

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS**

**Roger Perin**

**Implementação de um sistema de controle  
distribuído em uma linha de produção de  
margarina**

Florianópolis

2018

**Roger Perin**

**Implementação de um sistema de controle  
distribuído em uma linha de produção de margarina**

Relatório submetido à  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito para a aprovação na  
disciplina **DAS 5511: Projeto de Fim de  
Curso** do curso de Graduação em  
Engenharia de Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. Marcelo De  
Lellis Costa de Oliveira.

Florianópolis

2018

**Roger Perin**

# **Implementação de um sistema de controle distribuído em uma linha de produção de margarina**

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511: Projeto de Fim de Curso e aprovada na sua forma final pelo Curso de Engenharia de Controle e Automação.

Florianópolis, 31 de julho de 2018.

## **Banca Examinadora:**

Rafael Gonçalves d'Ávila da Silva  
Orientador na Empresa  
GreyLogix Brasil Máquinas LTDA.

Prof. Marcelo De Lellis Costa de Oliveira  
Orientador no Curso  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Carlos Fernando Oliveira Cabeça Neves  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Conrado Viveiros Jordan  
Debatedor  
Universidade Federal de Santa Catarina

Artur Straub  
Debatedor  
Universidade Federal de Santa Catarina





## RESUMO

A empresa GreyLogix Brasil foi contratada pela cooperativa agroindustrial COAMO para realizar a migração da tecnologia de automação da sua linha de produção de margarina. Atualmente a planta opera com dois CLPs programados com linguagens obsoletas que dificultam a manutenção da fábrica, limitando sua produtividade. Como solução, os dois CLP serão trocados por um controlador redundante capaz de suportar um sistema de controle distribuído (DCS) em conjunto com um sistema de controle de bateladas, ambos da fabricante Siemens. Os novos sistemas irão padronizar a operação da fábrica, além de garantir maior rastreabilidade na produção, conforme requisitos do cliente. Para a implantação dos sistemas é necessário atualizar a documentação da planta, já que durante os anos de operação ela passou por diversas mudanças e atualizações, tanto físicas quanto na lógica de controle e operacionais. Com os diagramas atualizados todas as sequências do processo foram remodeladas utilizando SFC (*sequential function chart*) e CFC (*continuous function chart*), linguagens mais intuitivas que facilitam a manutenção do programa. A validação da programação é realizada a partir de simulações da lógica e validação do cliente, em documentos emitidos e visitas técnicas a campo.

**Palavras-chave:** Automação. Controle distribuído. Fabricação de margarina.

## ABSTRACT

The GreyLogix Brasil company was hired by the agro-industrial cooperative COAMO to perform the migration of the automation technology of its margarine production line. Currently the plant operates with two PLCs programmed with obsolete languages that make it difficult the factory maintenance, limiting its productivity. As a solution, both PLCs will be replaced by a redundant controller capable of supporting a distributed control system (DCS) in conjunction with a batch control system, both Siemens products. The new systems will standardize the operation of the plant, in addition to ensuring greater traceability in production, according to the customer's requirements. For the implementation of the systems it is necessary to update the documentation of the plant, since during the years of operation it underwent several changes and updates, both physical and in the control and operational logic. With the updated diagrams all the process sequences were remodeled using SFC (sequential function chart) and CFC (continuous function chart), which are more intuitive languages that facilitate the maintenance of the program. The program validation is performed through simulations of the logic and approval by the client, in documents issued and technical visits to the field.

**Key-words:** Automation. Distributed control. Margarine production.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Topologia de rede instalada atualmente na fábrica. Fonte: original. ....	15
Figura 2 – Futura topologia de rede para a fábrica. Fonte: original.....	18
Figura 3 – Tanques de ácido (34) e sorbato (35). Fonte: original.....	23
Figura 4 – Tanques de salmoura (31 e 32). Fonte: original.....	24
Figura 5 – Bombas, válvulas e dosador de sal dos tanques de salmoura. Fonte: original.....	24
Figura 6 – Saída do tanque de mistura da fase aquosa (33). Fonte: original. ....	25
Figura 7 – Sistema de aquecimento da fase aquosa. Fonte: original.....	26
Figura 8 – Fluxograma de preparo da fase aquosa. Fonte: original. ....	26
Figura 9 – Tanques de emulsificantes (52 e 53). Fonte: original.....	27
Figura 10 – Armazenagem de óleo e gorduras no parque de tanques. Fonte: original. ....	28
Figura 11 – Saída do tanque de emulsão (51). Fonte: original.....	29
Figura 12 – Saída do tanque pulmão (61) para o envase. Fonte: original.....	30
Figura 13 – Fluxograma de preparo da emulsão. Fonte: original. ....	30
Figura 14 – Sistema de pasteurização. Fonte: original. ....	31
Figura 15 - Trocador de calor de superfície raspada (cristalizador). Fonte: original..	32
Figura 16 – Batedor de pinos. Fonte: original.....	33
Figura 17 – Envasadora de caixas ou baldes de margarina. Fonte: original.....	34
Figura 18 – Fluxograma geral do processo de produção. Fonte: original. ....	34
Figura 19 – Níveis da pirâmide da automação (ISA 95). Fonte: original. ....	37
Figura 20 – Exemplo de uma sequência com seus elementos descritos. Fonte: USP. <b>Aula SFC.</b> Disponível em: < <a href="https://goo.gl/GbWS4b">https://goo.gl/GbWS4b</a> >. Acesso em: 11 jul. 2018.....	39
Figura 21 – Visão de uma hierarquia da aba Units no COMOS. Fonte: COMOS Platform Operation. ....	42
Figura 22 – Visão de uma hierarquia da aba Locations no COMOS. Fonte: COMOS Platform Operation. ....	43
Figura 23 – Visão de uma hierarquia da aba Documents no COMOS. Fonte: COMOS Platform Operation. ....	43
Figura 24 – Visão da organização da aba Base objects no COMOS. Fonte: COMOS Platform Operation. ....	44



Figura 25 – Organização da Component View no PCS7. Fonte: original. ....	46
Figura 26 – Organização da Plant View no PCS7. Fonte: original.....	47
Figura 27 – Organização da Process Object View no PCS7. ....	48
<i>Figura 28</i> – Fluxograma de desenvolvimento baseado nas ferramentas de engenharia. Fonte: original. ....	50
Figura 29 – Exemplo de um P&ID de pasteurização corrigido em campo. Fonte: original. ....	51
Figura 30 – P&ID de pasteurização corrigido no COMOS. Fonte: original. ....	52
Figura 31 – Diagrama P&ID da área de envase desenvolvido no COMOS. Fonte: original. ....	53
Figura 32 – P&ID de um tanque de emulsão (51A). Fonte: original.....	54
Figura 33 – Lista de válvulas atuadas dos tanques-pulmão gerada no COMOS. Fonte: original. ....	54
Figura 34 – Modelagem da Unit do tanque de sorbato. Fonte: original. ....	55
Figura 35 – Associação entre os CMTs e CMs no COMOS. Fonte: original.....	56
Figura 36 – Ferramenta de comunicação entre os projetos no COMOS e PCS7. Fonte: original. ....	57
Figura 37 – Visão da janela de configuração de hardware no PCS7. Fonte: original. .....	58
Figura 38 – Parte da tabela de símbolos criada no PCS7. Fonte: original.....	59
Figura 39 – Exemplo de tela do sistema supervisório. Fonte: original.....	60
Figura 40 – Exemplo de comandos para acionamento de válvula. Fonte: original. ..	62
Figura 41 – Exemplo de Start em uma sequência de saída de produto do tanque. Fonte: original. ....	63
Figura 42 – Exemplo de Completing em uma sequência de saída de produto do tanque. Fonte: original. ....	64
Figura 43 – Sequência de entrada de produto do tanque 51. Fonte: original. ....	65
Figura 44 – Dosagem grossa na entrada do tanque 51 simulada via supervisório. Fonte: original. ....	67
Figura 45 - Sequência de entrada do tanque 51 na dosagem grossa. Fonte: original. .....	69
Figura 46 – Dosagem fina na entrada do tanque 51 simulada via supervisório. Fonte: original. ....	70

Figura 47 - Sequência de entrada do tanque 51 em dosagem fina. Fonte: original. .71	71
Figura 48 – Sequência de saída de produto do tanque 51. Fonte: original. ....72	72
Figura 49 – Saída do tanque 51 simulada via supervisório. Fonte: original. ....73	73
Figura 50 – Sequência da saída do tanque 51 em funcionamento. Fonte: original...74	74
Figura 51 - Sequência de entrada de produto do tanque 61. ....75	75
Figura 52 - Entrada do tanque 61A simulada via supervisório. Fonte: original. ....76	76
Figura 53 - Sequência de entrada do tanque 61A em funcionamento. ....77	77
Figura 54 – Trecho do SFC de envase da linha 2 na Pattyn 1. Fonte: original. ....78	78
Figura 55 – Continuação do SFC de envase da linha 2 na Pattyn 1. Fonte: original.79	79
Figura 56 – Saída e recirculação do tanque 61A simulada via supervisório. Fonte: original.....82	82
Figura 57 - Processo de pasteurização simulado via supervisório.....83	83
Figura 58 – Processo de cristalização e plastificação simulados via supervisório. ...84	84
<i>Figura 59 – Envase da linha 2 simulada via supervisório.....84</i>	84
Figura 60 – Simulação da condição de temperatura baixa no pasteurizador. Fonte: original.....85	85
<i>Figura 61 – Simulação da condição de não-envase na Pattyn 1. Fonte: original.....85</i>	85
Figura 62 – Bloco da bomba MBO1002 com as indicações das saídas conectadas. Fonte: original.....86	86
Figura 63 – Bloco da válvula VBA10132 com as indicações das saídas conectadas. Fonte: original.....87	87
Figura 64 – Bloco de interlock do PCS7. Fonte: original. ....88	88
Figura 65 – Detalhe nas válvulas de envase das máquinas Pattyn 1 e Pattyn 2. Fonte: original.....89	89

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b> .....	10
Capítulo 1: INTRODUÇÃO .....	12
1.1. As Empresas .....	12
1.1.1. Bilfinger GreyLogix GmbH .....	12
1.1.2. GreyLogix Brasil.....	13
1.1.3. COAMO .....	13
1.1.4. O Projeto.....	13
1.2. Motivação .....	16
1.3. Objetivo Geral.....	16
1.3.1. Objetivos Específicos.....	16
1.4. Metodologia .....	17
1.5. Organização do Documento .....	19
Capítulo 2: FUNDAMENTAÇÃO E CONCEITOS.....	21
2.1. Diagrama de Tubulação e Instrumentação.....	21
2.2. Processos Envolvidos.....	22
2.2.1. Processo em bateladas.....	22
2.2.2. Processo contínuo .....	30
2.3. Diferenças na abordagem CLP e DCS .....	34
2.4. Redes Industriais .....	36
2.5. Linguagens SFC (Grafcet) e FB (CFC).....	38
2.5.1. Sequential Function Chart (SFC) .....	38
2.5.2. Function Block Diagram e Continuous Function Chart.....	39
Capítulo 3: FERRAMENTAS DE ENGENHARIA .....	41
3.1. COMOS Platform.....	41
3.2. SIMATIC PCS7.....	45

Capítulo 4: DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS DO PROJETO.....	49
4.1. Primeira Visita .....	50
4.2. Segunda Visita .....	51
4.3. Terceira Visita .....	55
4.4. Quarta Visita .....	60
4.5. Quinta Visita.....	90
Capítulo 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	91
REFERÊNCIAS .....	93

## Capítulo 1: INTRODUÇÃO

Os sistemas de controle distribuído (DCSs) são utilizados principalmente no controle de processos contínuos ou em lotes (bateladas), como em refinarias, petroquímicas, usinas elétricas, farmacêuticas, indústria de alimentos e bebidas, produção de cimento, metalurgia e indústrias de papel. Ele pode contar com processadores e redes redundantes que permitem a descentralização do processamento de dados ou decisões, utilizando unidades remotas na planta, sistemas de supervisão e controladores PID. Para realizar o controle da produção o sistema conta com estratégias contínuas associadas a tomadas de decisões discretas, proporcionando a manutenção do comportamento esperado da planta.

O presente trabalho trata da aplicação de um sistema de controle distribuído em uma planta de produção de margarina em um contexto de *retrofitting*, em que a estrutura de controle e automação da planta é modernizada. Estão descritos no documento os conceitos envolvidos, a contextualização do projeto, as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos.

### 1.1. As Empresas

#### 1.1.1. Bilfinger GreyLogix GmbH

A empresa de engenharia contratada para a execução do projeto teve origem na alemã GreyLogix GmbH, que foi fundada no ano de 2000 por Gerd Witzel, Sven Karsten e Lars Malter. Inicialmente especializada em soluções tecnológicas em automação para gestão de tratamento de água, sua gama de serviços foi ampliada a partir de investimentos e aquisições de empresas como Wolfgang Wiezorrek GmbH e Sepa GmbH & Co. KG, passando a oferecer soluções em automação para indústria dos mais diversos segmentos, incluindo: farmacêutico, bebidas, química, papel e celulose, automobilística, óleo e gás, entre outras. Em 2013 a GreyLogix foi adquirida pela Bilfinger Industrial Technologies, empresa especializada em projetos e construção de plantas industriais que emprega mais de 60 mil funcionários e possui faturamento superior a 7,5 bilhões de euros. Atualmente a Bilfinger GreyLogix conta com mais de 700 funcionários e 23 escritórios em diferentes países da Europa. [1].

### **1.1.2. GreyLogix Brasil**

A empresa contratada para a execução do projeto, GreyLogix Brasil, foi fundada pelos ex-alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação Renato Leal e Rafael Gonçalves no ano de 2007, após ficarem dois anos em estágio na empresa alemã Bilfinger GreyLogix GmbH. Com o modelo de negócio descentralizado proveniente da empresa alemã, a GreyLogix Brasil conta hoje com mais de 70 colaboradores e 7 escritórios em regiões estratégicas de Santa Catarina e do Paraná. Cada escritório possui uma equipe especializada em diferentes segmentos da indústria, nos setores alimentício e de bebidas, papel e celulose, metal mecânica, automobilístico, químico, farmacêutico, água e efluentes, energia e meio ambiente, entregando soluções em diversas disciplinas, como elétrica, instrumentação e controle, engenharia de software, instalação e supervisão de montagens e gestão de projetos. A *expertise* adquirida em 10 anos de história e a constante capacitação de seus colaboradores possibilita a entrega de soluções de alto desempenho para seus clientes. [2].

### **1.1.3. COAMO**

A empresa cliente do projeto, Cooperativa Agropecuária Mourãoense (COAMO), foi fundada em 28 de novembro de 1970, com o objetivo de facilitar a comercialização da produção dos agricultores da região. Atualmente a cooperativa atua em 67 municípios do Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul, recebendo e comercializando mais de 5,6 milhões de toneladas de grãos, respondendo por cerca de 3,6% de toda produção nacional de grãos e fibras. Tratando-se de mercado externo, com a exportação de 11% do total de todas as cooperativas brasileiras, a COAMO é a maior do segmento na América Latina, sendo considerada uma das maiores empresas do país. [3].

### **1.1.4. O Projeto**

O projeto consiste na migração da tecnologia de automação da planta de produção de margarina e gordura da COAMO, na cidade de Campo Mourão – Paraná. A empresa GreyLogix Brasil foi contratada pela cooperativa agroindustrial para

realizar esse projeto objetivando entregar a planta mais produtiva, com maior rastreabilidade da produção e com os menores tempos de parada e manutenção.

Como já destacado, o sistema de automação instalado na planta funciona há mais de 18 anos, tendo passado por diversas modificações sem a devida documentação. Nesse contexto, pode-se citar quatro subdivisões de destaque entre as atividades contempladas neste projeto:

- CAE – Engenharia assistida por computador (COMOS):
  - Revisar e atualizar todos os P&IDs da planta;
  - Digitalizar todos os P&IDs na plataforma COMOS;
  - Gerar listas atualizadas de equipamentos, válvulas, instrumentos e cargas.
  
- DCS – Sistema distribuído para controle e automação de processo (SIMATIC PCS 7):
  - Desenvolver projeto de automação em DCS;
  - Desenvolver projeto do sistema de controle de bateladas (SIMATIC Batch);
  - Desenvolver manuais de operação e manutenção relacionados ao sistema de automação desenvolvido.
  
- PSS – Sistema de simulação de processo (SIMIT):
  - Desenvolver projeto de simulação;
  - Realizar treinamento de operadores;
  
- Supervisão de Montagem e Comissionamento:
  - Supervisionar a troca do hardware (CPUs e remotas);
  - Configuração dos servidores Batch e de operação;
  - Configuração das estações de operação;
  - Comissionamento, *startup* e operação assistida.

Relacionando o projeto com as atividades a serem relatadas neste documento, pode-se destacar que atualmente a planta opera com dois CLPs Siemens, um 416-2 DP e outro 414-3 PN/DP, programados em *Instruction list* (IL). Observa-se, portanto, que a linguagem de programação e o hardware de automação são obsoletos, o que dificulta a manutenção da fábrica.

A topologia de rede instalada, apresentada na Figura 1, conta com um servidor para 3 estações de operação e uma estação de engenharia, que se comunicam com os CLPs via rede PROFINET. Cada CLP possui uma rede PROFIBUS-DP para realizar a comunicação com os painéis de remotas, com os acionamentos de inversores de frequência (que controlam motores) e de partidas direta inteligentes (SIMOCODE), além da comunicação com periféricos em redes PROFIBUS-PA e AS-i através de *gateways*.

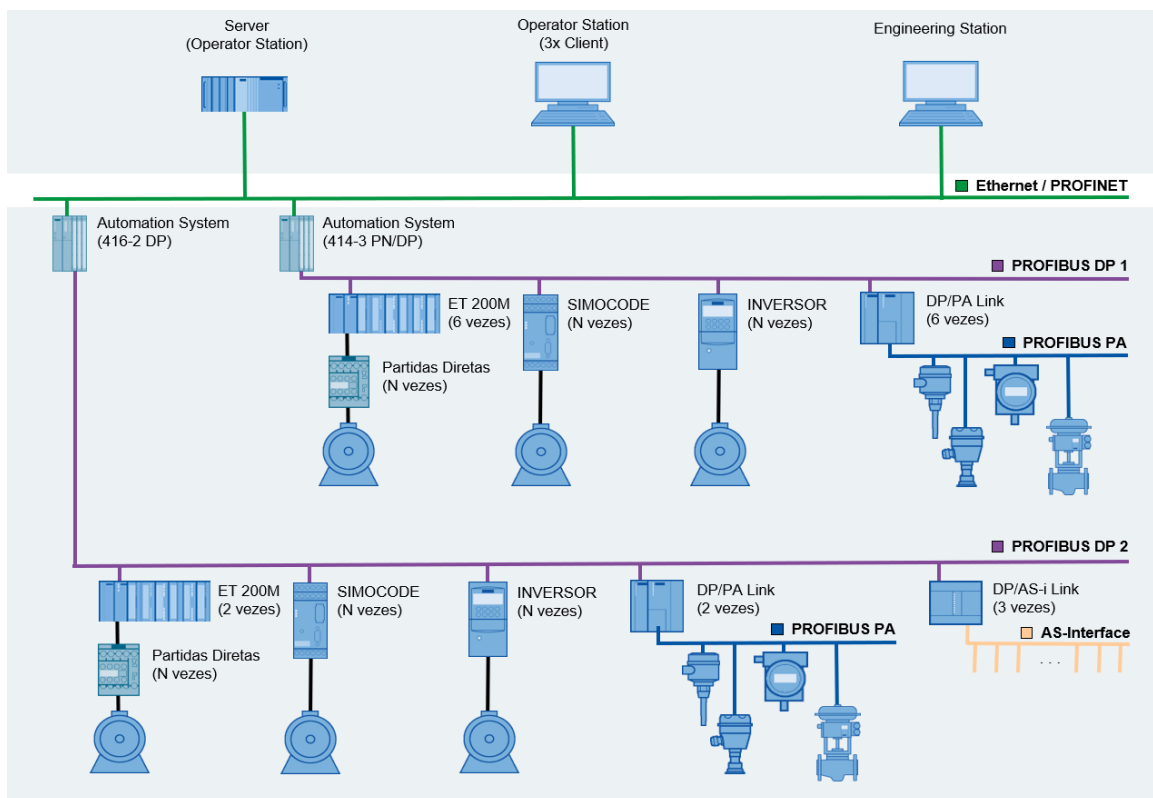


Figura 1 – Topologia de rede instalada atualmente na fábrica. Fonte: original.



## **1.2. Motivação**

O sistema de automação instalado na planta funciona há mais de 18 anos, tendo passado por diversas modificações sem a devida documentação. Desse modo, pode-se citar diversos motivos para realizar a atualização do sistema, dentre eles:

- Dificuldade de integração com novos sistemas e tecnologias;
- Programação em linguagem e estruturação obsoleta, causando dificuldade no entendimento e na realização de modificações;
- Dificuldade em encontrar profissionais especializados para realizar as modificações necessárias;
- Hardware obsoleto, sem suporte ou peças de reposição;
- Problemas com desempenho e estabilidade na planta;
- Altos tempos de parada não programada e longos períodos de localização de falhas do sistema;
- Falta de flexibilidade no processo de produção.

## **1.3. Objetivo Geral**

O sistema de automação passará por uma migração de tecnologia, buscando tornar a linha de produção mais produtiva, com menores tempos de parada e manutenção, assim como objetiva-se também aumentar a rastreabilidade da produção. Serão utilizadas as soluções industriais mais modernas do mercado em simulação de processos, sistemas de controle distribuído, e sistema de controle de bateladas.

Para atingir o sucesso da solução como um todo, tem-se como objetivo geral do projeto especificar, modelar e implementar um sistema de controle distribuído na linha de produção de margarina.

### **1.3.1. Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos do trabalho, pode-se citar:

- Aprendizado e aperfeiçoamento, por parte do autor deste trabalho, no uso de novas ferramentas de engenharia de controle e automação industrial;

- Realizar a atualização e documentação dos diagramas de tubulação e instrumentação (P&ID) do processo;
- Gerar a documentação do projeto contendo listas de equipamentos, válvulas e instrumentos;
- Desenvolver as sequências de operação da planta utilizando técnicas de modelagem e controle de sistemas discretos;
- Desenvolver a programação dos acionamentos e intertravamentos de segurança dos equipamentos;
- Dar suporte aos especialistas no desenvolvimento dos sistemas de simulação e controle de bateladas;
- Adquirir experiência na indústria e mercado de trabalho do engenheiro de controle e automação.

#### **1.4. Metodologia**

Para o planejamento da metodologia deve-se atentar à nova topologia de rede prevista para a planta, apresentada na Figura 2. Será implantado um servidor redundante para acesso às estações de operação, além de um servidor para o sistema de controle de bateladas, no qual é realizado o controle, monitoramento e geração de relatório de produção. Os antigos CLPs serão trocados por um controlador moderno e redundante (Siemens 410-5H), capaz de suportar um sistema de controle distribuído (DCS) em conjunto com um sistema de controle de bateladas. As estações remotas de I/Os também serão trocadas para suportar o controlador. Quanto às redes de comunicação PROFIBUS-DP, elas serão migradas para o único controlador, e ao menos uma delas precisará passar por reconfiguração de endereços.

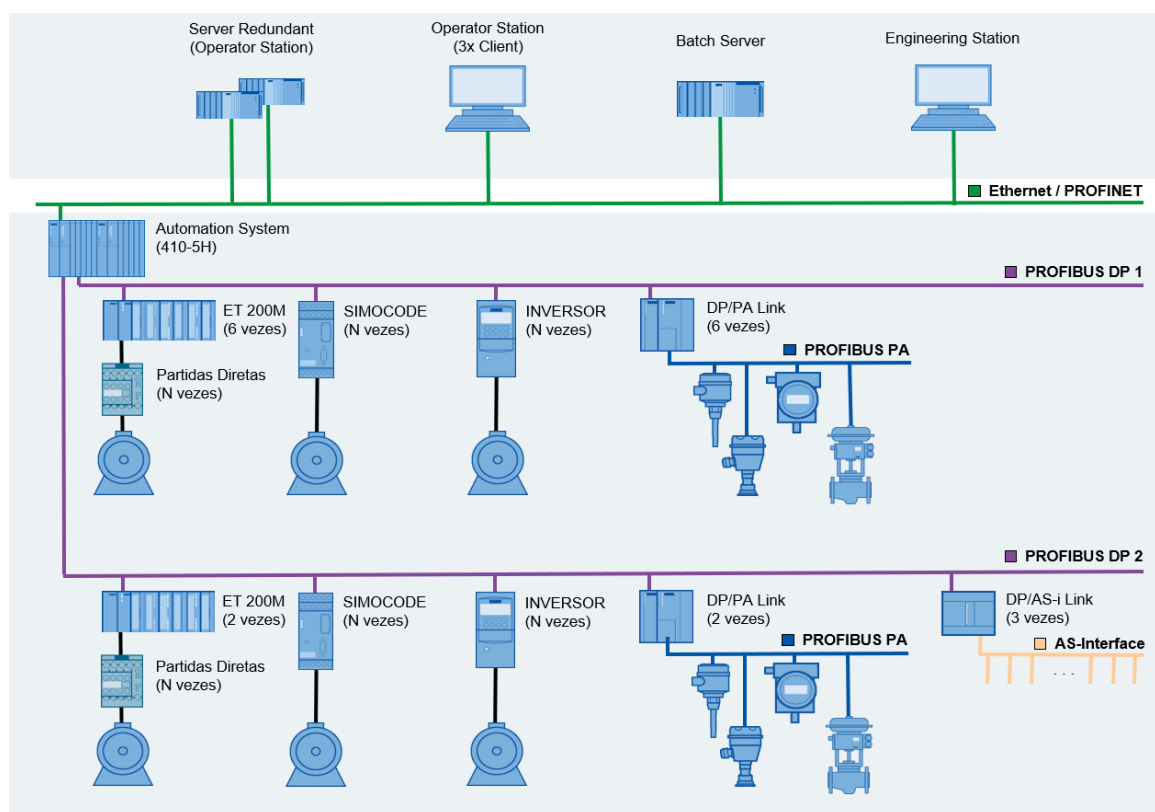


Figura 2 – Futura topologia de rede para a fábrica. Fonte: original.

Assim, a metodologia de desenvolvimento do projeto proposta é baseada em visitas técnicas e entregas acordadas com o cliente. Antes da realização da primeira visita foi disponibilizada uma série de documentos com descritivos do processo, descritivos operacionais, diagramas de tubulação e instrumentação, elétricos, de acionamento dos equipamentos, além de um *backup* dos programas que estavam sendo utilizados nos CLPs.

Na primeira etapa realiza-se uma análise dos documentos recebidos, estudo dos possíveis problemas e do entendimento básico do processo, tendo como resultado a primeira visita com o objetivo de alinhamento geral do projeto. Determinaram-se prazos estimados para as visitas subsequentes, possíveis entregas, além de uma apresentação geral das ferramentas a serem utilizadas.

A segunda visita foi prevista para revisão e atualização dos diagramas de tubulação e instrumentação (P&ID) documentados na plataforma COMOS. Os diagramas não eram atualizados conforme as manutenções da planta ocorriam, desse

modo o desenvolvimento das sequências de operação não corresponderia ao funcionamento esperado da planta.

Para a terceira visita foram estipuladas a apresentação do projeto no *software* PCS7 contendo o *hardware* da planta configurado, lista de sinais de entradas e saídas do CLP, hierarquia da planta e os CFCs criados, algumas telas do sistema supervisorio e a programação da planta no modo manual.

Após a atualização dos diagramas e aprofundamento no estudo dos processos que ocorrem na planta, as sequências de operação podem ser desenvolvidas para aprovação na quarta visita. O objetivo também foi mostrar o sistema supervisorio com as sequências operantes, com a maioria dos intertravamentos do processo em funcionamento.

Na última visita, antes da implantação (comissionamento) do sistema desenvolvido na planta, tem-se o treinamento de operadores com o *software* SIMIT. Nesta etapa será consolidado o funcionamento do sistema de controle proposto, com o sequenciamento da operação e intertravamentos de segurança implantados, juntamente do sistema de controle de bateladas. Devido ao planejamento do projeto, esta última etapa não está contemplada nesse documento, sendo considerado uma das perspectivas futuras na empresa.

O serviço de montagem e troca de componentes em campo será realizado por empresa terceirizada, contratada pela GreyLogix. Para a realização das atividades voltadas ao desenvolvimento do sistema de controle e automação a equipe de projeto conta com 3 integrantes, um especialista Batch, responsável pelo desenvolvimento do sistema de controle de bateladas, um especialista SIMIT, responsável pelo desenvolvimento das simulações, e um especialista CAE, responsável pelo desenvolvimento dos diagramas atualizados da planta e por dar suporte aos outros especialistas, além de realizar a programação do DCS.

### **1.5. Organização do Documento**

O presente documento é dividido em 5 capítulos, nos quais serão abordadas as atividades realizadas e experiências adquiridas, os softwares utilizados e as teorias e normas envolvidas para a realização do projeto.

O capítulo 1 é de contextualização do documento e projeto, sendo apresentada a empresa GreyLogix Brasil, na qual o projeto foi desenvolvido, bem como sua origem e relação com a empresa alemã Bilfinger GreyLogix GmbH, além de introduzir a cooperativa COAMO, a contratante. O escopo completo do projeto e algumas atividades que serão abordadas no documento também estão descritas no capítulo.

O capítulo 2, de fundamentação e conceitos, descreve brevemente a norma ISA 5.1, utilizada para o desenvolvimento dos diagramas P&ID. Também estão descritos os processos e equipamentos utilizados para a produção de margarina na fábrica da COAMO, as principais diferenças entre a abordagem CLP e DCS, as redes que fazem a comunicação entre as camadas do sistema e as linguagens de programação utilizadas para seu desenvolvimento.

Os softwares COMOS e PCS7, utilizados para a realização do projeto, estão descritos no capítulo 3, com uma breve explicação de suas funcionalidades e divisão interna de trabalho.

O capítulo 4 expõe o desenvolvimento do projeto baseado na metodologia de visitas proposta. Para cada visita tem-se relatados os avanços do projeto e as etapas para o desenvolvimento nas ferramentas discutidas. No mesmo capítulo, com a finalidade de facilitar a leitura e interpretação das etapas, estão descritos os resultados e impactos obtidos com a realização do trabalho. Estão relatados alguns documentos gerados, assim como simulações realizadas para validação da programação.

Já no último, de número 5, serão expostas as considerações finais e perspectivas para futuros trabalhos na continuidade do projeto na empresa.

## Capítulo 2: FUNDAMENTAÇÃO E CONCEITOS

### 2.1. Diagrama de Tubulação e Instrumentação

O diagrama de tubulação e instrumentação (*Piping and Instrumentation Diagram – P&ID*) é uma representação gráfica e detalhada do processo, que mostra as tubulações, equipamentos, válvulas, bombas e a instrumentação associada a ele, incluindo suas disposições. Conforme a norma [4], estão inclusos no P&ID:

- Os equipamentos do processo identificados com uma *tag* única e desenhados a grosso modo em proporção, com sua disposição e bocais à mostra.
- As tubulações de processo identificadas com sua *tag* única contendo seu diâmetro, material de construção e substância transportada, incluindo direção do fluxo.
- As válvulas do processo com *tag* única de identificação, diâmetro e com o símbolo adequado para cada tipo de válvula, incluindo o tipo de acionamento quando especificado.
- As partes de tubulações acessórias, como visores, filtros, armadilhas de vapor, com sua identificação única.
- As bombas, ventiladores, compressores, sopradores, com códigos de identificação únicos e símbolos adequados a cada tipo de equipamento e suas variedades.
- Instrumentos e malhas com códigos identificadores únicos e símbolos adequados conforme localização, tipo de medição e norma a ser seguida.

Em processos simples as tubulações de serviço/utilidade, como ar, água e óleo para equipamentos e instrumentos podem aparecer no P&ID. Entretanto, em processos complexos, deve-se separar essas tubulações em outros diagramas para que a representação não fique poluída, dificultando o entendimento.

Nem todo detalhe de cada equipamento, instrumento ou tubulação precisa ser mostrado no diagrama. O nível de detalhamento é variável dependendo da fase do projeto e do padrão adotado pela empresa para essa documentação. Existem outros documentos e diagramas específicos para certo nível de detalhe, como diagramas

lógicos, diagramas de controle e folhas de dados de equipamentos e instrumentos, cada qual seguindo uma normativa. [5]

O P&ID é considerado um documento multidisciplinar, que pode envolver a participação de engenheiros de diversas disciplinas até que se tenha sua versão final. Os diagramas são fundamentais para instalação, manutenção, modificação e operação dos processos nele apresentados. Ao ser criado, ele oferece a base para o desenvolvimento de lógicas de controle dos sistemas, como também análise de riscos, perigos e operabilidade.

## **2.2. Processos Envolvidos**

O processo de produção de margarina pode ter variações nos tempos de preparo, temperaturas de operação ou até mesmo em sequências da produção, como em [6] e [7]. A seguir será brevemente descrito o processo da produção de margarina na fábrica da COAMO, que por sua vez pode ser dividido em dois processos: o contínuo e o de bateladas. O processo contínuo compreende o envase da margarina, no qual existe uma recirculação constante do produto a partir de tanques pulmão e as envasadoras. Já o processo de bateladas refere-se ao preparo e à produção da margarina.

### **2.2.1. Processo em bateladas**

#### **2.2.1.1. Fase Aquosa**

A fase de hidrossolúveis, chamada de fase aquosa, é composta por água, soro de leite, ácido cítrico, sorbato de potássio e salmoura, dosados em quantidades específicas em um tanque de mistura para a produção de cada tipo de margarina. A Figura 8 mostra um fluxograma do preparo da fase aquosa.

O ácido cítrico (regulador de acidez) e o sorbato de potássio (conservante) são preparados em tanques separados, os tanques de nº 34 e 35 (Figura 3). Eles são dosados manualmente por uma boca de visita e misturados com água para que se atinjam as concentrações adequadas no processo. A linha de alimentação de água conta com um transmissor de vazão que está em rede com o CLP, sendo usado para dosar a quantidade de água solicitada na receita.



*Figura 3 – Tanques de ácido (34) e sorbato (35). Fonte: original.*

A salmoura adicionada ao produto é preparada nos tanques 31 e 32 (Figura 4 e Figura 5), sendo dosada manualmente por um funil de adição posicionado junto a uma bomba. Nos tanques também é adicionada água, nos quais a dosagem é controlada com a utilização de um transmissor de vazão e a abertura ou fechamento de válvulas de entrada no tanque. Um processo de recirculação por tempo é realizado nos tanques a fim de atingir a concentração de sal necessária ao processo.





*Figura 4 – Tanques de salmoura (31 e 32). Fonte: original.*



*Figura 5 – Bombas, válvulas e dosador de sal dos tanques de salmoura. Fonte: original.*

Os tanques de mistura da fase aquosa, tanques 33 e 33A (Figura 6), são onde serão dosadas as quantidades de cada solução, incluindo o soro do leite, dosado manualmente. O tanque de mistura conta com uma balança, utilizada para realizar a

dosagem vinda dos tanques 31, 32, 34 e 35. Válvulas com dois estágios, para dosagem grossa e fina, são controladas para garantir a dosagem correta dos produtos. Um agitador de duas velocidades, que são acionadas dependendo do peso do tanque, é utilizado para realizar a homogeneização da solução dentro do tanque.



*Figura 6 – Saída do tanque de mistura da fase aquosa (33). Fonte: original.*

Após o preparo da fase aquosa, a solução precisa ser aquecida antes de ser enviada para o tanque onde é misturada com a fase de lipossolúveis. Esse aquecimento é realizado a partir da recirculação do produto entre os tanques 33 e trocadores de calor a placas alimentados por vapor (Figura 7). Utilizando uma válvula na entrada de vapor e um transmissor de temperatura é feito o controle de temperatura da solução.



Figura 7 – Sistema de aquecimento da fase aquosa. Fonte: original.

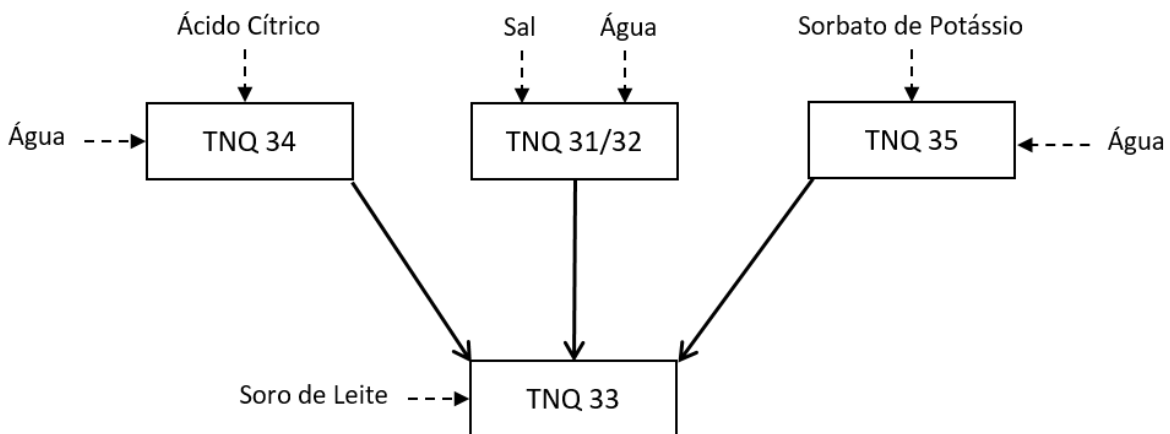


Figura 8 – Fluxograma de preparo da fase aquosa. Fonte: original.

### 2.2.1.2. Fase Oleosa

A fase oleosa é composta por alguns tipos de gordura e é a fase onde é feita a adição de componentes lipossolúveis a óleo vegetal, tais como corantes, emulsificantes, antioxidantes, vitaminas, estabilizantes e aromatizantes. Em função das cargas desses aditivos serem pequenas quando comparadas às de outros ingredientes, eles são pesados e adicionados manualmente aos tanques de preparação. Estes tanques são denominados pelo cliente como tanques de

emulsificantes (TNQ 52 e 53) e possuem sistema de agitação, sistema de aquecimento e sistema de alimentação de nitrogênio gasoso. Os agitadores são utilizados para homogeneizar a temperatura no interior dos tanques, que é controlada por histerese utilizando válvulas de alimentação de vapor do tipo *On/Off*.



*Figura 9 – Tanques de emulsificantes (52 e 53). Fonte: original.*

O óleo refinado e as gorduras são armazenados em um parque de tanques externo à área de produção (Figura 10). A dosagem desses produtos é feita através de balanças dispostas nos tanques 52 e 53 (Figura 9). O conteúdo de cada tanque é preparado e agitado, garantindo a homogeneização de todos os seus componentes, sendo em seguida dosado nos tanques de mistura com a fase aquosa.



*Figura 10 – Armazenagem de óleo e gorduras no parque de tanques. Fonte: original.*

### **2.2.1.3. Emulsão**

A emulsão é efetivamente a etapa de transformação das matérias-primas no produto. São adicionados ao tanque de emulsão (TNQ 51) primeiramente a gordura hidrogenada, vinda do parque de tanques, seguida pela fase oleosa e, após a estabilização térmica e homogeneização, é adicionada a fase aquosa. A dosagem dos componentes é feita através de válvulas de dois estágios, assim como no tanque de fase aquosa, e células de carga do próprio tanque, que conta também com sistema de aquecimento (tanque encamisado) e agitação. Quando todos os componentes são adicionados o processo de emulsificação é iniciado por meio de agitação por cerca de 20 minutos. A Figura 13 mostra um fluxograma do preparo da fase oleosa e da emulsão.



*Figura 11 – Saída do tanque de emulsão (51). Fonte: original.*

É utilizado um sistema de dois tanques para preparar a emulsão, executando a linha de pasteurização e envase continuamente. A preparação é realizada no tanque 51 (Figura 11), que em seguida transfere o produto ao tanque 61, chamado de tanque pulmão (Figura 12). Assim, a linha de pasteurização será alimentada a partir de um tanque enquanto um novo lote será preparado no outro. Posteriormente, a fase emulsionada é transportada através de bomba centrífuga para a etapa de pasteurização.





Figura 12 – Saída do tanque pulmão (61) para o envase. Fonte: original.

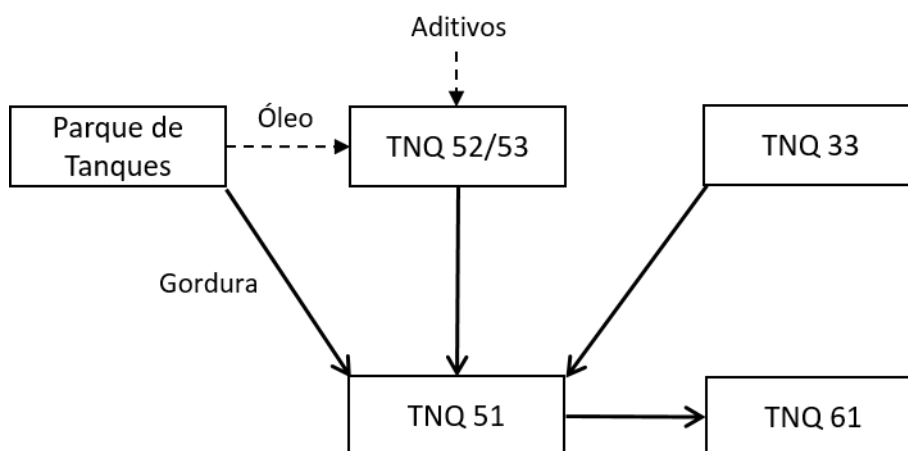


Figura 13 – Fluxograma de preparo da emulsão. Fonte: original.

## 2.2.2. Processo contínuo

### 2.2.2.1. Pasteurização

Com a emulsão formada é necessário garantir a qualidade sanitária do produto. Para tal é necessário a etapa de pasteurização (sistema da Figura 14). A pasteurização tem como função eliminar micro-organismos patogênicos aos seres humanos. O processo consiste em elevar a temperatura do produto, próximo a 80 °C,

durante o tempo de residência dele no equipamento (de 2 a 5 min) e posteriormente fazer o resfriamento do produto para cerca de 50 °C. Para o controle utiliza-se dois transmissores de temperatura na linha do produto e uma válvula de controle proporcional nas linhas de aquecimento (a vapor) e resfriamento (com água de torre). Nessa etapa é importante verificar a temperatura do produto na fase quente: caso ela fique inferior a 74 °C, deve-se realizar uma manobra de válvulas para evitar que o produto seja envasado. Continuamente após a pasteurização, a emulsão é transportada para a etapa de cristalização através de uma bomba centrífuga de alta pressão.



*Figura 14 – Sistema de pasteurização. Fonte: original.*

#### **2.2.2.2. Cristalização e Plastificação**

É na etapa de cristalização que a identidade do produto toma forma. O equipamento responsável pela etapa é o trocador de calor de superfície raspada (Figura 15), onde há mais de uma sessão de resfriamento até a cristalização. Neste dispositivo, o produto passa através de um anel entre um eixo de rotação e um revestimento isolado exterior que contém um líquido refrigerante, amônia líquida. Ao deslocar-se ao longo do equipamento o produto sofre resfriamento e conseqüentemente ocorre a cristalização da fase principal, lipídica.





*Figura 15 - Trocador de calor de superfície raspada (cristalizador). Fonte: original.*

No processo de cristalização o produto deixa a fase líquida e passa a ser semissólido, a cerca de 22 °C. O grau de cristalização depende do tempo de residência do produto, da velocidade de rotação do equipamento e das características das gorduras vegetais utilizadas.

Existem três estágios para realizar o resfriamento do produto. Cada um conta com uma válvula posicionadora que atua na saída de amônia, enquanto transmissores medem a temperatura de saída do produto. Uma malha de controle auxiliar impede que possam ocorrer rachaduras ou falhas estruturais no equipamento, mantendo a temperatura dos eixos das bombas mais elevadas. Esse controle é realizado em um resistor de aquecimento, que mantém um líquido de recirculação interno a uma temperatura mais elevada.

Apesar da importância do processo de cristalização, a margarina, ao deixar o cristalizador, não ganha o aspecto comercial característico. Sendo assim, é necessária uma nova etapa – a plastificação.

Após o processo de cristalização o produto passa pelo equipamento chamado de batedor de pinos (Figura 16) para a etapa de plastificação. Esse equipamento funciona de maneira semelhante a uma batedeira, no qual o produto ganha consistência mais fluida e cremosa.



*Figura 16 – Batedor de pinos. Fonte: original.*

### **2.2.2.3. Envase**

Após a passagem do produto pelo batedor de pinos, a margarina segue para as máquinas de envase (Figura 17). Tais máquinas são equipadas com bicos de injeção, as quais dosam o produto em sua respectiva embalagem. A COAMO possui mais de um tipo de envasadora em função da necessidade de envasar produtos de diferentes tamanhos. O produto que não é envasado, seja por problemas na envasadora ou por vazão de saída dos tanques maior que capacidade de envase, retorna para o tanque 61. Cabe à GreyLogix garantir a recirculação do produto e que ele chegue até os bicos de alimentação das envasadoras, as quais não fazem parte do escopo do projeto, sendo máquinas de terceiros que funcionam de maneira independente. A Figura 18 ilustra o fluxograma geral do processo de produção da margarina com destaque ao processo contínuo.



Figura 17 – Envasadora de caixas ou baldes de margarina. Fonte: original.

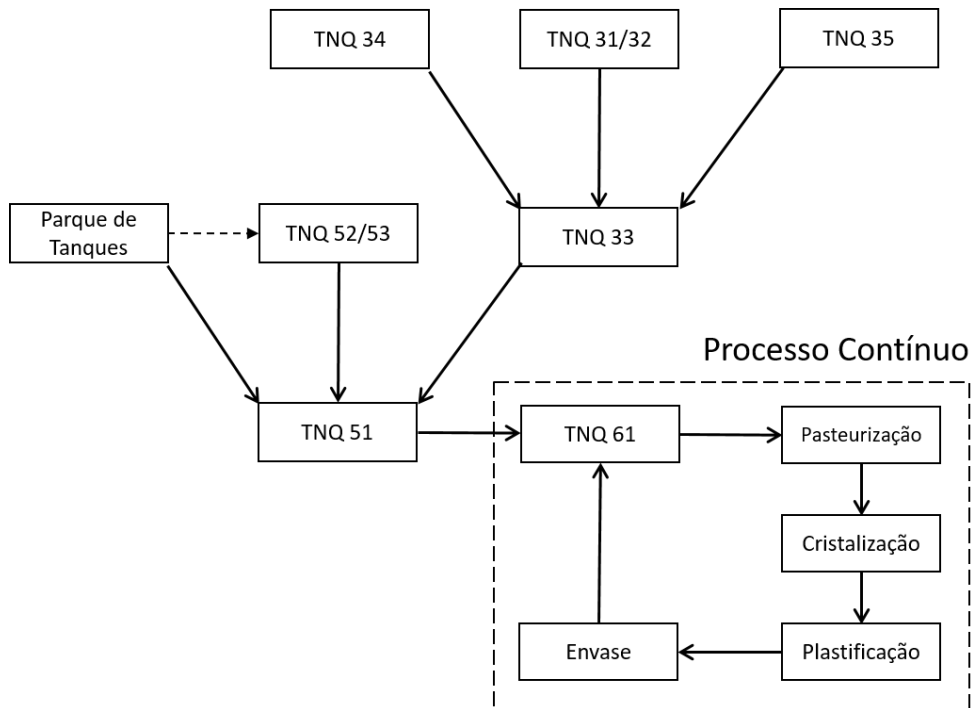


Figura 18 – Fluxograma geral do processo de produção. Fonte: original.

### 2.3. Diferenças na abordagem CLP e DCS

Neste capítulo busca-se levantar diferenças entre a utilização de soluções com a abordagem de CLP e por meio de um DCS, baseando-se em [8].

A primeira diferença está relacionada ao porte da aplicação a ser implantada. Um sistema DCS normalmente abrange plantas inteiras, sendo muito aplicado em

indústrias de processos, como petroquímicas e refinarias. Já as aplicações com CLPs referem-se normalmente ao controle de máquinas em indústrias como a de manufatura, automobilística e aeroespacial. Essa diferença impacta diretamente as metodologias e a forma de abordagem dos problemas de controle.

Como as soluções DCS são normalmente maiores, são necessárias plataformas de programação mais intuitivas, que utilizam funções padronizadas, pré-definidas e pré-testadas, utilizando bibliotecas e modelos em todo o desenvolvimento do projeto. Com isso economiza-se tempo, aumenta-se a capacidade de repetição e diminui-se os retrabalhos. Essa abordagem, normalmente “*top-down*”, demanda um esforço inicial no projeto, mas por outro lado proporciona uma aplicação que pode ser mantida em funcionamento a longo prazo. Nesse contexto *Function Block Diagram* (FBD) e *Sequential Function Chart* (SFC) são as linguagens padronizadas mais utilizadas, juntamente com o *Continuous Function Chart* (CFC), derivado do FBD.

Como o CLP foi originalmente projetado para ser usado em todas as aplicações, o desenvolvimento de rotinas e funções personalizadas é necessário para atender às necessidades exclusivas de cada projeto. Normalmente utilizando uma abordagem “*bottom-up*” e com ferramentas otimizadas para aplicações menores, as plataformas para programação de CLPs tendem a ter funções e blocos de construção elementares, com componentes individuais que podem ser rapidamente programados para atender requisitos e realizar tarefas. Linguagens de programação estão normalmente disponíveis para facilitar a criação de código personalizado do zero. *Ladder Diagrams* (LD), *Structured text* (ST) e *Instruction list* (IL) são as linguagens padronizadas por [9] para essas aplicações.

A velocidade da execução lógica é um diferencial importante. O CLP foi projetado para atender às demandas de aplicações de alta velocidade, que exigem taxas de varredura na ordem de 10 milissegundos ou menos, incluindo operações que envolvem controle de movimento, intertravamentos ou controle de motores e inversores. Taxas de varredura rápidas são necessárias para poder controlar efetivamente esses dispositivos. Na maioria das vezes o DCS não precisa ser tão rápido, tendo taxas de varredura da ordem de 100 a 1000 milissegundos.

A fábrica com DCS exige que um operador tome decisões e tenha interações constantes com o processo para mantê-lo em funcionamento. O operador muda os

*setpoints*, abre e fecha válvulas ou faz adições manuais para mover um lote para o próximo estágio de produção. Já em um sistema com CLPs, a principal função do operador é tratar exceções. Informações de status e alarmes ajudam a manter o operador ciente do que está acontecendo no processo, que, frequentemente, pode ser executado sem intervenções do usuário.

Quanto a alterações de configuração e de programação, também pode-se citar a diferença no impacto entre pausar um sistema DCS e um baseado em CLP. Normalmente no primeiro caso tem-se processos que são dificilmente reiniciados, sendo a maioria das alterações feitas *online*, com o processo em funcionamento. A parada do processo pode se tornar tão crítica e custosa que se torna cada vez mais comum a utilização de sistemas DCS redundantes. No caso da maioria das aplicações com CLP tem-se sistemas com reinicialização rápida, nos quais o tempo de parada para descarregar alterações não apresenta custo (ou impacto) tão alto quando comparado ao DCS, tornando na maioria dos casos desnecessário o investimento em soluções de redundância, salvo quando há requisitos de confiabilidade, como em sistemas com segurança intrínseca.

Os sistemas DCS foram originalmente projetados para tarefas de controle contínuo (analógico) de processos. Assim, acabam sendo a solução normalmente escolhida para se implementar uma grande quantidade de controladores, incluindo loops em cascata, controle preditivo e loops *feedforward*, opções avançadas de controle de processos, apesar de cada vez mais o CLP ser capaz de fornecer esses tipos de controladores.

#### **2.4. Redes Industriais**

Em um sistema de automação, pode-se encontrar diversas redes interconectadas, cada uma com um propósito e especificações bem definidas, com distintas taxas de transmissão, topologia física da rede, meio físico de transmissão, tecnologia de comunicação, compatibilidade da rede com o ambiente, custo e facilidade de instalação do projeto, configuração e expansão do sistema, manutenção, quantidade de dispositivos, disponibilidade de produtos, segurança, entre outros aspectos. [10]. O escopo do projeto limita-se aos níveis 0, 1 e 2 da pirâmide da automação (Figura 19) proposta na norma em [11], nos quais podemos encontrar

redes PROFIBUS PROFINET (*Profibus for Ethernet*), PROFIBUS-DP (*Decentralized Peripheral*), PROFIBUS-PA (*Process Automation*) e AS-i (*Actuator/Sensor Interface*).

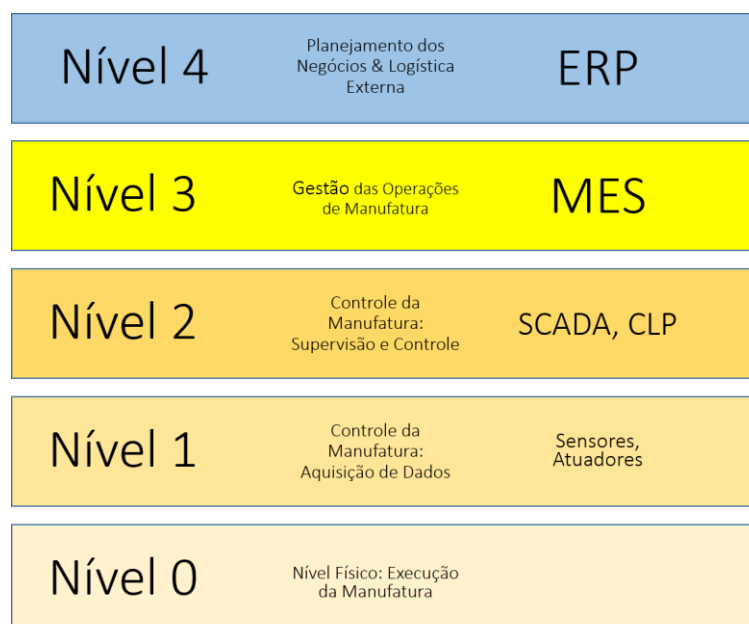


Figura 19 – Níveis da pirâmide da automação (ISA 95). Fonte: original.

O protocolo PROFIBUS é um padrão aberto de barramento de campo para uma larga faixa de aplicações em automação de fabricação e processos. Já a PROFINET, sendo desenvolvida com base no protocolo Ethernet/TCP-IP, é uma rede utilizada para comunicação entre PC e CLP, na qual a taxa de transmissão de dados não é crítica se comparada aos níveis inferiores da pirâmide de automação. [12].

O PROFIBUS-DP utiliza a tecnologia de comunicação mestre-escravo, sendo a comunicação feita através do processo de varredura da rede, sendo projetado para comunicação entre sistemas de automação (CLP) e periféricos distribuídos (remotas I/O, inversores de frequência, entre outros). [12].

Para a comunicação entre níveis mais baixos existe uma variação do protocolo PROFIBUS, denominado PROFIBUS-PA. A rede foi desenvolvida para substituir o padrão 4 a 20 mA, onde se tenha conexão entre sistemas de controle e automação com equipamentos de campo, como: transmissores, posicionadores de válvulas, painéis de remotas (I/Os), entre outros elementos normalmente analógicos.



Além disso, possui a característica de transmissão intrinsecamente segura, o que faz com que a rede possa ser utilizada em áreas classificadas, nas quais existe o risco de explosão. [13].

A rede AS-i foi desenvolvida para interligar sensores e atuadores discretos, como chaves de fim-de-curso, válvulas de comando On/Off, relés para acionamento de cargas, entre outros. Esta rede foi concebida na forma mestre/escravo em barramento, no qual o mestre executa uma varredura cíclica nos escravos, enviando solicitação de dados e aguardando uma resposta. As principais vantagens na utilização da rede AS-i sobre outras *fieldbus* são o baixo custo e a simplicidade na implementação e manutenção. [10].

## **2.5. Linguagens SFC (Grafcet) e FB (CFC)**

A norma em [9] estabelece atualmente cinco linguagens de programação padronizadas para CLP, são elas: *Instruction list* (IL), *Structured text* (ST), *Function Block Diagram* (FBD), *Sequential Function Chart* (SFC) e *Ladder Diagrams* (LD). Este capítulo visa descrever brevemente as linguagens utilizadas para o desenvolvimento do projeto, as quais são o SFC e o *Continuous Function Chart* (CFC), derivada do FBD.

### **2.5.1. Sequential Function Chart (SFC)**

O SFC descreve graficamente o comportamento sequencial de um programa de controle e é derivado das técnicas de modelagem por Redes de Petri e da norma IEC 848. Esta norma define o padrão Grafcet, com as alterações necessárias para converter um documento padronizado em uma sequência de execuções para o controlador. A filosofia do SFC consiste em realizar a modelagem da sequência a partir de uma descrição informal das operações a serem automatizadas e decompô-las em passos e transições.

Uma sequência é representada pelo seguinte conjunto de elementos: passos, transições e arcos. Os passos são onde se realizam as ações, como por exemplo abrir uma válvula, ligar um motor, ou eventualmente permanecer em repouso. A mudança de passos é realizada quando uma ou um conjunto de condições é satisfeito nas

transições. Já um arco representa a direção de execução de uma sequência. Um exemplo de sequência (SFC) é apresentado na Figura 20.

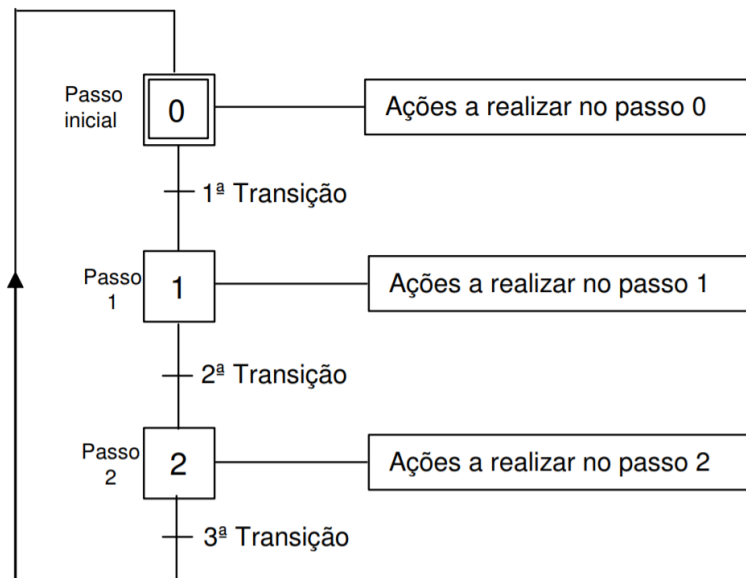


Figura 20 – Exemplo de uma sequência com seus elementos descritos. Fonte: USP. Aula SFC. Disponível em: <<https://goo.gl/GbWS4b>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

### 2.5.2. Function Block Diagram e Continuous Function Chart

O FBD é uma forma gráfica de representação de instruções ou comandos que devem ser executados. É baseado em blocos funcionais, por exemplo, uma porta *AND*. A programação contém uma lista de *networks*, cada uma contendo um conjunto de blocos. Os blocos são conectados por linhas das saídas às entradas, definindo a lógica para o programa. Uma rede FBD pode ser lida da esquerda para a direita, visto que todas as entradas estão à esquerda e todas as saídas estão à direita de uma função (bloco). Todas as entradas são lidas ao início do ciclo do CLP e as saídas executadas ao final.

Um bloco ou função em um FBD é um elemento que, quando executado com um conjunto específico de valores de entrada, produz um resultado na saída e não possui armazenamento interno, ou seja, ele manipula variáveis temporárias, que são apagadas após a execução. Por outro lado, os blocos de funções podem conter múltiplas saídas, além de armazenamento de variáveis em DBs (*data blocks*)



associados, ou seja, manipulam tanto variáveis temporárias quanto estáticas, que podem ser utilizadas por outras funções mesmo após o término da execução. Alguns exemplos de blocos (FC) são trigonométricos, aritméticos e de manipulação de texto, já os blocos de função (FBs) incluem controladores PID, contadores e temporizadores.

Assim como no FBD, no CFC os blocos e blocos de função possuem as entradas à esquerda e saídas à direita, sendo as conexões entre blocos a lógica do programa. Uma das principais diferenças é que nos CFCs os blocos não ficam presos a *networks*, ou seja, a ordem de execução e a disposição na programação podem ser variados (inclusive definidas pelo programador). Outra diferença se dá na complexidade das funções. Grandes desenvolvedores, como Siemens, possuem bibliotecas com uma grande quantidade de funções prontas, como por exemplo válvulas, motores, blocos para leitura e escrita de variáveis analógicas e digitais, entre outros.

## Capítulo 3: FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

Um dos maiores desafios da indústria é conseguir aprimorar seus processos, aumentar a produtividade e qualidade ao mesmo tempo em que é cada vez mais necessário reduzir os custos. Com essa perspectiva, a Siemens vem desenvolvendo ferramentas que integram as disciplinas envolvidas em todo o ciclo de desenvolvimento das indústrias de processos, facilitando tanto a troca de informações entre diferentes empresas e fornecedores quanto agilizando a elaboração de projetos. Neste capítulo serão descritas as ferramentas utilizadas no projeto para realizar o desenvolvimento das atividades abordadas no documento: COMOS Platform e SIMATIC PCS7. Para a escrita do capítulo utilizou-se a experiência adquirida com a utilização das ferramentas e os manuais em [15] e [16].

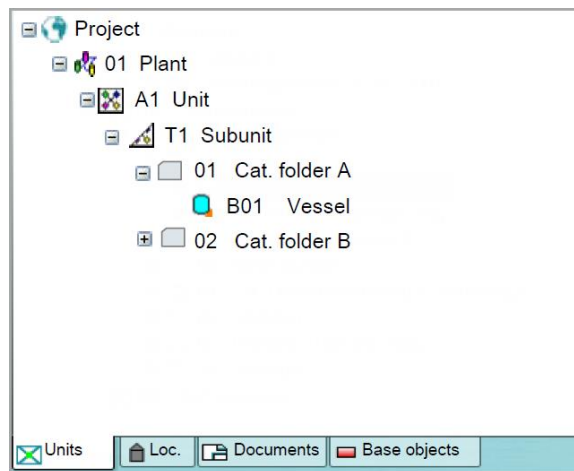
### 3.1. COMOS Platform

O COMOS é um sistema que contém componentes CAE (Computer Assisted Engineering), CMMS (Computerized Maintenance Management System) e DMS (Document Management System), sendo todo orientado a objetos, o que permite associar o mesmo objeto a diferentes disciplinas, como por exemplo um motor que está em um P&ID e em um diagrama elétrico. Desse modo, alterações realizadas nos dados do objeto são atualizadas em todos os documentos em que ele estiver inserido.

A ferramenta oferece à indústria de processos o gerenciamento integrado do projeto da planta desde o planejamento da fábrica até sua manutenção. O sistema permite a aplicação de engenharia simultânea, onde fluxogramas e dados de engenharia podem ser manipulados por diversos engenheiros, técnicos e projetistas ao mesmo tempo. Para que os colaboradores tenham sempre as informações atualizadas, com referências cruzadas, facilitando o acesso e desenvolvimento das partes, o sistema conta com um único banco de dados para todas as disciplinas, o que assegura a colaboração total e transferência de dados confiáveis entre todas as áreas e durante todo o ciclo de vida da planta.

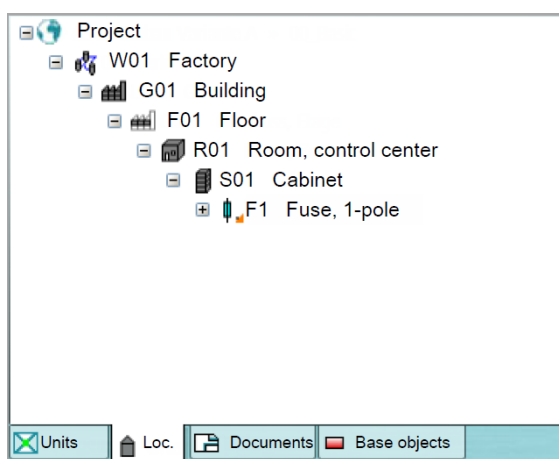
Internamente o COMOS possui outra subdivisão contendo quatro abas para organização do trabalho: *Units*, *Location*, *Documents* e *Base objects*. Na Figura 21 pode-se observar a aba *Units*, que tem uma organização lógica da planta, seguindo a

seguinte hierarquia: Projeto > Planta > Unidade > Subunidade > Pastas divididas em categorias, que são subdivididas em equipamentos, motores, válvulas, tubulação, malhas de instrumentação e controle, equipamentos de transporte e outros. Nessa aba pode-se gerar diversos tipos de documentos referentes a cada nível hierárquico. Diagramas P&ID, listas de cargas, de instrumentos, de sinais, cabos, equipamentos, máquinas, válvulas, linhas, equipamentos especiais e equipamento de transportes e folhas de dados de cada objeto são os documentos mais significativos.



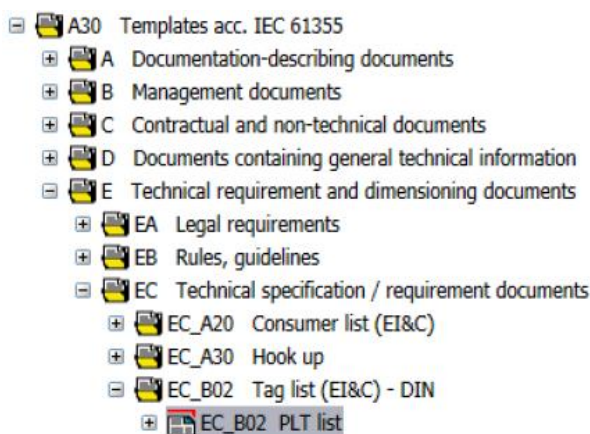
*Figura 21 – Visão de uma hierarquia da aba Units no COMOS. Fonte: COMOS Platform Operation.*

A aba *Locations*, Figura 22, representa uma divisão física da planta, na qual os objetos são divididos a partir de sua localização. A hierarquia seguida para essa aba é: Projeto > Planta > Prédio > Andar > Sala > Painel, com a possibilidade de criar mais um nível, uma gaveta para o painel. Assim como na aba *Units*, nessa também é possível gerar uma série de diagramas, documentos e listas. Diagramas unifilar e multifilar, diagrama de circuitos, diagrama para desenvolvimento do painel elétrico, diagrama para desenvolvimento das conexões de instrumentação e controle, lista de materiais e de entradas e saídas são os documentos mais significativos gerados.



*Figura 22 – Visão de uma hierarquia da aba Locations no COMOS. Fonte: COMOS Platform Operation.*

A aba *Documents* foi desenvolvida para a integração e organização de todos os documentos gerados pelo COMOS ou importados para facilitar a gestão do projeto. Diversas pastas e subpastas podem ser criadas para melhor entendimento dos documentos. A Figura 23 ilustra uma hierarquia de pastas padrão do sistema.



*Figura 23 – Visão de uma hierarquia da aba Documents no COMOS. Fonte: COMOS Platform Operation.*

Em *Base objects* (Figura 24) estão organizados hierarquicamente todos os milhares de objetos presentes na base de dados do COMOS e em seus diversos módulos, desde pastas, equipamentos, documentos, até objetos puramente gráficos para serem utilizados em diagramas.

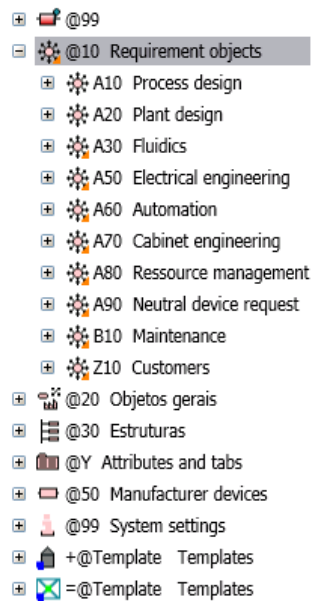


Figura 24 – Visão da organização da aba Base objects no COMOS. Fonte: COMOS Platform Operation.

O COMOS também pode ser conectado e sincronizado com diversas soluções, como ERP (*Enterprise Resource Planning*) e DCS, além de permitir a importação de arquivos variados, como planilhas e documentos do pacote Office, desenhos CAD, arquivos PDF, o que facilita a documentação e a concentração da informação de projetos. O sistema também possui interfaces nativas com outros softwares como o OpenPlant, SAP, Aveva PDMS, PCS7 e SIMIT.

Utilizando um padrão de exportação em XML, o COMOS torna o processo de desenvolvimento de um DCS no PCS7 e de simulação no SIMIT mais ágil e facilitado. Os objetos criados, como válvulas e motores, podem ser associados aos respectivos *control modules* (CM) de maneira simples, automatizando o processo de criação do DCS e da simulação.

### 3.2. SIMATIC PCS7

O SIMATIC PCS7 é a ferramenta de desenvolvimento de sistemas de controle de processos da Siemens. Com o PCS7 é possível realizar a integração de todos os sistemas de controle da planta, processos contínuos ou bateladas, intertravamentos discretos, além da configuração dos dispositivos de campo, como instrumentos, acionamentos de motores e válvulas. O sistema é dividido internamente em 4 visões de trabalho: *Master Data Library*, *Component View*, *Plant View* e *Process Object View*.

A *Master Data Library* de um projeto permite a utilização de bibliotecas-padrão, desenvolvidas pela Siemens, bem como a alteração e criação de blocos ou blocos de funções para serem utilizados no projeto. Por exemplo, pode-se adaptar comentários de blocos especificamente para o seu projeto. Quando um bloco é inserido em um CFC, cria-se uma instância do bloco presente na *Master Data Library*. Quando é necessário realizar uma alteração em todas as instâncias criadas, pode-se realizar a alteração diretamente na biblioteca e utilizar a função de sincronização do PCS7. Com isso garante-se que a mesma versão de um bloco seja usada em todo o projeto. Já modificações em blocos destinados a um CFC específico são feitas diretamente na instância do bloco CFC. Por exemplo, parâmetros de entradas e saídas, como *setpoints* e alarmes.

A *Component View*, assim como a aba *Locations* no COMOS, traz uma visão física da planta. Nela é configurado todo o hardware do projeto, CLP, instrumentos, acionamentos de motores, válvulas, remotas, as redes de comunicação e seus endereçamentos. A Figura 25 mostra a *Component View* com o *rack* SIMATIC H Station com as CPUs 410-5H redundantes e os módulos de comunicação CP443-1 (PROFINET) e CP443-5 (PROFIBUS-DP).

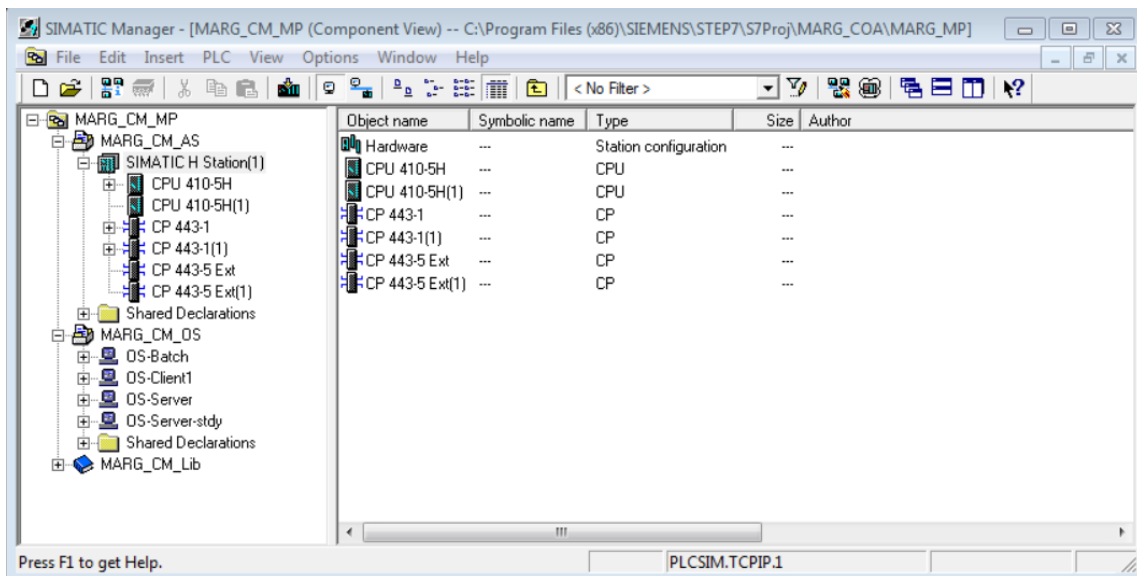


Figura 25 – Organização da Component View no PCS7. Fonte: original.

A *Plant View* exibe a estrutura hierárquica da visão de processo da planta, assim como a aba *Unit* para o COMOS. Utilizando uma divisão por pastas é feita a estruturação do projeto, gerando a hierarquia da fábrica. Dentro das pastas são criados os CFCs, SFCs e as *Pictures*, que dão origem às telas do sistema supervisório (SCADA). A Figura 26 mostra a hierarquia da planta com os *charts* de algumas válvulas criados.

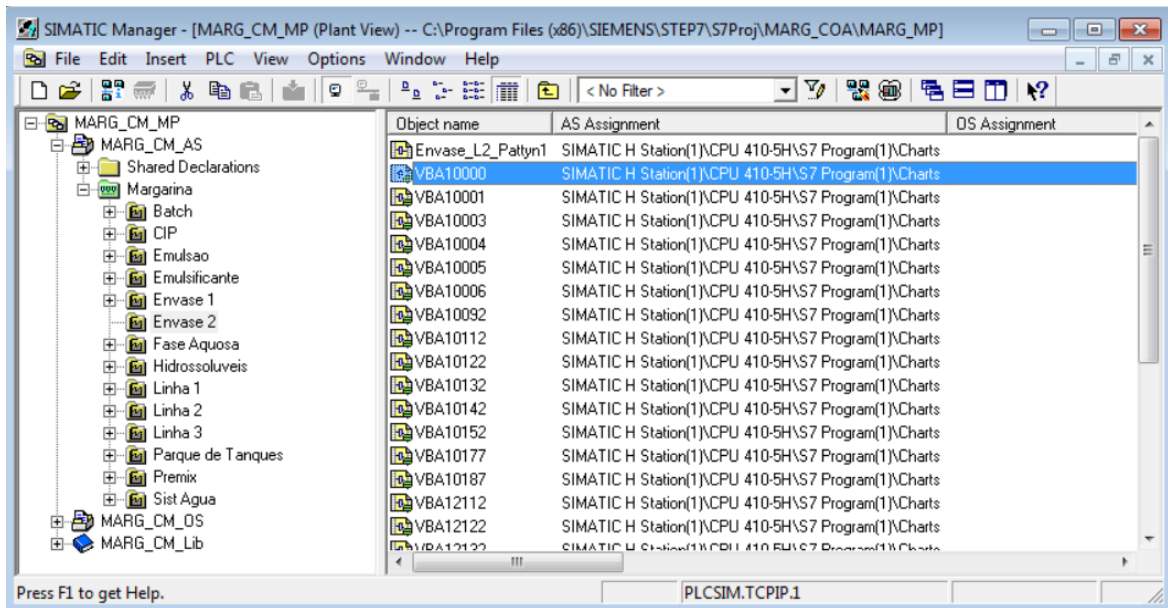


Figura 26 – Organização da Plant View no PCS7. Fonte: original.

A *Process Object View*, possui a mesma estruturação em pastas da *Plant View*, porém com finalidades diferentes. Ela exibe os detalhes dos objetos individuais, como parâmetros, sinais, comentários, entre outros. Isso é aplicável quando você deseja atribuir o mesmo valor de parâmetro a um grande número de objetos ou se deseja adicionar os mesmos comentários ou fazer as mesmas interconexões para esses objetos. A Figura 27 mostra a divisão da *Process Object View*, com uma lista de parâmetros gerados a partir de um filtro de I/O.



Press F1 to get Help. PLCSIM.TCPIP.1

	Hierarchy	Chart	Chart comment	Block	Block com...	I/O name	I/O comment
1	Margarina\...	VBA10157	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkCloseOut	1 = Valve is Closed
2	Margarina\...	VBA10157	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkOpenOut	1=Valve is Opened
3	Margarina\...	VBA10022	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkCloseOut	1 = Valve is Closed
4	Margarina\...	VBA10022	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkOpenOut	1=Valve is Opened
5	Margarina\...	VBA100212	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkCloseOut	1 = Valve is Closed
6	Margarina\...	VBA100212	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkOpenOut	1=Valve is Opened
7	Margarina\...	VBA100211	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkCloseOut	1 = Valve is Closed
8	Margarina\...	VBA100211	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkOpenOut	1=Valve is Opened
9	Margarina\...	VBA10018	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkCloseOut	1 = Valve is Closed
10	Margarina\...	VBA10018	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkOpenOut	1=Valve is Opened
11	Margarina\...	VBA10016	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkCloseOut	1 = Valve is Closed
12	Margarina\...	VBA10016	Valve: Single Drive and ...	Valve	Valve - Large	FbkOpenOut	1=Valve is Opened
13	Margarina\...	VBA10014	Valve 2 Way	Vv2WayL	Manifold V...	FbkP0Out	Feedback Position 0
14	Margarina\...	VBA10014	Valve 2 Way	Vv2WayL	Manifold V...	FbkP1Out	Feedback Position 1

Figura 27 – Organização da Process Object View no PCS7.

## Capítulo 4: DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS DO PROJETO

Optou-se por descrever os resultados do trabalho juntamente com o desenvolvimento devido à relação direta entre ambos e as visitas técnicas. Desse modo o leitor pode acompanhar a descrição das sequências com as telas das simulações, tornando a leitura e interpretação do trabalho mais fluida.

A fábrica de margarinas da COAMO possui 3 linhas de produção que funcionam em paralelo e de forma praticamente similar. Inicialmente a planta possuía uma linha, que deu origem às outras duas, com diferenciação apenas quanto à capacidade dos tanques e equipamentos. No presente capítulo serão mostradas as atividades e o desenvolvimento do projeto de automação para uma das linhas, sendo o trabalho replicado para as demais futuramente.

Com o objetivo de preparação e qualificação para este projeto, inicialmente a empresa GreyLogix disponibilizou treinamentos em sua plataforma de ensino online, denominada Unilogix. O período de preparação foi de cerca de 3 semanas, no qual foram realizados dois cursos: um no COMOS e outro no SIMATIC PCS7. Os treinamentos proporcionaram aprendizado e aperfeiçoamento em novas ferramentas de engenharia, sendo fundamentais para o início do projeto.

Como destacado na metodologia, o desenvolvimento do projeto é baseado em 5 visitas técnicas e entregas acordadas com o cliente. Como marco inicial do projeto, o cliente disponibilizou uma série de documentos com descritivos do processo, descritivos operacionais, diagramas de tubulação e instrumentação, elétricos, de acionamento dos equipamentos, além de um *backup* dos programas que estavam sendo utilizados nos CLPs.

A *Figura 28* mostra cronologicamente (setas verticais partindo dos blocos) a iteração entre as plataformas, ilustrando quais atividades são desenvolvidas em qual sistema e se os dados gerados são exportados para o outro. Mais detalhes das atividades e do procedimento para exportar os dados são abordados no decorrer do capítulo.

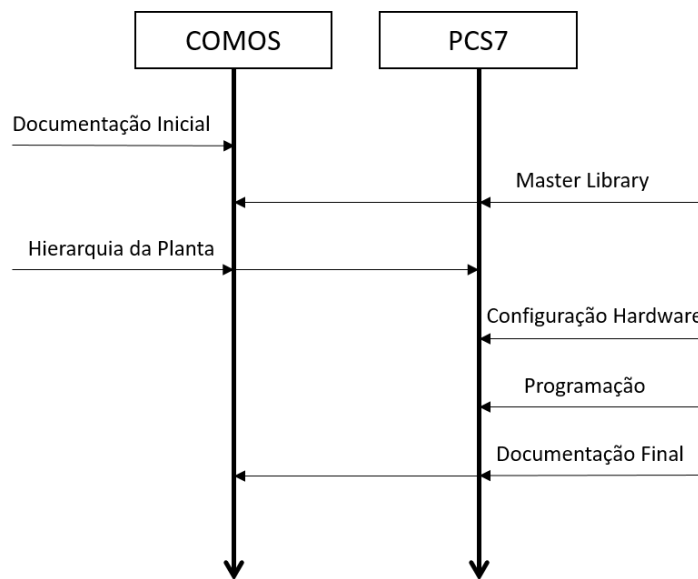


Figura 28 – Fluxograma de desenvolvimento baseado nas ferramentas de engenharia. Fonte: original.

#### 4.1. Primeira Visita

A primeira visita teve como objetivo o alinhamento geral do projeto. A equipe realizou análises na documentação e reuniões internas para conhecer o processo e levantar as primeiras dúvidas quanto aos procedimentos operacionais da planta. Na visita determinaram-se prazos estimados para as visitas subsequentes, possíveis entregas, como P&IDs revisados, telas do sistema supervisor e o projeto estruturado no PCS7, além de uma apresentação geral das ferramentas a serem utilizadas.

Nas análises observou-se que os documentos fornecidos eram antigos, com as últimas atualizações feitas há quase 10 anos. Desse modo, firmou-se que uma visita seria prevista para realizar a revisão dos principais documentos.

Outra observação importante, vinda principalmente de membros mais experientes da equipe, foi sobre o *backup* dos programas antigos, também fornecidos pelo cliente. Por se tratar de uma programação em uma linguagem pouco intuitiva, com códigos não comentados e que demandaria muito tempo para ser estudada, optou-se por não realizar a transcrição do código para a nova abordagem de programação. Ou seja, a programação dos novos CLPs seria completamente nova, feita com base nas especificações de como a planta deve funcionar (diagramas funcionais).

## 4.2. Segunda Visita

Para a segunda visita foi prevista a revisão e atualização dos diagramas de tubulação e instrumentação (P&ID). Primeiramente os documentos foram criados na plataforma COMOS com base nos P&ID fornecidos pelo cliente.

Na visita em campo, com duração de uma semana, os diagramas foram impressos e conferidos manualmente, seguindo as tubulações e verificando os equipamentos, válvulas e instrumentos dispostos no chão de fábrica. Nas imagens Figura 29 e Figura 30, um P&ID da fase de pasteurização, pode-se verificar a quantidade de alterações que foram realizadas no diagrama original.

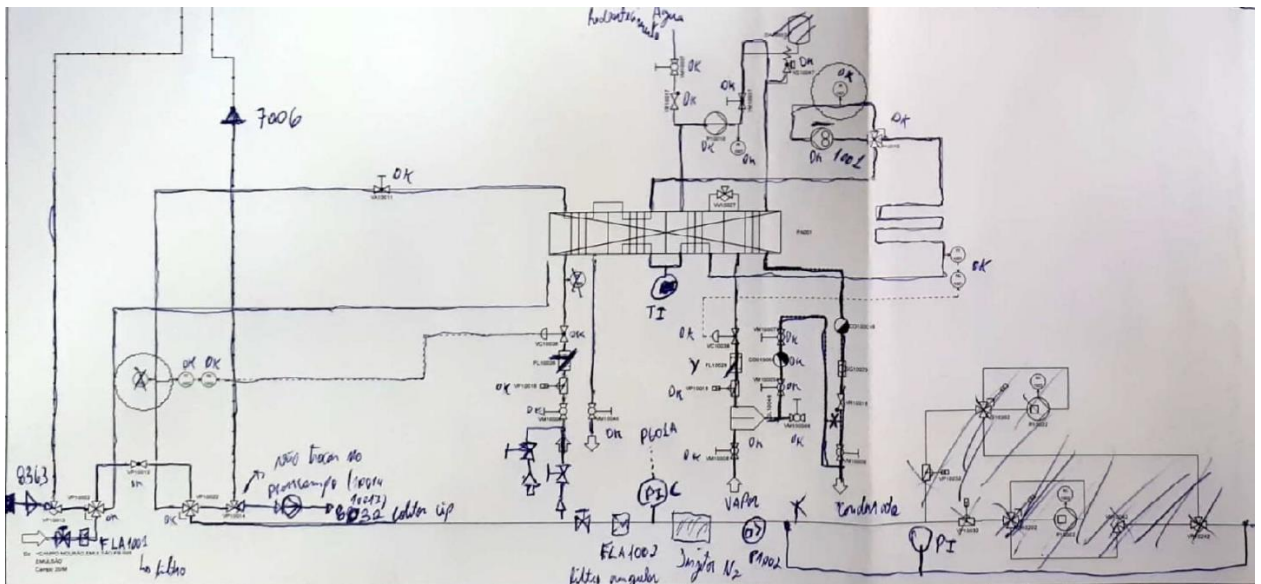


Figura 29 – Exemplo de um P&ID de pasteurização corrigido em campo. Fonte: original.

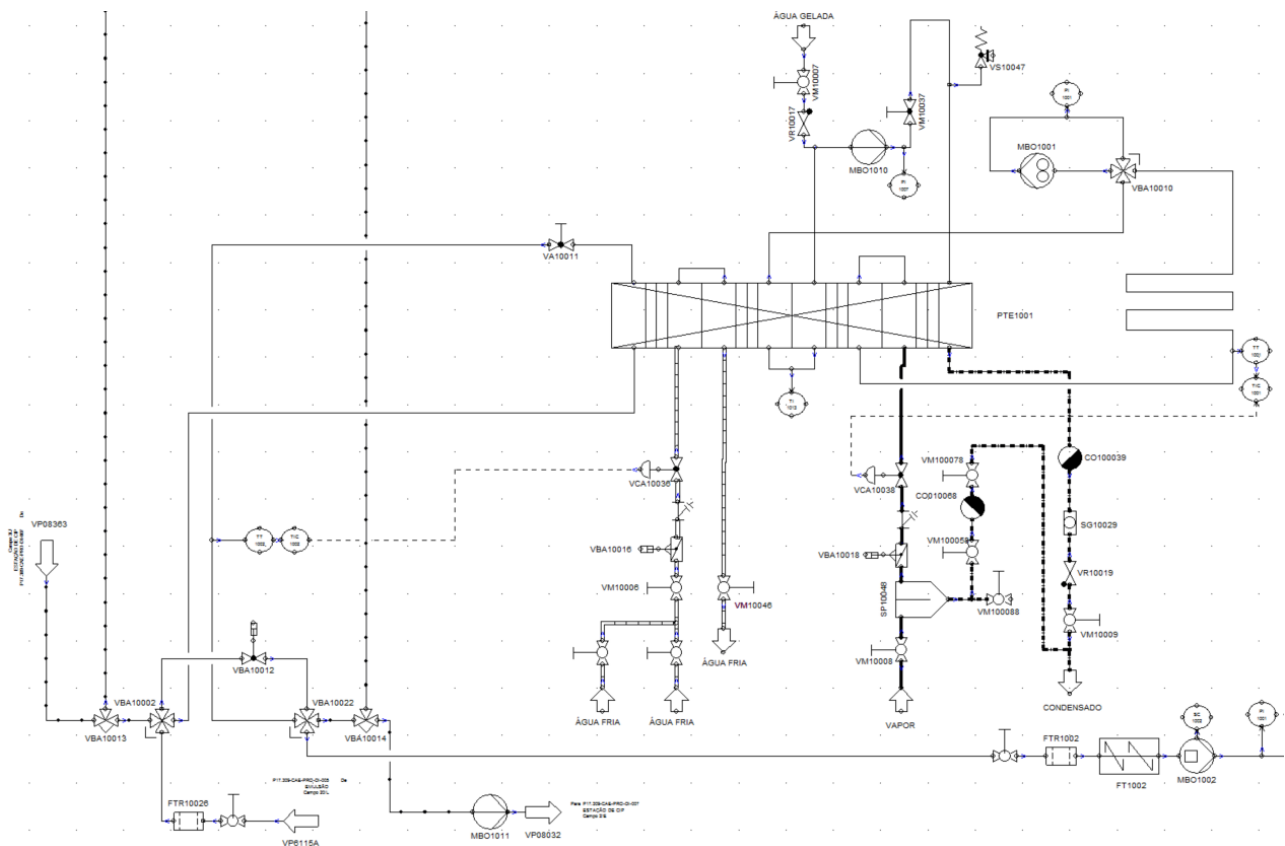


Figura 30 – P&ID de pasteurização corrigido no COMOS. Fonte: original.

Durante a revisão, o cliente solicitou que fossem atualizadas as *tags* de identificação dos equipamentos, válvulas e motores. Uma vez que os diagramas foram criados no software COMOS, a tarefa de atualização das *tags* foi facilmente realizada a partir das listas que o sistema permite criar. Essas listas puderam ser exportadas para uma planilha Excel, alteradas e reimportadas, atualizando automaticamente todos os objetos.

Um dos principais problemas levantados pelo cliente antes e durante o desenvolvimento do projeto foi a falta de documentação atualizada sobre a planta. Logo, a correção dos diagramas P&ID foi fundamental para o projeto e, como resultado, todos os equipamentos e periféricos da planta foram criados e documentados no sistema, no qual pode-se centralizar a documentação de toda a fábrica e facilitar a atualização quando forem realizadas alterações. Por fim, as listas (Figura 33) e diagramas P&ID (Figura 31 e Figura 32) foram emitidas e aprovadas pelo cliente. Abaixo seguem imagens ilustrando os documentos gerados.

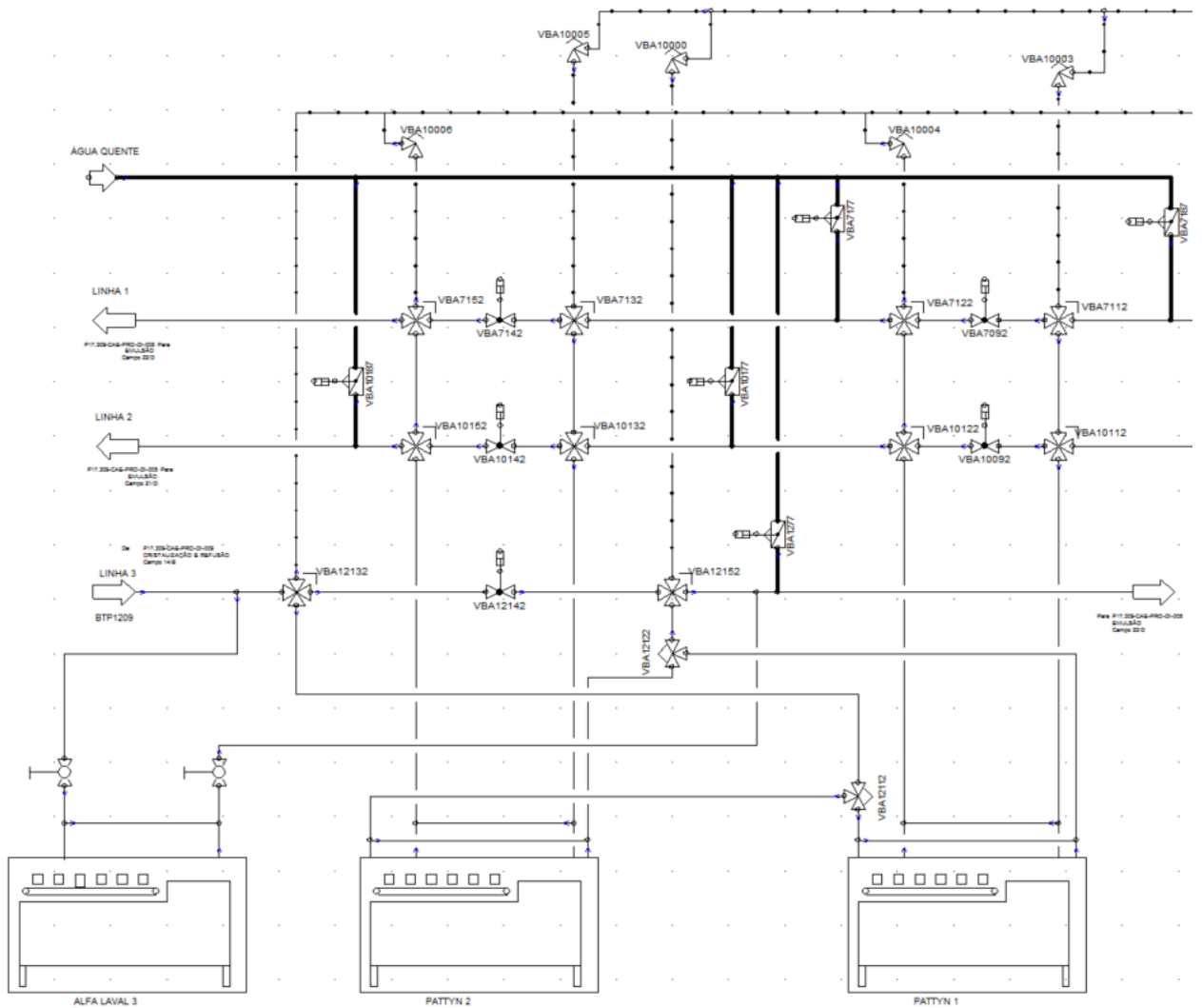


Figura 31 – Diagrama P&ID da área de envase desenvolvido no COMOS. Fonte: original.



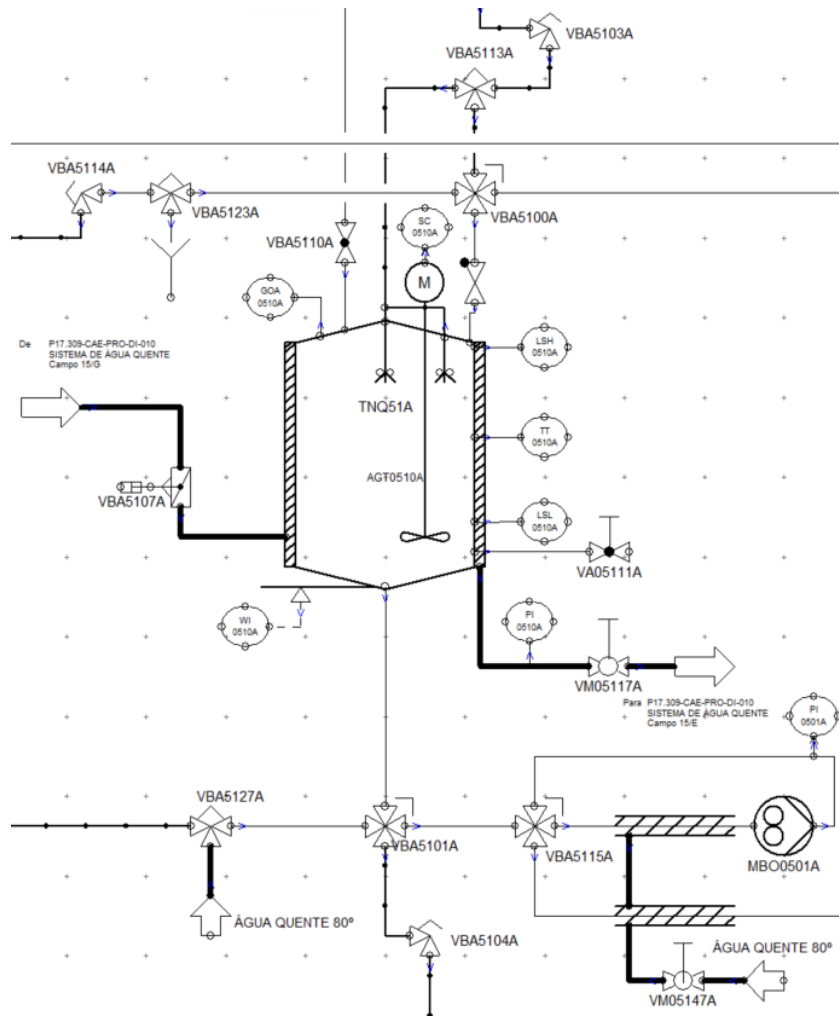


Figura 32 – P&ID de um tanque de emulsão (51A). Fonte: original.

I	SETOR	NOME MALHA	DESCRIÇÃO MALHA	TAG ANTIGA	DESCRIÇÃO	MODELO	FABRICANTE
1	EMULSÃO	VP6100	Válvulas Atuadas TNQ61	VBA6100	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
2	EMULSÃO	VP6100A	Válvulas Atuadas TNQ61A	VBA6100A	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
3	EMULSÃO	VP6100B	Válvulas Atuadas TNQ61B	VBA6100B	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
4	EMULSÃO	VP6101	Válvulas Atuadas TNQ61	VBA6101	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
5	EMULSÃO	VP6101A	Válvulas Atuadas TNQ61A	VBA6101A	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
6	EMULSÃO	VP6101B	Válvulas Atuadas TNQ61B	VBA6101B	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
7	EMULSÃO	VP6110	Válvulas Atuadas TNQ61	VBA6110	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
8	EMULSÃO	VP6110A	Válvulas Atuadas TNQ61A	VBA6110A	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
9	EMULSÃO	VP6110B	Válvulas Atuadas TNQ61B	VBA6110B	Válvula de controle de 4 vias	D - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
10	EMULSÃO	VP6113	Válvulas Atuadas TNQ61	VBA6113	Válvula de controle 3 vias (geral)	X - Divert Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
11	EMULSÃO	VP6113A	Válvulas Atuadas TNQ61A	VBA6113A	Válvula de controle 3 vias (geral)	X - Divert Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
12	EMULSÃO	VP6113B	Válvulas Atuadas TNQ61B	VBA6113B	Válvula de controle 3 vias (geral)	X - Divert Valve Varivent	GEA Tuchenhagen
13	EMULSÃO	VP6114	Válvulas Atuadas TNQ61	VBA6114	Válvula de controle globo	C - Mixproof Shut-off Valve Varivent	GEA Tuchenhagen

Figura 33 – Lista de válvulas atuadas dos tanques-pulmão gerada no COMOS.

Fonte: original.

### 4.3. Terceira Visita

A terceira visita contemplou a apresentação do projeto no *software* PCS7 contendo o *hardware* da planta configurado, lista de sinais de entradas e saídas do CLP, hierarquia da planta e os CFC criados, algumas telas do sistema supervisor e a planta em funcionamento no modo manual.

A hierarquia da planta foi definida conforme a norma [14], que divide uma fábrica em *Process Cell*, *Units*, *Equipment Modules (EM)* e *Control Modules (CM)*. A divisão foi realizada em conjunto com o especialista *batch* da equipe e posteriormente criada no *software* COMOS. Ela é realizada na parte de bateladas do processo e basicamente é da seguinte forma: a planta de margarina é considerada a *Process Cell*, cada tanque (de emulsão, fase aquosa e os demais) é considerado uma *Unit*, cada função associada ao tanque (entrada ou saída de produtos, controle de temperatura) é considerada um *Equipment Module*, já os *Control Modules* são os elementos atuadores e sensores correspondentes ao tanque. A Figura 34 ilustra a modelagem da Unit do tanque de sorbato. Em azul está destacada a *Unit*, em verde os *Equipment Modules (EM)* e os *Control Modules* são as válvulas, instrumentos e a bomba dos EMs.

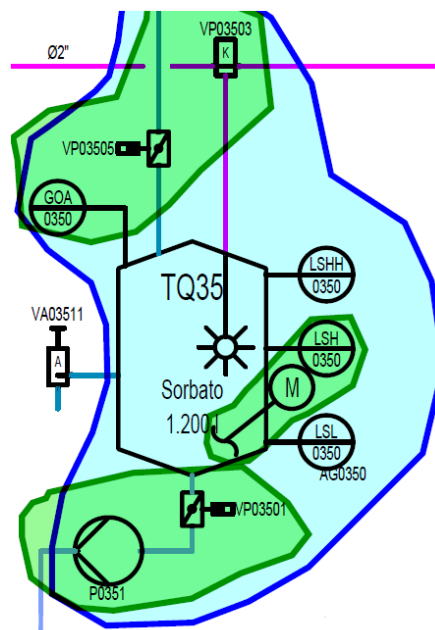


Figura 34 – Modelagem da Unit do tanque de sorbato. Fonte: original.



A GreyLogix conta com uma *Master Data Library* desenvolvida por colaboradores experientes para atender os projetos relacionados à indústria alimentícia. Essa biblioteca foi então importada para o projeto da margarina com os blocos típicos já definidos. Para a integração entre o PCS7, o sistema de bateladas (SIMATIC Batch), o COMOS e o sistema de simulação (SIMIT), os blocos de funções dos CFCs na *Master Data Library* são denominados CMT (*Control Module Types*). Os CMTs variam conforme o equipamento (válvula, motor, instrumento) e com a forma de comunicação ou atuação. Por exemplo, válvulas AS-i possuem forma de comunicação diferente das que estão em rede PROFIBUS-PA, de modo que são necessários blocos diferentes para a leitura das palavras de controle. A associação entre CMTs e CMs é realizada no COMOS, conforme Figura 35, na qual observa-se na coluna “*CM/EM type*” alguns tipos de CMTs já associados. Por fim, cada CM definido na hierarquia da planta é uma instância dos CMTs, que serão exportados do COMOS para o PCS7, gerando a hierarquia da planta e a base do projeto do DCS.

Status	Instruction	Reference object	Hierarchy path	Tagname	CM/EM type
●	Copy in Template Motor: Single Speed and Single Direction		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.Agita.AGT0350	AGT0350	Motor L I8
	Copy in Template CMT template		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.CM1	CM1	
	Copy in Template CMT template		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.CM2	CM2	
	Copy in Template CMT template		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.CM3	CM3	
	Copy in Template CMT template		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.CM4	CM4	
●	Copy in Template Digital input monitoring		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_In.GOA3505	GOA3505	DigitalMon L DI
●	Copy in Template Digital input monitoring		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_In.LSH350	LSH350	DigitalMon L DI
●	Copy in Template Digital input monitoring		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_In.LSHH350	LSHH350	DigitalMon L DI
●	Copy in Template Valve: Single Drive and Dual Feedback with Interlock		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_In.VBA3503	VBA3503	Valve L wo st I8
●	Copy in Template Valve: Single Drive and Dual Feedback with Interlock		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_In.VBA3505	VBA3505	Valve L wo st I8
●	Copy in Template Digital input monitoring		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_Out.LSL350	LSL350	DigitalMon L DI
●	Copy in Template Motor: Single Speed and Single Direction		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_Out.MBO351	MBO351	Motor L I8
●	Copy in Template Valve: Single Drive and Dual Feedback with Interlock		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_Out.VBA3501	VBA3501	Valve L wo st I8
●	Copy in Template Valve: Single Drive and Dual Feedback with Interlock		=DCS.Margarina.Preparo Fase Aquosa.TNQ35.xFer_Out.VBA3504	VBA3504	Valve L wo st I8

Figura 35 – Associação entre os CMTs e CMs no COMOS. Fonte: original.

Apesar de a parte contínua do processo não ser modelada conforme [14], o procedimento para criar os CMs foi o mesmo. Criou-se pastas hierárquicas para divisão e organização do processo entre as linhas de produção e o envase, sendo criados os CMs de cada equipamento dentro delas e exportados do COMOS para o PCS7.

A comunicação entre os sistemas/ferramentas Siemens já descritos neste capítulo é realizada na forma de arquivos XML em um aplicativo próprio. Ele faz a

leitura dos projetos no COMOS e PCS7 e faz a comparação dos objetos existentes, listando as diferenças em ambos.

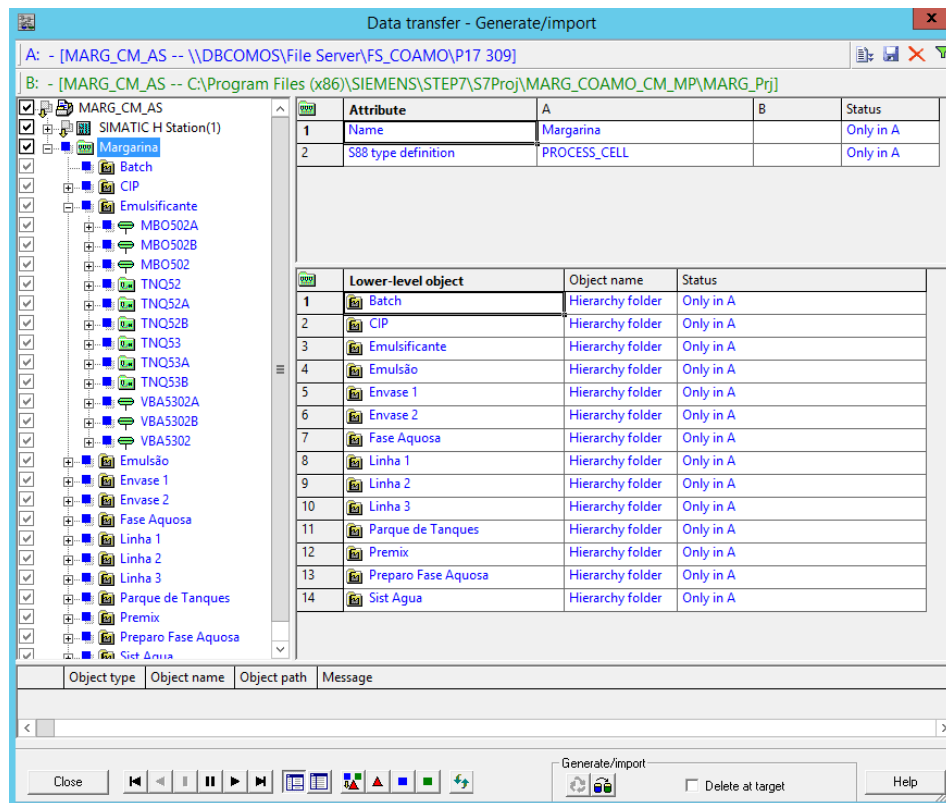


Figura 36 – Ferramenta de comunicação entre os projetos no COMOS e PCS7.

Fonte: original.

A Figura 36 ilustra a exportação do projeto base com a hierarquia e os CMs criados no COMOS para o PCS7. É possível observar que a ferramenta compara os projetos existentes e informa que os objetos exportados só existem no COMOS (em azul). Com um comando de importar objetos faz-se a integração entre os projetos, atualizando as diferenças.

A apresentação do *hardware* em conjunto com a lista de entradas e saídas do CLP é iniciada com a topologia de rede definida, Figura 2, e com o projeto base criado no PCS7. Cada componente é configurado ao adicioná-lo à rede na *Component View*. Um símbolo para cada entrada ou saída do dispositivo é definido, facilitando o acionamento ou leitura dos sinais. Na Figura 37 pode-se observar redes PROFIBUS DP, conectadas a módulos de comunicação do CLP, com acionamentos de motores

e módulos *gateway* DP/PA para comunicação com instrumentos em rede PROFIBUS PA. A configuração dos símbolos está ilustrada na janela “*Edit Symbols*”, na qual tem-se os símbolos para comunicação com um inversor de frequência.

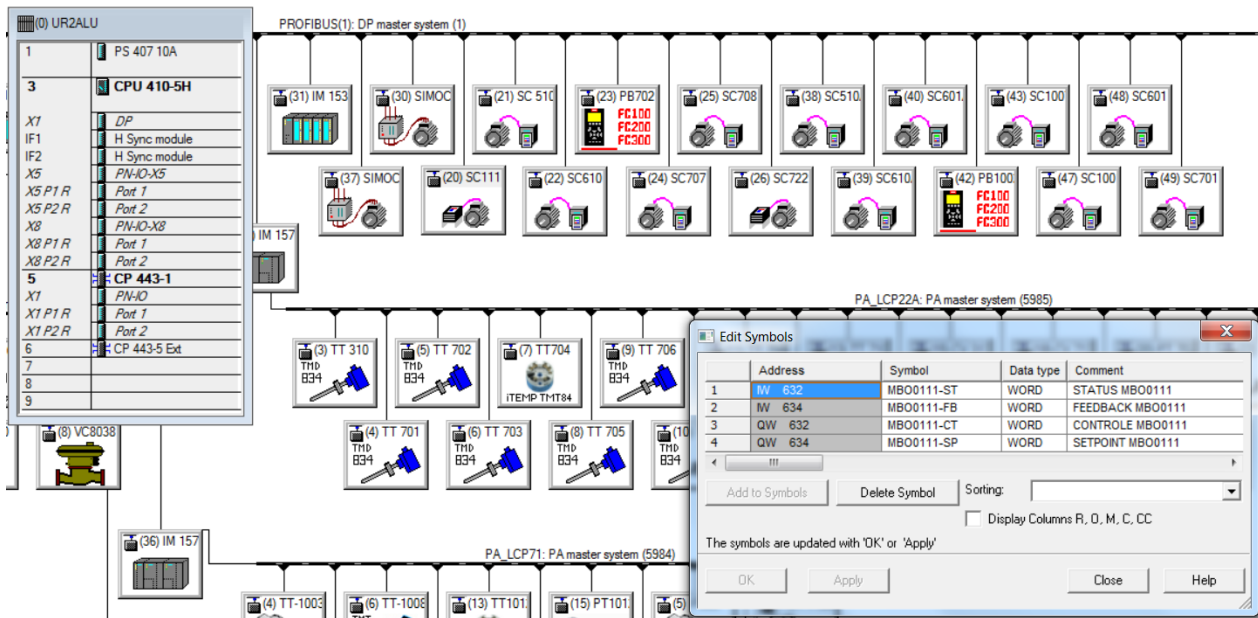


Figura 37 – Visão da janela de configuração de hardware no PCS7. Fonte: original.

Ao configurar os símbolos dos equipamentos, o sistema gera automaticamente uma tabela com as entradas e saídas do controlador (Figura 38). O cliente não possuía essa documentação, que é fundamental para a manutenção da planta após o sistema de controle ser instalado, sendo então uma das entregas do projeto e consequentemente um dos resultados da terceira visita e da configuração do *hardware*.

160	VBA4100-FO	I	616.0	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4100
161	VBA4100-OC	Q	152.0	BOOL	ABRIR VALVULA VBA4100
162	VBA4101-FO	I	617.4	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4101
163	VBA4101-OC	Q	152.1	BOOL	ABRIR VALVULA VP4101
164	VBA4107-FO	I	617.0	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4107
165	VBA4107-OC	Q	152.2	BOOL	ABRIR VALVULA VBA4107
166	VBA4200-FO	I	618.0	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4200
167	VBA4200-OC	Q	152.4	BOOL	ABRIR VALVULA VBA4200
168	VBA4201-FO	I	619.4	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4201
169	VBA4201-OC	Q	152.5	BOOL	ABRIR VALVULA VP4201
170	VBA4207-FO	I	619.0	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4207
171	VBA4207-OC	Q	152.6	BOOL	ABRIR VALVULA VBA4207
172	VBA4300-FO	I	620.0	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4300
173	VBA4300-OC	Q	153.0	BOOL	ABRIR VALVULA VBA4300
174	VBA4301-FO	I	621.4	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4301
175	VBA4301-OC	Q	153.1	BOOL	ABRIR VALVULA VP4301
176	VBA4307-FO	I	621.0	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4307
177	VBA4307-OC	Q	153.2	BOOL	ABRIR VALVULA VBA4307
178	VBA4400-FO	I	627.4	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4400
179	VBA4400-OC	Q	154.5	BOOL	ABRIR VALVULA VBA4400
180	VBA4401-FO	I	627.0	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4401
181	VBA4401-OC	Q	154.6	BOOL	ABRIR VALVULA VP4401
182	VBA4407-FO	I	628.4	BOOL	FEEDBACK ABERTO VBA4407
183	VBA4407-OC	Q	154.7	BOOL	ABRIR VALVULA VBA4407

Figura 38 – Parte da tabela de símbolos criada no PCS7. Fonte: original.

Com o projeto criado e os CMs importados para o PCS7, alguns membros da equipe de projeto foram encarregados de iniciar o desenvolvimento das telas do sistema supervisor. Com as telas e o projeto base, a planta pode funcionar de forma totalmente manual através da operação via supervisor.

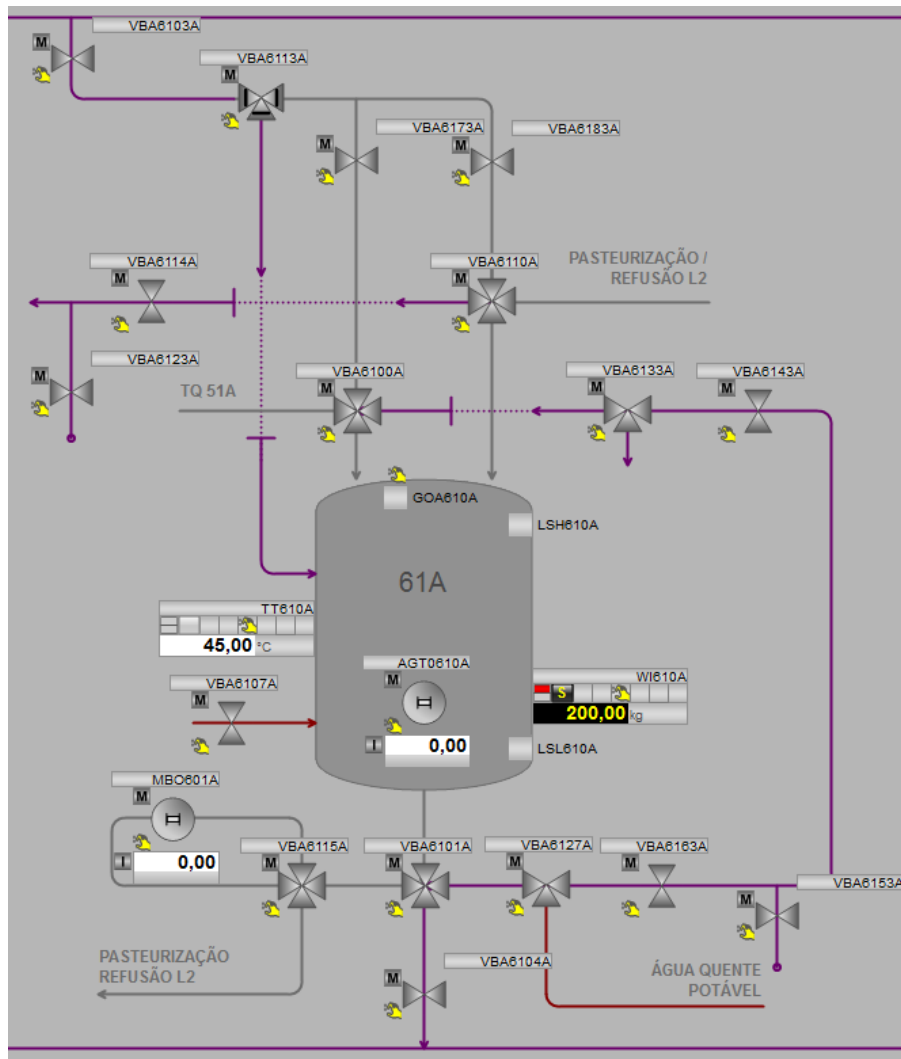


Figura 39 – Exemplo de tela do sistema supervisorío. Fonte: original.

Na Figura 39 pode-se observar um exemplo de tela do sistema supervisorío mostrando o tanque 61A com seus periféricos. Nos ícones das válvulas e motores é possível observar um “M”, que indica a operação em modo manual, uma mão amarela, que indica o modo de simulação e a cor cinza indica que estão fechados/desligados.

#### 4.4. Quarta Visita

Após a atualização dos diagramas e aprofundamento no estudo dos processos envolvidos na planta, as sequências de operação podem ser desenvolvidas para aprovação na quarta visita. Para o desenvolvimento, partiu-se dos descritivos operacionais disponibilizados pelo cliente. Esses descritivos foram escritos pelos

operadores e indicavam algumas ações que eles precisavam tomar via supervisor e a rota que acreditavam que o produto percorre no processo. Ao realizar o acompanhamento das rotas com os documentos atualizados, percebeu-se que em alguns casos os descritivos estavam errados ou com falta de informações. Desse modo, primeiramente as sequências foram desenvolvidas em Grafset com uma linguagem mais habitual, utilizando comandos como “abrir” ou “fechar” válvulas, “ligar” ou “desligar” bombas, para que as sequências pudessem ser enviadas para o cliente aprovar o funcionamento da planta antes de a programação final ser realizada.

Após realizar algumas correções solicitadas pelo cliente, as sequências começaram a ser transcritas para os SFCs no PCS7. Para realizar a programação, algumas observações necessitaram ser feitas:

1. Os sinais no PCS7 funcionam em modo Set/Reset, ou seja, caso seja enviado um sinal para abrir uma válvula, para poder fechá-la é necessário retirar o comando de abrir e enviar um comando de fechar.
2. Existem 3 modos de operação no PCS7: local, manual ou automático. O modo de comando local é utilizado para acionar os equipamentos em campo. No modo manual o operador pode dar comandos via sistema supervisor. Já no modo automático os comandos são dados via SFC ou CM. Para o projeto foi definido que são utilizados os modos manual e automático, caso seja necessário prestar manutenção o comando local deve ser ativado na programação.
3. Os estados (passos) de uma sequência no PCS7 contam com um estágio *Initialization*, no qual as ações ali descritas ocorrem uma única vez ao se ativar o passo, um estágio *Processing*, onde as ações ali especificadas ocorrem enquanto o passo estiver ativo, e um estágio *Termination*, no qual as ações ali descritas ocorrem somente uma vez, quando o passo é desativado.

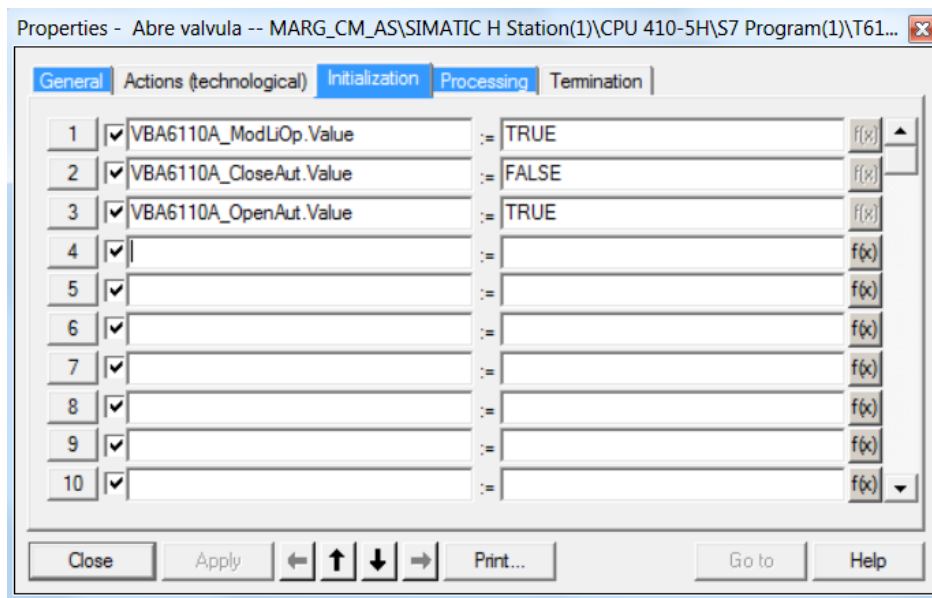


Figura 40 – Exemplo de comandos para acionamento de válvula. Fonte: original.

Na Figura 40 pode-se observar um exemplo de ações para abrir uma válvula. Inicialmente, na aba *Initialization* altera-se o sinal *ModLiOp* para *TRUE*, alterando o modo de operação para comandos via *link* (em CFC ou SFC). Em seguida são alterados os sinais de *OpenAut* e *CloseAut*, fazendo a válvula abrir. Na aba *Processing* o sinal *ModLiOp* é alterado para *FALSE*, liberando o comando para o operador via supervisão.

Foram definidas estratégias de *Start*, *Run* e *Completing* para cada sequência do processo, cada uma contendo um SFC com ações a serem tomadas ao serem executadas. Por padrão, nas sequências de *Start* (Figura 41) faz-se o *reset* dos equipamentos, verifica-se se existe algum erro e, se não houver, coloca-se os equipamentos em modo automático. Caso exista algum erro, uma mensagem é mostrada no sistema supervisão alertando o operador para que ele possa tomar alguma providência. Assim que o problema seja solucionado, a sequência continua, colocando os equipamentos em modo automático.

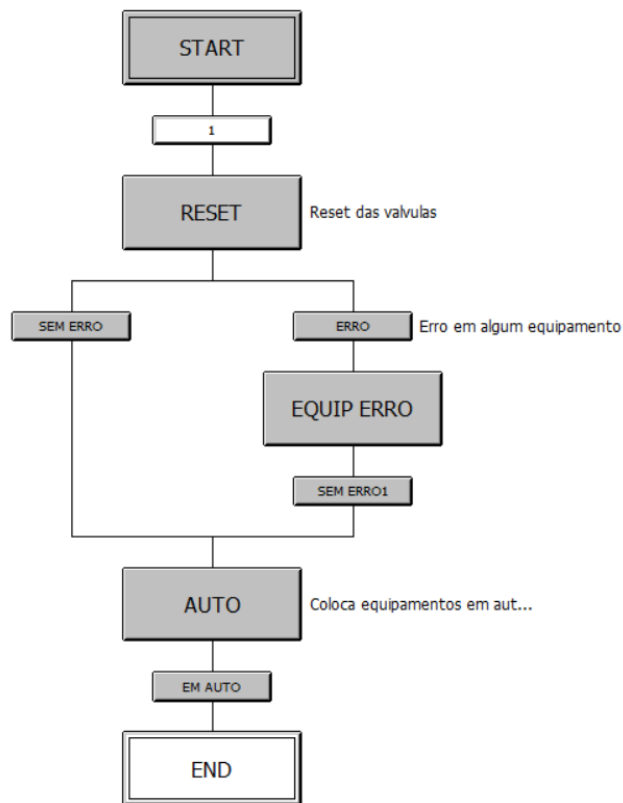
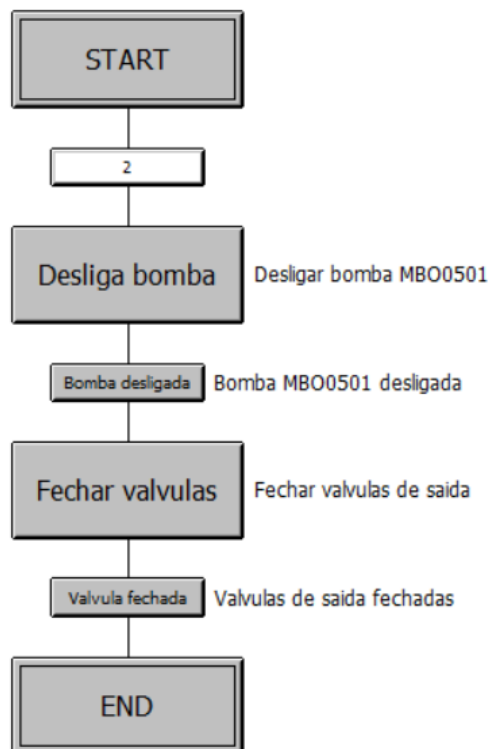


Figura 41 – Exemplo de Start em uma sequência de saída de produto do tanque.

Fonte: original.

Já nas sequências de *Completing* (Figura 42), por padrão definiu-se que primeiro as bombas são desligadas e em seguida as válvulas são colocadas em suas posições padrão, podendo ser normalmente fechada ou aberta. Desse modo evita-se que haja um aumento de pressão nas tubulações.





*Figura 42 – Exemplo de Completing em uma sequência de saída de produto do tanque. Fonte: original.*

Para a parte do processo em bateladas as sequências foram desenvolvidas conforme a divisão dos *Equipment Modules (EM)*, ou seja, cada Unit (tanques) terá sequências de entrada e saída de produto. As sequências de entrada dos tanques em que existe a dosagem de produtos, realizadas por válvulas de dois estágios e células de carga, são similares à ilustrada na Figura 43, referente ao tanque 51.

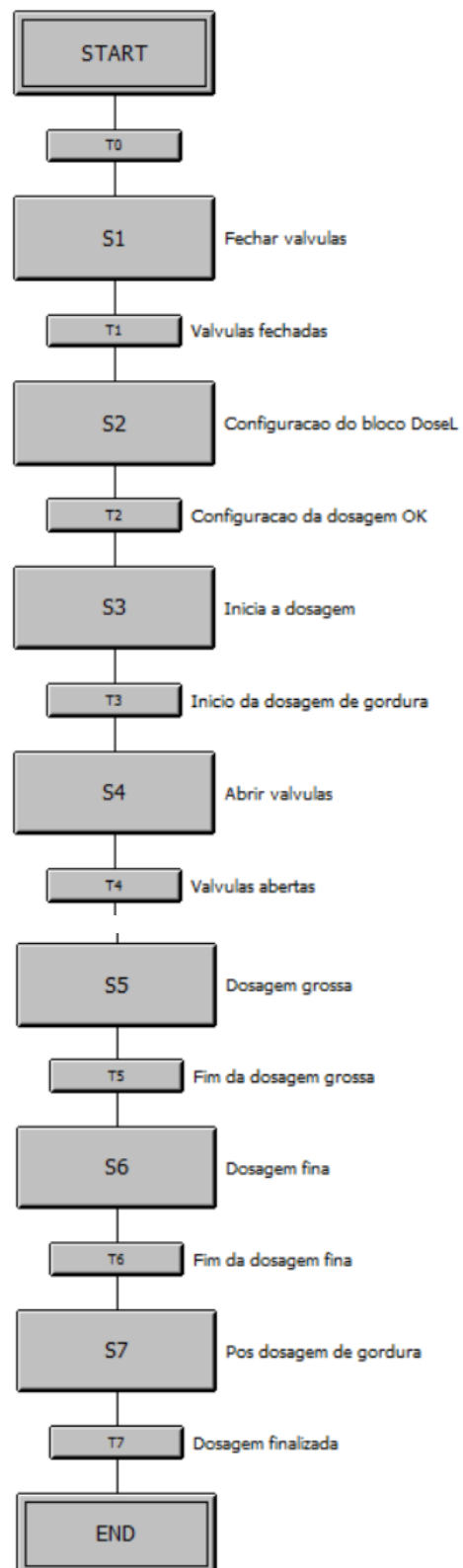


Figura 43 – Sequência de entrada de produto do tanque 51. Fonte: original.

A sequência em Figura 43 faz a dosagem de gordura dos tanques 47 e 48 para o tanque 51. Para iniciá-la é necessário que a boca de visita do tanque 51 esteja fechada e o nível do tanque não esteja alto. No passo S1 são fechadas as válvulas VBA5120, VBA5130, VBA5140, VBA5150, que bloqueiam as gorduras vindas de outros tanques, e também as válvulas VBA5103, VBA5113, VBA5123, VBA5114 e VBA5100, que fazem o bloqueio das linhas para que a gordura não seja transferida para alguma rota indevida. A transição T1 verifica a ausência de *feedback* aberto das válvulas, visto que elas não possuem *feedback* de fechadas. O estado S2 faz a configuração de um bloco de função chamado de DoseL. Nessa configuração são passados os valores para as dosagens grossa e fina das válvulas. Quando o bloco é iniciado ele utiliza o valor inicial de leitura do peso do tanque para realizar uma tara interna e, a partir dos valores estipulados para as dosagens e do valor lido continuamente na balança, ele muda os sinais de saída para alterar os estágios da válvula de dosagem. No próximo passo, S3, é dado o comando para iniciar a dosagem, com a transição T3 sendo a confirmação do bloco DoseL de que ela foi iniciada. No passo S4 a válvula que bloqueia a gordura (VBA5160) e o primeiro estágio da válvula VBA5110 são abertos. O passo S5 aguarda a dosagem grossa da gordura e, quando o bloco DoseL enviar o comando para abrir o segundo estágio da VBA5110, a transição T5 é satisfeita. Em S6 aguarda-se o final da dosagem fina que é indicado a partir do sinal de pós-dosagem do bloco DoseL. No passo S7 é realizada essa operação de pós-dosagem, na qual o bloco calcula se houve algum excesso ou falta de dosagem a partir da diferença de peso no tanque após ele indicar o final. Esse valor calculado é utilizado nas próximas dosagens com a finalidade de garantir o *setpoint* estabelecido. Por fim, a transição T7 é satisfeita quando houver a indicação do bloco.

Com a sequência programada e realizada a conexão entre os SFC e os blocos (explicada no final do capítulo) pode-se realizar a simulação das lógicas. Vale frisar que até o momento não era possível a utilização do sistema de simulação SIMIT, devido à problemas de compatibilidade entre as versões do SIMIT e PCS7 adquiridas pelo cliente, além de atraso na entrega da licença. Assim, optou-se por utilizar o sistema supervisor em conjunto com um aplicativo do PCS7 que simula a lógica em um CLP virtual. Para realizar os testes os blocos de equipamentos precisaram ser

configurados para o modo de simulação, no qual são simulados os sinais de *feedback*, evitando erros que podem ser gerados por problemas físicos, como falha de comunicação.

A simulação da sequência de entrada de produtos do tanque 51 com o sistema supervisor é ilustrada nas figuras abaixo (Figura 44 e Figura 45):

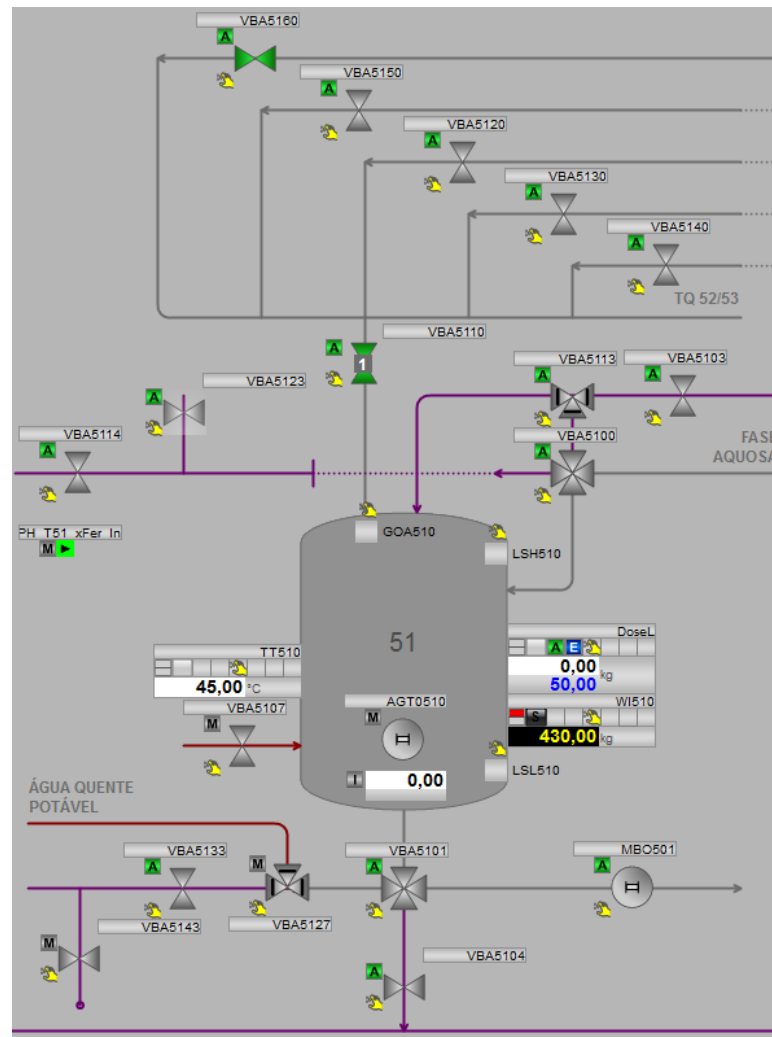


Figura 44 – Dosagem grossa na entrada do tanque 51 simulada via supervisor.

Fonte: original.

A simulação é feita com *setpoint* de dosagem de 50 kg a partir da gordura vindo da válvula VBA5160. A variação da leitura de massa no tanque é feita manualmente. O bloco DoseL está configurado para alterar o modo de dosagem de grossa para fina quando faltar 10 kg para atingir o *setpoint* estabelecido. Ao lado direito

do tanque estão os indicadores do bloco DoseL, mostrando o *setpoint* e quanto falta até se atingir a quantidade estipulada, e o bloco indicador da massa do tanque (WI510).

As linhas vermelhas representam entrada de calor na camisa das tubulações e tanques. As linhas em roxo representam as rotas de CIP (*Cleaning in Place*), para limpeza dos equipamentos e rotas. Já as linhas em cinza representam o fluxo principal de produto.

Observa-se que as válvulas VBA5150, VBA5120, VBA5130, VBA5140, VBA5100, VBA5113, VBA5103, VBA5114 e VBA5123 estão fechadas no modo automático. A válvula de entrada do tanque, VBA5101, está aberta no primeiro estágio em modo automático, atendendo a sequência mostrada na Figura 45 e Figura 43. A sequência em funcionamento apresenta em verde escuro os passos já executados, em verde claro (S5) o passo atual, e em vermelho a transição ainda não satisfeita para mudança de passo.

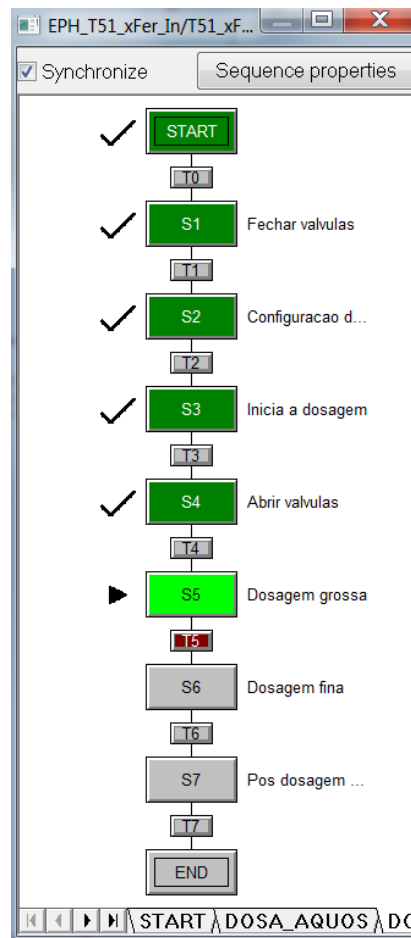


Figura 45 - Sequência de entrada do tanque 51 na dosagem grossa. Fonte: original.

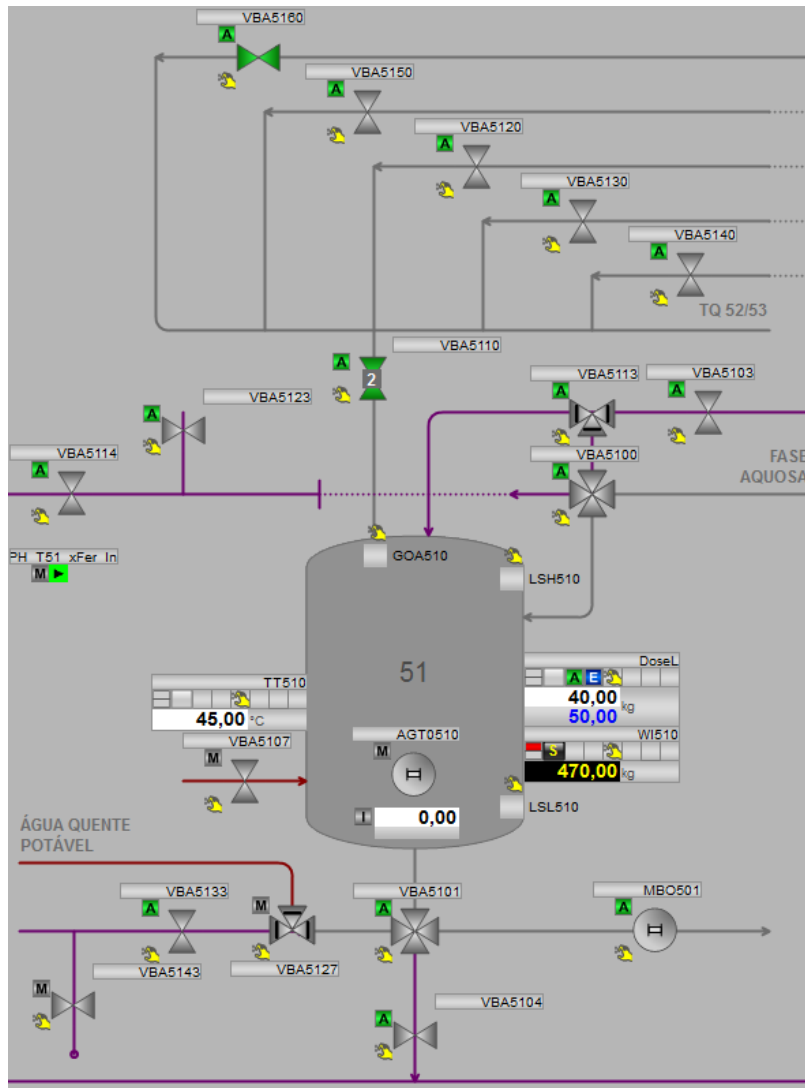


Figura 46 – Dosagem fina na entrada do tanque 51 simulada via supervisor. Fonte: original.

Na Figura 46 está ilustrado o passo de dosagem fina da sequência. Observa-se que a válvula VBA5110 está no segundo estágio e que as demais continuam fechadas. O bloco DoseL mostra que faltam 10 kg para se atingir o *setpoint*, indicando que a abertura do segundo estágio da VBA5110 em automático está correta, atendendo a sequência abaixo (Figura 47) e a Figura 43.

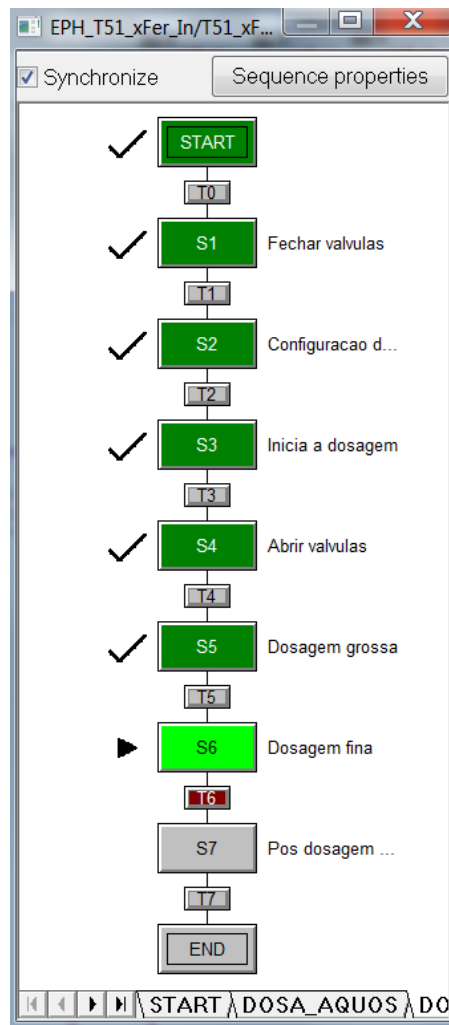


Figura 47 - Sequência de entrada do tanque 51 em dosagem fina. Fonte: original.

Após a dosagem de todos os produtos no tanque 51, é necessário realizar a transferência da margarina para o tanque 61. Para isso, foram desenvolvidas as sequências de saída do tanque 51 (Figura 48) e entrada do tanque 61 (Figura 51), que serão sincronizadas a partir do sistema de bateladas. A saída do tanque 51 é dada pela sequência:



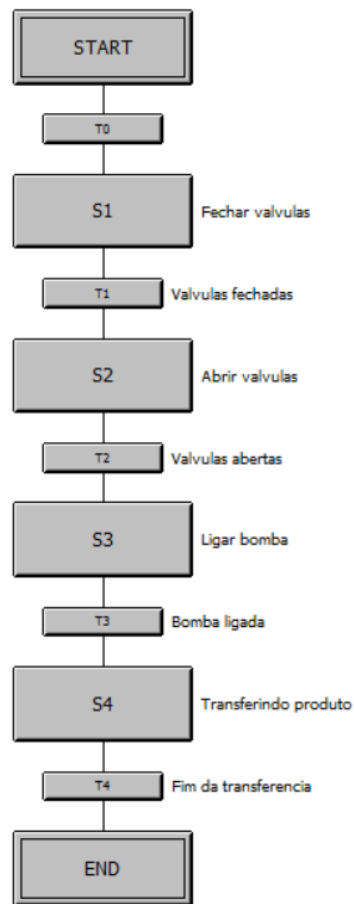


Figura 48 – Sequência de saída de produto do tanque 51. Fonte: original.

Para iniciar a sequência é necessário que a boca de visita do tanque esteja fechada, o nível do tanque 51 não pode estar baixo e o nível do tanque 61 não pode estar alto (transição T1). No passo S1 as válvulas VBA5127, VBA5133 e VBA5104 são fechadas. Como as válvulas não possuem sinal de *feedback* fechado, a condição da transição T1 é a ausência sinal de *feedback* aberto. O passo seguinte, S2, abre a válvula VBA5101, sendo a transição T2 o sinal de *feedback* aberto da válvula. No estado S3 é ligada a bomba de saída do tanque, MBO501, com a transição T3 sendo o sinal de *feedback* ligado da bomba. O estado S4 aguarda o fim da transferência de produto, dada pela transição T4, que pode ser a chave de nível baixo do tanque 51 ou a chave de nível alto do tanque 61. A simulação da sequência de saída de produtos do tanque 51 com o sistema supervisório é ilustrada nas figuras abaixo (Figura 49 e Figura 50):

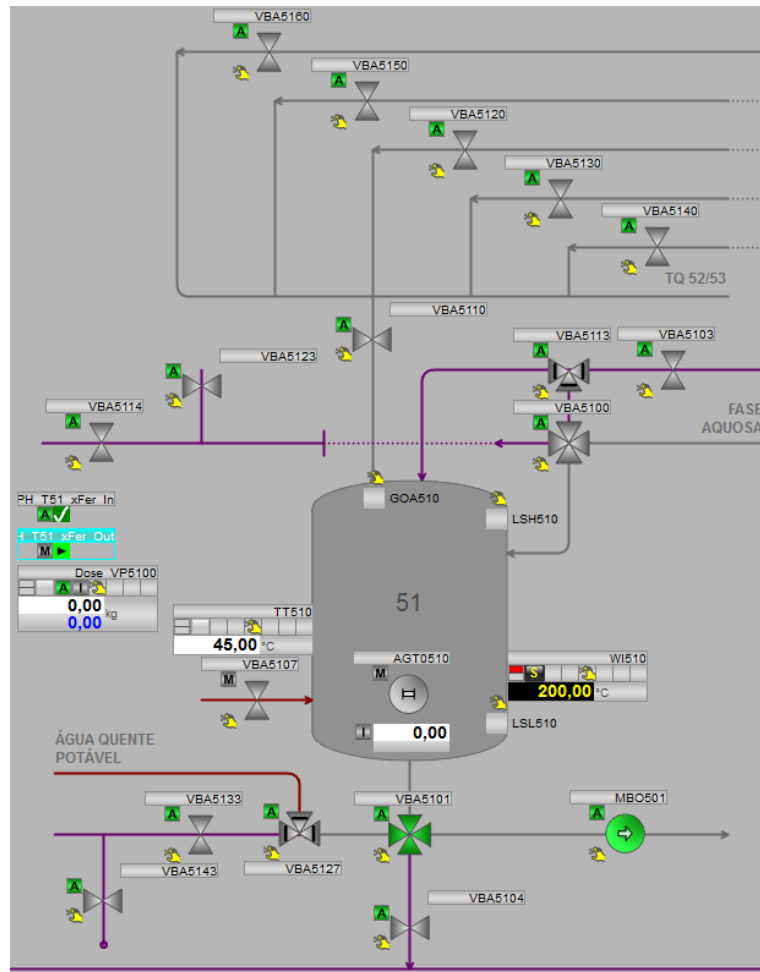


Figura 49 – Saída do tanque 51 simulada via supervisório. Fonte: original.

Observa-se que as válvulas VBA5133, VBA5104 e VBA5127 estão fechadas no modo automático. A válvula de saída do tanque, VBA5101, está aberta e a bomba MBO501 está ligada, ambos em modo automático, conforme a sequência abaixo e a Figura 48. O passo ilustrado é o de transferência de produto, que aguarda a transição de término de transferência, podendo ser a chave de nível baixo do tanque 51 ou a chave de nível alto do tanque 61.

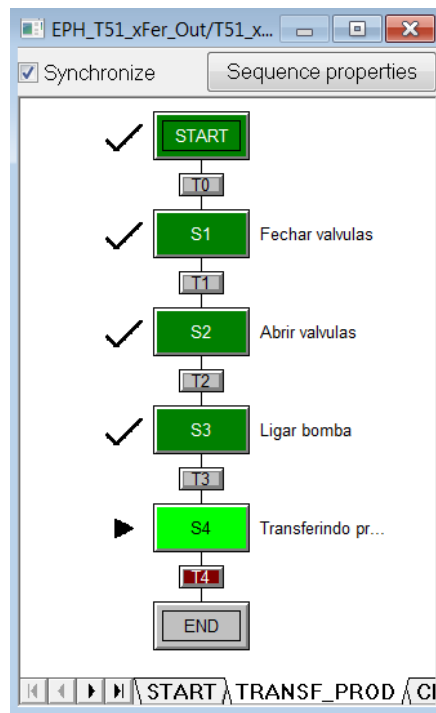
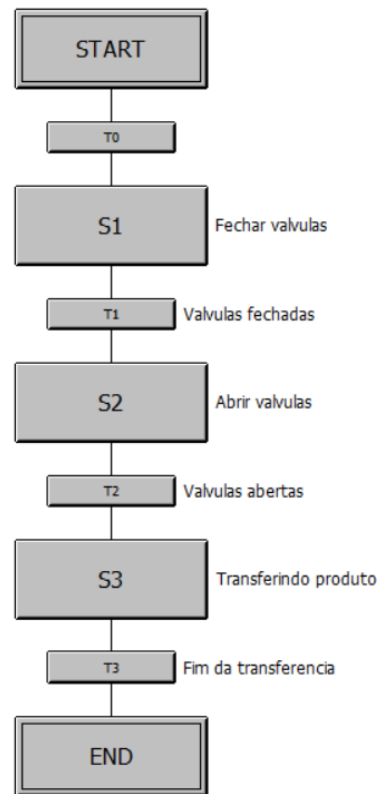


Figura 50 – Sequência da saída do tanque 51 em funcionamento. Fonte: original.

Em paralelo o sistema de bateladas irá coordenar a sequência de entrada de produto no tanque 61, ilustrada na Figura 51. As condições para iniciar o SFC são a boca de visita do tanque 61 fechada e o nível do tanque não estar alto. O passo S1 fecha as válvulas VBA6110, VBA6114, VBA6183, VBA6143, VBA6103, VBA6113, tendo como condição para a transição T1 a falta do sinal de *feedback* aberto das válvulas. O passo seguinte, S2, faz a abertura das válvulas VBA6100 e VBA6173, com a transição sendo o *feedback* aberto das válvulas. Em S3, aguarda-se o fim da transferência de produto, que pode ser o nível alto do tanque 61 ou o nível baixo do tanque 51.



*Figura 51 - Sequência de entrada de produto do tanque 61.*

A simulação da sequência de entrada de produtos do tanque 61 com o sistema supervisor é ilustrada nas figuras abaixo (Figura 52 e Figura 53):



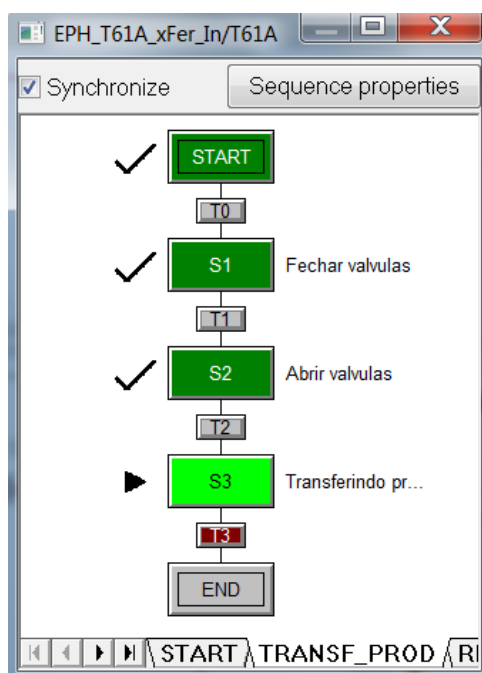


Figura 53 - Sequência de entrada do tanque 61A em funcionamento.

Os tanques de emulsificante (52 e 53), do parque de tanques (óleo e gordura), de ácido (34), sorbato (35) e de fase aquosa (33) possuem sequências de entrada e saída muito semelhantes às já apresentadas, com exceção apenas das válvulas e bombas a serem atuadas.

Para a parte contínua do processo uma sequência foi criada para cada rota de envase a partir dos tanques-pulmão. Como exemplo, será descrita a sequência que contempla a rota de envase da linha 2 até a envasadora Pattyn 1, que inicia no tanque-pulmão 61A.

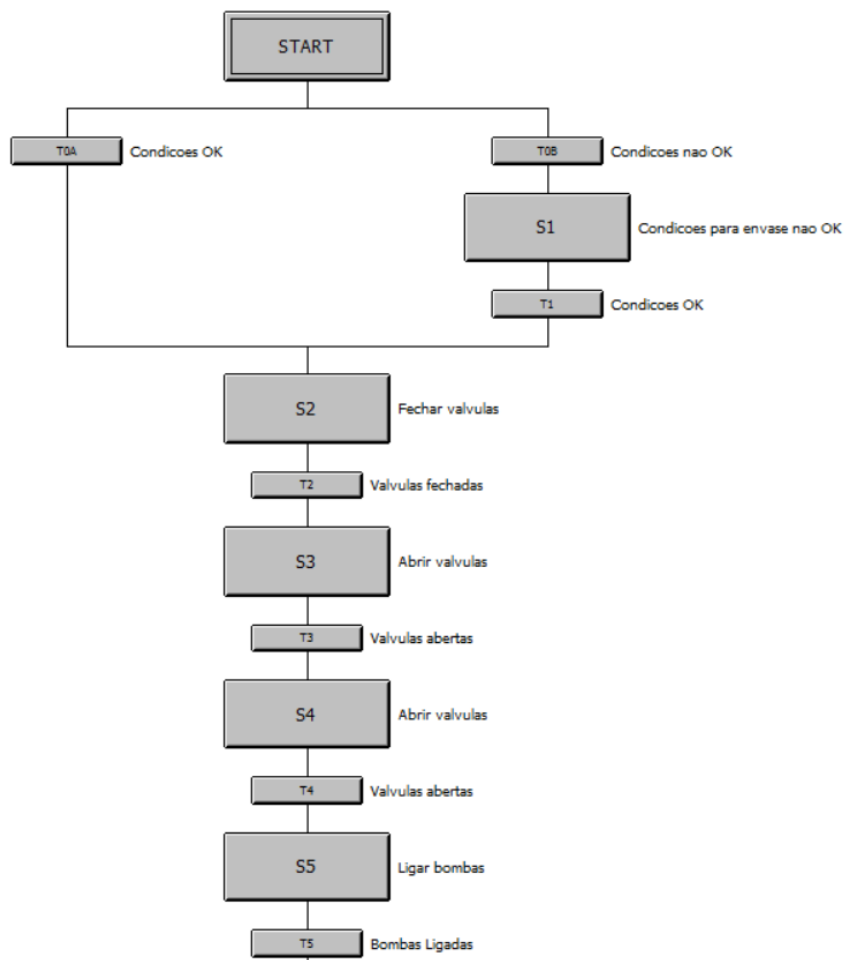


Figura 54 – Trecho do SFC de envase da linha 2 na Pattyn 1. Fonte: original.

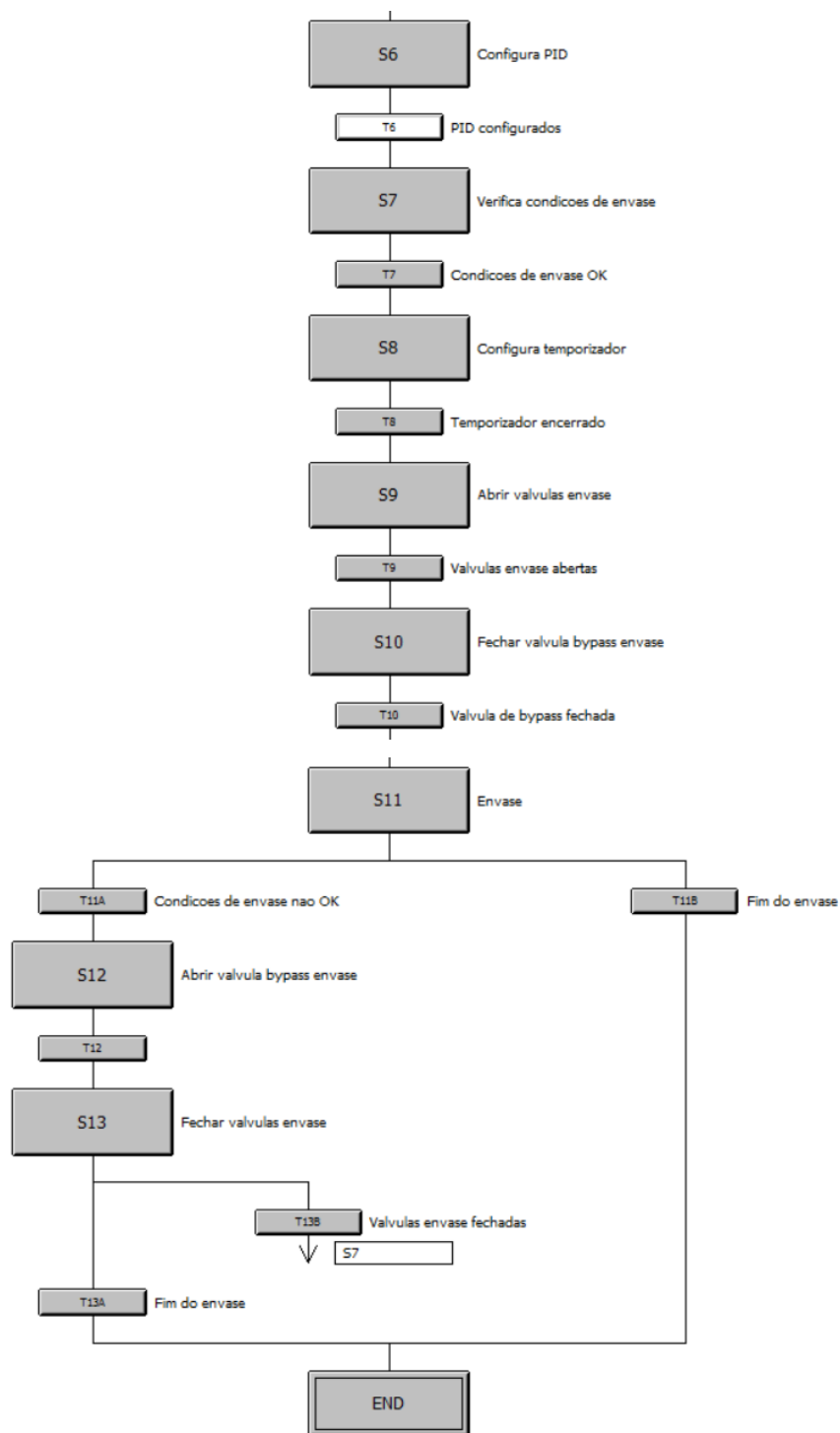


Figura 55 – Continuação do SFC de envase da linha 2 na Pattyn 1. Fonte: original.

Existem duas temperaturas do produto que precisam ser monitoradas no processo de envase: após o aquecimento na pasteurização e após o resfriamento no cristalizador e batedor de pinos. Caso o produto não atenda essas temperaturas ele



deve passar direto pela máquina de envase e recircular até o tanque-pulmão. Após o produto atingir as duas condições, deve-se esperar um tempo para que o resto do produto “ruim” da tubulação tenha sido transferido para o tanque.

Com base nessas premissas a sequência acima (Figura 54 e Figura 55) foi modelada. Para iniciá-la é necessário que a boca de visita do tanque 61A esteja fechada e seu nível não esteja baixo. Caso alguma condição não seja atendida uma mensagem é mostrada no sistema supervisor, alertando o operador para que ele possa tomar alguma providência. A sequência será descrita nos tópicos a seguir:

- **Passo S2:** fechar válvulas
  - VBA6115A, VBA6104A, VBA6127A e VBA6163A (próximas ao tanque 61A);
  - VBA10012, VBA10010, VBA10013, VBA10014 (válvulas do pasteurizador);
  - VBA10112, VBA10122, VBA10132 e VBA10152 (válvulas do envase);
- **Transição T2:** sinal de *feedback* aberto dessas válvulas falso.
- **Passos S3 e S4:** abrir válvulas
  - VBA6101A (saída do tanque 61A);
  - VBA10002, VBA10022, VBA10016 e VBA10018 (entrada de produto e água quente e fria do pasteurizador);
  - VBA100011, VBA100012, VBA100111, VBA100112, VBA100211 e VBA100212 (entrada de amônia no cristalizador);
  - VBA10092 e VBA10142 (nas envasadoras Pattyn 1 e 2);
  - VBA10157, VBA10177 e VBA10187 (entrada de água quente na camisa da tubulação).
- **Transições T3 e T4:** sinal de *feedback* aberto das válvulas.
- **Passo S5:** ligar as bombas e motores da linha
  - MBO0601A (saída do tanque);
  - MBO1001 (bomba pasteurizador);
  - MBO1010 (bomba de recirculação de água quente no pasteurizador);
  - MBO1002 (bomba de entrada do cristalizador);
  - CTL1003, CTL1004, CTL1004 (motores do cristalizador);

- MBO1009 (recirculação de água quente no cristalizador);
- BTP1007 (motor do batedor de pinos);
- **Transição T5:** *feedback* dos motores em funcionamento.
- **Passo S6:** configurar os parâmetros dos blocos de controladores PID (ainda não definidos)
  - Temperaturas quente e fria da pasteurização;
  - Temperaturas dos três estágios de resfriamento do cristalizador;
- **Transição T6:** confirmação do sinal do bloco PID.
- **Passo S7:** aguardar as condições de envase.
- **Transição T7:** temperaturas após o aquecimento na pasteurização e resfriamento no cristalizador.
- **Passo S8:** configurar e ligar temporizador para recirculação de produto.
- **Transição T8:** temporizador encerrado.
- **Passo S9:** abrir válvulas de envase
  - VBA10112 e VBA10122;
- **Transição T9:** sinal de *feedback* aberto das válvulas.
- **Passo S10:** fechar válvula de passagem do envase
  - VBA10092;
- **Transição T10:** sinal de *feedback* aberto das válvulas falso.
- **Passo S11:** envase do produto
- **Transição T11A:** fim do envase pelo operador ou chave de nível baixo do tanque 61A.
- **Transição T11B:** uma das temperaturas para envase está fora do limite.
- **Passo S12:** abrir válvula de passagem do envase
  - VBA10092;
- **Transição T12:** sinal de *feedback* aberto da válvula.
- **Passo S13:** fechar válvulas de envase
  - VBA10112 e VBA10122;
- **Transição T13A:** fim do envase pelo operador ou chave de nível baixo do tanque 61A.
- **Transição T13B:** sinal de *feedback* aberto das válvulas falso.

- Voltar ao Passo S7.

As figuras a seguir apresentam a sequência de envase da linha 2 na máquina Pattyn 1, conforme descrito anteriormente e na Figura 54 e Figura 55. Na Figura 56 pode-se observar que, com a válvula VBA6110A aberta e as válvulas VBA6114A e VBA6183A fechadas, o produto que vem da recirculação do envase tem rota liberada para o tanque 61A. Na saída do tanque, a VBA6101A aberta e as demais válvulas fechadas, em conjunto com a bomba MBO601A ligada, faz a transferência do produto até a seção de pasteurização.

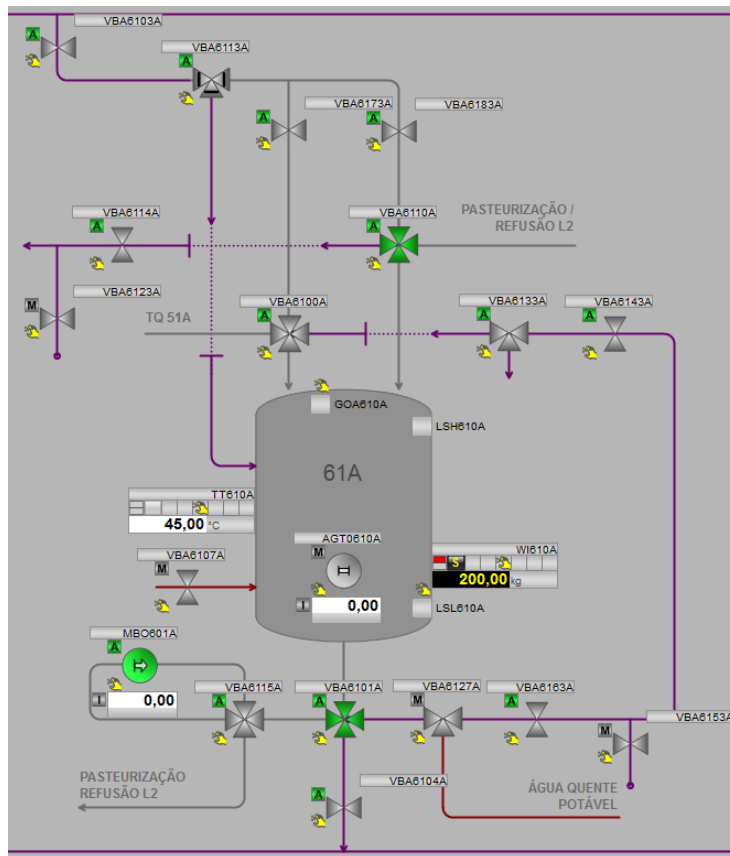
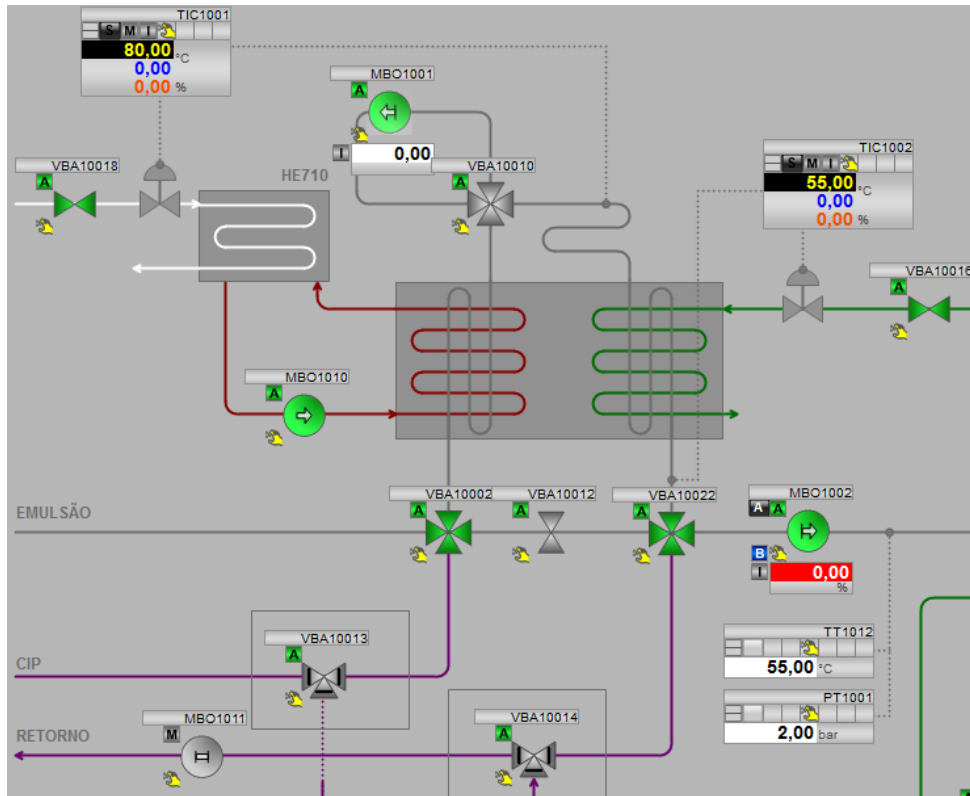


Figura 56 – Saída e recirculação do tanque 61A simulada via supervisório. Fonte: original.

No processo de pasteurização (Figura 57) as válvulas de entrada de vapor (linha branca) e de água (linha verde) estão abertas, VBA10018 e VBA10016 respectivamente, assim como as de entrada e saída de produto VBA10002 e VBA10022. As bombas de transferência de produto no pasteurizador, MBO1001, e de

saída para o cristalizador, MBO1002, estão ligadas em automático. As demais válvulas estão fechadas para assegurar a rota correta da margarina.



*Figura 57 - Processo de pasteurização simulado via supervisório.*

Na Figura 58 é possível observar que, na fase de cristalização, tem-se as válvulas de entrada de amônia (linha amarela) abertas para realizar o resfriamento do produto e os motores nos três estágios do cristalizador e do bater de pinos ligados em modo automático, em conjunto com as bombas MBO1006 e MBO1009, que fazem a recirculação de água no interior dos equipamentos.

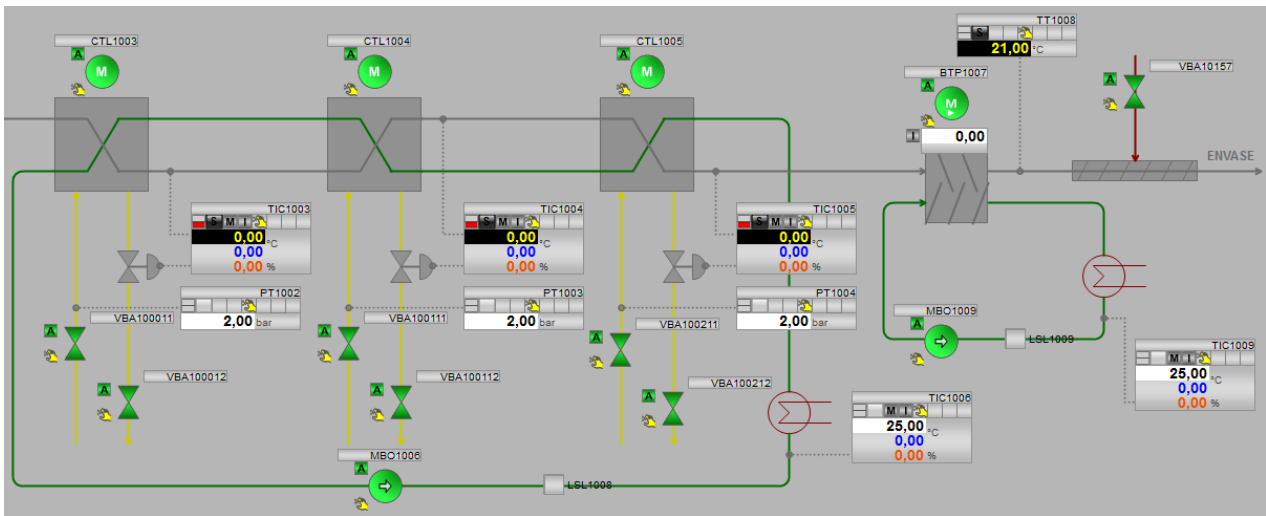


Figura 58 – Processo de cristalização e plastificação simulados via supervisorio.

No envase (Figura 59) é possível observar as válvulas de entrada e saída (VBA10112 e VBA10122) da envasadora Pattyn 1 abertas, juntamente com a válvula de *by-pass* da máquina Pattyn 2, a qual evita que a linha tenha excesso de pressão. As demais válvulas estão fechadas, garantindo a rota esperada para o produto.

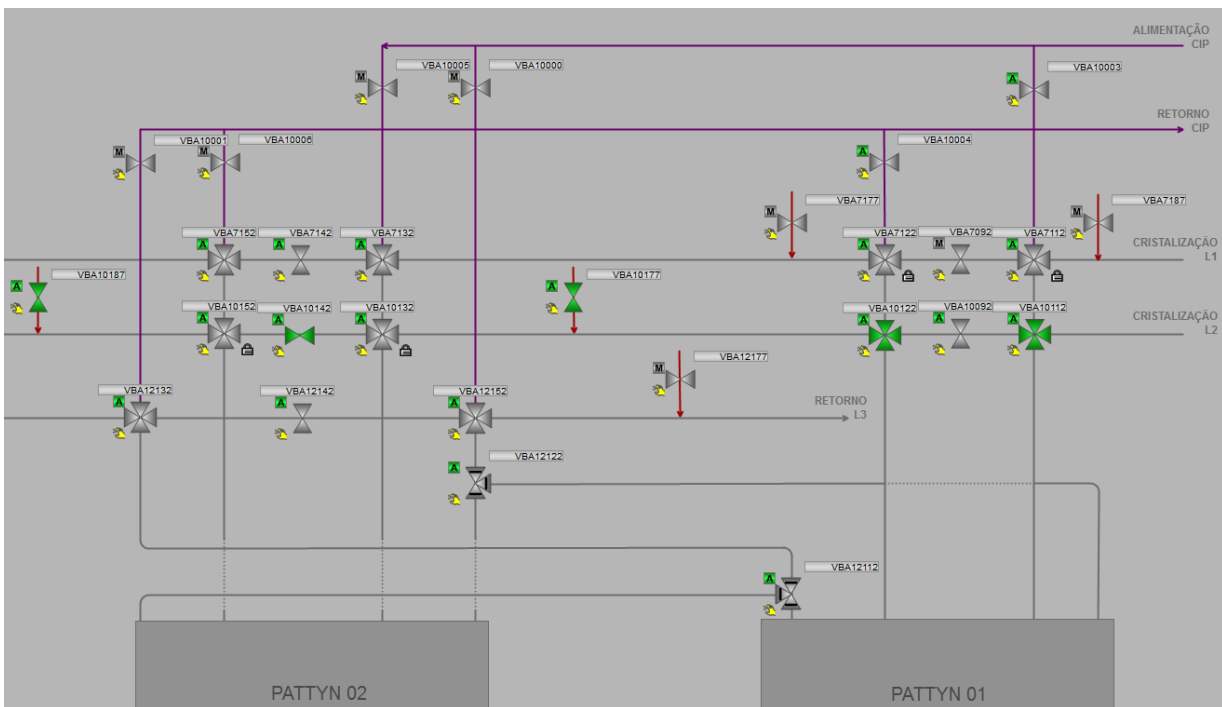


Figura 59 – Envase da linha 2 simulada via supervisorio.

Para a validação da condição de não-envase e da sequência de envase, pode-se simular a temperatura baixa no pasteurizador (Figura 60). A Figura 61 mostra que inicialmente as condições de envase estavam boas (estado S11 ativo), mas que em algum momento a transição T11A foi satisfeita, levando à abertura da válvula de *bypass* (VBA10092) e ao estado de verificação (S7), até que as condições voltem a ser satisfeitas.

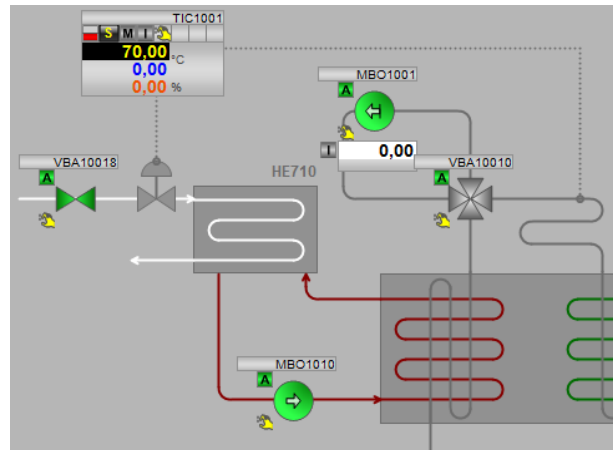


Figura 60 – Simulação da condição de temperatura baixa no pasteurizador. Fonte: original.

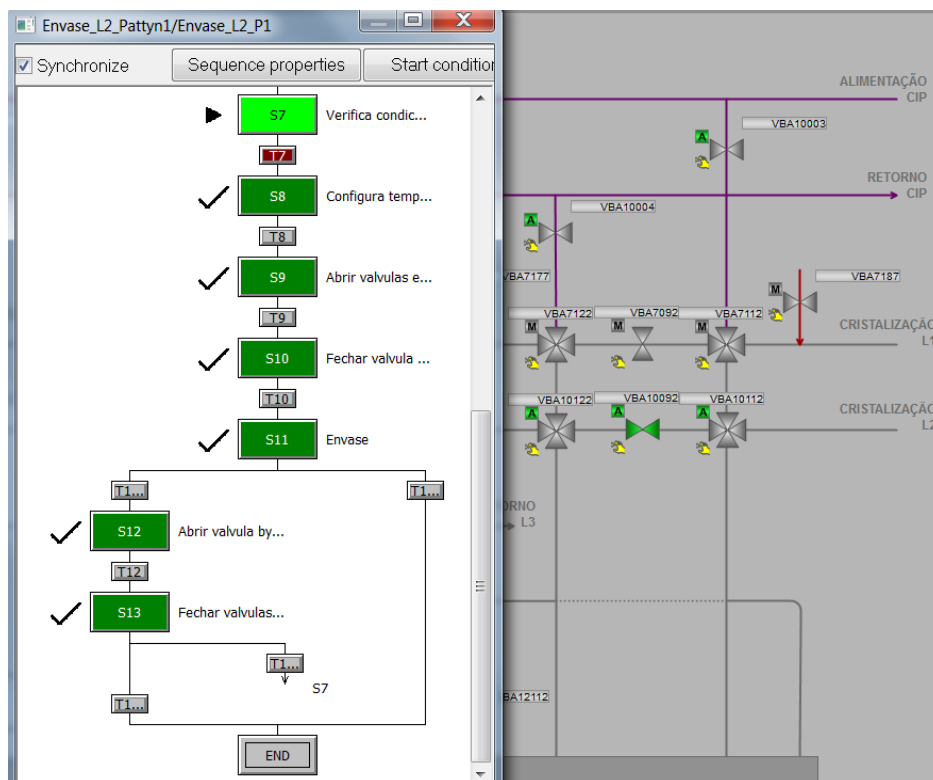


Figura 61 – Simulação da condição de não-envase na Pattyn 1. Fonte: original.

Os SFCs gerados precisam ser conectados aos CMs em que eles atuam. Essa conexão é realizada via *links* nas respectivas entradas dos blocos no CM. A imagem abaixo (Figura 62) mostra o bloco de um motor com algumas entradas e saídas conectadas. Além do bloco principal (normalmente de motores ou válvulas) os CMs contam com blocos de leitura dos sinais, analógicos ou digitais, que são conectados aos símbolos dos endereços de entradas e saídas do controlador.

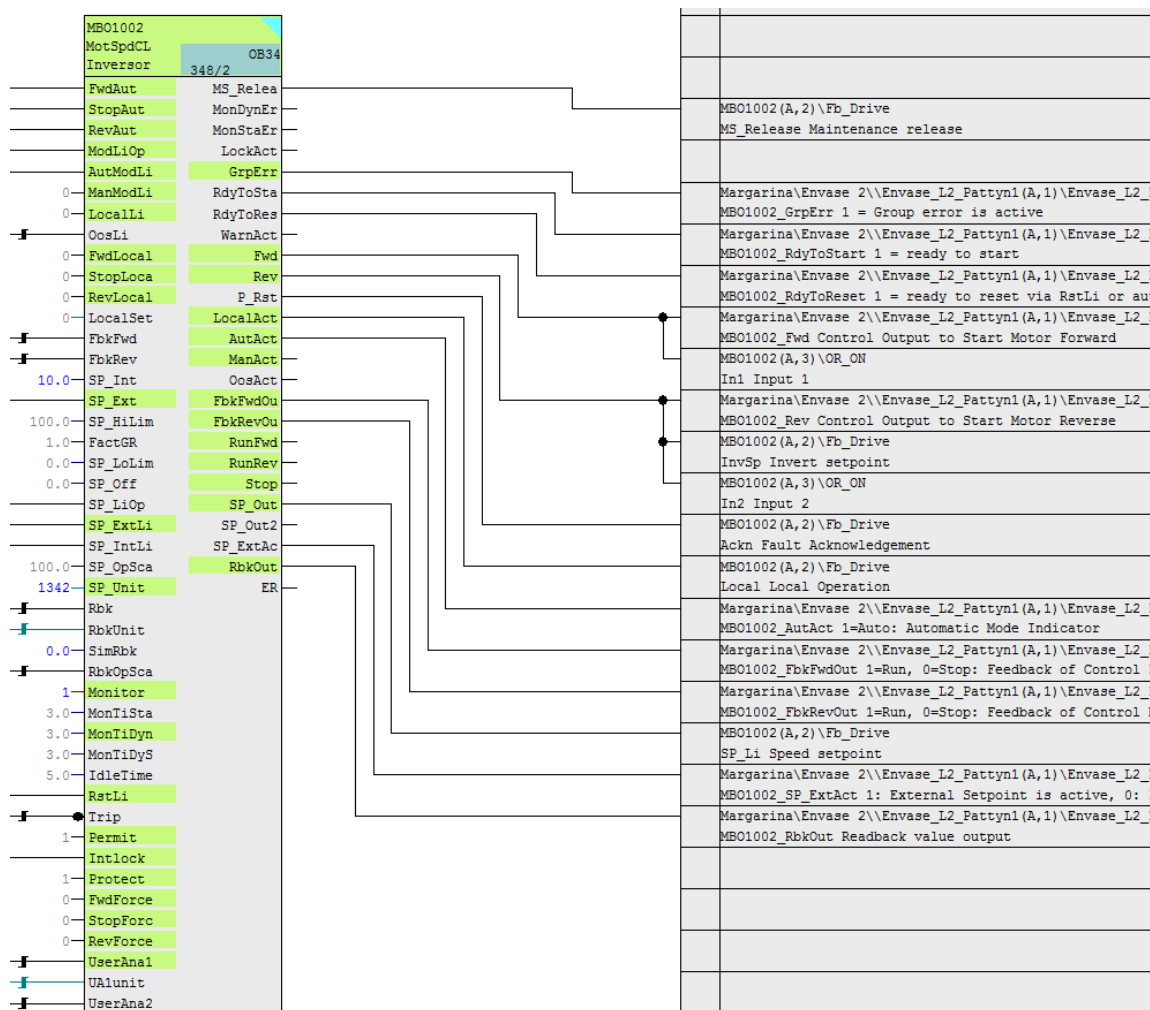


Figura 62 – Bloco da bomba MBO1002 com as indicações das saídas conectadas.

Fonte: original.

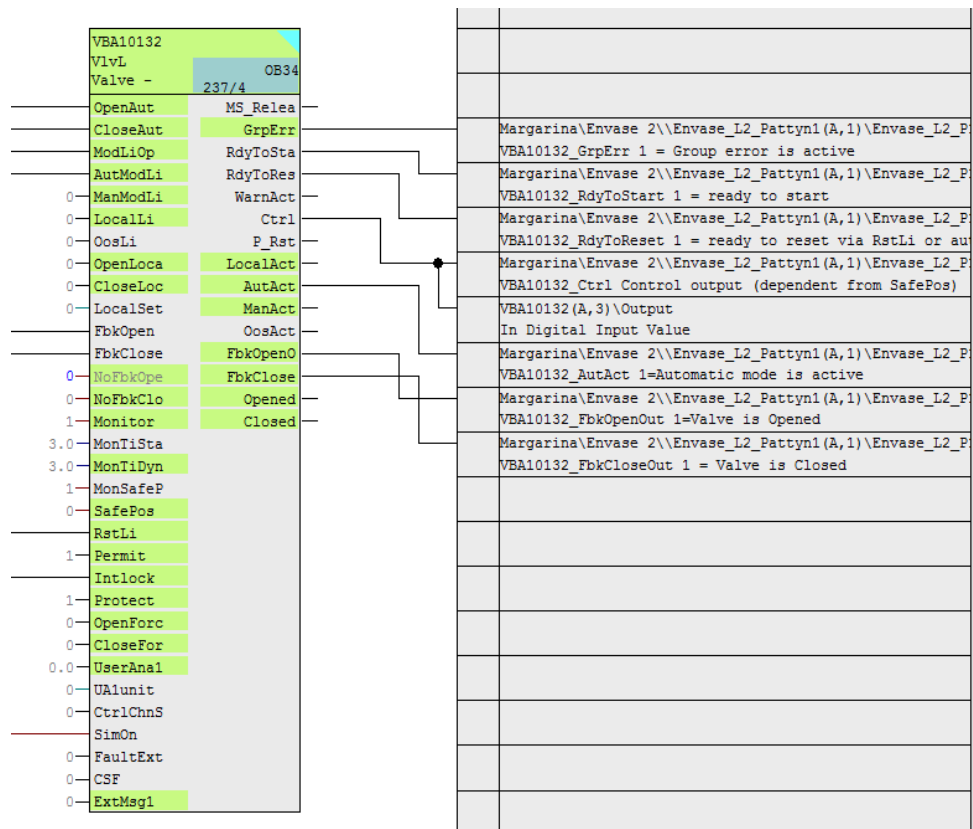


Figura 63 – Bloco da válvula VBA10132 com as indicações das saídas conectadas.

Fonte: original.

Os blocos de válvulas (Figura 63) e motores no PCS7 possuem uma entrada chamada Intlock que, quando desativada, desliga automaticamente o equipamento. Ele então só volta a ser acionado caso o sinal de intertravamento volte a ser unitário (desativado). A conexão feita nessa entrada vem de um bloco chamado Interlock (Figura 64), que basicamente realiza a operação AND ou OR entre seus sinais de entrada, conforme configurado.



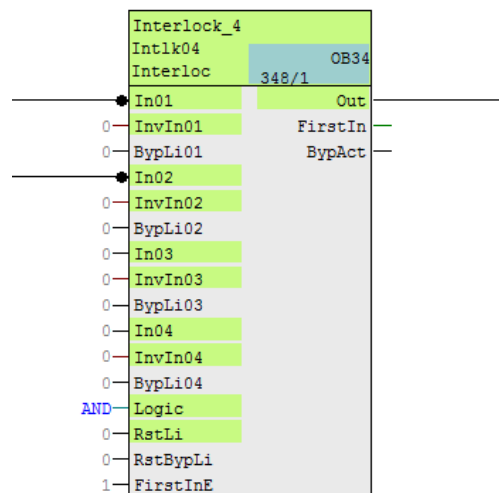


Figura 64 – Bloco de interlock do PCS7. Fonte: original.

Para as bombas o intertravamento realizado foi relativo aos transmissores de pressão mais próximos. Quando a pressão ultrapassa os valores máximos ou mínimos estipulados o bloco do transmissor dispara um alarme que conectado ao bloco Interlock, desativa a bomba. Esse intertravamento garante também que se uma válvula da linha bloquear a passagem de produto a bomba não é danificada.

Como as envasadoras são utilizadas para mais de uma linha e as linhas podem levar produtos para mais de uma envasadora, é necessário realizar o intertravamento entre as válvulas de alimentação do envase. Os requisitos são:

- Uma máquina de envase só pode envasar produtos de uma linha por vez;
- Uma linha de produção só pode alimentar uma envasadora por vez;

Para atender essas condições com o uso do bloco *Intlock* pode-se modelar a saída do bloco para cada válvula individualmente. Por exemplo, para a válvula VBA10112, de entrada de produto vindo da linha 2 para a envasadora Pattyn 1, o intertravamento fica:

$$\text{InterlockVBA10112} = (\text{VBA10132desligada}) \wedge (\text{VBA7112desligada})$$

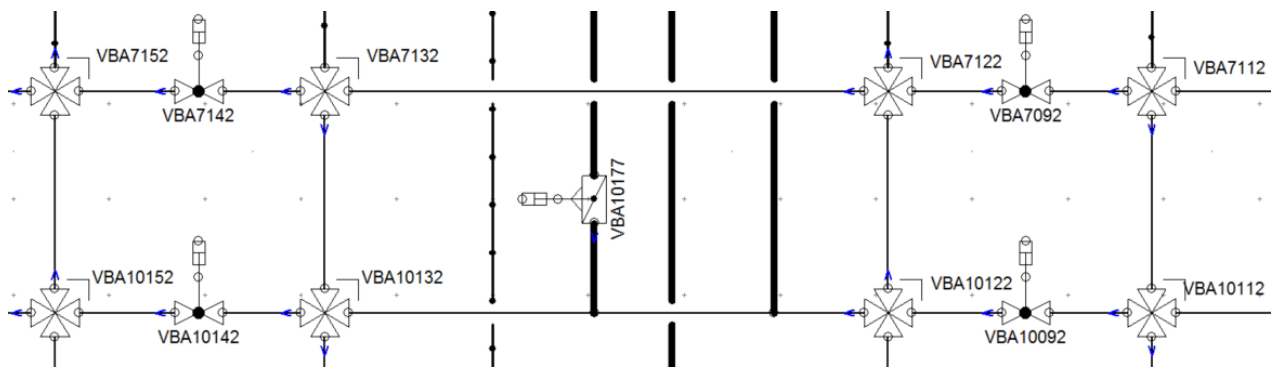


Figura 65 – Detalhe nas válvulas de envase das máquinas Pattyn 1 e Pattyn 2.

Fonte: original.

Na Figura 65 pode-se observar com mais detalhes as válvulas de envase nas máquinas Pattyn 1 e Pattyn 2. As válvulas com numeração inicial 7 pertencem à linha de produção 1, já as com início 10 são da linha 2. O conjunto de válvulas à direita corresponde à entrada (numeração final 12) e saída (final 22) de produto da Pattyn 1. O conjunto de válvulas à esquerda corresponde à entrada (numeração final 32) e saída (final 52) de produto da Pattyn 2.

Partindo da equação proposta para a VBA10112 pode-se desenvolver o intertravamento das demais válvulas de envase da Pattyn 1 e Pattyn 2:

- Pattyn 1:

$$\text{InterlockVBA10122} = (\text{VBA10152desligada}) \wedge (\text{VBA7122desligada})$$

$$\text{InterlockVBA7112} = (\text{VBA7132desligada}) \wedge (\text{VBA10112desligada})$$

$$\text{InterlockVBA7122} = (\text{VBA7152desligada}) \wedge (\text{VBA10122desligada})$$

- Pattyn 2:

$$\text{InterlockVBA10132} = (\text{VBA10112desligada}) \wedge (\text{VBA7132desligada})$$

$$\text{InterlockVBA10152} = (\text{VBA10122desligada}) \wedge (\text{VBA7152desligada})$$

$$\text{InterlockVBA7132} = (\text{VBA7112desligada}) \wedge (\text{VBA10132desligada})$$

$$\text{InterlockVBA7152} = (\text{VBA7122desligada}) \wedge (\text{VBA10152desligada})$$

Com essas conexões realizadas ao bloco *Intlock*, para a válvula VBA10122 abrir, por exemplo, as válvulas VBA10152 e VBA7122 precisam estar fechadas e, quando a VBA10122 abrir, as outras duas válvulas ficam bloqueadas fechadas.

Por meio da *Figura 59* também é possível analisar o intertravamento das válvulas de envase. As válvulas travadas estão representadas com um pequeno cadeado no canto inferior direito do seu ícone. Seguindo os intertravamentos propostos anteriormente, observa-se que com a abertura das válvulas de entrada e saída da Pattyn 1 os requisitos de que uma máquina de envase só pode envasar produtos de uma linha por vez, e, uma linha de produção só pode alimentar uma envasadora por vez, são cumpridos.

Os resultados de simulação da lógica com o sistema supervisor atendem às sequências desenvolvidas e aprovadas pelo cliente. Desse modo, pode-se dar continuidade ao trabalho com o desenvolvimento dos sistemas de batelada e simulação de processos. Outras conclusões quanto ao projeto e ao trabalho exposto serão abordadas no Capítulo 5.

#### **4.5. Quinta Visita**

Na última visita, antes da implantação (comissionamento) do projeto na planta, será realizado o treinamento de operadores com o *software* SIMIT. Assim será consolidado o funcionamento do sistema de controle proposto, com o sequenciamento da operação e intertravamentos de segurança implantados, juntamente com o sistema de controle de bateladas. Essa visita está programada para meados de agosto, sendo um dos desenvolvimentos futuros do projeto apresentado neste documento.

## Capítulo 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Ao longo deste documento foram apresentadas as etapas do projeto relativas à configuração de um sistema de controle distribuído em uma planta de produção de margarina, em um contexto de *retrofitting* da estrutura de controle e automação da planta. Do ponto de vista acadêmico, o trabalho tem como característica a multidisciplinaridade, envolvendo diversos conceitos vistos ao longo do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação, tais como: engenharia de processos, controle de sistemas a eventos discretos, instrumentação, acionamentos elétricos, redes industriais. O projeto também proporcionou a oportunidade de aprofundar os conhecimentos em modernas ferramentas de engenharia, utilizando-as para a solução de um problema real de automação no meio industrial.

A metodologia baseada em visitas e entregas proporcionou que as atividades parciais fossem validadas pelo cliente, mesmo que tenha sido dispendido grande tempo em retrabalho, principalmente devido à falta de documentação atualizada, falta de conhecimento dos operadores quanto às rotas dos produtos e do funcionamento dos equipamentos. Por esses motivos a programação passou por alguns ajustes, tanto por correções do cliente, quanto por visitas em campo e questionamentos aos operadores. Apesar dos problemas encontrados, o projeto está atendendo aos prazos predefinidos pelas empresas, sem necessidade de adiamentos nas datas de entrega.

A atualização da documentação da planta, como os diagramas P&ID, as listas de equipamentos, listas de entradas e saídas do controlador e remotas, gera um grande valor agregado ao projeto, sendo que facilitará as manutenções da planta, reduzindo os tempos de parada e aumentando a produção da fábrica. Quanto às sequências e lógicas de acionamento, pode-se dizer que, em simulações, atendem aos requisitos propostos, mantendo o funcionamento esperado da planta. As lógicas de intertravamento vão auxiliar os operadores na tomada de decisões, evitando que façam manobras erradas e aumentando a segurança da indústria.

Como perspectivas futuras, de imediato pode-se citar a continuidade no desenvolvimento do projeto. Ainda falta desenvolver algumas sequências, lógicas de acionamento e intertravamento para as demais linhas de produção da fábrica. Outras etapas fundamentais do projeto estão sendo iniciadas, como o desenvolvimento das

simulações no SIMIT e do sistema de bateladas no SIMATIC BATCH, sendo de responsabilidade do autor deste documento dar suporte e se aprofundar nas ferramentas para a etapa de testes de aceitação de campo e comissionamento, que estão marcados para início de setembro do ano corrente. Também pode-se citar os ajustes dos controladores PID, que estão previstos para serem realizados em fábrica. Devido ao planejamento do projeto, os desenvolvimentos faltantes não puderam ser incluídos neste documento.

Quanto a melhorias no trabalho e no processo de produção, observou-se em visitas técnicas que, em algumas situações, os cristalizadores não estavam conseguindo resfriar o produto até a temperatura ideal de envase. Foi possível analisar os controladores PID e a atuação das válvulas, que além de mal sintonizados, estavam limitando a atuação de controle. Para trabalhos futuros pretende-se propor a melhoria no processo de resfriamento do pasteurizador (etapa anterior à cristalização), diminuindo a temperatura que o cristalizador precisa atingir. Desse modo é possível ajustar a parametrização do controlador para não operar de maneira limitada, diminuindo o gasto com insumos, como vapores e amônia, além de melhorar a produção, evitando etapas de recirculação de produto.

O projeto possibilitou uma experiência de trabalho em equipe com engenheiros experientes na área de processos e automação industrial. Desse modo, o trabalho proporcionou grande aprendizado sobre o mercado de trabalho do Engenheiro de Controle e Automação em indústrias de processos, além de crescimento profissional com atribuições de responsabilidades e convivência em situações de multidisciplinaridade em que é necessário o aprendizado contínuo.

## REFERÊNCIAS

- [1] Bilfinger GreyLogix. Disponível em: <<http://greylogix.com/>>. Acesso em: 16 jan. 2018.
- [2] GreyLogix Brasil. Disponível em: <<http://www.greylogix.com.br/>>. Acesso em: 16 jan. 2016.
- [3] COAMO. Disponível em: <<http://www.coamo.com.br>>. Acesso em: 16 jan. 2018.
- [4] ANSI. ISA 5.1: **Instrumentation Symbols and Identification**. Durham: ISA, 2009.
- [5] MCAVINEW, Thomas; MULLEY, Raymond. **Control System Documentation: Applying Symbols and Identification**. ISA, 2004.
- [6] LIMA, Paula Pereira; TAVARES, Pedro Augusto Silveira; MOREIRA FILHO, Raimundo Nonato Fernandes. **PROJETO INDUSTRIAL: PRODUÇÃO DE MARGARINA**. 2017. 187 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2017.
- [7] LIMA, Joana Filipa Figueiras. **APLICAÇÃO E DEFINIÇÃO DE METODOLOGIAS PARA MELHORIA CONTÍNUA NO PROCESSO DE PRODUÇÃO NA ÁREA DAS MARGARINAS**. 2015. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia e Segurança Alimentar, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.
- [8] SIEMENS ENERGY & AUTOMATION. **DCS or PLC? Seven Questions to Help You Select the Best Solution**. Alpharetta: Siemens Energy & Automation, Inc, 2007.
- [9] IEC 61131-3: **Programmable controllers - Part 3: Programming languages**. Durham: IEC, 2013.
- [10] STEMMER, Marcelo Ricardo. **Sistemas distribuídos e redes de computadores para controle e automação industrial**. Apostila de aula, 2001.
- [11] ANSI. ISA 95.00.01: **Enterprise-Control System Integration - Part 1: Models and Terminology**. Durham: ISA, 2010.
- [12] CASSIOLATO, César. **Redes Industriais**. Smar Equipamentos Industriais Ltda, 2011.
- [13] NOGUEIRA, Thiago Augusto. **Redes de comunicação para sistemas de automação industrial**. Monografia Engenharia e Controle de Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.

- [14] ANSI. ISA 88.01: **Batch Control, Part 1: Models and Terminology Instrumentation**. Durham: ISA, 1995.
- [15] SIEMENS AG (Org.). **COMOS Platform Operation**. Nürnberg: Siemens, 2013.
- [16] SIEMENS AG (Org.). **SIMATIC PCS7 Process Control System**. Nürnberg: Siemens, 2018.