A planta foi submetida a uma atualização tecnológica, tendo sido adotado o padrão dominante: a automação digital baseada em Controlador Lógico Programável. Este processo foi documentado e relatado com o intuito de trazer uma reflexão acerca da importância dos estudos históricos acerca da história da automação.

Palavras-chaves: História da Automação, Controlador Programável, Relés, História da Computação.

Abstract

A preliminary study is presented about the transition of the first analog automation systems and its consequent digitalization from the creation of the Programmable Logic Controller (PLC) in the 1960s. Hypotheses are raised about the possible causes of this transition, using, for this, a case study that portrays a similar transition, but in an industrial plant to the remaining relay – which is still in operation, in an industrial facility located in the state of Espírito Santo. The plant underwent a technological update, having adopted the dominant standard: digital automation based on a Programmable Logic Controller. This process was documented and reported in order to reflect on the importance of historical studies on the history of automation.

Key-words: History of Automation, Programmable Controller, Relays, History of computing.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Painel de comando com botoeiras explícitas.	19
Figura 2 – O CLP Modicon 084.	22
Figura 3 – Lógica “Contato Selo” em Ladder.	29
Figura 4 – Representação de Logica acionamento Lampada	30
Figura 5 – Representação de Recursos em <i>Ladder</i>	31
Figura 6 – Representação Virador de vagões	33
Figura 7 – Representação Berço	34
Figura 8 – Representação Braço Posicionador	36
Figura 9 – Representação Ciclo de Funcionamento do Virador de Vagões	37
Figura 10 – Representação da Lógica Dividida em Sub-Rotinas	40
Figura 11 – Representação de usuário criados para SCADA	42
Figura 12 – Representação Supervisório Virador de Vagões	43

Lista de abreviaturas e siglas

PLC	Programmable Logic Controller
PC	Personal Computer
GM	General Motors Corporation
TA	Tecnologias de Automação
CLP	Controlador Lógico programável
CI	Circuito Integrado
EUA	Estados Unidos da América
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
NA	Normalmente Aberto
NF	Tecnologias de Automação
I/O	Input and Output
3I	International Instruments Inc.
DEC	Digital Equipment Corporation
PDQ	Program Data Quantizer
Modcon	Modular Digital Controller
IBM	International Business Machines
CPU	Central Processing Unit
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
PID	Controle Proporcional Integral Derivativo
SSD	Solid State Drive
HD	Hard Disk
GPU	Graphics Processing Units
PCI	Placa de Circuito Impresso

IEC	International Electrotechnical Commission
FBD	Function Block Diagram
ST	Structured Text
LD	Ladder Diagram
SFC	Sequential Function Chart
IL	Instruction List
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Pergunta e hipótese de trabalho	13
1.2	Objetivo geral	13
1.3	Objetivos Específicos	14
1.4	Metodologia	14
1.5	Organização e Estrutura	15
2	CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS: A HISTÓRIA NÃO CONTADA	17
2.1	Antes do CLP	17
2.2	A evolução do CLP	20
2.3	Um paralelo com o cotidiano	25
2.4	A programação Ladder	27
3	ESTUDO DE CASO	32
3.1	A migração	39
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	Referências	48

1 Introdução

Com o século XX marcado pelo surgimento da economia de consumo, incentivada pelo aumento da produção de bens e artefatos por parte da indústria, foi possível observar a transformação da economia global por ocasião de um acentuado aumento de produtos advindos das fábricas. Do ponto de vista das Tecnologias de Automação (TA), o presente momento é, de alguma forma, fruto de uma indústria que enfrentou a necessidade de se reinventar a partir de suas próprias tecnologias, a partir da segunda metade do século XX, e que acabaram por formatar o padrão dos sistemas de produção das décadas seguintes, e que ainda vigora, meio século depois. A transição dos sistemas de *Automação Analógica* e sua consequente digitalização – a partir do surgimento do *Computador Digital* – formam um momento chave para se compreender as tecnologias de automação industrial vigentes, que são objeto principal desta pesquisa.

Esse momento disruptivo se deu sobretudo na década de 1960,¹ quando os primeiros processos de automação baseados em controladores lógico programáveis (CLP), que são computadores digitais dedicados às necessidades industriais, seriam desenvolvidos para atender à crescente demanda de mercado. Antes disso, porém, a arquitetura dos sistemas de automação se baseava eminentemente em tecnologias desenvolvidas no século XIX, em que a expertise de projetistas da Engenharia Elétrica era fundamental na elaboração de circuitos elétricos que utilizavam, majoritariamente, botões de acionamento (botoeiras) e chaves eletromagnéticas (relés ou contatores), que tinham como função performar a lógica de acionamento, intertravamento e controle do maquinário presente em uma instalação industrial.

Contudo, a partir da crescente demanda de novos produtos e modelos, era esperado que os níveis de inovação e complexidade das plantas aumentasse, demandando um elevado nível de flexibilidade das instalações de produção já existentes, de forma a se adequarem à uma demanda cada vez mais diversificada. Por exemplo, se uma fábrica estava preparada para produzir um determinado modelo de automóvel e, em determinado momento, surgisse a necessidade de produzir um outro modelo, considerando-se a demanda do mercado, todos os circuitos de instalação daquela fábrica deveriam ser reconfigurados para se adequarem à nova demanda. Assim, um ponto de inflexão foi gerado: como manter o ascendente progresso considerando-se as limitações físicas?

Uma resposta viria no final da década de 1960, ocasião em que, a partir do surgimento do *transistor* – que viria a substituir as antigas válvulas no chaveamento de circuitos lógicos – e a criação do circuito integrado (CI), a indústria automobilística iria elaborar

¹ Ball (2008).

uma série de padrões que seriam materializados na figura de um dispositivo robusto, compacto, flexível e relativamente barato, chamado *Controlador Lógico Programável - CLP* (ou *PLC*, do inglês *Programmable Logic Controller*).

Com arquitetura de hardware semelhante ao computador digital – que iria revolucionar o cotidiano da humanidade dali a poucas décadas – e linguagem de programação própria, inspirada nos diagramas elétricos dos “antigos” que compunham os ancestrais painéis de controle, o CLP seria o responsável por “traduzir” ou “concentrar” toda lógica antiga, a partir de uma suave transição dos sistemas de automação analógica para a digital. Isto é, desse momento em diante, seria legando ao computador, então inserido no insalubre ambiente do chão de fábrica, a tarefa de realizar o papel dos antigos painéis, levando os “...fios para dentro do computador”.².

1.1 Pergunta e hipótese de trabalho

A transição dos painéis de comando analógico para o digital ocorreu de forma *simples e serena*, apenas “copiando” o diagrama elétrico para o computador, como assevera boa parte da literatura? A hipótese neste caso é que, embora o surgimento do CLP tenha permitido integrar novos recursos, antes inimagináveis, à lógica como controle e tratamento de variáveis analógicas, bem como flexibilizar as tarefas de acionamento e controle de diversos equipamentos em uma instalação, isso dificilmente seria atingido apenas como uma “cópia digital” de um diagrama elétrico. Isto é, acredita-se que o ato de replicar uma “lógica” que permita a automação em ambientes diferentes será necessariamente mais complexa do que se possa imaginar, em uma primeira impressão.

Dessa forma, propõe-se estudar a transição dos primeiros sistemas de automação industrial baseados em relés para os sistemas de automação eletrônica baseados em Controladores Lógico Programáveis (CLP). Tal estudo terá como alicerces principais uma abordagem histórica, focando especificamente nas décadas de 1960 a 1990, que marcaram o período de surgimento do computador pessoal (PC, da sigla em inglês *Personal Computer*) e do Controlador Lógico Programável (CLP), e um estudo de caso de uma planta real remanescente, onde foi realizada a transição da lógica e instalações baseadas nos “antigos” relés e painéis de comando, para um sistema digital baseado em CLP, tecnologia dominante na indústria.

1.2 Objetivo geral

Estudar a transição dos sistemas de automação baseados em relés para os primeiros sistemas digitais baseados em Controladores Lógico Programáveis (CLP) a partir de uma

² Erickson (1996).

perspectiva histórica e um estudo de caso.

1.3 Objetivos Específicos

Trazer à luz uma discussão sobre a importância dos estudos históricos na área de Engenharia de Controle e Automação. De maneira à esclarecer tal momento singular da história da automação, o surgimento do CLP, surpreendentemente tão pouco explorado a partir de uma perspectiva didática e acadêmica.

1.4 Metodologia

A transição dos sistemas de Automação Analógica e sua consequente “digitalização” a partir da criação do Controlador Lógico Programável (CLP) será estudada a partir de um recorte histórico que vai do final da década de 1960 a 1990, com o levantamento das motivações e desafios técnicos que propiciaram a utilização de computadores digitais dedicados à produção industrial. O mote para esta pesquisa se encontra em um estudo de caso da transição de uma planta industrial a relé remanescente, que se encontra em operação e está localizada em uma instalação industrial no estado do Espírito Santo. Esta planta foi submetida a uma atualização tecnológica, onde foi adotada a automação digital baseada em CLP.

Este processo será documentado e, na medida do possível, relatado como uma aplicação da reflexão realizada na primeira parte do trabalho. Para alcançar tais objetivos, sendo necessário responder alguns questionamentos, tais como:

- A migração da lógica “física” para a “digital” segue, à risca, a ordem de instalação das entradas e saídas, ou, com a modernização, é necessário criar uma lógica totalmente nova, considerando-se apenas os sensores e atuadores do sistema?
- Como será feita a interface com o operador, saindo de “apenas” botões e luzes para telas com indicações mais complexas sem prejudicar o andamento da planta? Como é feita a adaptação dos sinais discretos por alarmes, indicadores e animações levando-se em conta o fator humano?

Assim, parte da metodologia de trabalho terá como meta a redação de um texto que busque responder a tais questionamentos, contribuindo com a produção de material de caráter didático-pedagógico com embasamento histórico, e que possa, dessa forma, ser utilizado por estudantes e pesquisadores do assunto, considerando-se a escassa literatura disponível neste quesito, tema fundamental para a área de automação industrial. A metodologia estará assentada nas seguintes questões estruturais a serem investigadas:

- Embasamento histórico e fatores que levaram ao surgimento do CLP;
- O surgimento da linguagem Ladder, suas funções básicas e seu papel como elemento que conecta o passado e o presente da automação;
- A Analogia entre o Computador industrial e o Computador Pessoal (PC);
- Estudo de caso de uma planta real de um virador de vagões comandado por painéis de comando, sua migração para a arquitetura digital e a “tradução” dos diagramas elétricos para a Linguagem de programação Ladder;
- Mudanças na interface com o operador com a substituição de um painel de comando por uma tela de supervisão;

1.5 Organização e Estrutura

A pesquisa é assentada sobre dois pilares principais, além da introdução (capítulo 1), a saber:

Estudo histórico

Uma breve apresentação à respeito das origens da automação industrial como conhecemos (capítulo 2). Nesta parte, são abordados os principais problemas encontrados e os critérios iniciais estabelecidos para a criação do dispositivo responsável pela migração da automação baseada em circuitos elétricos, para a automação industrial digital.

Discussão sobre o *hardware* dos painéis de comando analógicos antecessores ao CLP (capítulo 2). Após o embasamento técnico, a história do surgimento do primeiro CLP é trazida, em paralelo com as premissas para sua criação, além da classificação de acordo com suas funcionalidades. É abordado, também, nesse capítulo, uma analogia entre o computador utilizado no dia-a-dia e o utilizado na indústria, finalizando com a linguagem de programação *Ladder*, criada especificamente para programação industrial.

Estudo de Caso

No capítulo 3 é contemplado o estudo de caso em si, em que é apresentada a migração de um painel de comando baseado em relés, pela lógica embutida no CLP. Assim, é documentada a migração do sistema de automação antigo pelo atual. É explicado não somente o funcionamento geral da planta, mas também o comportamento cíclico de cada equipamento que compõe a planta do virador de vagões.

Após um apanhado geral, ainda no capítulo 3, é exposta a linha de raciocínio usada na criação da linguagem de programação *Ladder*, também conhecida como *Diagrama*

Ladder, a partir da documentação original de comissionamento de uma planta real – um virador de vagões – e do contato do autor com os operadores e responsáveis pela manutenção do equipamento, relacionando os conceitos técnicos e históricos abordados previamente com a questão prática.

Por fim, no capítulo 4, são feitas as considerações finais à respeito da documentação e implantação do CLP em uma planta em operação, com alterações feitas apenas nos circuitos de comando, com o propósito de contribuir para a disseminação do conhecimento e aprendizado do próprio autor sobre o tema abordado.

2 Controladores Lógico Programáveis: a história não contada

2.1 Antes do CLP

O período da guerra fria¹, nos anos 1960, foi marcado por grandes disputas entre as então potências mundiais – EUA e URSS – um conflito que poderia resultar em desdobramentos catastróficos para a humanidade. Contudo, ao mesmo tempo, a indústria vivia um de seus mais frutíferos momentos. Efetivamente, um dos efeitos colaterais da guerra fria foi a intensa disputa pelos avanços tecnológicos, impulsionada pelos temores de um conflito armado, que ia desde a demonstração de poder por meio de avanços técnicos na exploração espacial, e que culminaria na primeira missão espacial tripulada ao espaço, com a missão Sputnik da URSS e, no final da década, o pouso bem sucedido da missão Apollo XI, que colocaria Neil Armstrong, em dia 20 de julho de 1969, no solo lunar.² A corrida espacial, em alguns aspectos, se tornou possível como resultado da intensa disputa pela supremacia no desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores e da eletrônica, que permitiriam a invenção do transistor e do circuito integrado – o *microchip* – e que equipariam não apenas as bólidos especiais, mas, em última instância, seriam igualmente os componentes básicos de outra revolução silenciosa: o computador digital.

Esse avanço tecnológico seria, de certa forma, sentido pelo profissional de engenharia como uma grande demanda para a inovação, o que resultaria, igualmente, em um processo mais acelerado de modernização dos parques tecnológicos das fábricas, que buscavam, por sua vez, maneiras aumentar a produtividade, com a subsequente redução de despesas e material, inclusive pela redução do capital humano, que poderia ser alcançado por meio da sofisticação dos processos de automação.³ A automação analógica já era uma realidade à época, com uma presença marcante na indústria automotiva, que fornecia veículos não apenas para os governos, haja vista que a aceleração dos processos produtivos propiciou uma profunda alteração no modo de vida do consumidor médio e suas famílias, que presenciaram, em poucos anos, a redução no valor dos bens de consumo, de automóveis a televisores e eletrodomésticos.

Contudo, a demanda por mais altos níveis de flexibilização da indústria na produção de novos bens e modelos teve um efeito colateral: demandavam também que as linhas de produção fossem alteradas com certa regularidade, de forma a se adaptarem aos novos

¹ A Guerra Fria foi responsável pela polarização mundial e, entre 1947 e 1991, desencadeou uma série de pequenos conflitos como resultado da disputa entre EUA e URSS. [Silva \(2022\)](#).

² [Shelebrock \(2022\)](#).

³ [Herman e Sparkman \(2006\)](#).

produtos. Nas fábricas de automóveis esse processo era mais evidente: a cada veículo novo, a cada modelo, a linha necessitava se adaptar de forma a atender às especificações daquele modelo. Inicialmente a automação dessas fábricas era feita sobretudo a partir de painéis comandados por relés, componentes eletromecânicos utilizados para uma infinidade de aplicações: ligar ou desligar equipamentos, bombas, motores elétricos etc. Isso tudo era acompanhado por um aglomerado de fios condutores. Naturalmente, a cada alteração de uma linha de produção, todos esses fios deveria ser, no mínimo, deslocados de seus lugares originais, quando não completamente substituídos. Em seu limite, as fábricas enfrentaram imensas dificuldades para acompanhar as constantes “modernizações”, necessárias em um período com mercados cada vez mais aquecidos.

Com a arquitetura baseada em uma única configuração, era cada vez mais difícil adaptar as novas linhas de produção, bem como a expandir a automação já em funcionamento, de forma que pudessem englobar novos processos. Isso também demandava cada vez mais espaço físico para as instalações, para comportar o equipamento necessário, exigindo aos processos de manutenção tarefas cada vez mais complexas e constantes.

Os relés, que eram uma das bases fundamentais da automação analógica, têm como princípio fundamental a atuação como chaves. Estes por sua vez, poderiam assumir dois tipos básicos de funcionamento: os contadores NA ou Normalmente Aberto – em que não se permite a passagem de corrente elétrica em seu estado natural, ou desligado – e contadores NF ou Normalmente Fechado – em que o estado inicial, desligado, permite a passagem de corrente elétrica. Assim, um relé contator consiste em uma bobina que, quando energizada, cria uma força magnética que o permite alterar o estado de seus contatos NA ou NF. Será tomada então, como exemplo, a posição normalmente aberta NA: esta permanecerá inalterada, isto é, não permitindo a passagem de energia, até que sua bobina principal seja energizada, fazendo com que ela, agora, permita essa passagem. Quando desenergizada, a bobina para de gerar a força magnética e o interruptor volta para sua posição de origem.

Essa forma simples de funcionamento dos relés permitiu que a indústria os utilizasse para realizar o acionamento dos atuadores, que são dispositivos que faz a conversão de energia elétrica para energia mecânica. Como exemplo de atuadores, pode-se citar a classe dos motores elétricos, bombas, prensas hidráulicas. Os relés também funcionam como chaves para lâmpadas de sinalização, ou para controlar equipamentos a partir da informação de botões de comando ou de sensores presentes em um determinado processo. Sensores são, à grosso modo, equipamentos que respondem com um sinal elétrico a um estímulo ou um sinal, como sensores de nível (as populares “boias”), sensores de presença, sensores de fim de curso, entre outros. Porém, para se criar essa lógica no acionamento, faz-se necessário avaliar fatores que estão além da informação advinda dos sensores. Entre eles é possível citar o chamado *intertravamento*, que é parte de qualquer sequência

de acionamento em uma planta industrial. O intertravamento pode ser observado quando um equipamento qualquer necessita que outro esteja ligado, ou desligado, antes de iniciar sua própria operação. Isto é evidenciado em sistemas de segurança ou em equipamentos de diagnóstico de falhas,⁴ que demanda uma sequência específica no acionamento de uma cadeia de relés: o acionamento de um gera, como consequência, o acionamento ou desacionamento de outros, em cadeia.

A interface com o operador era feita por meio de luzes que indicam se determinados comandos estavam sendo executados, e por botoeiras (Fig. 2.1). Uma botoeira é semelhante ao interruptor de uma instalação elétrica doméstica, mas que possui apenas uma função: somente ligam (botoeira NA) ou somente desligam um circuito (botoeira NF) que permitem não somente o acionamento inicial da lógica, como o travamento geral ou parcial da planta através dos comandos de liga, desliga, emergência e de impedimento.



Figura 1 – Exemplo de painel de comando feito utilizando o *software Factory I/O*. As botoeiras são também chamadas de atuadores, e quando acionadas permitem a passagem ou não de corrente elétrica, dependendo da sua natureza **NA**, geralmente expressa na cor verde, ou **NF**, geralmente expressa na cor vermelha.

⁴ Como, por exemplo, o retorno de equipamento de ligado, sobrecarga ou queda de corrente etc.

Um processo de automação pode ser entendido a partir de uma analogia com a confecção de uma receita, em uma linha de produção de bolos. A etapa inicial é feita pela dosagem dos ingredientes, seguida pela mistura na ordem correta, até ser levada ao forno por um tempo pré-determinado. O cozinheiro é responsável por coordenar o processo, conferindo a dosagem dos ingredientes, a ordem e tempo de mistura, o tempo de cozimento e, caso necessário, interrompendo o processo caso algo imprevisto aconteça. Para automatizar o processo de produção de bolos, basta seguir a ordem de produção. Assim, ao se ter o retorno das quantidades corretas, é acionado o dispositivo que irá misturar os ingredientes num recipiente. O processo de mistura deve se iniciar a partir do momento em que o segundo ingrediente for inserido e só terminará algum tempo após a inserção de todos. Dado o tempo de mistura, o recipiente é transportado numa forma para dentro do forno, onde ficará sob temperatura controlada, saindo já com o bolo pronto após decorrido o tempo pré determinado.

Analogamente, um processo de automação numa linha de produção segue os mesmos princípios gerais, no que diz respeito ao sequenciamento das operações. Após se ter o retorno da conclusão de um processo, outro é iniciado ou concluído. Como seria adaptar uma receita de um bolo para produzir, em seguida, um prato diferente? Na receita para a confecção de um automóvel, dada a complexidade das etapas envolvidas, é possível imaginar as dificuldades envolvidas quando se pretendia imprimir uma maior flexibilidade, ao ser necessária a alteração da linha de produção para a confecção de modelos diversos, levando-se em consideração, por exemplo, os intertravamentos de segurança, a verificação de falhas, o acionamento de motores e bombas, além do sensoriamento de etapas críticas.

Os painéis elétricos eram – e ainda são – úteis para pequenos processos, pontuais e independentes, mas passaram a se tornar inviáveis em aplicações com elevado grau de complexidade, ficando cada vez maiores, mais caros, com maior consumo de energia e gastando longos períodos para implantação e manutenção, além de se tornarem mais suscetíveis a falhas. Dessa maneira, os painéis de relés deveriam crescer em complexidade na proporção do número de equipamentos adicionados e do grau de automação exigido. Por conta disso, as montadoras viram sua capacidade de expansão e modernização limitada pelo sistema de controle existente, e passaram a buscar novas alternativas para suprir suas necessidades de produção.

2.2 A evolução do CLP

“... Em 1968, a *Hidramatic Division*, subsidiária da *General Motors Corporation*, buscando solucionar os problemas acarretados pela crescente complexidade atribuída aos painéis de relés, buscou substituí-lo por um 'controlador de máquina padrão'. Estabelecendo-se critérios básicos aos fornecedores para o formulação de um dispositivo

programável, capaz de suprir suas necessidades”.⁵ De maneira que “Em 1970, uma grande disputa ocorria na Divisão de Transmissão *Hydra-Matic* da *General Motors* em *Ypsilanti, Michigan*. O que estava em jogo era a propriedade do programa do que se tornaria os primeiros controladores lógico programáveis (CLPs), e o resultado moldaria não apenas o projeto dos primeiros CLPs, mas também o sucesso ou fracasso de seus defensores”.⁶

Portanto, esse novo dispositivo deveria ser programável, ele deveria também, ser compacto, de fácil instalação e manutenção além de adaptável à diferentes ambientes indústrias. Para se tornar viável sua comercialização ele apresentaria, ainda, um preço competitivo aos painéis de relé.

Outro ponto à ser levado em consideração é o ambiente no qual o equipamento estaria inserido, podendo estar em contato direto com poeira e abrasivos, altas temperaturas, ruídos e interferências no sinal, variações de energia constantes e, por vezes, exposto ao ar livre sob a ação do sol e da chuva. Dessa forma, conforme asseverou Ball (2008), “... Quatro fornecedores – 3I, DEC, *Allen-Bradley* e *Century Detroit* – receberam inicialmente cópias das especificações preliminares da GM. *Cutler-Hammer, Cincinnati Milling Machine* e *Bedford Associates* também foram incluídos na solicitação logo em seguida. Do grupo, apenas 3I, DEC e *Bedford Associates* entregaram produtos.”

Enquanto *Dave Emmett*, comandando a divisão de circuitos, propunha o desenvolvimento do “Controlador de Máquina Padrão”, priorizando baixos custos de manutenção, poucos espaço e melhores diagnósticos. A divisão de computadores optou pela 3I com uma máquina controlada por computador, permitindo o processamento paralelo além de inclusão ilimitada de equipamentos à lógica e inclusão de lógica booleanas complexas.

Ocorria, então, uma disputa interna onde a os setores responsáveis pelos circuitos tentava replicar as linhas existentes, à medida que o setor responsável pela computação não sequencial, segundo Brodzik (2014), buscava diminuir o tempo de processamento. Aos fins da década de 1960, a DEC apresenta o controlador programável *PDP-14*, “... instalando-o numa retificadora de engrenagens”,⁷ seguida pela empresa 3I, que utilizou o modelo *PDQ-II* para realizar o controle de uma máquina montadora,⁸ ao tempo que a *Bedford Associates* entregou chamada “unidade 084” da *Modcon*. A *General Motors*, como responsável pela incubação do projeto à época, passa então a comercializar o *PDP-14* e o *Modcon 084* (Fig. 2), com custo de até U\$ 7.000,00 dólares por unidade, uma quantia expressiva.

Dos protótipos apresentados, o da DEC se mostrou ineficaz por possuir uma memória de comandos fixa, dessa forma, era necessário enviar o programa para que eles co-

⁵ lunes (2018).

⁶ Brodzik (2014).

⁷ Ball (2008).

⁸ Ball.

dificassem a lógica. Enquanto isso, o *PDQ-II*, da 3I, desempenhou seu papel de maneira satisfatória, sendo reconhecido pela sua rapidez no processamento, porém com programação complexa.

O *Modicon 084*, por sua vez, com sua linguagem de programação semelhante aos diagramas elétricos de circuito, além de ser o único reforçado, acabou ganhando a simpatia dos responsáveis e a disputa entre os três. Embora apresentasse recursos limitados, a empresa continuou investindo em melhorias, até lançar o *Modicon 184*, sendo um marco na indústria, não apenas por atender aos requisitos desejados.⁹



Figura 2 – O CLP Modicon 084, controlador industrial programável que representou um marco na indústria, tornando-se um dos precursores dos modernos CLP. Fonte: Ferraz (2018).

⁹ lunes (2018).

Após o período de trabalho na *Hydra-matic*, a *3I* seguiria investindo em controladores programáveis e, com a demanda por maior capital, firmou sociedade com a empresa *Allen-Bradley*, com direito a comercializar a linha de CLP *PDQ* que, em 1969, iria adquirir o restante da companhia,¹⁰ tornando-se uma das linhas de CLP líderes de mercado, tendo, inclusive, contribuído com a criação da lógica Ladder, assunto que será abordado na próxima seção.¹¹

Inicialmente, o equipamento foi denominado apenas como *Controlador Programável* (“*Programmable Controller - (PC)*”),¹² porém a abreviação *PLC* foi preferida para evitar dualidade com a sigla do computador pessoal (que seria uma marca cunhada pela IBM posteriormente), o *Personal Computer*, ainda que, ironicamente, o *PLC* não deixe de ser um computador digital. O PC doméstico/empresarial seria popularizado a partir da década de 1980. A sigla *Programmable Logic Controller (PLC)* se popularizou enormemente a partir da sua utilização pela *Allen-Bradley*.

Arquitetura de *hardware* de um CLP se caracteriza, à grosso modo, por meio da *Central Processing Unit* (CPU), que é a unidade onde se localiza o processador, responsável por controlar os *Outputs* a partir da interpretação dos *Inputs*. A lógica interpretada pelo processador fica armazenada nos espaços de memória, onde a fonte de alimentação cumpre o papel retificador CA-CC, isto é, a conversão de corrente alternada em contínua, para alimentação do circuito interno.

Outra inovação foi a montagem sobre um *rack* – que compreende a estrutura física dos equipamentos de um CLP – que serviria de encaixe para os módulos de entrada de saída, rede e periféricos, com a CPU, em alguns casos, mantendo-se fixa. Isso traria maior flexibilidade ao CLP. Portanto, seria então possível alterar convenientemente o número de entradas e saídas, tanto analógicas quanto digitais, além de dar a possibilidade para criação dos chamados “cartões de comunicação”, tais como *EtherNet*, *DeviceNet*, *Profibus*, entre outros, que possibilitaram a interface com as entradas e saídas remotas (remote *I/O*), inversores de frequência, e até mesmo outros CLP’s na rede.

Atualmente, devido à vasta gama de opções advindas da modernização dos CLP’s, pode-se categorizá-los em cinco principais grupos, *Micro*, *Small*, *Medium*, *Large* e *Very Large*. Eles foram divididos levando-se em consideração o tipo e a quantidade de módulos de entrada e saída, funções internas e capacidade de memória. Essas 3 principais características são de suma importância na escolha do CLP adequado ao processo. Como exposto pela a tabela 1.

A capacidade de memória é a responsável por determinar a capacidade de código que seu código poderá ter, visto que a quantidade de equipamento à ser inserido na lógica

¹⁰ Ball (2008).

¹¹ ver, por exemplo, as figuras 3, 4 e 5, na seção 2.4.

¹² Erickson (1996).

Tabela 1 – Categorias de Controladores Lógico Programáveis.

Categoria	Características
Micro CLP	Unidade compacta
	2K words de memória
	32 digital input/output (I/O) points
	Instruções básicas
	Contadores
	Timers
Small CLP	Unidade modular expansível
	Até 128 pontos de I/O digital
	I/O analógicas
	4K words de memória
	Registradores e instruções sequenciais
	Comunicação primitiva entre CLP's
Medium CLP	Expansível até 1024 I/O points
	32K words de memória
	Utilização de Remote I/O
	Instruções matemáticas básicas
	Instruções de manipulação de dados
	subrotinas e interrupções
	Blocos de função ou linguagem de alto nível
	Conexão com a rede
Large CLP	Expansível até 2048 I/O points
	256K words de memória
	Instruções matemáticas aprimorada
	Instruções de manipulação de dados aprimorada
	Controle PID
Very Large CLP	Expansível até 8192 I/O points
	4M words de memória

bem como a quantidades de operações e tipo de entradas e saídas o CLP terá capacidade de processar. A capacidade de memória é o parâmetro responsável por definir a quantidade de código que poderá ser inserido na lógica, ao ponto que variáveis analógicas ocupam muito mais espaço de armazenamento do que as (variáveis) digitais.

Em resumo, com a Tabela 1 é possível observar as diferentes categorias de CLP's existentes. A categoria Micro CLP suporta até 32 entradas e saídas digitais, bem como funções de contador e *timer*, possuindo também 2×1024 palavras (*2K words*) de memória de programa. Em seguida vem a categoria *Small PLC*, expandindo significativamente sua capacidade de entradas e saídas, ao suportarem variáveis analógicas, podendo ser expandidas para até 128 pontos de I/O's digitais. O *Small PLC* possibilita ainda a comunicação primitiva com outros CLP's e aumento também sua memória para *4K words*.

A terceira categoria, *Medium PLC's*, tem capacidade de 1024 pontos de I/O e capacidade de memória de 32k palavras, tendo seu diferencial na habilidade de realizar operações matemáticas mais complexas, instruções de tratamento de dados, com a possibilidade de ser programado por meio de sub-rotinas, interrupções e blocos de função. Um ponto a ser salientado para essa categoria é a possibilidade de conexão em rede, bem

como a utilização de entradas e saídas remotas (remote I/O).

Por fim, as categorias subsequentes *Large PLC* e *Very Large PLC*, que diferenciam-se das demais ao apresentarem a função de controle de variáveis analógicas, como o chamado controle *PID*.¹³ CLP's em tais categorias apresentam maior capacidade de memória: 256K e 4M respectivamente. Elas também diferenciam-se quanto ao número de entradas e saídas, indo para 2048 e 8192, além todas as funcionalidades já citadas dos modelos anteriores.

2.3 Um paralelo com o cotidiano

O PC (*Personal Computer*) já havia se consolidado nos ambientes doméstico e corporativo desde o final do século passado, e sua co-evolução com a sociedades, desde então, tornou-o cada vez mais acessível e, por vezes, necessário, no cotidiano das pessoas. Seja no lazer, por meio de jogos e serviços, no trabalho e nos estudos, por mecanismos de pesquisa sofisticados, ferramentas para escrita, leitura, cálculos matemáticos e comunicação. O computador ganhou cada vez mais espaço na sociedade, tornando-se indispensável nos dias atuais.

A arquitetura de *hardware* de um computador é composta basicamente por uma placa de circuito principal, responsável por unir os demais componentes, denominada placa-mãe. Nela estão alocadas as memórias físicas de armazenamento, como os discos-rígidos (HD) ou unidades de estado sólido (SSD), bem como memórias voláteis, de processo, a RAM e suas derivadas. Essas memórias são necessárias para que o processador (CPU) possa realizar sua função de comandar todas as funções exercidas pela máquina, em paralelo, nos melhores casos, com a placa de vídeo (GPU) que vem para complementar o processamento do processador, melhorando seu desempenho. Com todos esses componentes sendo alimentados pela fonte de alimentação, responsável por fornecer corrente contínua aos circuitos internos.

Além dos dispositivos internos, o PC conta também com o *hardware* periférico necessário ao seu manuseio. Dentre eles estão monitor, mouse, teclado, câmera e fones de ouvido. Eles já são de conhecimentos de todos que tiveram contato com o computador doméstico, uma vez que, sem eles, não seria possível manusear a máquina.

Fazendo um comparativo entre o hardware interno de um PC e de um CLP, pode-se observar grande semelhança, considerando-se que ambos necessitam de uma fonte de alimentação, memória para armazenamento, processador e interligação por meio de placas de circuito impresso (PCI). O PC foi pensado visando desempenho, possuindo componentes de *hardware* mais eficientes na transmissão da informação seja no armazenamento ou

¹³ A sigla em inglês se refere ao controle proporcional, derivativo e integrativo.

no processamento, se comparado ao CLP. Então, seria possível utilizar o PC convencional em processos industriais?

Analisando o princípio de funcionamento do CLP abordado anteriormente, conforme resalta Rullán (1997), “... o CLP moderno tem seu funcionamento fundamentado em duas etapas, uma análise periódica das I/O’s seguido da leitura sequencial da lógica”, fazendo que com que decisões sejam tomada à partir da análise do ambiente externo. O PC não tem seu funcionamento baseado em I/O’s, mas sua versatilidade permite que adaptações sejam feitas para a comunicação com sensores e atuadores, bem como os CLP’s.

Atualmente existem CLP’s de marcas distintas, as quais priorizam características diferentes na elaboração de seus dispositivos. Tornando cada dispositivo limitado aos seus respectivos fabricantes, muitas vezes dificultando a interconexão entre equipamentos de diferentes marcas, sendo necessários *drives* de comunicação externos, encarecendo o projeto e por vezes se tornando até mesmo impossível em alguns casos, principalmente quando se referem a equipamentos mais antigos.

O PC por sua vez, possui uma arquitetura aberta, com uma gama de sistemas operacionais disponíveis, que permitem que os próprios usuários busquem soluções para problemas nativos e contribuam para essa evolução tecnológica constante. No caso da indústria, a possibilidade do usuário realizar projetos podendo basear-se na linguagem de programação que melhor lhe convir, traz um gama de possibilidades para que cada programador adapte-se ao projeto de acordo com sua necessidade.

Um conceito que vem ganhando força nos dias atuais é o da indústria 4.0, e ele só foi possível devido à evolução das linguagens de programação, tornando acessíveis conceitos como a Inteligência Artificial e *Data Science*. As linguagens de programação permitidas num CLP não acompanharam esse conceito, atendo-se ao seu propósito inicial de análise de seus periféricos para tomada de decisão.

Portanto, para adaptar-se às contantes novidades do mundo tecnológico, os responsáveis pela automação tiveram que se reinventar, integrando essas novas tecnologias por meio de protocolos de comunicação, integração com bancos de dados e utilizando o funcionamento de PC’s em paralelo ao CLP por meio da comunicação em rede. Neste quesito, o CLP mantém sua função fundamental de controle da planta, enquanto o PC cumpre o papel na integração com essas nova tecnologias.

Um caso particular dentre os modelos de CLP’s disponíveis é o da empresa *Beckhoff*, de origem alemã que conseguiu integrar o sistema operacional presente nos computadores tradicionais aos seus computadores indústrias. Isso permitiu encontrar o meio termo entre a robustez necessária para operar em ambientes industriais com a velocidade e versatilidade dos computadores domésticos. Em seguida (tabela 2), apresenta-se uma tabela

Tabela 2 – Comparativo entre CLP e PC

CLP	PC
Controle fechado (dispositivo específico para cada aplicação)	Tecnologia aberta (permite inovação partindo dos próprios usuários)
Poder computacional Limitado	Maior velocidade de processamento
limitação de <i>Hardware</i> pelo fabricante	Flexibilidade na integração de <i>hardwares</i>
Custo de Software elevado	Possibilidade de disponibilização de <i>software</i> reduzida, até mesmo gratuita em alguns casos
Atualização de <i>hardware</i> necessita também de novos softwares	Atualização de <i>softwares</i> atendem também modelos mais antigos
Dificuldade na inclusão de dispositivos de terceiros	Arquitetura aberta facilita a inclusão de <i>hardwares</i> de outros fabricantes
Expansões pode exigir <i>Hardwares</i> novos	Possibilidade de expansão de periféricos como HD e memória RAM
Dificuldade na integração às novas tecnologias devido ao projeto de <i>hardware</i> para uma única finalidade.	Adaptação às novas tecnologias disponíveis de forma nativa

contendo comparativos entre os controladores tradicionais e com integração com sistema operacional, tendo como referência o artigo publicado por [Souza Rodrigues \(2022\)](#).

2.4 A programação Ladder

A recente era da digitalização traz consigo quebras de paradigmas e mudanças de comportamento. A possibilidade de criação de um dispositivo versátil e flexível, que substituísse parte do emaranhado de fios e relés, como um computador dedicado às práticas industriais, traria também uma nova dificuldade: sua programação.

Compreendendo que o profissional que se tornasse responsável pela operação do CLP continuaria, em tese, o mesmo responsável pela operação dos antigos painéis elétricos – geralmente um profissional com conhecimentos nas áreas de eletrotécnica e eletromecânica – uma solução proposta foi a de adaptar a programação de forma que ela se assemelhasse, ao máximo, aos conhecidos diagramas de instalações elétricas. Vale ressaltar que as normas que regiam esses diagramas eram ditadas pela IEC, sigla em inglês que corresponde à Comissão Internacional de Eletrotécnica.¹⁴

Tal prerrogativa daria origem a uma linguagem de programação gráfica e simples,

¹⁴ Fundada em 1906, a IEC - *International Electrotechnical Commission* - é a organização líder mundial para a preparação e publicação de padrões internacionais para todas as tecnologias elétricas, eletrônicas e relacionadas. Ver em [INTERNATIONAL... \(2022\)](#).

baseada em símbolos comuns às normas de instalações elétricas, formando um diagrama de fácil compreensão e programação. Essa linguagem foi denominada *Ladder Diagram* ou, simplesmente, *Ladder*.

Atualmente, a norma IEC 1131-3 define cinco linguagens de programação de CLP's, sendo elas: Diagrama de Blocos Funcionais (*Function Block Diagram - FBD*), Lista de Instruções (*Instruction List - IL*), Texto Estruturado (Structured Text - ST), Diagrama Funcional Sequencial (*Sequential Function Chart - SFC*) e Diagrama Ladder (*Ladder Diagram - LD*). A utilização dessas diferentes linguagens varia conforme o fabricante escolhido, o modelo de *hardware* disponível, a forma de desenvolvimento e a necessidade de cada aplicação. O objetivo no momento é abordar a linguagem de programação *Ladder*, a primeira e mais usual dentre as opções disponíveis.

A *LD* surgiu juntamente com a invenção do CLP e é classificada com uma linguagem gráfica por utilizar-se de símbolos que representes componentes fundamentais nos diagramas elétricos. Em sua forma básica, ela representa com fidelidade contadores e bobinas, passando para componentes mais complexos conforme as funcionalidades foram sendo adicionadas ao CLP. A linha de alimentação nesse circuito está na vertical e se encontra necessariamente do lado esquerdo, enquanto que a linha de aterramento se localiza paralelamente à direita. Essas duas linhas paralelas são interligadas por linhas horizontais em que, **simbolicamente**, a corrente elétrica flui da esquerda para direita.

O fato de possuir duas linhas verticais paralelas interligadas por linhas horizontais justifica o nome dado à linguagem de programação. Na tradução livre, “Ladder” vem do Inglês é o equivalente a “escada”, no Português. Vê-se tal semelhança quando são inseridas inúmeras linhas de programação, limitando-se apenas à memória disponível para programação no CLP.

A lógica de programação surge justamente nessas linhas horizontais. Nela, o relé contator receberá o sinal de uma entrada discreta e permitirá, ou não, a passagem de corrente, figurativamente, para acionamento da bobina conforme seu estado. A bobina, por sua vez, será responsável por acionar uma saída externa ou um *bit* de memória interna na programação.

Portanto, tem-se que o início da programação se dá recebendo o sinal da entrada advinhas dos sensores pelos contadores e terminando no acionamento das saídas pelas bobinas para os atuadores. Esse sinal em questão refere-se ao sinal digital ou discreto, ele varia entre zero, para desligado, e um, para ligado.

Entre as entradas e saídas, às quais podem ser vinculadas os contadores e bobinas, respectivamente, existem as memórias internas do CLP, e ela é o foco para a construção de uma lógica. Assim como as bobinas podem ser vinculadas às saídas físicas do CLP, elas também podem ser vinculadas aos *bits* de memória, que quando associados a um contator,

permitem o seu acionamento.

Essa forma de acionamento interno de contatores, a partir de bobinas, utilizando-se de endereços de memórias é o que torna a linguagem Ladder de fácil assimilação para quem já teve um contato prévio com relés físicos. Pois, enquanto o relé necessita de um sinal elétrico para permitir ou não a passagem de corrente na linha, um contatores irá agir de acordo com o estado do bit de memória ao qual ele esta vinculado, sendo acionado por uma bobina.

Esse é um principio base para a compreensão de uma lógica em Ladder, analisar quais bobinas estão dando comando para quais contatores, e quais bobinas esses mesmo contatores estarão acionando. Assim, temos, inicialmente o “contato selo”, que consiste num contatores estar sempre acionando a própria bobina, é necessário apenas um pulso para que o mesmo se mantenha energizado até que o comando de Stop seja dado. Como ilustrado pela figura 3 abaixo.

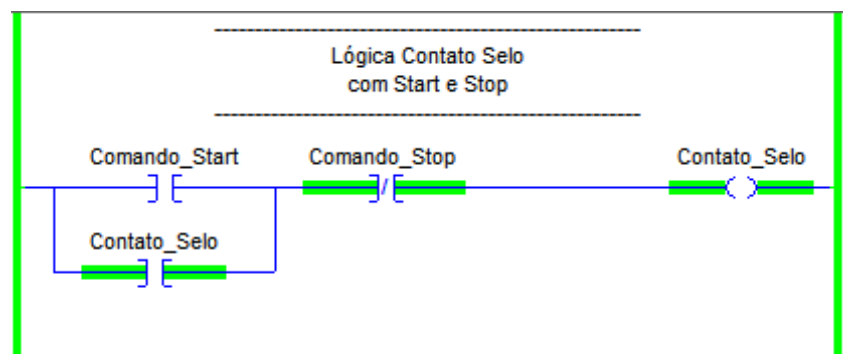


Figura 3 – Imagem da Lógica “Contato Selo” utilizando o *software Studio 5000*.

A figura 3 ilustra o principio básico na criação de uma lógica em *LD*. Nela o operador terá controle sobre os comandos de ligar e desligar, enquanto que a lógica consiste em manter a bobina acionada mesmo após o comando de ligar ter se encerrado, desligando-se somente até ser dado o comanda de parada. É possível verificar que a corrente elétrica flui de onde estão os contatores para o acionamento da bobina à direita. Após o comando de iniciar ser dado, indo para estado lógico alto, a bobina “Contato Selo” é acionada, permitindo então que o contatores “Contato Selo” seja acionado permitindo a passagem de corrente sem a necessidade do “Comando *Start*”.

Desde então, a bobina se manterá acionada indefinidamente, de modo que o contatores “Contato Selo” energiza a bobina que segue acionando o contatores. Para interromper o fluxo de corrente e quebrar o ciclo, foi inserido em série um contatores NF que, quando acionado, interromperá o fluxo de energia, desenergizando a bobina.

Essa lógica foi feita utilizando apenas uma linha e pode servir de base para outras finalidades. O próximo passo poderia ser o acionamento de uma lampada à partir dos

comandos de *start* e *stop*. No qual teria a bobina acionando um outro contator responsável por acionar uma saída digital conectada á uma lampada.

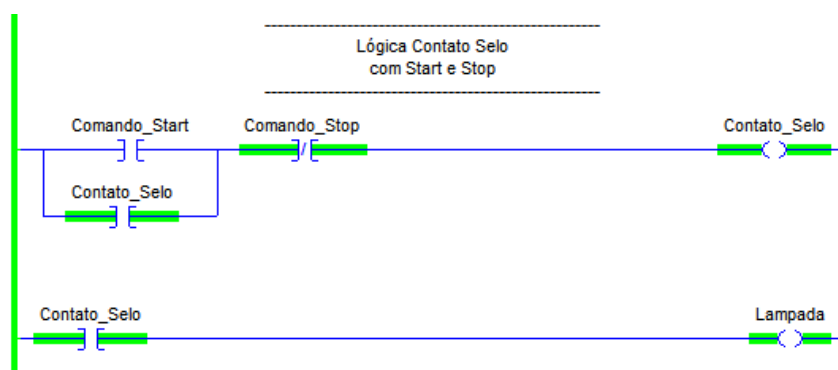


Figura 4 – Imagem da Lógica de Acionamento de uma Lampada utilizando Studio 5000

Além de recursos voltados apenas para comandos discretos, a linguagem Ladder permite também a utilização de recursos mais sofisticados como temporizadores e comparadores. Os quais tem a função de registro do tempo, contagem de eventos e comparações matemáticas, respectivamente.

Visando elevar o nível de complexidade da lógica, na linha abaixo seria possível inserir uma outra bobina endereçada à uma saídas de acionamento de uma lampada à partir dos comandos de *start* e *stop* com um tempo de dois segundo de atraso para ligar e um contador responsável por registrar quantas vezes ela foi acesa.

Esse contador pode servir para que não seja mais possível ligá-la após determinada quantidade de vezes que foi acionada, afim de preservar seu bom funcionamento e assim por diante. Cada uma dessas ideias são realizadas em um dessas linhas, seguindo o fluxo descendente para processá-la.

Dessa forma, o programador deve respeitar a ordem de execução da lógica para que os comandos sejam dados na ordem correta. O CLP segue essa ordem num determinado tempo chamado ciclo de *clock*, tempo de *scan* e *watchdog* o qual representa o tempo que o mesmo levará para processar todo o código.

Além de bobinas, *timers* e contadores usados para lógicas de variáveis discretas, é possível realizar operações matemáticas básicas e complexas através de blocos matemáticos e por comparadores maior, menor, igual e diferente.

Esses blocos são comumente utilizados para tratamento e conversão de sinais analógicos de entrada e saída. Blocos comparadores tem a função, também de enviar comandos digitais à partir de sinais analógicos, muito utilizado para alarmes para sensores de nível alto ou baixo e de corrente elétrica, por exemplo.

Todos os exemplos citados acima são recursos que já fazem parte na programação de um CLP desde o seu surgimento e são a base de qualquer lógica feita, independente da

sua utilização. Para exemplificar, tem-se a Figura 5, onde é visto como são alguns desses blocos utilizados *Studio 5000* da *Rockwell Automation*.

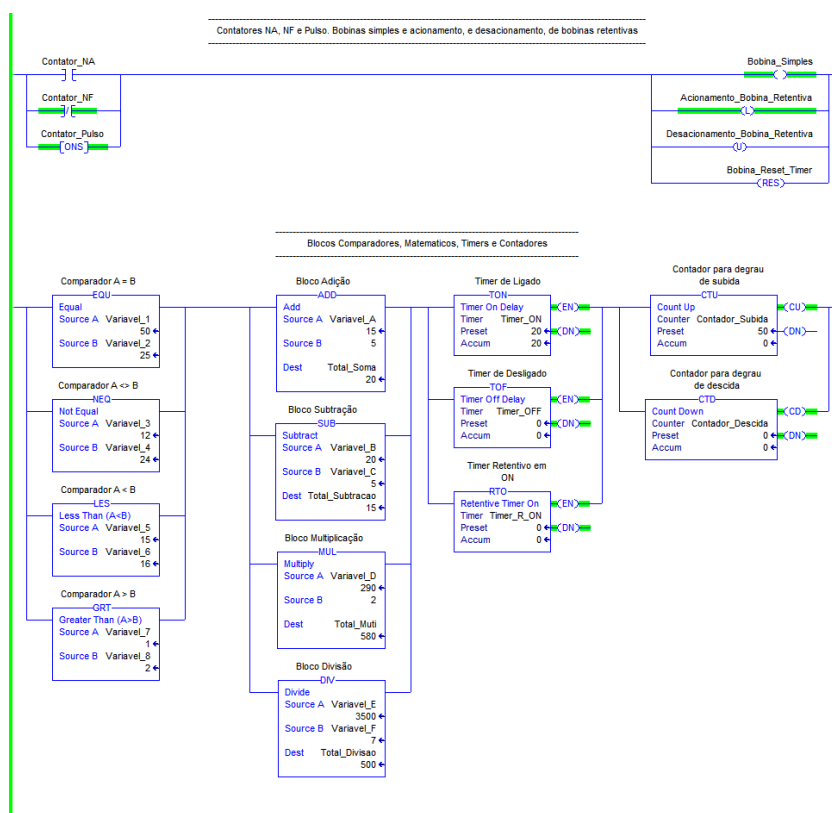


Figura 5 – Imagem de alguns recursos básicos da linguagem *Ladder* utilizando *Studio 5000*

Partindo dos três tipos de contatores, sendo eles os NA, NF e ONS (que emite apenas um pulso) acionando as bobinas comum, *Set ON*, *set OFF* e *Reset* de *timers*, Logo abaixo estão os blocos comparadores para valores iguais, maiores, menores e diferentes, à frente estão os blocos matemáticos de adição, subtração, multiplicação e divisão em paralelo. Os blocos seguintes referem-se aos *timer's* de contagem de tempo ao ligar, ao desligar e aos retentivos em *ON*. Finaliza-se então com os contadores, com a função de registrar a quantidade de vezes que se acionou, ou desacionou, determinada linha.

Atualmente existem inúmeras funcionalidades inseridas na lógica Ladder, dentre o controle PID e blocos de mensagem e protocolos de rede, Apesar disso, a base da lógica ainda é feita por meio desses blocos indicados pela Figura 5, sendo uma herança da lógica feita antigamente através de relés.

3 Estudo de Caso

O constante aumento da demanda mundial por minério de ferro no mercado leva as empresas à buscar aperfeiçoar-se constantemente, buscando soluções visando mais praticidade e economia no processo. iniciado na extração e beneficiamento do minério, passando pelo transporte, para que, enfim, seja escoada pelo porto até chegar ao cliente final. Essa cadeia de produção, em suma, “... composta tipicamente e fundamentalmente por uma tríade, sendo essa: mina, ferrovia e porto”, como trazido por [Lopes \(2017\)](#).

No que diz respeito ao terminal portuário, uma tecnologia que veio para otimizar o tempo de descarregamento de material foi o virador de vagões. Em média, são utilizados vagões com capacidade de transporte entre 70 à 100 toneladas de minério de ferro, e esse método de descarregá-los permite que essa grande quantidade seja descarregada de forma prática, movimentando um grande volume de material, condizente com as exigências de sistemas cada vez mais otimizados.

Como o próprio nome diz, o processo consiste em descarregar vagões virando-os. Nesse sistema, Os vagões são virados individualmente, com centro de giro sob o engate, sobre uma abertura onde estão localizados dois *pan feeder's*. Eles são os responsáveis por distribuir o material sobre uma esteira que dará incio à cadeia produtiva do aço.

Os vagões utilizados no processo tem sua face superior aberta, além de sua característica que os diferenciam dos demais, de possuírem o engate giratório. Esse tipo de vagão é classificado como vagão do tipo gondola GDT. Permitindo, assim, que a um ângulo de giro de 180° sem a necessidade do mesmo ser desacoplado dos demais.

A figura 6 ilustra como se dá o processo de descarregamento por meio do virador de vagões. A etapa superior, representada por 1, traz o momento inicial, em que os vagões foram posicionados corretamente, e são fixados ao berço giratório. Em seguida, a etapa representada por 2 traz os vagões já no momento de giro, tendo seu material despejado.

Por se tratar de um material de caráter ilustrativo, 6 diferencia-se do processo estudado no que diz respeito ao fato de trazer o processo de virada de dois vagões simultâneos, enquanto que o estudo de caso baseou-se num virador de vagões unitário. Porém, mantém-se a mesma ideia quanto ao funcionamento.

Despejar minério de ferro num recipiente virando-o se mostra um processo simples, mas ao levar em consideração a quantidade de material descarregado, a manutenção do maquinário envolvido e o prejuízo causado por tempo de parada acaba por torná-lo complexo. Pois, apesar de ser um processo pequeno e simples, se for feito realizado de forma incorreta, gera prejuízos que se acumulam por toda cadeia de produção.

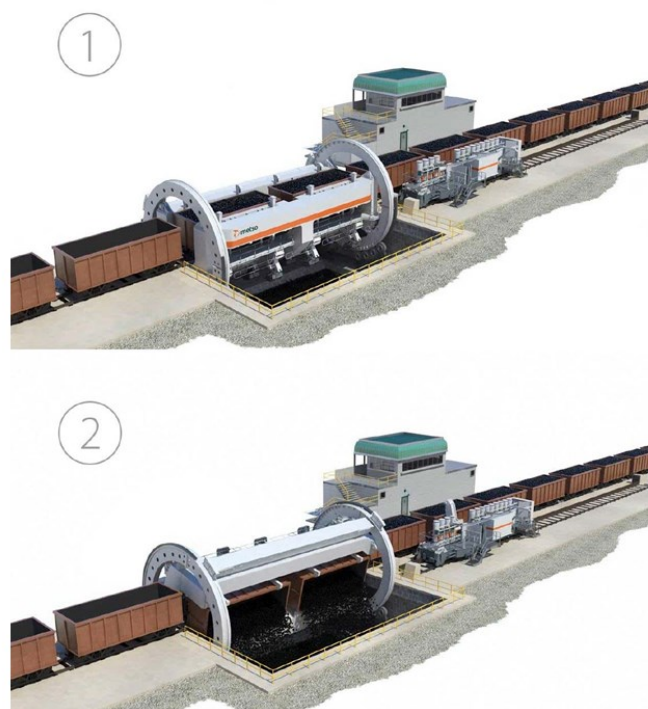


Figura 6 – Imagem Ilustrativa de um Virador de Vagões. Fonte: (OUTOTEC, 2022)

Em virtude disso, deixar na mão de operadores um processo fechado e cíclico acaba por deixá-lo suscetível à falhas de operação. Nesse contexto a automação se fez necessária desde o seu momento de construção, adotando então, o painel de comando acionado por relés para atendê-los.

O painel de comando composto por botoeiras retentivas, NA e NF e chaves seletoras para comando além de lampadas de cores diversas para interface com o operador. Todo o sistema fica localizado na sala de operação, ela possui uma vista superior da planta, permitindo ao operador ter o controle visual do processo.

O processo de um virador de vagão consiste em 3 equipamentos principais, o braço posicionador, o carro posicionador e o berço. O minério é despejado sobre dois *pan feeder's*, além do sistema de aspersão e monitoramento por câmeras e sensores. Toda a planta é controlada da sala de comando, onde localiza-se a mesa para acionamento do virador de vagões, como também um pequeno sistema supervisão para controle dos equipamentos que vieram posteriormente e câmeras de monitoramento.

O acionamento pode ser feito em modo manual, onde o operador será responsável pelo controle no envio de comandos de cada equipamento individualmente, ou automático, em que a planta passará a rodar sozinha. Além da sala de comando, o operador tem a opção de um painel de comando simplificado ao lado dos equipamentos para operação local, onde é possível parar ou retomar o funcionamento caso algo fuja da normalidade.

O berço giratório é o equipamento responsável pela etapa principal do processo, ao

descarregar vagões submetendo-os à 175° de giro em torno do engate. Logo abaixo estão localizados os *pan feeder's*, sendo ele o responsável por levar o material para as etapas subsequentes da produção do aço.

O berço recebe esse nome por se tratar de uma estrutura que engloba todo o vagão, como exemplificado pela figura 6. O vão de encaixe condiz perfeitamente com as dimensões dos vagões, sendo utilizados os "grampos" fixados em pontos da borda superior afim de evitar que o vagão se desprenda durante o giro.

Para garantir que o vagão esteja posicionado no local correto, utilizou-se de sensores de presença no ponto onde deve coincidir com o vão entre o vagão anterior e o subsequente. Após posicionados corretamente, são utilizados os "calços" para travas o primeiro rodeiro do vagão atrás e o último rodeiro do vagão da frente, evitando tombamento durante o giro do berço.

O princípio de funcionamento do equipamento trabalha de maneira cíclica, com período estimado em 10 segundos. Nele, se é feita uma aceleração em rampa até atingir a velocidade nominal, bem como uma desaceleração em rampa até que o movimento se conclua. Após despejado o minério, o berço executa o movimento de retorno à posição inicial de maneira semelhante. Como ilustrado pela figura 7.

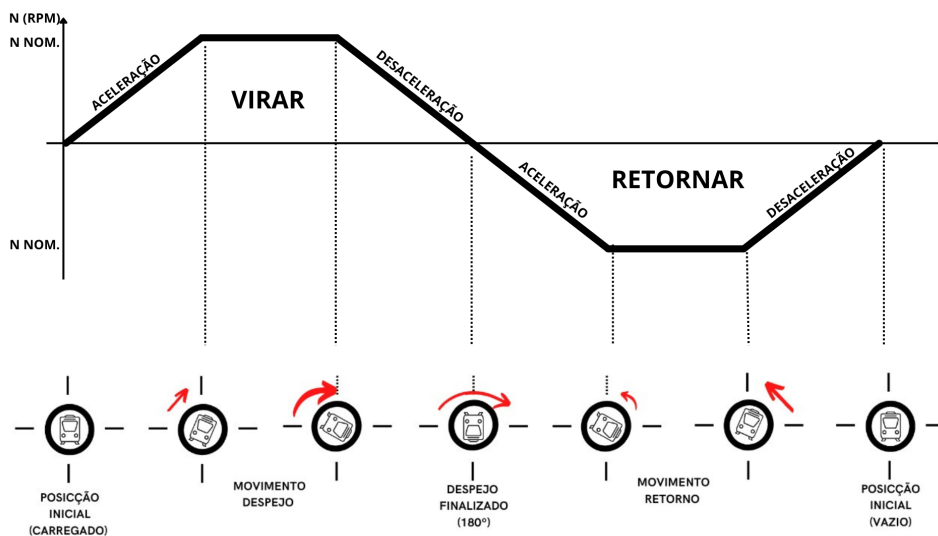


Figura 7 – Imagem do Ciclo de Trabalho do Berço.

Com a figura 7 é possível verificar de forma simplificada o ciclo de trabalho da etapa de virada do vagão, com acionamento por motores elétricos o ciclo de funcionamento acaba por regenerar energia no momento de desaceleração, funcionando como gerador.

A etapa de descarregamento dos vagões só é possível quando os mesmo estão posicionados no lugar certo, ficando a cargo do carro posicionador realizar essa tarefa. Ele é o dispositivo responsável pelo movimento linear dos vagões em cada ciclo de operação.

Ele consiste em uma estrutura de base semelhante ao do vagão para que se possa guiar seu movimento por meio de trilhos. A mesma é tracionada por meio de cabos de aço e roldanas controlado pela central do posicionador. Assim como o berço posicionador, seu ciclo de operação é dado por uma aceleração em rampa, até sua velocidade de operação, seguida por uma rampa de desaceleração até dez por cento de sua velocidade e parar ao acionar o fim de curso.

O motor responsável pelo sistema de tração funciona em corrente contínua e pode ser operado nos dois sentidos de giro. O retorno é dado de maneira semelhante, porém apenas com o próprio peso. Essa redução para dez por cento de sua velocidade nominal se deve por se tratar de um equipamento que necessita de precisão ao realizar o movimento.

Sem o posicionador funcionado corretamente não seria possível fixar os vagões para giro de berço, bem como impossibilitaria que o braço posicionador realize o movimento, impedindo também que o próprio carro posicionador realize sua função.

Como dito, o carro posicionador é responsável por movimentar os vagões no momento certo, porém é necessário que se utilize de uma trava nos momentos de movimentar os vagões e destrava ao retornar para sua posição inicial.

Com isso chega-se ao braço posicionador, equipamento responsável por travar os vagões durante o movimento do carro posicionador. Ele consiste em uma alavanca com 90° de liberdade de movimento, saindo da posição inicial vertical para a horizontal. Com seu acionamento feito através de bomba para avanço e retorno de um pistão hidráulico.

Ele realiza esse movimento de descida no vão entre dois vagões na posição inicial do carro posicionador. Como dispositivo de proteção, foi inserido um sensor ótico capaz de detectar se o braço posicionador está na posição correta e também se essa posição coincide com o vão entre vagões.

Desta forma, só é permitido que o braço realize o movimento quando a esteira posicionadora, ao retornar, pare corretamente e com o indicativo de que será seguro realizar seu movimento. O movimento de subida, por sua vez, é permitido apenas após a conclusão do movimento de ida do carro posicionador, só sendo permitida o movimento de volta após o içamento do braço posicionador.

A figura 8 ilustra o ciclo de trabalho do braço posicionador em paralelo com o animação de seu movimento. Nele é possível verificar a aceleração para que o braço realize o movimento de descida, zerando ao alcançar a posição horizontal, bem como o mesmo movimento, no sentido inverso até seu retorno para posição inicial.

Os três equipamento citados acima compões o esquemático base de um virador de vagões. Com cada equipamento com seu ciclo de trabalho individual, mas interagindo entre si para o funcionamento correto da planta.

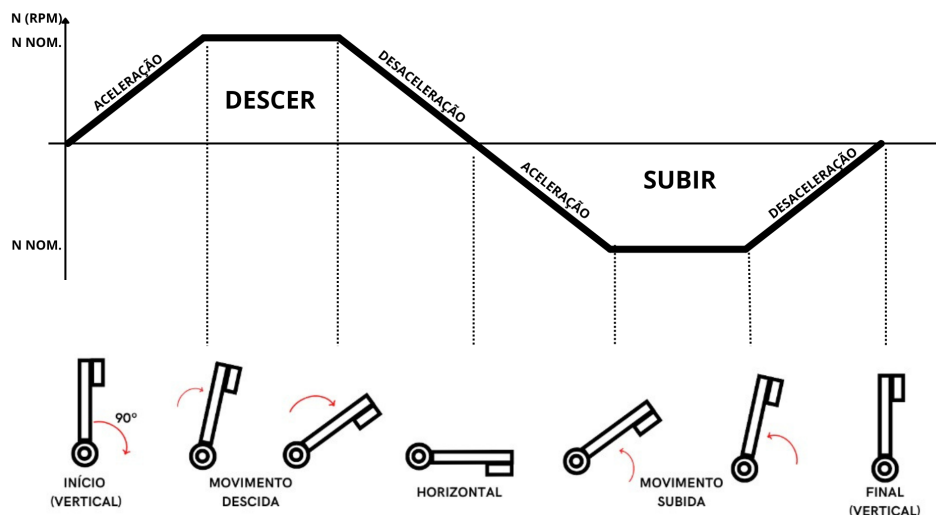


Figura 8 – Imagem do Ciclo de Trabalho do Braço Posicionador

À partir deles é que se tem o direcionamento para estudo da linha, e desde sua montagem à quase quarenta anos atrás, alterações de caráter técnico e melhorias puderam ser implementadas. Partindo, agora, do início do processo, poderá analisar-se não somente os equipamento principais, como também os periféricos e as melhorias inseridas durante o processo.

Durante a chegada dos primeiros vagões carregados na linha, o primeiro vagão deve ser posicionado manualmente, de maneira que o rodeiro da frente esteja posicionado em paralelo aos calços de entrada do berço. Isso resulta, também, no posicionamento correto do vão necessário para o braço posicionador realize o movimento de descida. Ele ocorre de maneira que o primeiro rodeiro do vagão deve coincidir com os calços de entrada, como ilustrado pela figura 9.

Já com os vagões posicionados corretamente, o operador liga-se manualmente a ventilação dos motores, liga também o sistema de lubrificação dos equipamentos bem como as bombas da unidades hidráulicas responsáveis pelos calços e pelos grampos. Deixando, assim, o sistema apto à rodar em automático.

O passo seguinte é garantir que o carro posicionador esteja na posição que permita ao braço descer sobre o engate entre o primeiro e o segundo vagão, onde encontra-se o sensor indutivo “S.I.1” em 9. Visto que os vagões já foram posicionados ao chegarem.

Agora é possível que a operação funcione em modo automático, onde o sistema receberá o retorno do sensor ótico localizado no local do vão e o habilita para realizar o movimento. Devidamente autorizado, o braço posicionador realiza o movimento de descida para o posição horizontal, travando os vagões e dando permissão para avanço do carro posicionador.

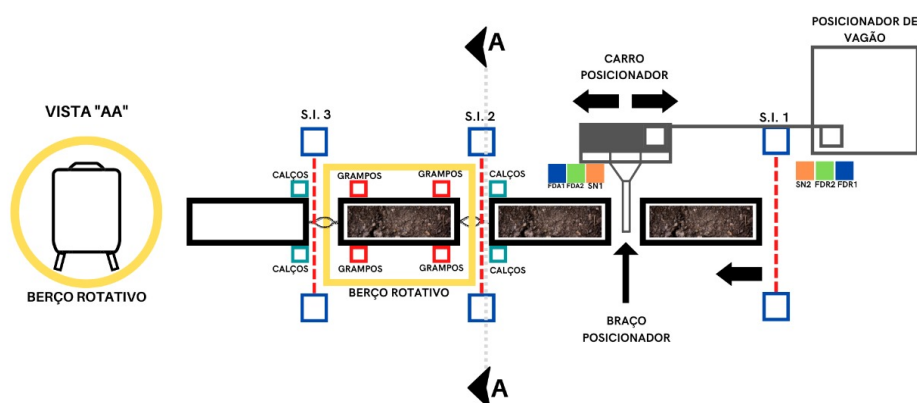


Figura 9 – Imagem do Ciclo de Funcionamento do Virador de Vagões

A etapa seguinte consiste na movimentação linear do carro posicionador, inicia-se o movimento de avanço, empurrando o trem a distância de um vagão para frente. Esse movimento é realizado acelerando até a velocidade nominal, e desacelerando à dez por cento da velocidade ao encontrar o sensor de desaceleração “SN1”.

Essa velocidade é mantida até que o carro posicionador acione o sensor de fim de curso “FDA2”, em que é dada uma parada em degrau. O sensor de parada serve como um indicativo que o vagão está na posição correta para descarregar, mas caso o posicionador acione o sensor e tenha continuado seu movimento, foi inserido um terceiro sensor denominado sensor extra curso ou “FDA1”, com o intuito de indicar que o o vagão está afrente da posição desejada, como indicado em 9.

A garantia do posicionamento correto do vagão é fundamental para a etapa seguinte, de descarregamento. Sendo a garantia de que os grampos estão alinhados com os rodeiros dos vagões antes de após o berço, bem como os grampos que travam o vagão durante o giro. Por conta disso, são utilizados ainda sensores óticos no vão entre o vagão à frente e atrás do que está sendo descarregado.

Com os vagões corretamente posicionados, da-se início à etapa de virada do vagão propriamente dita. Como medida de segurança, os calços são acionadas no rodeiro do segundo vagão enquanto que os grampos travam na parte superior do primeiro vagão, evitando que o mesmo se desprenda durante o giro. Grampos também estão localizados à frente do berço giratório, para que, no ciclo seguinte o primeiro vagão também esteja fixo ao descarregar o segundo, dando continuidade ao processo.

Por fim, o vagão é submetido ao movimento de 175° de giro pelo berço giratório para descarregamento do minério. A representação de funcionamento foi trazido pela figura 7.

No momento em que os vagões são fixados pelos grampos e calços determina que o sistema está apto à girar o berço, porém ocorre, em paralelo, o içamento do braço posicionador para posição vertical, seguido pelo movimento de retorno do carro posicionador.

A figura 8 traz o ciclo de funcionamento do braço posicionador, onde a porção negativa do gráfico traz o içamento do mesmo para o posição vertical novamente. No que diz respeito ao carro posicionador, o movimento de retorno se assemelha ao da ida, contando com sensores para desaceleração, parada e extra curso, além do sensor ótico usado na descida do braço.

Concluído então, o retorno do carro posicionador à sua posição de origem, bem como o retorno do berço após descarregar o vagão, os calços e grampos são liberados e o sistema está apto à dar continuidade ao processo iniciando o segundo ciclo de trabalho, para descarregar o segundo vagão, dando seguimento até a conclusão de descarga conforme demanda.

Com o decorrer do tempo, melhorias foram adicionadas à planta, uma delas se dá com a inserção de um sistema de aspersão de água logo quando a locomotiva chega na linha e durante o despejo do minério. Ele é controlado por um CLP externo e vem com o intuito de evitar a suspensão de particulados durante o processo. O mesmo já estava incluso na aplicação do sistema supervisor, mas agora será dado um indicativo também na nova tela do virador de vagões.

Apesar de funcionar em automático, é proibido que o sistema esteja rodando sem um operador na sala de comando, uma vez que o mesmo é responsável por garantir o bom funcionamento sempre monitorando os passos. Por conta disso, também um sistema de monitoramento por câmeras é utilizado para melhor supervisão da planta por parte do operador e checagem da efetividade do descarregamento, verificando se não ficou material no vagão.

Os motores responsáveis pelos movimentos dos atuadores, como a esteira do posicionador e o motor de giro do berço, são motores operados em corrente contínua. Eles são mais fáceis de se controlar que motores CA por dependerem apenas da corrente elétrica, isso acarretou a necessidade em um conversor CA/CC, o qual é responsável pelas configurações de partida, intensidade e sentido de giro dos motores.

A configuração do circuito de potencia que compõe esses convertedores foi feita na implantação inicial da planta, optando em se manter dessa forma. Portanto compete ao projeto o envio e recebimento de sinais digitais de comando e estado na lógica.

3.1 A migração

Dada a explicação acerca do funcionamento geral da planta, bem como a forma de participação individual de cada equipamento no processo, vê-se que, apesar de cada atuador possuir seu ciclo de trabalho próprio, se faz necessário uma harmonia entre os ciclos de trabalho para o bom funcionamento do sistema.

As três etapas principais do processo funcionando de forma cíclica, onde, ao verificar as condições adequadas para início do sistema, é dado o comando para o funcionamento em modo manual, onde o operador será responsável por cada etapa, ou automático, em que os equipamentos seguem seus respectivos ciclos de trabalho, inter-relacionado-se uns aos outros.

Pois, de que adianta o berço giratório realizar seu movimento de descarga sem que o carro posicionador movimente o próximo vagão, retirando o já vazio para um ainda carregado? Da mesma forma, o carro posicionador não teria efetividade alguma sem que o braço posicionador travasse e destravasse a locomotiva durante o movimento de avanço e retorno do carro posicionador.

É citado, também, nesse texto que a lógica criada à partir de um esquemático elétrico, voltada para o painel de relé, segue linhas de força de forma contínua, onde a passagem de corrente para acionar determinador atuadores só é permitida à partir de relé acionados (ou não acionados) por determinados evento específico.

Outro ponto relevante é o fato do avanço da linguagem Ladder permitir que a lógica seja criada em rotinas, que são subdivisões da lógica completa, permitindo que sejam divididos em etapas, mas co-relacionadas por variáveis que realizam essa etapa de acionamento/desacionamento semelhante ao que ocorre fisicamente com os painéis de relé.

Essa forma de agrupar lógicas menores do conjunto total foi usada como base para realizar a transição do esquema elétrico para a lógica Ladder. Nisso, foram criadas sub-rotinas base de programação separando cada equipamento especificamente.

Todo projeto na linguagem *LD* começa à partir da sub-rotina denominada “MAIN”, ela é padrão e serve como alicerce para as demais lógicas. Onde fica a cargo da rotina “MAIN” realizar a chamada das demais sub-rotinas onde ocorreu a divisão da lógica. Caso optasse por realizar a programação de maneira contínua bem como no diagrama elétrico, seria utilizado exclusivamente a “MAIN”.

Utilizando-se da prática de “engenharia reversa”, o responsável pelo projeto analisa inicialmente os *outputs* do sistema, ou seja, os atuadores, regredindo na lógica até seus acionamentos. Esse método de análise permite olhar quais são as causas para o acionamento de cada um desses equipamentos individualmente, culminando nos acionamentos e intertravamentos gerais.

Portanto, inicialmente, a lógica foi dividida em rotinas para o berço giratório (BG), o carro posicionador (CP) e o braço posicionador (BP), a base do sistema. A descarga dos vagões é feita sobre os *pan feeder's* (PF), que também possui sub-rotina própria.

A lógica para cada um desses equipamentos estão interligadas e para monitoramento de estados e comandos da planta, foram criadas as sub-rotinas gerais de comando e emergência. A sub-rotina de comando tem a função de realizar a interface entre os comandos vindos de campo por meio de boeiras ou via supervisório. Enquanto que a sub-rotina destinada para emergência tem a função organizar os possíveis indicativos de falha para o operador.

A imagem 10 vem para representar as sub-rotinas acima citadas, bem como fazer uma analogia ao projeto, não representando fidedignamente o mesmo.

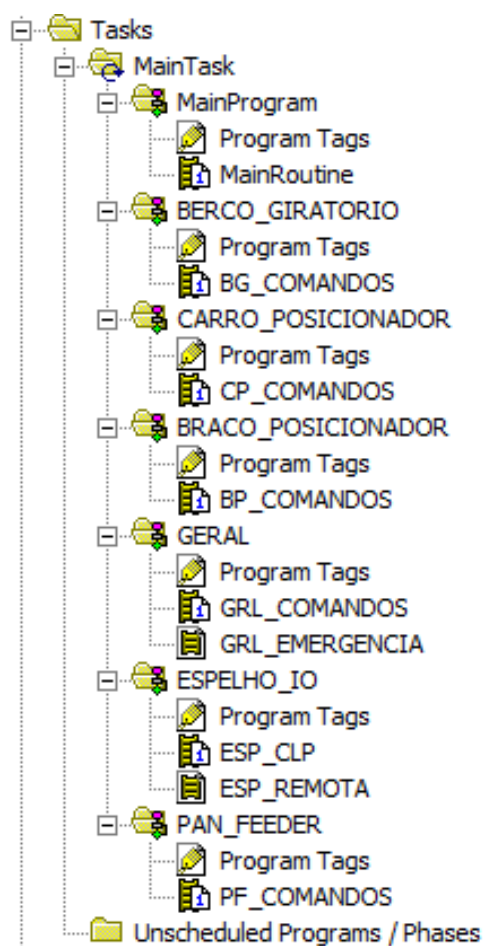


Figura 10 – Imagem Representativa da Estrutura Organizacional da Lógica em Sub-Rotinas utilizando *Studio 5000*

A indústria exige que seus equipamentos funcionem de modo que seja possível determinar se o equipamento está realmente apto à rodar quando solicitado e, caso não seja possível, quais seriam suas possíveis falhas. Para que, assim, esteja claro ao operador o que deve ser feito na solução do problema.

Em geral, são inseridos retornos de estados de cada equipamento, indicando que o mesmo realmente está atuado quando o comando for enviado. Utiliza-se, também, relés de proteção contra sobrecarga, impedindo que os motores sofram danos por funcionar numa potência superior à indicada pelo fabricante, inversores de frequência entre outros sistemas de proteção e acionamento.

Verificando-se que os pré-requisitos foram atendidos, o programador atenta-se à forma de acionamento, repetindo os intertravamentos avindos, seja dos demais equipamentos correlatos na planta, seja pelos dispositivos de proteção. Permitindo que futuras adequações sejam feitas de maneira que programadores posteriores saibam onde ir ao inserir novos equipamentos à planta ou até mesmo alterar forma de funcionamento com o decorrer do projeto.

Apesar dos acionamentos feitos de maneira individual na lógica, deve-se levar em conta o funcionamento geral, analisando-se as falhas de como um todo e também os comandos de ligar o sistema de virador de vagões. Em virtude disso, optou-se por criar rotinas gerais, às quais dizem respeito ao comportamento do sistema como um todo.

Enquanto que, antes, os relés eram inseridos na linha de alimentação e faziam a interface com a lógica de comando, a digitalização para o CLP exige que seja feita uma comunicação entre a parte física e a virtual. Essa interface é feita por meio de bornes onde são conectados os cabos que enviaram sinais elétricos para o CLP denominados I/O's.

I/O's são uma abreviação para os *inputs* e *outputs* que localizam-se, algumas, no próprio CLP, enquanto que, em sua maioria, são utilizadas remotas para englobar as demais, podendo variar entre I/O's analógicas e digitais.

A interface entre o comando digital os bornes referentes à cada equipamento onde a lógica de programação foi dada à partir de sub-rotinas denominadas “Espelhos”, as quais atribuem os valores das I/O's à variáveis de programa, estando todas as I/O's do projeto num único local, representado pela figura 10.

Comandos antes enviados por sinais elétricos por botoeiras no painel agora serão substituídos por memórias advindas de botões do supervisor. Sinais analógicos antes sem utilidade agora virão para animação de objetos em tempo real na aplicação. Portanto, a antiga lista de I/O deve ser revisada, também, afim de diferenciar quais comandos serão mantidos por botoeiras físicas ou comandos via supervisor.

A planta de um virador de vagões é apenas uma parte de todo um sistema de estoque de matéria prima, sendo a parte responsável pela integração no minério de ferro no sistema de produção do aço. Por conta disso, o que antes estava funcionando por meio de uma mesa com botões e *LED's*, agora será representado em uma única tela dentro da aplicação geral do patio de estoque de minério da empresa.

Isso contribui para melhor gestão da empresa, que agora realizará a integração

dessa etapa com o restante da planta e permitirá que informação sejam analisadas de diferentes áreas simultaneamente.

Essa aplicação de supervisório geral mostra todas as áreas que compõem essa parte de estoque de matéria prima da empresa, destinando cerca de uma tela por etapa. Isso permitiria que funcionários de diferentes áreas não relacionadas podem dar comandos em áreas que não são de sua responsabilidade, fazendo com que o operador perca sua autonomia.

Esse problema é uma realidade e deve ser levado em conta na integração. Por conta disso, empresas desenvolvedoras de softwares *SCADA* “sigla em inglês para *Supervisory Control And Data Acquisition* que na tradução para o português significa Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados” tem a opção da criação de usuários com diferentes níveis de permissão.

Por padrão, são criados usuários de operação, onde é permitido operar equipamentos somente, manutenção, capaz de suspender a operação parcial ou total e administrador, com acesso irrestrito às ferramentas do supervisório.

O fato da aplicação em questão se tratar de uma área grande de setores independentes, tem como possibilidade, ainda, a subdivisão em operador e manutenção específico de cada área, onde não seria possível dar comando em equipamentos em áreas diferentes da sua, ficando, inclusive, impedido o acesso de telas que não dizem respeito ao seu trabalho em determinados casos.

A Figura 11 ilustra a criação de usuários para uma aplicação genérica. Nela é possível verificar alguns usuários já criados, onde é possível distinguir diferentes senhas níveis de acesso.

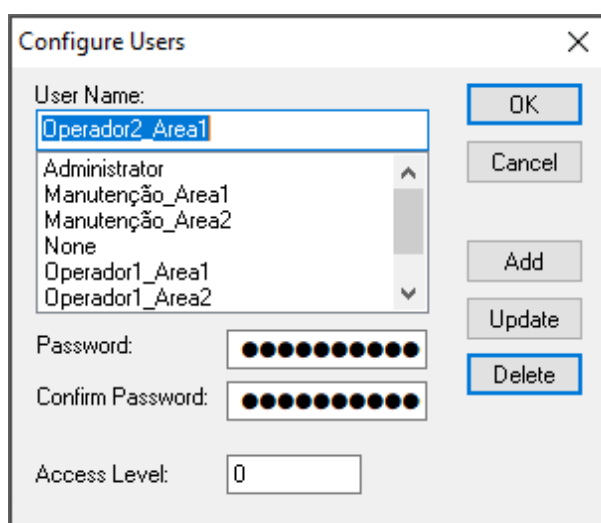


Figura 11 – Imagem Representativa de usuários do sistema SCADA utilizando InTouch

Esse trabalho deve ser feito em conjunto com os supervisores da planta, onde

são passados esses usuários e o nível de permissão de cada um bem como o que cada nível estará permitido. Sendo permitido, também, criar diferentes usuários, não atendo-se somente aos padrões usualmente utilizados na indústria.

Enquanto que botoeiras necessitam de cabeamento cada condução do sinal, o sistema supervisório realiza a comunicação com o CLP via rede, necessitando de memórias internas do CLP para o envio de sinais lógicos. Essa comunicação por meio de memórias (*bits*, e *words*) permite o desenvolvedor do projeto exibir mais informações que somente um estado de ligado ou desligados dos equipamentos, antes feitos por *leds* que acendiam no painel.

Se antes apenas indicavam que o movimento do carro posicionador havia se iniciado, agora é possível exibir com precisão o translado do mesmo por meio de animações baseadas no retorno de variáveis analógicas. Com isso, o operador tem acesso ao nível de óleo dos reservatórios para as unidades hidráulicas, o translado dos vagões com o posicionador, o movimento de descida do braço posicionador e o momento de giro do berço.

Na figura 12 é representado uma parte de uma aplicação real de um virador de vagões, onde é possível ter uma noção dos translados dos vagões até o berço, bem como uma visão de como seria a representação do sistema no supervisório. Seria interessante, ainda, colocar animações à partir do funcionamento do berço, representado pela figura 7 e do braço posicionador, na figura 8.

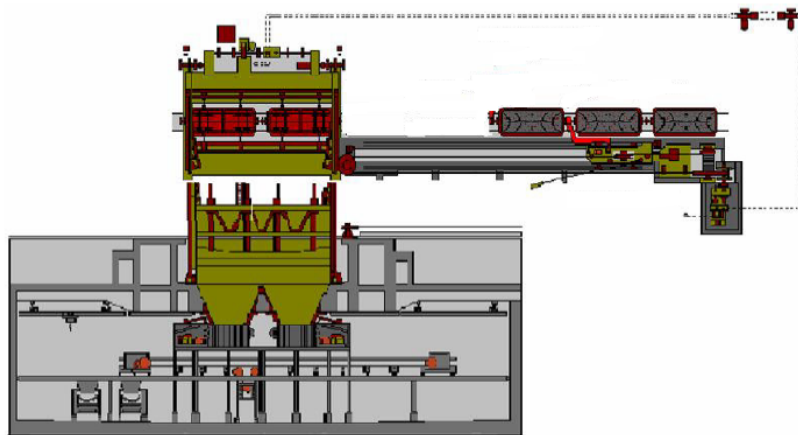


Figura 12 – Representação de uma Aplicação de supervisório de um virador de vagões.
Fonte: (FARIAS, 2009)

Dentre os dispositivos de instrumentação analógica tem-se o sensor de distância para o carro posicionador, sensor de nível para as unidades hidráulicas, *encoder* para monitorar o giro do braço e do berço. O sistema ainda possui o retorno de sensores digitais como o de fim de curso e extra curso para o carro posicionador, sensores que indicam a conclusão do movimento de giro do berço e do braço posicionador.

A comunicação entre o CLP e o PC, onde se encontra a aplicação do supervisório,

é dada por diferentes protocolos de comunicação em rede. Os próprios fabricantes dos softwares *SCADA* e de *CLP*'s já tem essa preocupação e buscam sempre soluções quanto à isso, ficando à cargo do responsável pelo projeto analisar qual protocolo suportado por cada fabricante.

Além da visão geral da planta, cada um dos três equipamentos principais possuem um janela secundária de comando, nela é possível dar comandos, e receber informação do *CLP*. Citando berço é possível dar o comando de virada –caso esteja em manual–, iniciar a aspersão de água, ver diagnósticos e intertravamentos, como também a temperatura de seus componentes.

4 Considerações finais

A indústria do século XX, com sua arquitetura de sistemas de automação advindas do século anterior, já não mais condizia com a dinamicidade exigida pelo cenário da época. Dentre revoluções industriais e avanços tecnológicos, a solução veio com a incorporação de tecnologias desenvolvidas no meio computacional, ainda recente nesse período.

Consequentemente, tendo origens de uma mesma linha de desenvolvimento, analisar semelhança entre o controlador lógico programável e o computador doméstico auxilia na compreensão de sua arquitetura de *hardware* ao aproximar tal equipamento industrial ao cotidiano das pessoas.

Em contrapartida às semelhanças entre os computadores industriais e domésticos, analisar suas diferenças enfatiza suas respectivas particularidades e ajuda compreender seus objetivos fundamentais. De maneira que o dispositivo voltado para o meio industrial prioriza modularidade e robustez em detrimento ao processamento aprimorado dos dispositivos domésticos.

Abordar conceitos tecnológicos antecessores ao CLP juntamente com a familiarização com o *hardware* e sua forma de processamento auxilia na melhor compreensão a sua linguagem de programação, a linguagem ladder. Atendo-se não somente à sua utilização prática, mas também aos motivos a que se devem essa forma de trabalho.

Dessa maneira, concluiu-se que o CLP, apesar de sua história recente, se tornou uma realidade incontestável no cenário industrial mundial e que, mais que entender o seu funcionamento, estudar a sua história permite compreender que esse mesmo cenário é consequência de uma iniciativa tomada em prol de um objetivo comum.

De modo que introduzir ao trabalho o princípio de funcionamento de uma planta industrial complementa a visão histórica da obra ao exemplificá-lo por meio da documentação da migração de uma planta remanescente por meio do estudo de caso. Analisar a planta do virador de vagões reitera premissas iniciais abordadas durante o estudo histórico, de maneira que o fato da planta se tratar de um processo rígido e de pequeno porte não convergiam com a versatilidade que o CLP proporciona e contribuiu para sua duração da mesma até os dias atuais.

Portanto, a afirmação que a migração do analógico para o digital, fornecendo maior versatilidade e possibilidades de operação se faz, necessariamente, mais complexa que utilizar-se apenas de uma réplica, se faz verdadeira uma vez que tal ocorrido permitiu desde a inserção de novas ferramentas na programação do equipamento, até a interface com diversos sistemas de supervisão e gestão de dados. De maneira que a afirmação correta

quanto ao tema se baseia na incorporação de técnicas de controle já existente à uma nova plataforma para automação digital.

Essa integração da lógica baseada em sinais discretos dá possibilidade de realizar determinada migração utilizando diferentes linguagens técnicas de programação ou ater-se à base do projeto inicial. Durante o estudo de caso, percebe-se que o solicitante, por possuir uma central de potência com os padrões de operação dos atuadores principais, optou pela segunda opção ao respeitar os acionamentos advindos já existentes.

Tal posicionamento, quanto à elaboração, da lógica não impediu que *upgrade's* fossem feitos desde sua *startup*, onde a digitalização da lógica possibilitou a integração entre os mesmos, não pelo código em si, mas por meio dos sistemas de supervisão e gestão da planta.

Dessa forma, esta obra traz sua contribuição ao meio acadêmico/científico ao abordar uma visão diferente à um período fundamental para história da automação, porém, por vezes, ofuscado por novidades na área, sendo, inclusive abordado superficialmente, atendo-se apenas à sua utilização prática. Reunindo obras com diferentes perspectivas quanto ao assunto, partindo de uma visão histórica até questões mais técnicas e relacioná-la à um estudo de caso com foco no processo prático de migração.

A produção de um material de caráter científico em português também se mostra um ponto relevante para o objetivo de contribuir para disseminação do conhecimento acerca da automação industrial no Brasil. Uma vez que a língua se torna uma barreira tendo em vista a baixa divulgação do tema por meio de fontes confiáveis na língua portuguesa.

Como continuidade à monografia, é válido um aprofundamento nas etapas de transição do *Modicon 084* para os CLP's atuais, uma vez que o mesmo foi o responsável por guiar a evolução do mesmo e se mantém em produção até os dias atuais. Então, trazer suas etapas de modificação com o decorrer do tempo ajudará a preencher esse vão entre 1970 ao dias atuais.

Existem, também, vários seguimentos de equipamentos com diferentes abordagens de controle de plantas industriais. Onde fabricantes optaram por vertentes distintas do projeto base abordado nesta obra. Eles não seguem uma ordem cronológica unificada, e um novo estudo reunindo informações dessa etapa subsequente de modernização da máquina seria de grande valia para o aprofundamento do tema.

Outro ponto à ser observado diz respeito ao período anterior à criação do CLP, onde a construção das lógicas de automatização das plantas se dava por meio de diferentes interligações de fios. Então, uma obra com foco na configuração dos painéis de relés, abordando formas de configuração e manutenção desses painéis analógicos viria para contribuir ainda mais ao estudo histórico acerca desse tema.

Tendo em vista o estudo de caso, a migração detalhada da lógica detalhada nos diagramas elétricos para a linguagem ladder também se mostra uma oportunidade. Com uma abordagem didática, trazer um tutorial detalhado sobre diferentes maneiras de se programar para casos mais comuns como intertravamentos e diagnósticos de falha no acionamento de motores.

Em complemento ao CLP, focar na criação da aplicação do supervisor, podendo, inclusive simular a lógica já criada. De maneira à detalhar como é feita a animação dos objetos no supervisor, *scripts* e envio de comandos via rede. Aprofundar-se na configuração de rede também é válido, porém acaba se tornando um assunto muito específico por variar muito quanto ao hardware utilizado.

Referências

- BALL, Ken. **How Programmable Logic Controllers Emerged from Industry Needs**. Control Engeneering. Set. 2008. Disponível em: <https://www.controleng.com/articles/how-programmable-logic-controllers-emerged-from-industry-needs/>. Acesso em: 7 mai. 2022. Citado nas pp. 12, 21, 23.
- BRODZIK, Randall. **Inside the competition for the first PLC**. Control Engineering. Ago. 2014. Disponível em: <https://www.controleng.com/articles/inside-the-competition-for-the-first-plc/>. Acesso em: 17 abr. 2022. Citado na p. 21.
- ERICKSON, K.T. Programmable logic controllers. **IEEE Potentials**, v. 15, n. 1, p. 14–17, 1996. DOI: 10.1109/45.481370. Citado nas pp. 13, 23.
- FARIAS, OSEVALDO DA SILVA. **Modelagem e implementação de um sistema multiagente para seleção de falhas e tomada de decisão em viradores de vagões**. 2009. Mestrado em Engenharia da Eletricidade – UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/1831>. Acesso em: 12 out. 2022. Citado na p. 43.
- FERRAZ, Egidio. **Modicon: 50 anos de Pioneirismo e Inovações**. Nov. 2018. Disponível em: <https://blog.se.com/br/automacao-industrial/2018/11/30/modicon-50-anos-de-pioneirismo-e-inovacoes/>. Acesso em: 20 out. 2022. Citado na p. 22.
- HERMAN, S.L.; SPARKMAN, B.L. **Electricity and Controls for HVAC/R**. 6th: Delmar, Cengage Learning, 2006. ISBN 1-4354-8427-4. Citado na p. 17.
- INTERNATIONAL Electrotechnical Commission. International Electrotechnical Commission. 2022. Disponível em: <https://www.iec.ch/who-we-are>. Acesso em: 11 set. 2022. Citado na p. 27.
- LOPES, Bruno Eduardo. **Sistema de Controle e Método de Controle para Viradores de Vagões**. Brasil: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2017. Carta Patente sobre método de otimização no processo de virador de vagões de titularidade da VALE S/A. Disponível em: http://www.vale.com/brasil/PT/sustainability/innovation/Documents/vitrine-tecnologica/sistema-controle/4_Doc_Patente_P010959.pdf. Citado na p. 32.
- LUNES. **General Motors incorpora el Autómata Programable (1968)**. Abr. 2018. Disponível em: <https://analisismaquinas.blogspot.com/2018/04/general-motors-incorpora-el-automata.html>. Acesso em: 7 mai. 2022. Citado nas pp. 21, 22.

OUTOTEC, Metso. **Viradores de vagões Sistema de controle de moinho**. Disponível em: <https://www.mogroup.com/pt/produtos-e-servicos/plantas-e-equipamentos/viradores-de-vagoes/>. Acesso em: 4 out. 2022. Citado na p. 33.

RULLÁN, Agustín. Programmable logic controllers versus personal computers for process control. **Computers & Industrial Engineering**, v. 33, n. 1, p. 421–424, 1997. Proceedings of the 21st International Conference on Computers and Industrial Engineering. ISSN 0360-8352. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(97\)00127-7](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00127-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835297001277>. Citado na p. 26.

SHELEBROCK, Rafael. **Primeiro homem a pisar na Lua**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/primeiro-homem-pisar-na-lua.htm>. Acesso em: 22 set. 2022. Citado na p. 17.

SILVA, Daniel Neves. **Guerra Fria**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/historiag/guerra-fria.htm>. Acesso em: 22 set. 2022. Citado na p. 17.

SOUZA RODRIGUES, Marcos José de. **Vantagens do Controle Baseado em PC e suas diferenças comparadas à um CLP**. LinkedIn Corporation. Jul. 2022. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/vantagens-do-controle-baseado-em-pc-e-suas-diferen%C3%A7as-cmse-/?originalSubdomain=pt>. Citado na p. 27.