

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SABARÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

PEDRO OTTO GONÇALVES RODRIGUES

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO DE TUBOS
ROSCADOS

Sabará - MG

Julho de 2026

PEDRO OTTO GONÇALVES RODRIGUES

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO DE TUBOS ROSCADOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador(a): Rodrigo Hiroshi Murofushi

Sabará - MG

2026

Rodrigues, Pedro Otto Gonçalves

R696a Automação industrial da produção de tubos roscados [manuscrito]. / Pedro Otto Gonçalves Rodrigues. - 2026.

45 f. : il.

Orientadores: Prof. Dr. Rodrigo Hiroshi Murofushi.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Sabará.

1. Automação industrial. – Monografia. 2. Tubos - Fabricação. – Monografia. 3. Processos de fabricação. – Monografia. 4. Fábricas. – Monografia. 5. Simulação (Computadores). – Monografia. 6. Controladores programáveis. – Monografia. 7. Sistemas de computação virtual. – Monografia. I. Murofushi, Rodrigo Hiroshi. II. Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Sabará. Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

CDU 681.5.015

César dos Santos Moreira / CRB6-2229
Biblioteca do IFMG *Campus* Sabará



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Sabará
Diretoria de Ensino, Pesquisa e Extensão
Conselho de Área - Controle e Processos Industriais
Rodovia MGC 262, Km 10 - Bairro Sobradinho - CEP 34590-390 - Sabará - MG
- www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos quinze dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e seis, às dezenove horas, sob a presidência do professor Rodrigo Hiroshi Murofushi, reuniu-se a banca examinadora composta pelos professores abaixo relacionados, para a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do discente **Pedro Otto Gonçalves Rodrigues**, matrícula nº 0065813, do curso de Engenharia de Controle e Automação, do IFMG *campus* Sabará.

O trabalho intitulado "**AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DA PRODUÇÃO DE TUBOS ROSCADOS**" foi apresentado e submetido à apreciação da banca. Após exposição, arguição e deliberação, a banca atribuiu a nota final de 85,0 pontos, resultando em **aprovado**, condicionado ao cumprimento das orientações e prazos estabelecidos pelas normas acadêmicas institucionais.

Compuseram a Banca Examinadora:

- Membro 1 (Presidente): Prof. Rodrigo Hiroshi Murofushi (orientador)
- Membro 2: Prof. Diego Oliveira Miranda
- Membro 3: Prof. Bruno Monteiro de Sousa

O discente deverá apresentar a versão final do trabalho em formato PDF e depositá-la no repositório institucional até o dia vinte e nove de julho de dois mil e vinte e seis. O não cumprimento dessas exigências implicará na não contabilização das horas referentes aos componentes curriculares de TCC I e TCC II no sistema acadêmico.

A sessão foi encerrada às vinte horas e trinta minutos. Para constar, eu, Rodrigo Hiroshi Murofushi, redigi a presente ata que após lida publicamente, foi aprovada e assinada pelos membros da banca examinadora.

Sabará, 16 de julho de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Hiroshi Murofushi**, **Professor EBTT**, em 16/07/2026, às 16:13, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Diego Oliveira Miranda, Professor EBT**, em 16/07/2026, às 18:30, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Monteiro de Sousa, Professor Substituto**, em 17/07/2026, às 14:12, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2810688** e o código CRC **92E7AA98**.

23714.000993/2026-16	2810688v1
----------------------	-----------

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe por sempre me incentivar a estudar e a buscar meus sonhos.

Agradeço ao meu pai por sempre ser uma inspiração de como um homem deve agir e zelar pela família.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto de automação industrial aplicado a uma linha de produção de tubos roscados. O estudo compreende a modelagem tridimensional dos equipamentos no *software AutoCAD* e o desenvolvimento da lógica de sequenciamento para os dispositivos de fabricação e transporte. A programação do Controlador Lógico Programável (CLP) foi realizada na plataforma *MasterTool*, desenvolvida em conjunto com a simulação digital completa da planta por meio da ferramenta CEE. A metodologia proposta valida uma solução técnica para o comissionamento virtual do processo produtivo, garantindo confiabilidade, precisão e eficiência operacional.

Palavras-chave: Automação industrial, Tubos Roscados, Simulação de Planta Industrial, Comissionamento Virtual.

ABSTRACT

This work presents the development of an industrial automation project applied to a threaded pipe production line. The study comprises the three-dimensional modeling of the equipment using AutoCAD software and the development of the sequencing logic for the manufacturing and transport devices. The Programmable Logic Controller (PLC) programming was performed on the MasterTool platform, developed in conjunction with the complete digital simulation of the plant using the CEE tool. The proposed methodology validates a technical solution for the virtual commissioning of the production process, ensuring reliability, precision, and operational efficiency.

Key words: **Industrial:** automation, Threaded Pipes, Plant Simulation, Virtual Commissioning.

Lista de Abreviaturas e Siglas:

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BASEFRAME – Sistema de Coordenadas da Base

CEE – Avaliação de Eventos por Ciclo (*Cycle Event Evaluation*)

CLP – Controlador Lógico Programável

GRAFCET – Gráfico Funcional de Comando Etapa-Transição

IEC – *International Electrotechnical Commission*

SFC – Gráfico Funcional de Sequenciamento (*Sequential Function Chart*)

ST – Texto Estruturado (*Structured Text*)

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TCP – Ponto de Centro da Ferramenta (*Tool Center Point*)

TOOLFRAME – Sistema de Coordenadas da Ferramenta

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Malha de Processo	22
Tabela 2 – Tabela de Entradas e Saídas (I/O) dos Setores.....	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Objetivos.....	16
1.2 Justificativa	16
1.3 Revisão Bibliográfica	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 A Norma IEC 61131-3	19
2.2 Origem da SFC e Relação com o GRAFCET	20
2.2.1 Vantagens e Aplicações Práticas	20
2.3 Fluxograma de Processo	21
3 Metodologia.....	21
3.1 Fluxogramas de acionamentos.....	22
3.2 Lógica de Programação e tabela de entradas e saídas	22
3.3 Modelagem dos equipamentos	22
3.4 Simulação e validação	23
4 Desenvolvimento, análise de resultados e discussões.	23
4.1 Modelagem dos equipamentos de conformação.....	24
4.2 Fluxograma de processo.	26
4.3 Programação do CLP.	28
4.4 Implementação e desenvolvimento da Simulação.	31
4.4.1 Conversão dos arquivos, determinação de dispositivos e Cinematismo.	32
4.4.2 Desenvolvimento das operações.....	34
4.4.2.1 Object Flow Operation.	35
4.4.2.2 Device Operation.....	36
4.4.2.3 Robot Operation.	36
4.4.3. Operation tree (Árvore de Operações).....	39
5 Conclusões.....	41

6 Trabalhos futuros	42
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A	44
APÊNDICE B.....	44
APÊNDICE C1.....	45
APÊNDICE C2.....	45
APÊNDICE D	46
APÊNDICE E.....	46
APÊNDICE F	47

1. Lista de Ilustrações (Figuras)

Figura 1 – Etapas do processo de preparação da extremidade de tubos	14
Figura 2 – Etapas do processo de Programação do CLP	16
Figura 3 – Exemplo de equipamento mecânico (<i>walking beam</i>)	19
Figura 4 – Layout da Planta	21
Figura 5 – Dispositivos de transporte	23
Figura 6 – Fluxograma da Planta	24
Figura 7 – Programação em <i>SFC</i> de todos os equipamentos	27
Figura 8 – Programação em texto estruturado nas transições do <i>SFC</i>	28
Figura 9 – Tela de modelagem e inserção de componentes	28
Figura 10 – Cinematismo mesa de entrada	29
Figura 11 – Cinematismo <i>Walking Beam</i>	30
Figura 12 – Exemplo de Cinematismo em outros equipamentos.....	31
Figura 13 – Exemplo operação de <i>Object Flow</i>	32
Figura 14 – Exemplo operação de <i>Device Operation</i>	33
Figura 15 – Exemplo operação <i>Base frame</i> e <i>Toolframe</i> em um Robô	34
Figura 16 – Exemplo operação de <i>Device Operation</i>	35
Figura 17 – Exemplo operação de <i>Pick and Place Operation</i>	35
Figura 18 – Exemplo <i>Operation tree</i> SET 1	36
Figura 19 – <i>Operation Tree</i> da Planta completa	37

1 INTRODUÇÃO

A automação surgiu com o objetivo de tornar processos com sequências pré-definidas independentes da intervenção humana direta. Ou seja, busca-se que cada processo ocorra de forma autônoma, conforme a lógica de funcionamento previamente estabelecida no sistema, permitindo a execução automática de uma série de ações. A etimologia da palavra "automação" reforça esse conceito, tendo origem no termo grego *autómatous*, que significa "mover-se por si mesmo".

No contexto industrial, com a crescente necessidade de maximizar a produção e aumentar os lucros, a automação passou a ser amplamente adotada pelas empresas. Seu principal objetivo é tornar processos sequenciais autônomos e capazes de produzir com maior rapidez, economia, padronização e confiabilidade, mesmo quando envolvem diversas etapas complexas.

Um marco importante na evolução da produção industrial foi o modelo proposto por Henry Ford (1863–1947), enquanto trabalhava na *General Motors*. Ford idealizou um sistema de produção seriada que ficou conhecido mundialmente como "Fordismo". Esse modelo consiste em uma linha de montagem sequencial em que as etapas de produção ocorrem simultaneamente e de forma integrada, ao contrário do modelo artesanal, em que cada etapa era executada isoladamente. Essa inovação possibilitou o aumento significativo da produtividade e da padronização dos produtos, tornando-se um dos modelos de produção mais utilizados na indústria moderna. O principal fator que levou o fordismo a alcançar esta revolução histórica foi a organização da produção e na padronização de processos segundo (ANTUNES, 2009), que possibilitou uma redução nos custos de fabricação e o aumento de produção.

Com o avanço tecnológico e a necessidade de produzir ainda mais em menos tempo, surgiram novos recursos voltados à automação industrial, como os relés eletromecânicos e, posteriormente, os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). Segundo Oliveira (2019, p. 23), “o CLP revolucionou os processos industriais ao permitir o controle preciso e programável de máquinas e equipamentos, substituindo os antigos sistemas baseados em relés”.

A combinação de diferentes tecnologias, como mecânica, elétrica, pneumática e hidráulica com sistemas de controle possibilitou a automação completa de diversos processos produtivos.

Dessa forma, o desenvolvimento de qualquer processo automatizado exige o conhecimento prévio dos equipamentos que serão controlados, dos sensores a serem utilizados, das variáveis de processo envolvidas e das tecnologias que serão empregadas na implementação

do sistema. A integração adequada desses elementos é fundamental para garantir a funcionalidade e eficiência do processo automatizado.

Para a fabricação de tubos roscados há uma grande variedade de processos sequenciais essenciais para usinagem, sendo eles: ajuste dimensional, conformação mecânica e desbaste.



Figura 1 – Etapas do processo de preparação da extremidade de tubos

Fonte: Elaboração própria com base em informações disponíveis em: TUBOS ABC. Processos de fabricação de tubos. Disponível em: <https://centurytubos.com.br/artigos/tubos-de-acorosca/>. Acesso em: 07 jul. 2025.

Decorrida as descrições das conformações necessárias para a produção dos tubos, para o projeto a ser desenvolvido, será utilizada uma serra com o objetivo de realizar o faceamento e preparar o tubo para a conformação mecânica nas suas extremidades. Essa conformação pode ser feita de duas maneiras: a primeira consiste em formar um cone na ponta do tubo, preparando-o para a usinagem da rosca macho; a segunda envolve a expansão da extremidade do tubo, formando uma “bolsa”, onde será realizada a rosca fêmea.

Para executar o processo de conformação mecânica, serão utilizados os seguintes equipamentos:

- Forno de indução, responsável por aquecer o material, facilitando sua deformação;
- Recalque a quente (também chamado de Calibradora), que deforma o tubo com base em um molde ou por meio de um elemento denominado "macho";
- Mesa de resfriamento, utilizada para que o tubo retorne às suas propriedades mecânicas antes de seguir para a próxima etapa do processo.

Após o ajuste dimensional e a conformação das extremidades, o tubo é encaminhado para a etapa de rosqueamento. Nessa fase, realiza-se primeiramente a verificação da concentricidade do tubo, garantindo que a rosca seja produzida de forma perfeitamente alinhada ao eixo da peça. O processo de usinagem da rosca é feito por meio de um torno, no qual a ferramenta de corte é devidamente posicionada e calibrada de acordo com o diâmetro e o passo da rosca desejados, assegurando a precisão e a padronização da rosca produzida.

1.1. Objetivos

Desenvolver um projeto de automação para a fabricação de tubos roscados com base em um problema real, desenvolvendo uma solução compatível com as utilizadas na Indústria. Assim obtendo os objetivos específicos de:

- Desenvolver a lógica e o programa de controle responsável pela execução do processo sequencial de fabricação e transporte de materiais.
- Desenvolver por meio de software o comissionamento virtual da planta de produção, com o intuito de validar a sequência de produção desenvolvida pelo fluxograma de processos.

1.2 Justificativa

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um projeto de automação industrial aplicado a um processo real de fabricação de tubos roscados, amplamente utilizados no transporte de fluidos industriais, como água, gases, petróleo e produtos químicos. Trata-se de um processo composto por etapas críticas — ajuste dimensional, conformação mecânica e rosqueamento — que exigem elevado grau de precisão, segurança operacional e repetibilidade.

A automação dessas etapas, por meio da aplicação de Controladores Lógicos Programáveis e da integração de sistemas eletromecânicos e térmicos, permite otimizar a produção, minimizar falhas humanas, elevar a produtividade e assegurar a padronização do produto. De acordo com Oliveira (2019, p. 23). Diante disso, o desenvolvimento deste projeto justifica-se pela relevância prática da aplicação, pela complexidade técnica envolvida e pelo potencial de contribuição para ambientes industriais reais, ao oferecer uma solução confiável, eficiente e academicamente pertinente.

1.3 Revisão Bibliográfica

A automação com Controladores Lógicos Programáveis oferece controle digital flexível, robusto e programável, substituindo relés, temporizadores e contadores. É essencial para processos industriais complexos que exigem alto grau de segurança, precisão e escalabilidade (INOVAZ, 2025; INFORMATEC DIGITAL, 2025). Por isso esta é uma das soluções mais empregadas na indústria para a implementação de diversos sistemas de automação, por ser confiável e reduzido comparado a sistemas puramente analógicos.

Silva *et al.* (2018) apresentam um estudo de caso real: a automação de uma planta de lixiviação de silicato por CLP mostrou aumento da eficiência operacional, maior rendimento e redução significativa de desperdício após automatização das válvulas e instrumentação. Além da alta confiabilidade por apresentar um sistema rápido e capaz de aumentar a produtividade com suas respostas extremamente rápidas que superam as capacidades humanas e de sistemas puramente analógicos para garantir a resposta que melhor atende a demanda. Na conclusão, ele destacou como a automação via CLP melhorou a capacidade de monitoramento de dados e de ações para o aumento do rendimento da planta

Em aplicações industriais práticas, o CLP coordena processos como usinagem, inspeção, transporte, controle térmico e mistura automática — áreas com demanda alta por precisão e repetibilidade (ENCON, 2023). Sendo o sistema escolhido para solucionar o vigente trabalho que necessita de transportar o tubo entre etapas de fabricação e realizar análise entre elas para detectar falhas, o *blog* destaca também uma alta gama de aplicações industriais nas quais o controlador é uma solução ótima.

(SANTOS, 2022; SILVA et al., 2018) Demonstra em seu trabalho como o CLP é uma ferramenta de tomada de decisões que permite a automação de processos padronizados, que há a necessidade da realização de trabalhos que muitas das vezes não podem ser realizados por pessoas diretamente, assim destacando como a padronização destas ações que podem sofrer atrasos e perdas se tornam mais efetivos e com menos gastos, que influenciam no custo final do produto. Para chegar nessa conclusão ele analisou como os desperdícios no decorrer dos anos tem se tornados uma das principais prioridades para as empresas e demonstrou como o CLP com sua alta confiabilidade evita tais impactos

Estudos de caso confirmam aumento de rendimento e redução de falhas com automação por CLP. Em linhas de produção, os CLPs proporcionam precisão, segurança e facilidade de manutenção e reprogramação (ENCON, 2023; INOVAZ, 2025). Com alta confiabilidade, comprovações de rendimento, e alta taxa de aplicabilidade na indústria o CLP se torna a

ferramenta mais apropriada para a implementação da automação na planta de produção em nível industrial.

Em plantas complexas com muitos equipamentos acaba sendo quase impossível prever todos os cenários possíveis, por possuir uma grande variedade de equipamentos operando simultaneamente existe uma possibilidade de que exista alguma condição que precise de ser verificada e ajustada durante a fase de testes dos equipamentos, por isso vem se popularizado nas indústrias o comissionamento virtual.

O comissionamento virtual permite que as empresas possam validar conceitos e funcionamento de equipamentos, via *software* é possível fazer toda a simulação do sistema antes mesmo de se iniciar muitas das vezes a fabricação de alguns elementos, para isso é necessário realizar a modelagem precisa de todos os equipamentos a serem implementados, realizar a cinematização dos equipamentos, e desenvolver no software a simulação completa. Alinhado a isso, o uso de plataformas de simulação avançadas, como o *Tecnomatix Process Simulate*, fundamenta a metodologia de comissionamento virtual explorada por Dumitraşcu, Dincă e Predincea (2017). O estudo de caso dos autores serve como modelo para a modelagem geométrica, mapeamento de sinais de E/S (Entrada/Saída) e validação de código de CLP em células robóticas complexas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A Norma IEC 61131-3

A norma IEC 61131-3 é um marco no desenvolvimento de aplicações industriais com Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), por definir um conjunto padronizado de linguagens para programação: *Ladder Diagram* (LD), *Function Block Diagram* (FBD), *Structured Text* (ST), *Instruction List* (IL) e *Sequential Function Chart* (SFC) (SILVA, 2016).

A linguagem SFC, também chamada de Diagrama Sequencial Funcional, é indicada para controle de processos com lógica sequencial. Ela estrutura o programa em etapas (*steps*), transições e ações, permitindo que o desenvolvedor modele fluxos operacionais complexos com clareza e modularidade (INETECH, 2023). Cada etapa representa um estado do processo, e as transições definem as condições para a ativação da próxima etapa.

- Etapas: são representadas por meio de uma caixa com o nome da função, as funções podem executar ações.
- Ações: são vinculadas a etapas, e podem ser de vários tipos: Set, reset, alterar variáveis, acionar saídas e etc. são representadas por um retângulo que contém uma letra que descreve seu funcionamento e um texto que remete a qual variável ou saída recebe a ação.
- Transições: são responsáveis por fazer a transição entre etapas quando sua condição for satisfeita, pode ser vinculada diretamente a variáveis, condições lógicas, temporizadores e outras funções.

A figura 2 ilustra, no software *MasterTool*, um exemplo de SFC que descreve cada um dos componentes. Como o código é cíclico, isto é, quando termina de passar por todas as etapas ele retorna para a primeira função, ele possui uma transição que direciona ele de volta a transição inicial.

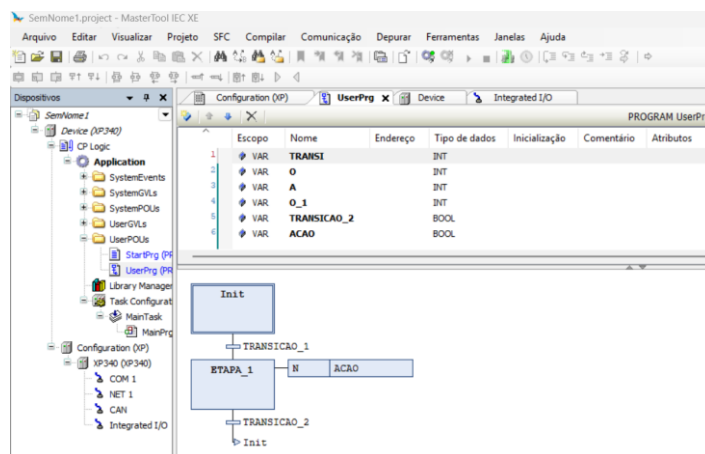


Figura 2 – Etapas do processo de Programação do CLP.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software MasterTool

2.2 Origem da SFC e Relação com o GRAFCET

A SFC deriva diretamente do GRAFCET, definido inicialmente pela norma francesa NF C03-190 e mais tarde pela norma internacional IEC 60848. Ambos os métodos visam descrever graficamente o comportamento sequencial de sistemas automatizados, promovendo a organização lógica de processos e facilitando a manutenção e a depuração (LEONARDELLI, 2015).

2.2.1 Vantagens e Aplicações Práticas

Entre as principais vantagens da programação em SFC destacam-se:

- **Clareza visual**, por utilizar representação gráfica com etapas e transições;
- **Modularidade**, permitindo reaproveitamento de partes do programa;
- **Facilidade de diagnóstico e manutenção**, pois o estado atual do processo é visível e compreensível em tempo real (SILVA, 2016).

Leonardelli (2015) aplicou a SFC na programação de um robô pneumático com cinco graus de liberdade, demonstrando sua eficiência em representar processos sequenciais complexos. A linguagem também foi utilizada com sucesso em sistemas automatizados com integração de sensores, cilindros pneumáticos e atuadores elétricos.

Estudos mais recentes, como o de Fischer et al. (2022), revelam que a SFC oferece menor complexidade perceptiva quando comparada às linguagens textuais, facilitando o entendimento por parte dos técnicos e engenheiros de automação.

2.3 Fluxograma de Processo

Os fluxogramas tiveram sua origem com os *process charts*, uma ferramenta gráfica introduzida por Frank e Lillian Gilbreth em 1921, durante uma apresentação à *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*. Seu objetivo era representar, de forma sistemática e visual, cada etapa operacional de um processo industrial, facilitando sua análise e aprimoramento.

Decorrida a sua grande utilização para a produção de projetos foram se implementando normas para definir padrões de como realizar as simbologias, como exemplo as normas **ISO 10628** e **ISO 5807**, a construção deve seguir regras de simbologia e fluxo:

- **Sentido do Fluxo:** O fluxo principal deve ocorrer da esquerda para a direita e de cima para baixo.
- **Geometria dos Símbolos:** Cada formato geométrico possui um significado único e imutável.
- **Linhas de Fluxo:** Linhas horizontais e verticais retas. Cruzamentos devem ser evitados, mas quando necessários, usa-se um arco de desvio.
- **Identificação:** Todos os blocos de ação devem conter verbos no infinitivo ou descrições diretas em voz passiva. [1, 2, 3, 4]

Simbologia Padrão Utilizada

- **Elipse (Terminal):** Indica o início ou o fim do processo geométrico.
- **Retângulo (Processo/Ação):** Representa uma etapa operacional, acionamento mecânico ou processamento.
- **Losango (Decisão):** Indica um ponto de desvio condicional (ex: aprovação de testes, sensores de curso).
- **Paralelogramo (Entrada/Saída de Dados):** Entrada manual ou leitura de variáveis externas. [1, 2, 3].

3 Metodologia

Considerando isso o projeto desenvolvido foi baseado em um projeto real, por restrições de desenvolvimento serão consideradas algumas tratativas que visam desenvolver e permitir

que o projeto seja desenvolvido por uma única pessoa, mas que siga procedimentos normalmente usados para o desenvolvimento de automação de plantas industriais e sua validação.

3.1 Fluxogramas de acionamentos.

A planta a ser automatizada possui um sequencial para a produção do tubo, e esses acionamentos podem ser divididos em dois grupos principais, sendo esses os equipamentos de processo, e os equipamentos de transporte.

E para o desenvolvimento da planta é necessário ter um fluxograma de processo que descreva o sequencial de processos e equipamentos a serem acionados para a produção, essa representação é importante para auxiliar na compreensão do funcionamento da planta e para auxiliar no desenvolvimento da programação.

Será desenvolvido um fluxograma de processo, com o intuito de desenvolver um documento visual com toda a informação do processo para ser usado como guia para o desenvolvimento do projeto similar ao desenvolvimento utilizado na produção de projetos para a indústria.

3.2 Lógica de Programação e tabela de entradas e saídas

Para o desenvolvimento da programação lógica de acionamento que serão implementadas no CLP, que realizará a automação dos sistemas da planta, será adotada a programação em SFC (*Sequential Function Chart*) e a programação em texto estruturado, que são duas das cinco linguagens de programação padronizadas pela norma IEC 61131-3.

Para a programação do Controlador Lógico Programável (CLP) será utilizado o seguinte *software*: MasterTool IEC XE, desenvolvido pela empresa Altus, e a linguagem principal a ser utilizada para o código será a programação em SFC, a programação em texto estruturado será utilizada para funções de contadores e dos equipamentos.

Para a nomenclatura dos sensores foram baseadas na convergência técnica entre as diretrizes da norma internacional ISA-5.1 e as boas práticas de engenharia de software para sistemas industriais.

3.3 Modelagem dos equipamentos

O problema escolhido para ser automatizado teve seu início com base no *layout* básico desenvolvido pelo próprio autor durante o projeto real, tendo assim como ponto de partida a

planta com os equipamentos de transporte já modelados. No entanto, o sistema não contava com as informações dos equipamentos de conformação, dispondo apenas de sua posição e de um desenho 2D representativo, conforme exposto na Figura 3.

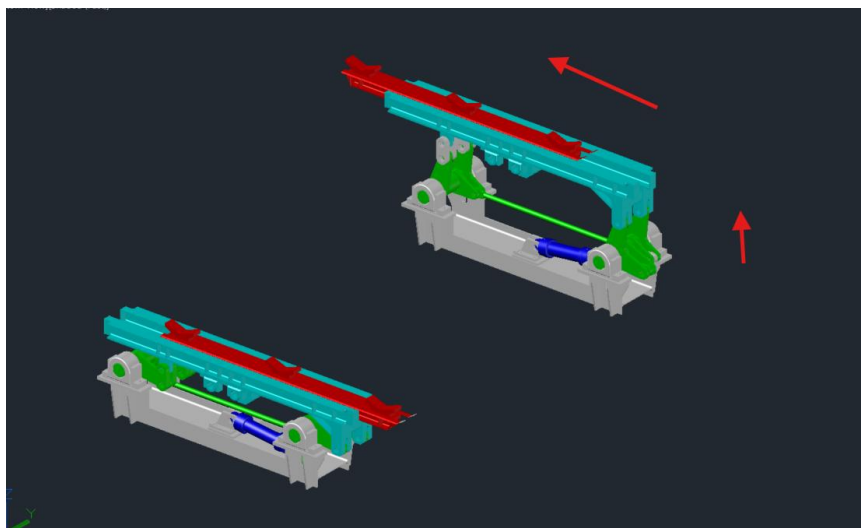


Figura 3 – Exemplo de equipamento mecânico (*walking beam*)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software AutoCad

3.4 Simulação e validação

Para a validação da solução desenvolvida, será empregado o software de simulação *Tecnomatix Process Simulate*. Essa plataforma é amplamente consolidada na indústria para a verificação de projetos e plantas industriais com ênfase na simulação de processos robóticos.

Adicionalmente, a ferramenta dispõe de recursos para validar o funcionamento de dispositivos mecânicos por meio da análise cinemática de seus movimentos, alcances e detecção de colisões e validação de eventos. A viabilidade e a eficiência do uso dessa ferramenta para a validação lógica e cinemática prévia à implementação física são referendadas por Dumitraşcu, Dincă e Predincea (2017).

No contexto da planta proposta, adotar-se-á a simulação baseada em CEE (*Cyclic Event Evaluator*). Esse método executa o ciclo produtivo orientado a eventos, o que converge diretamente com a lógica de programação estruturada via *Grafcet*, na qual a transição para a etapa subsequente depende estritamente do encerramento da anterior.

4 Desenvolvimento, análise de resultados e discussões.

Antes da inicialização deste capítulo, primeiramente é importante descrever algumas simplificações e considerações utilizadas para o desenvolvimento do projeto, o projeto detalhado a seguir é inspirado em uma planta real em desenvolvimento, por isso vários sistemas descritos possuem modelagem 3D representativa.

A modelagem dos equipamentos foi desenvolvida pelo próprio autor durante o início do projeto real, com o intuito de desenvolver uma rota de tubulações para o acionamento hidráulico dos sistemas de transporte, com isso os equipamentos de transporte foram desenvolvidos em grande parte antes do início dos desenvolvimentos do trabalho em questão, e para a conclusão do projeto a ser simulado foi desenvolvida a modelagem representativa para os equipamentos de conformação mecânica que não haviam sido modelados.

O projeto visa descrever a programação de um controlador para atuar sobre a planta e a utilização de um software de simulação para validar o mesmo, e para a facilitar a compreensão do projeto não serão detalhados os sistemas de acionamento de cada equipamento, e será detalhado o projeto considerando a confecção de um lado do tubo. Já que os equipamentos utilizados para a confecção de ambos os lados são semelhantes com poucas diferenças nos equipamentos de transporte, mas para manter a compreensão do funcionamento dos equipamentos eles serão citados e brevemente explicado sua função no equipamentos mecânicos usados para transporte e de processamento na confecção do tubo.

4.1 Modelagem dos equipamentos de conformação.

Assim, antes de iniciar o desenvolvimento da automação da planta, foram concebidos os modelos representativos dos equipamentos de conformação mecânica no software *AutoCAD*, com o objetivo de completar os conjuntos mecânicos. Decorrida a modelagem dos equipamentos de conformação mecânica os mesmos foram alocados na planta como demonstrados na figura 4.

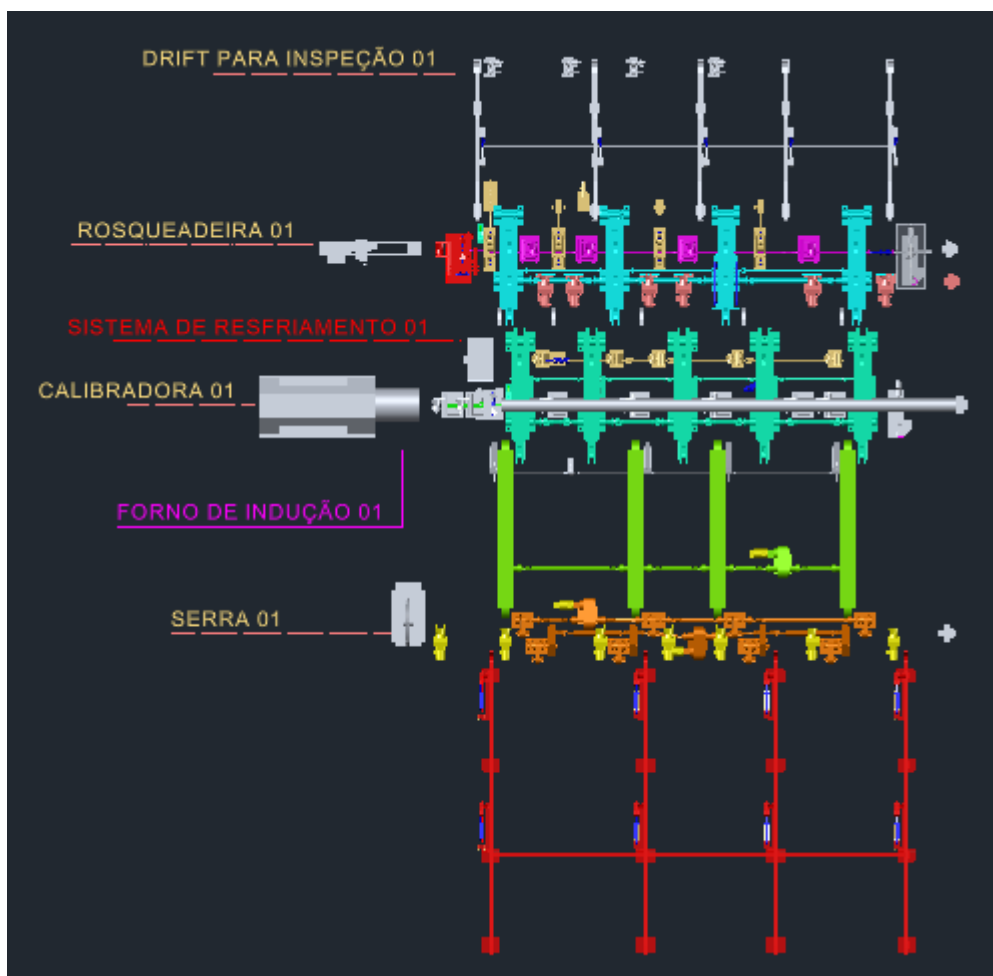


Figura 4 – Layout da Planta

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software AutoCad

Decorrida a modelagem dos equipamentos de conformação mecânica, foram obtidos o modelo de todos os equipamentos necessários para a simulação conforme demonstrados na figura 5:

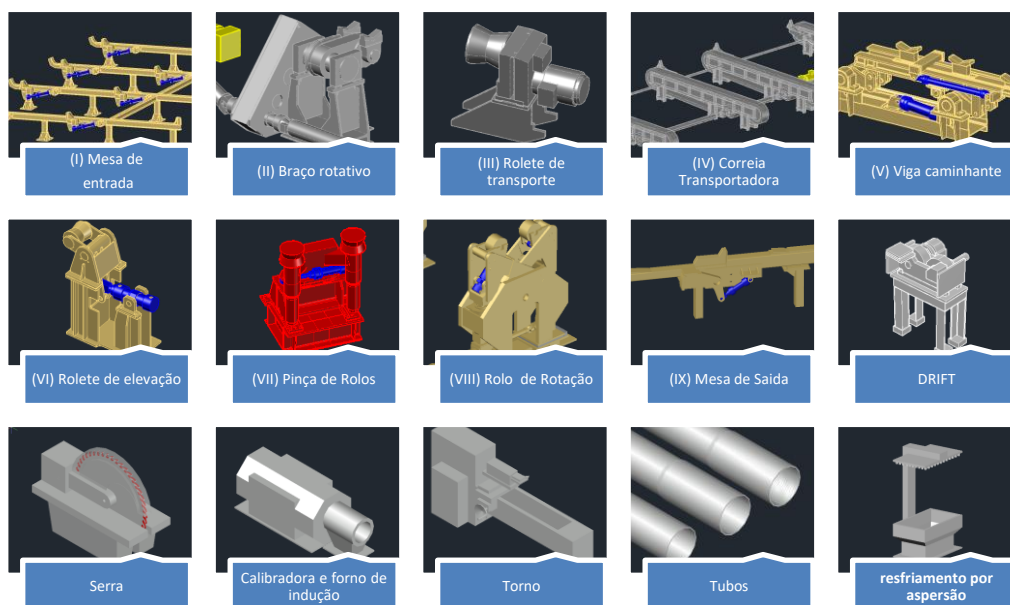


Figura 5 – Dispositivos de transporte

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software AutoCad

4.2 Fluxograma de processo.

Para a elaboração iniciar o desenvolvimento do projeto primeiramente será elaborado o fluxograma de processo, ele será desenvolvido com o intuito de registrar de maneira clara e visual todo o processo da automação a ser desenvolvida, para facilitar o desenvolvimento do fluxograma primeiramente é preciso observar quais os acionamentos equipamentos mecânicos de conformação e seu sequencial na confecção do tubo.

No primeiro setor, a sequência operacional inicia-se com a mesa de entrada, responsável pelo deslocamento do tubo desde o ponto de depósito inicial sendo freado pelos batentes da mesa de entrada até as proximidades da serra de corte. Na sequência, o primeiro braço rotativo transfere o tubo da mesa de entrada para o rolete de transporte, cujo propósito é direcionar a peça até a serra rotativa. Este equipamento executa a primeira etapa de conformação mecânica, caracterizada pelo faceamento pelo corte da extremidade do tubo. Finalizado o corte, os roletes de transporte invertem o sentido de rotação para retornar a peça ao seu alinhamento inicial, que definida por um batente. Por fim, o segundo braço rotativo transfere o tubo faceado pelos roletes para o transportador, que realiza o transporte do material para a etapa seguinte.

Ao atingir o segundo setor, a primeira viga caminhante é ativada para transladar o tubo do transportador até a primeira posição de estocagem temporária. O ciclo sequencial prossegue com o acionamento da pinça manipuladora para a fixação do corpo cilíndrico. Uma vez

garantida a retenção, os motores integrados à pinça conduzem a peça até a célula integrada de aquecimento e conformação, composta pelo forno de indução e pela calibradora, acionados de forma encadeada. O indutor de aquecimento permanece energizado até que a extremidade do tubo atinja a temperatura de recalque. Somente após essa condição ser satisfeita, a máquina de recalque é habilitada para realizar a deformação plástica da extremidade, gerando a geometria de "bolsa". Concluído o processo, os motores da pinça recuam o tubo para extrair a extremidade conformada do conjunto. Os rolos de elevação são então acionados, fazendo o material deslizar até o batente mecânico de alinhamento com o eixo da linha de produção. A viga caminhante atua novamente para alocar a peça na segunda posição de depósito, onde um segundo conjunto de rolos de elevação posiciona o tubo sob a área de resfriamento forçado por spray d'água (resfriamento por aspersão). Após a estabilização térmica, a mesma viga caminhante desloca o tubo do setor 2 para uma terceira região de depósito, que serve como buffer de interface entre os setores 2 e 3.

Uma vez disponibilizada a peça na zona de transição, inicia-se o ciclo da viga caminhante do setor 3, que posiciona os tubos sobre os roletes de transporte lateral para restabelecer o alinhamento com o fluxo produtivo. Posteriormente, a viga caminhante transfere o material para os rolos de rotação cuja função é suspender a peça até a coaxialidade com o centro de rotação do torno. A pinça e seus respectivos motores transladam o tubo para o interior do torno mecânico, responsável pela usinagem da rosca interna na "bolsa" previamente conformada no setor 2. Finalizado o rosqueamento, os rolos de elevação do setor 3 reconduzem o tubo ao batente de referência da linha. O ciclo desse setor encerra-se com a última movimentação da viga caminhante 3, responsável por depositar o material na mesa de transferência do setor 4.

No quarto e último setor, após o impacto amortecido contra o batente terminal, o tubo é direcionado ao dispositivo de saída. Essa estação permite ao operador de campo realizar o controle dimensional metrológico e a inspeção visual de qualidade. Validada a conformidade do produto, o ciclo macro é finalizado e reiniciado de forma simétrica para o processamento da extremidade oposta do tubo.

Decorrida a sequência dos acionamentos dos equipamentos e seguindo as diretrizes das normas ISO 10628 e ISO 5807 como base foi desenvolvido o fluxograma de processo demonstrado na figura 6.

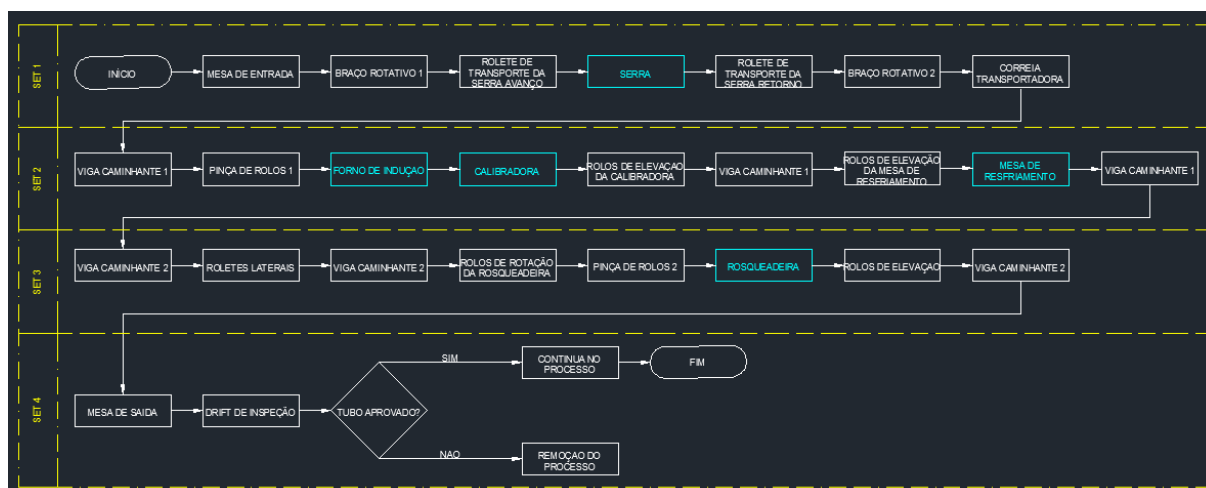


Figura 6 – Fluxograma da Planta

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software AutoCad

4.3 Programação do CLP.

Primeiro passo para a elaboração da programação do CLP e o preenchimento da tabela I/O, com isso usando diretrizes da norma internacional ISA-5.1 como referência adotou-se a seguinte estrutura para a identificação dos sensores que estarão presentes na parte de entradas da tabela de I/O (*input Output*): (Área)_(Prefixo)_(Malha de Processo)_(Sequencial na planta).

Assim para o preenchimento foram utilizados os seguintes métodos para o preenchimento das *tags* (identificação):

Para a definição de Área:

- S1 (Set 1, para os equipamentos responsáveis pelo transporte e acionamento da serra)
- S2 (Set 2, para os equipamentos responsáveis pelo transporte e acionamento do forno de indução, Recalque a quente e **resfriamento por aspersão**)
- S3 (Set 3 para os equipamentos responsáveis pelo transporte e acionamento do torno)
- S4 (Set 4 para os equipamentos responsáveis pelo transporte e acionamento do *drift*)

Para a definição do prefixo:

- DI (Digital Input): Entrada digital para sinais binários de campo (ex: contatos secos, pressostatos);

- AI (Analog Input): Entrada analógica para variáveis contínuas (ex: sinais de 4 a 20 mA ou 0 a 10 V);
- Nome do Equipamento (Sigla ou identificação para referenciar o equipamento a ser acionado).

Para a definição da Malha de Processo (Tabela 1):

Letra Inicial (Variável)	Letras Sucessivas (Função)	Exemplos de Aplicação
P (Pressão)	T (Transmissor)	PT101 (Transmissor de Pressão)
T (Temperatura)	V (Válvula)	TV202 (Válvula de Temperatura)
L (Nível)	S (Chave / Switch)	LSH301 (Chave de Nível Alto)
F (Vazão)	C (Controle)	FCV401 (Válvula de Controle de Vazão)
X (Posição / Estado)	S (Chave / Switch)	XSH102 (Chave de Fim de Curso Aberto)

Tabela 1 – Malha de Processo

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Excel

Seguindo a metodologia explicitada acima foi preenchido tópicos das *tags* para os sensores de entrada, por exemplo para o sensor de posição do cilindro da mesa de entrada do set 1 ficou com a seguinte identificação: S1_DI_XT_01.

Para as saídas foram utilizadas somente dois tópicos, Área, a entrada e o nome do equipamento abreviado e seu sequencial na planta, assim por exemplo o primeiro braço rotativo do set 1 ficou com a seguinte identificação: S1_B-ROT_01.

Seguindo o mesmo procedimento para todas as variáveis de entradas e saídas necessárias para o desenvolvimento do projeto obteve-se a seguinte tabela:

SET 1		SET 2		SET 3		SET 4	
INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT
S1_DI_XT_01	S1_CIL_A_01	S2_DI_XT_01	S2_CIL_WALK_01	S3_DI_XT_01	S3_CIL_WALK	S4_DI_XT_01	S4_CIL_A_01
S1_DI_XT_02	S1_CIL_B_01	S2_DI_XT_02	S2_TRANSL_WALK_01	S3_DI_XT_02	S3_TRANSL_WALK	S4_DI_XT_02	S4_MOT_02
S1_DI_XT_03	S1_MOT_02	S2_DI_XT_03	S2_CIL_P_02	S3_DI_XT_03	S3_ROL_LAT_02		S4_DRIFT_02
S1_AI_XT_04	S1_MOT_A_03	S2_DI_XT_04	S2_ROL_P_A_02	S3_DI_XT_04	S3_ROL_ELE_A_03		
S1_DI_XT_05	S1_MOT_R_03	S2_DI_XT_05	S2_ROL_P_R_02	S3_DI_XT_05	S3_ROL_ELE_R_03		
S1_DI_XT_06	S1_MOT_SER	S2_DI_XT_06	S2_FORNO_CALI_03	S3_DI_XT_06	S3_CIL_P_04		
S1_AI_XT_07	S1_MOT_TRANP_06	S2_DI_XT_07	S2_CIL_ROLOS_04	S3_DI_XT_07	S3_ROL_P_A_04		
S1_AI_XT_08		S2_DI_XT_08	S2_MOT_ROLOS_04	S3_DI_XT_08	S3_ROL_P_R_04		
S1_DI_XT_09		S2_DI_XT_09	S2_CIL_ROLOS_04	S3_DI_XT_09	S3_TORNO_U_04		
S1_DI_XT_10				S3_DI_XT_10			
				S3_DI_XT_11			

Tabela 2 – Tabela de Entradas e Saídas (I/O) dos Setores

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Excel

Decorrido o preenchimento das entradas e saídas para o sistema, iniciou-se a programação do CLP. Para isso, utilizou-se a linguagem *SFC* para estruturar os blocos operacionais dos equipamentos, limitando o acionamento daqueles que dependem estritamente de um sequencial específico e permitindo o funcionamento em paralelo de forma segregada por setores. Para programar o funcionamento de cada equipamento individualmente, considerou-se uma transição com sua respectiva lógica em texto estruturado, conforme o arranjo técnico apresentado na Figura 7.

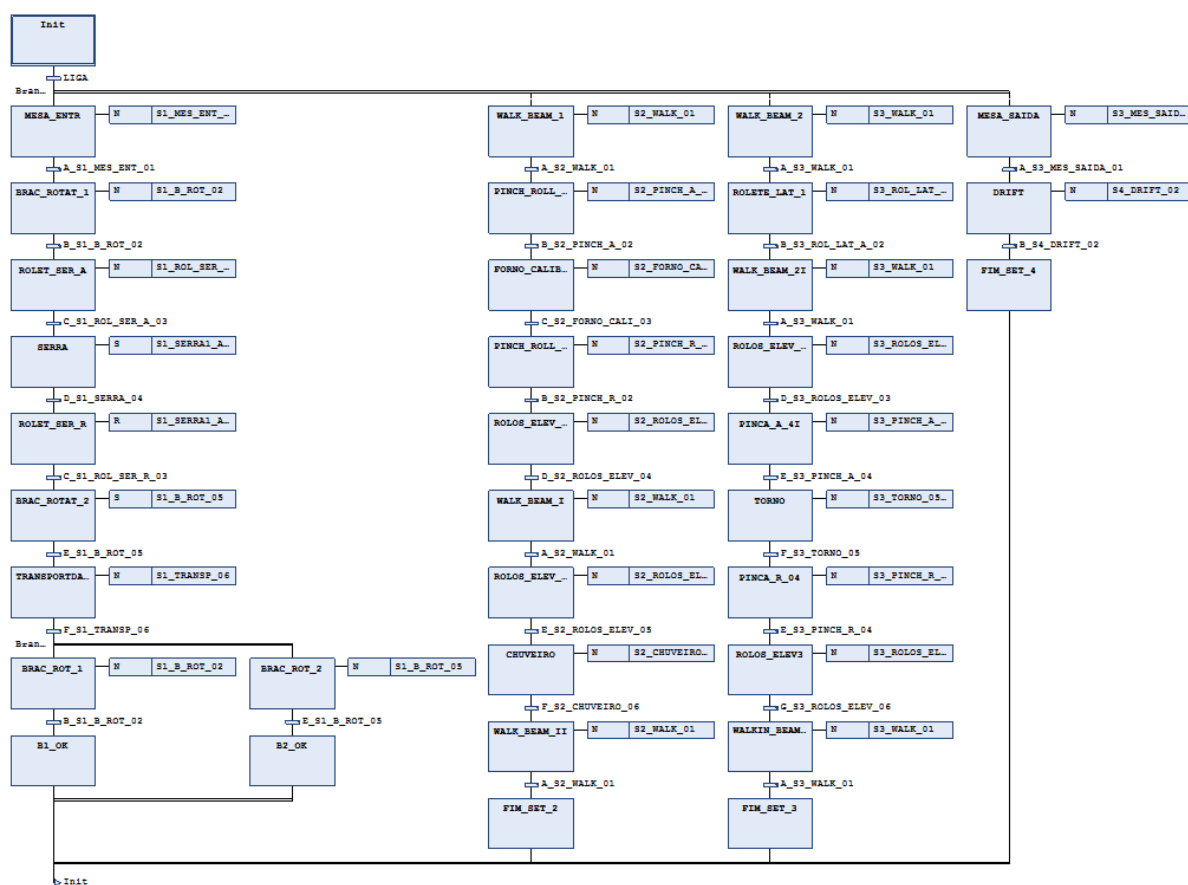


Figura 7 –Programação em SFC de todos os equipamentos

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software MasterTool.

Conforme detalhado na Figura 7, a programação em *SFC* foi desenvolvida em paralelo, possuindo a divisão por setores. Assim, a lógica executa o acionamento sequencial para o transporte do tubo entre os equipamentos de conformação mecânica e, em seguida, realiza o transporte para o próximo setor. A lógica interna de cada equipamento individual foi desenvolvida em texto estruturado atrelada às transições, como exemplificado na Figura 8.

A programação para os acionamentos dos equipamentos em específico foram desenvolvidas nas transições para facilitar o desenvolvimento, pois realizando a programação

em grafcet garante que a etapa seguinte só seja acionada com o a conclusão da anterior, permitindo assim que a lógica de acionamento para o texto estruturado possa ser feito sem a necessidade de um intertravamento complexo já que a arquitetura do grafcet permite essa simplificação a ser usada.

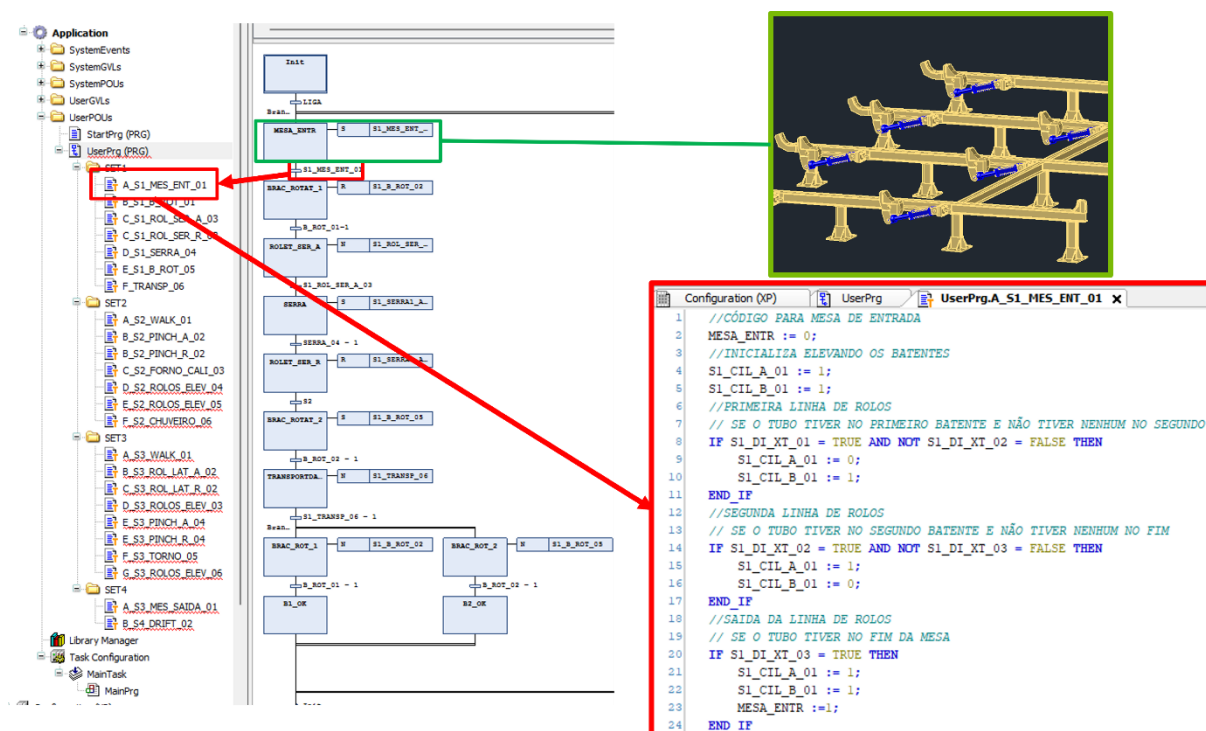


Figura 8 –Programação em texto estruturado nas transições do SFC

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software MasterTool.

4.4 Implementação e desenvolvimento da Simulação.

O Software de simulação permite realizar diversas aplicações de simulações e validações dos modelos implementados dentro do mesmo, contudo para a realização da simulação da planta como um todo é necessário realizar as seguintes etapas dentro do software:

- Cinematismo (Determinar o tipo de equipamento que é, definir eixos de rotação translação e limites de alcance para cada equipamento a ser simulado.)
- Operações (Desenvolver cada operação exercida por equipamento no software, para desenvolver a movimentação e a implementação da mesma)
- Sequenciamento (Na simulação CEE as operações são sequencias e para isso é preciso desenvolver um sequenciamento de operações dentro do software que realiza as operações seguindo a lógica proposta).

4.4.1 Conversão dos arquivos, determinação de dispositivos e Cinematismo.

Para iniciar o desenvolvimento primeiramente foi necessário realizar a conversão dos arquivos .DWG para .JT, para isso foram exportados os arquivos do *AutoCAD* para arquivos do tipo .IGS, e no software *Inventor* os mesmos foram exportados para .JT, para que o modelo possa estar na alocação do layout os mesmos foram exportados individualmente posicionados distanciados do ponto zero do arquivo CAD conforme posição de alocação na planta, e isso permite que ao serem adicionados no *Process Simulate* eles sejam inseridos na posição de layout sem a necessidade de movimentar os equipamentos.

Após a conversão dos arquivos para .JT é necessário separar os mesmos em pastas com terminação .COJT, pois o software adiciona arquivos relacionados ao modelo para as configurações de cinematismo, após a organização dos arquivos nas pastas é preciso configurar qual tipo de dispositivo é cada equipamento antes dele ser inserido no software, para isso é acessado o seguinte caminho no software: *Modeling – Define component type*, selecionada a pasta e configurado o equipamento o mesmo pode ser inserido pelo caminho: *Modeling – Insert Component*,

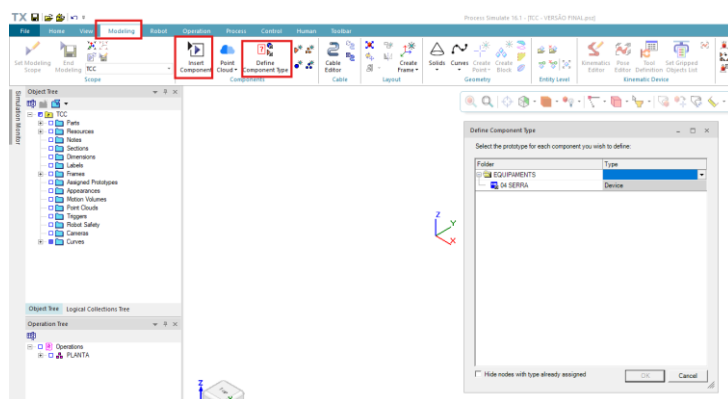


Figura 9 – Tela de modelagem e inserção de componentes

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate.

O software possui várias opções de componentes a serem inseridos, mas para a simulação da planta serão utilizados 3 tipos: **PartPrototype** para produtos no caso da simulação os tubos, **Device** para dispositivos que realizam funções que envolvam posições iniciais finais e **Robot** para desenvolver os equipamentos que realizam a manipulação dos tubos.

Para os dispositivos configurados como device eles precisam de receber as configurações de cinematismo, para isso é preciso selecionar o modelo e seguir o seguinte caminho no software: *Modeling – Set Modeling Scope*, em seguida acessar a aba: *Modeling – Kinematics Editor*, onde é criado os links, onde são inseridos os elementos que fazem parte do

mesmo, e criada a interligação entre links chamada de Joint, que é responsável por referenciar movimentos entre os links. Após criar uma joint é preciso informar se é uma junta do tipo rotativa ou prismática, e informar onde a mesma inicia e acaba por meio de coordenadas, o software já atribui cores automaticamente na aba de modelagem que auxilia na visualização dos links como é possível observar na imagem abaixo:

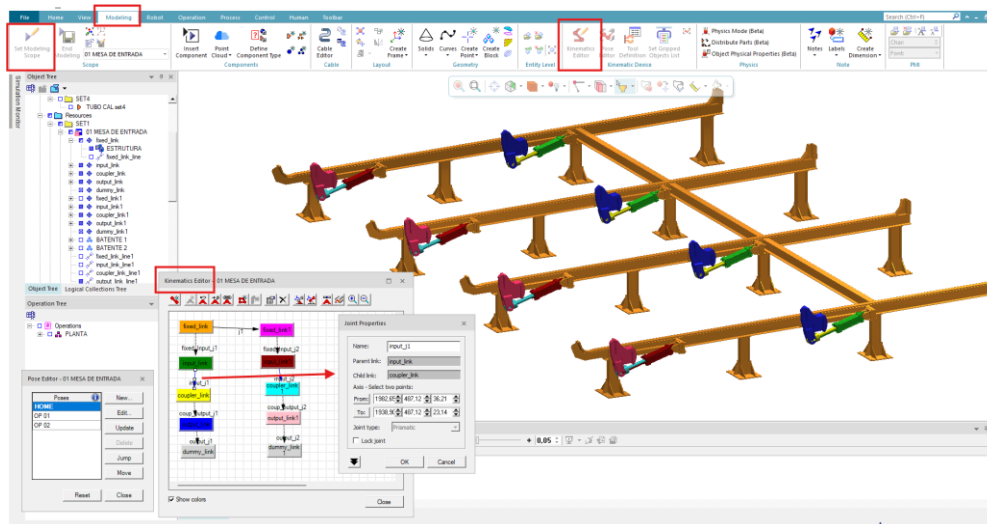


Figura 10 – Cinematismo mesa de entrada

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate.

Para os componentes definidos como Device é preciso criar as poses após a conclusão do cinematismo, pois o equipamento vai variar a sua posição conforme o sequencial de acionamento a ser programado.

Contudo os componentes definidos como *Robot* precisam de 2 informações a mais, precisam que sejam referenciados o *baseframe* o equivalente a coordenada da base do robô, e o *toolframe* que seria a extremidade onde se montaria a pinça em um robô convencional, no caso do projeto são equipamentos como o exemplo abaixo que é uma *Walking Beam* que teve que ser configurada como robô por realizar a manipulação do tubo entre coordenadas

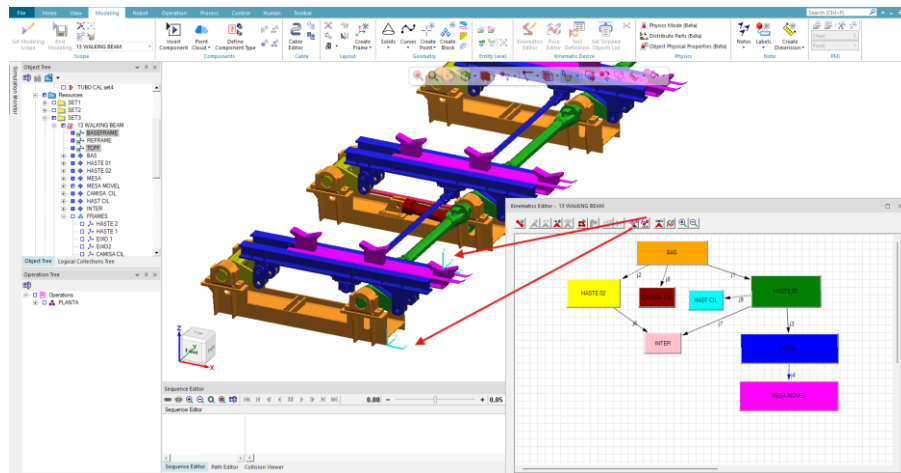


Figura 11 – Cinematismo Walking Beam

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate

De modo similar foram realizados a configuração de cinematismo, de poses e de configuração de *bases frames* e *toolframes* para todos os equipamentos presentes na planta.



Figura 12 – Exemplo de Cinematismo em outros equipamentos

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate.

4.4.2 Desenvolvimento das operações.

Decorrida a etapa do cinematismo é possível criar operações para os equipamentos, que fazem com que seja possível determinar os movimentos e ações que os equipamentos devem executar.

Na simulação completa da planta foram desenvolvidos três tipos de operações principalmente, sendo elas:

- *Object Flow operation.*
- *Device Operation.*
- *Generic Robot Operation.*

4.4.2.1 Object Flow Operation.

São operações realizadas pelo produto, no caso da simulação foram utilizadas para realizar as simulações onde o tubo precisa realizar movimentos que deveriam ser representados por interações físicas pelo produto, como queda e deslizamento por um plano inclinado, movimentação por atrito entre os tubos e roletes, como é possível observar nas imagens abaixo:



Figura 13 – Exemplo operação de Object Flow.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate

Em síntese para desenvolver uma operação de movimento de um material é preciso seguir o seguinte caminho no software: *Operation – New Operation – New Object Flow Operation.*

Selecionado em seguida o objeto e definindo os pontos de movimentação, sendo eles os pontos finais, iniciais e intermediários, também é possível definir se há alguma interpolação entre pontos em caso de curvas para realizar a suavização dos movimentos e aproximação em casos de curvas.

Mas no geral foram desenvolvidos movimentos alinhados com os equipamentos para representar o movimento real em caso de deslizamentos e quedas pelos tubos, com o movimento possuindo posição inicial e final por operação.

4.4.2.2 Device Operation.

Para os equipamentos as simulações são desenvolvidas de forma simplificada, para isso é necessário criar as posições que o equipamento pode assumir no *pose editor*, e criar uma operação que saia o equipamento da posição atual para a próxima posição.

Terminada as configurações de pose já é possível atribuir uma operação a um equipamento, para isso é preciso seguir o seguinte caminho no software: *Operation – New Operation – New Device Operation*.

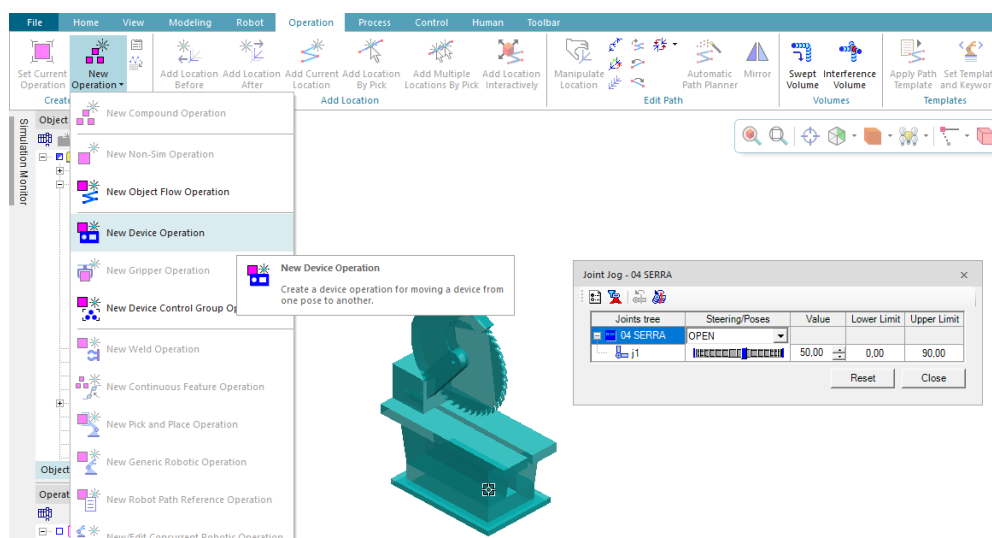


Figura 14 – Exemplo operação de Device Operation

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate.

4.4.2.3 Robot Operation.

Das operações desenvolvidas a que requer o maior número de passos para a realização completa da mesma, primeiramente que para realizar qualquer operação que envolva manipulação usando um robô no software é preciso de desenvolver *Griper*, ou seja, uma pinça que irá realizar a pega e a manipulação dos componentes.

Para desenvolver a operação de um robô após a etapa do cinematismo é preciso criar e atribuir uma ferramenta para o robô poder realizar qualquer operação, pode ser tocha de solda, pinça para pontos de solda ou um grampo para pegar peças, e para todas as ferramentas geradas são criadas as coordenadas de montagem da ferramenta e de uso, que são conhecidas como *Base frame* e *Toolframe* respectivamente.

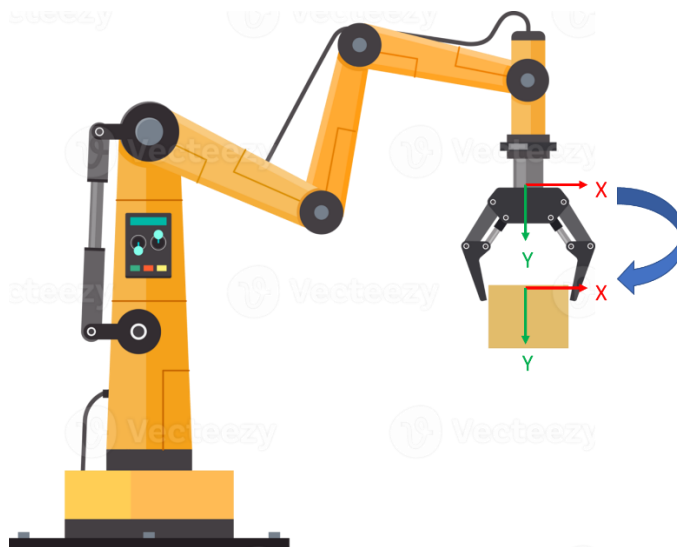


Figura 15 – Exemplo operação Base frame e Toolframe em um Robô

Fonte: Vecteezy (2023). Acessado dia 20 Março. 2026

No caso do projeto desenvolvido por não se tratar fisicamente de uma operação realizada por um robô com uma pinça, mas sim de um equipamento que se move com um tubo apoiado, foi desenvolvido uma ferramenta representativa somente para poder se usar das operações, assim sendo possível atribuir a operação de pega do tubo para os equipamentos desenvolvidos como robôs.

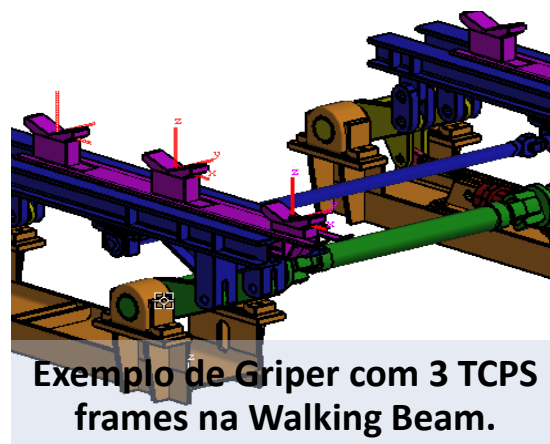


Figura 16 – Exemplo operação de Device Operation

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate.

Nas imagens acima são mostrados alguns exemplos de *grippers* atribuídos para os equipamentos, nos pontos onde foram utilizadas as vigas caminhantes por possuir mais de um ponto de pega foi preciso desenvolver um *griper* com mais de um *toolframe*.

Desenvolvido os *grippers* para cada um dos robôs, é possível realizar a criação das operações para cada um dos mesmos, ao acessar o caminho: *Operation – New Operation – New Pick and Place Operation*, é possível por meio de uma aba selecionar o robô e o *griper* presente na operação, também é possível determinar nessa aba o ponto de pega e depósito.

Contudo devido ao funcionamento da *Walking beam* se tratar de um acionamento Hidráulico em que inicialmente se aciona o cilindro de elevação e depois o motor hidráulico que permite o movimento de translação, os pontos de movimentos para esta operação foram pensados para que a mesma seguisse este sequencial.

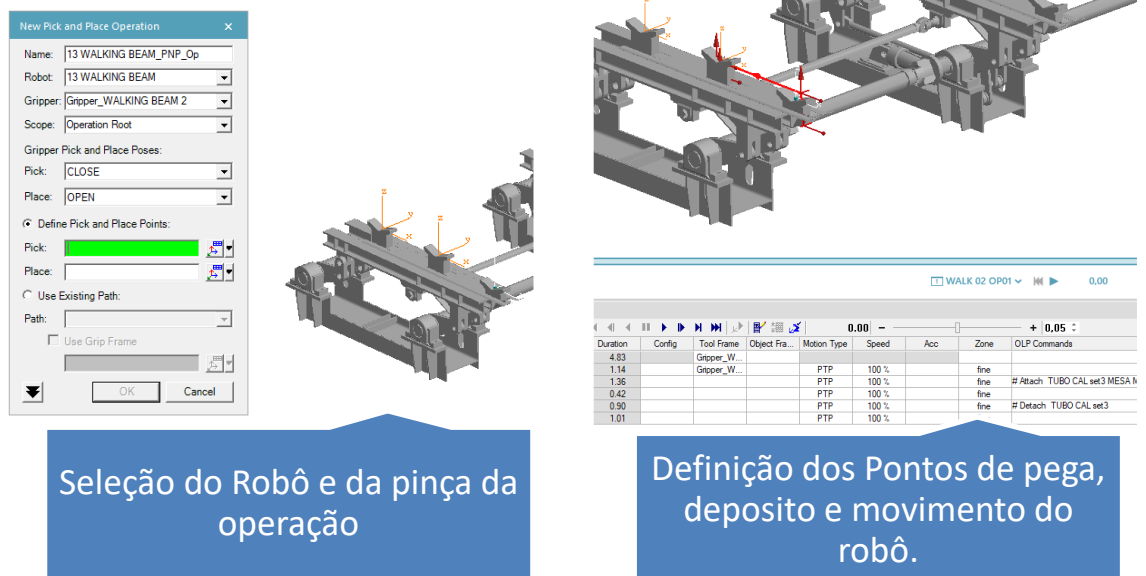


Figura 17 – Exemplo operação de Pick and Place Operation

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate.

4.4.3. Operation tree (Árvore de Operações)

Finalizado o desenvolvimento das operações, o passo final para o desenvolvimento da simulação por CEE é estruturar as operações em sequencias de acordo com a lógica de produção da planta. Decorrida o desenvolvimento tanto do ciclograma quanto da programação em *Grafset*, já é conhecida os sequencias dos acionamentos e onde é possível ocorrer a simultaneidade dos acionamentos, assim seguindo a programação desenvolvido foi estruturada a árvore de operações.

Contudo com o decorrer da estruturação dos acionamentos e testes, foi possível notar a necessidade de um complemento na programação em alguns pontos em específico como na imagem abaixo:

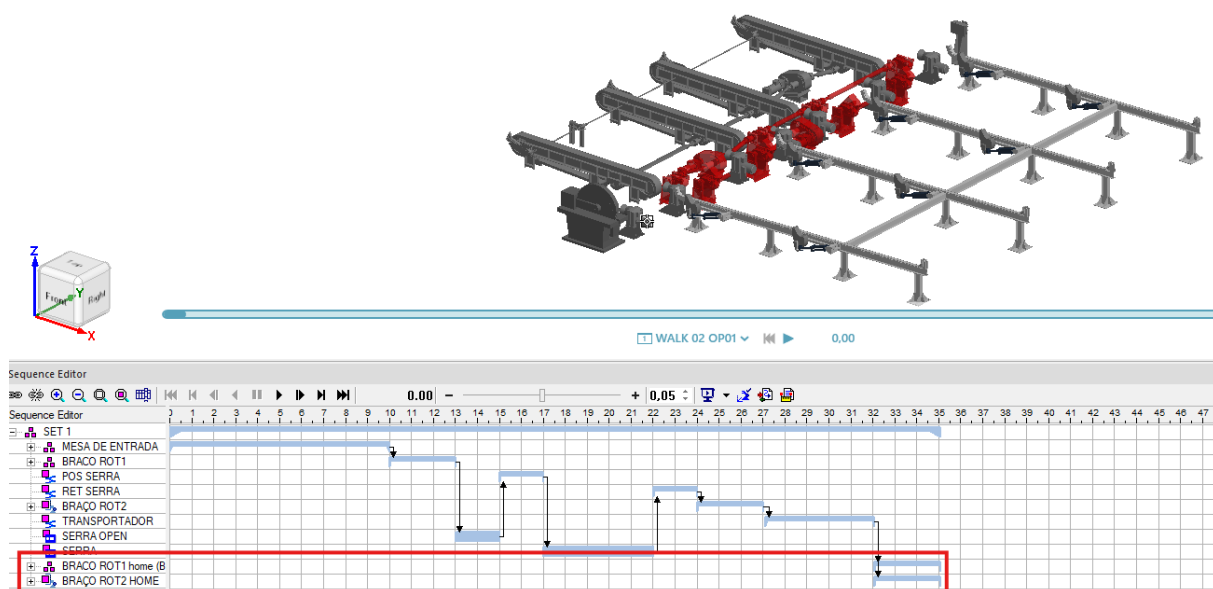


Figura 18 – Exemplo Operation tree SET 1

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate.

Conforme observado acima, para que após o fim das operações de corte e transporte de tubo que ocorrem no Setor 1, é preciso que os braços rotativos retornem para as posições iniciais, permitindo que os mesmos possam pegar os próximos tubos que entrarem no processo.

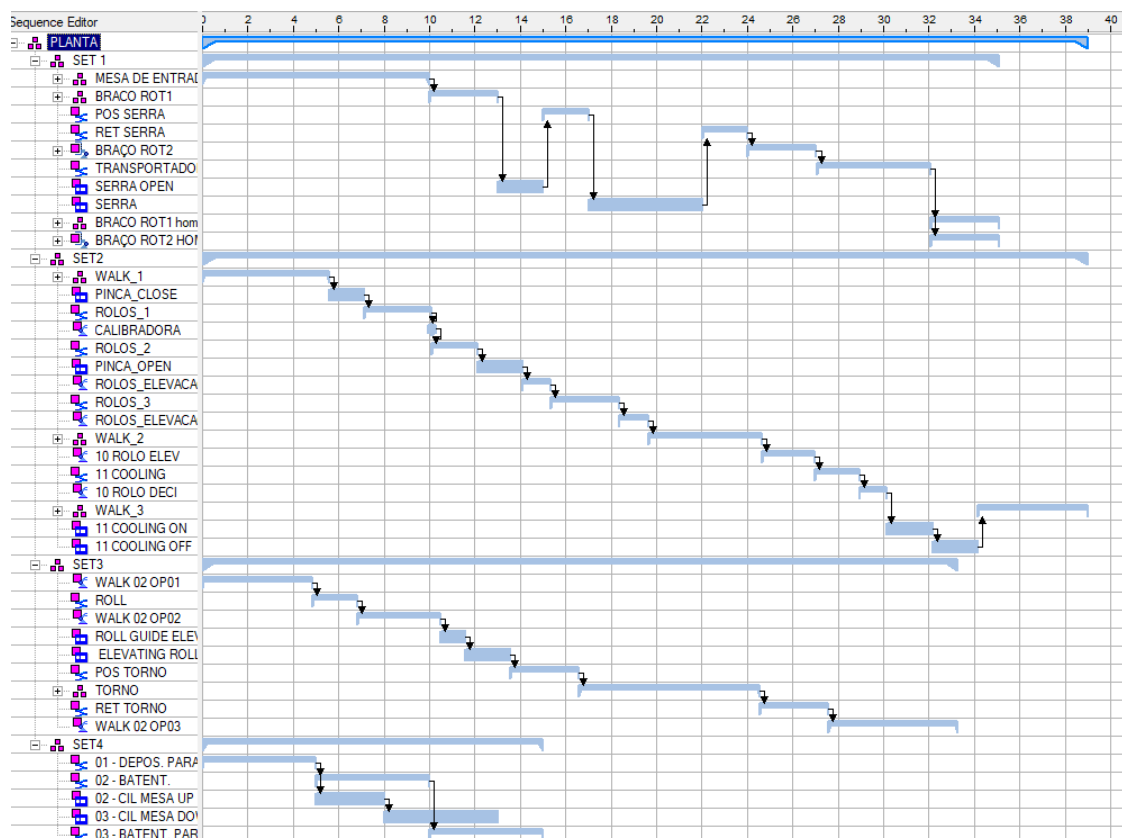


Figura 19 –Operation Tree da Planta completa

Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando o software Process Simulate.

Assim decorrida a programação desenvolvida para todos os Sets de 1 a 4, os mesmos foram estruturados na árvore de operações principal, que é a da planta obtendo-se o ciclo de operações mostrado acima, assim sendo possível concluir a simulação do funcionamento da planta em paralelo. É preciso ressaltar que no caso do primeiro ciclo de funcionamento da planta a mesma se daria por um processo inteiramente sequencial, levando um tempo de 140 segundos para a simulação completa e saída do primeiro tubo, contudo a partir dos primeiros 40 segundos enquanto o primeiro tubo entra no segundo set é depositado outro no primeiro, assim seguindo essa aplicação após sair o primeiro tubo os recorrentes a ele levarão um tempo médio de 40 segundos nos demais.

Sobre o tempo de simulação total neste caso não é possível ter uma aproximação real pois como a simulação foi desenvolvida com o projeto básico não há informações do tempo de acionamento e de velocidade dos equipamentos reais, mas caso as informações fossem informadas é possível ajustar a mesma simulação para possuir o mesmo tempo de ciclo do sistema real antes da implementação.

5 Conclusões

O desenvolvimento deste projeto permitiu concluir que os fluxogramas de processo, apesar de sua natureza de representação simplificada, constituem ferramentas fundamentais para subsidiar a visualização e a compreensão global do sistema automatizado. Essa abordagem gráfica otimizou significativamente a etapa de programação e desenvolvimento, uma vez que a consulta rápida ao fluxograma eliminou a necessidade de revisar continuamente o layout tridimensional completo da planta para validar a sequência operacional dos equipamentos. Se tornando assim um ponto de partida com extrema importância para os desenvolvimentos subsequentes.

No âmbito do desenvolvimento do código para o controlador, a seleção da linguagem SFC facilitou a verificação do comportamento sequencial do sistema. Embora a estrutura final tenha apresentado divergências pontuais em relação ao fluxograma inicial devido à implementação de malhas de processamento paralelas, a interface gráfica do SFC propiciou uma correlação direta e intuitiva entre as etapas lógicas e a dinâmica real da planta observada durante as simulações.

Outro aspecto relevante consistiu na decisão de programar os acionamentos periféricos por meio de funções em Texto Estruturado (ST). Essa estratégia reduziu o número de transições explícitas exibidas na árvore principal do SFC, viabilizando uma organização visual baseada em blocos modulares. Consequentemente, o diagnóstico de falhas tornou-se mais eficiente, visto que a lógica de cada máquina foi isolada em abas dedicadas e identificadas de acordo com a nomenclatura dos respectivos equipamentos em campo.

A etapa de simulação digital demandou o maior número de fases operacionais para sua consolidação. Como os dispositivos mecânicos avaliados correspondiam a estruturas comerciais preexistentes na planta física, a aplicação do ambiente virtual focou na validação cinemática dos movimentos, alcances e detecção de colisões. Esse procedimento demonstrou-se eficaz para mitigar erros de projeto mecânico antes da implementação definitiva do sistema.

6 Trabalhos futuros

O escopo inicial do trabalho previa o uso do código do CLP para comandar as operações cinemáticas diretamente na planta virtual. Contudo, a realização dessa integração síncrona exigiria o uso do modo de simulação de linha (*Line Simulation Mode*), recurso que demanda conectividade de rede robusta e mapeamento avançado de sinais. Devido às limitações técnicas no domínio dessa ferramenta, optou-se pela validação baseada na Avaliação de Eventos por Ciclo (CEE). Esse método demonstrou-se satisfatório, validando o comportamento do sistema com base na temporização das operações dispostas na árvore de sequência lógica, cujo sincronismo converge com a lógica projetada em SFC.

E para uma melhor validação da lógica desenvolvida e garantia do desenvolvimento por comissionamento virtual, seria necessário a implementação da simulação pelo método *Line Simulation Mode* e da realização de novas simulações e testes para garantir o funcionamento dos códigos desenvolvidos.

Outro ponto de melhoria seria na complementação da programação, a mesma foi desenvolvida somente com o intuito de realizar a produção dos tubos, ficou pendente o complemento da mesma para a realização de paradas de emergências, sensores de presença ou de abertura de enclausuramento para garantir a segurança caso algum operador entre na área de operação, e intertravamento para caso de paradas de manutenção, para garantir que nenhum equipamento entre em funcionamento.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Ricardo. *Adeus ao trabalho? Ensaio sobre as metamorfoses e a centralidade do mundo do trabalho*. 13. ed. São Paulo: Cortez, 2009.
- ENCON. *Exemplos de aplicações práticas do CLP em ambientes industriais*. Disponível em: <https://encon.com.br/blog/controlador-programavel-clp/exemplos-de-aplicacoes-praticas-do-clp-em-ambientes-industriais>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- INFORMATEC DIGITAL. CLP: o que é, como funciona e para que serve na automação industrial. Disponível em: <https://informatcdigital.com/pt/o-que-%C3%A9-um-CLP>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- INOVAZ. CLP na automação industrial: precisão, segurança e eficiência. Disponível em: <https://www.inovaz.ind.br/blog/clp-na-automacao-industrial>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- MARKPLAN. *O papel fundamental da programação CLP em automação industrial*. Disponível em: <https://www.markplan.com.br/o-papel-fundamental-da-programacao-clp-em-automacao-industrial>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- SANTOS, Edvan Pereira dos. *Controladores lógicos programáveis e seu auxílio na automação e controle de processos*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação) – Cruzeiro do Sul Virtual. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/54430/1/EDVAN_PEREIRA_DO_S_SANTOS.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.
- SILVA, Dirceu Mateus da; SILVA, Wesley Nunes da; NASCIMENTO, Daniel Junior Ferreira. Utilização do CLP para realização de controle automático em processos industriais. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 3, n. 6, p. 56-83, 2018. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/utilizacao-do-clp>. Acesso em: 10 jul. 2025.

APÊNDICE A

//CÓDIGO PARA MESA DE ENTRADA

A_S1_MES_ENT_01 := FALSE;

//INICIALIZA ELEVANDO OS BATENTES

S1_CIL_A_01 := 1;

S1_CIL_B_01 := 1;

//PRIMEIRA LINHA DE ROLOS

// SE O TUBO TIVER NO PRIMEIRO BATENTE E NÃO TIVER NENHUM NO SEGUNDO

IF S1_DI_XT_01 = TRUE AND NOT S1_DI_XT_02 = FALSE THEN

 S1_CIL_A_01 := 0;

 S1_CIL_B_01 := 1;

END_IF

//SEGUNDA LINHA DE ROLOS

// SE O TUBO TIVER NO SEGUNDO BATENTE E NÃO TIVER NENHUM NO FIM

IF S1_DI_XT_02 = TRUE AND NOT S1_DI_XT_03 = FALSE THEN

 S1_CIL_A_01 := 1;

 S1_CIL_B_01 := 0;

END_IF

//SAIDA DA LINHA DE ROLOS

// SE O TUBO TIVER NO FIM DA MESA

IF S1_DI_XT_03 = TRUE THEN

 S1_CIL_A_01 := 1;

 S1_CIL_B_01 := 1;

 A_S1_MES_ENT_01 := TRUE;

END_IF

APÊNDICE B

//CÓDIGO PARA BRAÇOROTATIVO 01

B_S1_B_ROT_02 := FALSE;

//INICIALIZA RETORNANDO PARA POSIÇÃO INICIAL

S1_MOT_02 := 0;

//PRIMEIRO MOVIMENTO

// SE O TUBO TIVER NO FINAL DA MESA DE ENTRADA E NENHUM NA LINHA DE ROLOS

IF S1_DI_XT_03 = TRUE AND NOT S1_DI_XT_05 = FALSE THEN

 S1_MOT_02 := 180;

```

        B_S1_B_ROT_02 := TRUE;
    END_IF
    // SE O TUBO TIVER NO FINAL DA ESTEIRA
    IF S1_DI_XT_10 = TRUE AND NOT S1_DI_XT_03 = FALSE THEN
        S1_MOT_02 := 0;
        B_S1_B_ROT_02 := TRUE;
    END_IF

```

APÊNDICE C1

```

    //CÓDIGO PARA ROLETE DA SERRA 03
    C_S1_ROL_SER_A_03 := FALSE;
    //INICIALIZA DESLIGANDO O MOTOR
    S1_MOT_A_03 := 0;
    //PRIMEIRO MOVIMENTO
    // SE O TUBO TIVER NO ROLETE MOTOR DE AVANÇO LIGA
    IF S1_DI_XT_05 = TRUE AND NOT S1_DI_XT_06 = FALSE THEN
        S1_MOT_A_03 := 1;
    END_IF
    // SE O TUBO CHEGAR NA POSIÇÃO DA SERRA MOTOR DE AVANÇO DESLIGA
    IF S1_DI_XT_06 = TRUE AND NOT S1_DI_XT_05 = FALSE THEN
        S1_MOT_A_03 := 0;
        C_S1_ROL_SER_A_03 := TRUE;
    END_IF

```

APÊNDICE C2

```

    //CÓDIGO PARA ESTEIRA 06
    F_S1_TRANSP_06 := FALSE;
    //INICIALIZA RETORNANDO PARA POSIÇÃO INICIAL
    S1_MOT_06 := 0;
    // SE O TUBO TIVER NO INICIO DA ESTEIRA
    IF S1_DI_XT_09 = TRUE THEN
        S1_MOT_06 := 1;
    END_IF

```

// SE O TUBO CHEGAR NO FINAL DA ESTERIRA

IF S1_DI_XT_10 = TRUE THEN

 S1_MOT_06 := 0;

 F_S1_TRANSP_06 := TRUE;

END_IF

APÊNDICE D

//CÓDIGO PARA SERRA

D_S1_SERRA_04 := FALSE;

//INICIALIZA RETORNANDO PARA POSIÇÃO INICIAL

S1_MOT_SER := 0;

// SE O TUBO TIVER NA POSIÇÃO DE CORTE

IF S1_DI_XT_06 = TRUE THEN

 D_S1_SERRA_04 := TRUE;

END_IF

// ASSIM QUE A SERRA REALIZAR O CORTE RETORNA PARA POS INICIAL

IF S1_DI_XT_06 = TRUE THEN

 S1_MOT_SER := 1;

 D_S1_SERRA_04 := TRUE;

END_IF

APÊNDICE E

//CÓDIGO PARA BRAÇOROTATIVO 05

E_S1_B_ROT_05 := FALSE;

//INICIALIZA RETORNANDO PARA POSIÇÃO INICIAL

S1_MOT_05 := 0;

//PRIMEIRO MOVIMENTO

// SE O TUBO TIVER NO FINAL DO ROLETE E NENHUM TUBO NO INICIO DO TRANSPORTADOR

IF S1_DI_XT_06 = TRUE AND NOT S1_DI_XT_09 = FALSE THEN

 S1_MOT_05 := 180;

 E_S1_B_ROT_05 := TRUE;

END_IF

```

// SE O TUBO TIVER NO FINAL DA ESTEIRA
IF S1_DI_XT_10 = TRUE AND NOT S1_DI_XT_06 = FALSE THEN
    S1_MOT_05 := 0;
    E_S1_B_ROT_05 := TRUE;
END_IF

```

APÊNDICE F

```

//CÓDIGO PARA ESTEIRA 06
F_S1_TRANSP_06 := FALSE;
//INICIALIZA RETORNANDO PARA POSIÇÃO INICIAL
S1_MOT_06 := 0;
// SE O TUBO TIVER NO INICIO DA ESTERIRA
IF S1_DI_XT_09 = TRUE THEN
    S1_MOT_06 := 1;
END_IF
// SE O TUBO CHEGAR NO FINAL DA ESTERIRA
IF S1_DI_XT_10 = TRUE THEN
    S1_MOT_06 := 0;
    F_S1_TRANSP_06 := TRUE;
END_IF

```