

VITOR AUGUSTO BIASI

**NORMAS ISA88 E ISA95 APLICADAS À PROGRAMAÇÃO DE
PLCs**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2022

VITOR AUGUSTO BIASI

**NORMAS ISA88 E ISA95 APLICADAS À PROGRAMAÇÃO DE
PLCs**

Tese apresentado ao curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Ramo de Energia e Controlo da Universidade do Algarve, como requisito para a obtenção de título de Mestre.

Tese realizado sob a orientação de:

Professor Doutor Ivo Manuel Valadas
Marques Martins.



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2022

NORMAS ISA88 E ISA95 APLICADAS À PROGRAMAÇÃO DE PLCs

DECLARAÇÃO DE AUTORIA DE TRABALHO

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências bibliográfica incluída.

© 2022, VITOR AUGUSTO BIASI

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

Dedicatória

*À minha esposa Rosallie do Bú Farias Biasi,
ao meu pai Claudio Ant3nio Della Flora Biasi,
à minha mãe Ana Cristina Maschio Marcks
e a minha irmã Jessica Biasi.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus por guiar meus caminhos, por me ter dado saúde e forças para enfrentar todos os desafios que surgiram ao longo do meu percurso académico. À minha esposa, Rosallie do Bú Farias Biasi, por ter me encorajado e acompanhado todo este percurso. Aos meus pais e minha irmã que me incentivaram e possibilitaram todo este caminho.

Tenho muita honra em agradecer ao Professor Doutor Ivo Manuel Valadas Marques Martins pela orientação e por me ter assegurado todas as condições necessárias ao desenvolvimento deste trabalho. Gostaria de destacar todos os conhecimentos que me transmitiu, o tempo que me concedeu, revisão deste texto e pelo incentivo que sempre manifestou.

Agradeço também o apoio do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, especialmente aos meus colegas do curso e aos Professores da Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica.

À todos um muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho visou essencialmente em compreender as normas ISA 88 e ISA 95 e seus impactos na programação do PLC.

A norma ISA 88 possui o papel de criar nomenclaturas e terminologias para criar divisões na fábrica, sejam com base nos aspetos físicos ou nos aspetos do processo de fabricação. Essa divisão possui o objetivo de facilitar o controlo da produção em *batches*. Essa divisão irá se refletir também no PLC de maneira que seja respeitada a hierarquia estabelecida.

A norma ISA 95 aborda a comunicação entre o PLC, SCADA/HMI, MES e ERP estabelecendo fronteiras de atuação e terminologias para as informações a serem trocadas. Pelo fato das camadas MES e ERP possuírem informações cruciais para a produção como, agendamento, quantidades de matéria-prima disponíveis, parâmetros de produção e quantidades a serem produzidas, é necessário que essas informações sejam enviadas ao PLC, de maneira que ele seja capaz de produzir. O PLC, por sua vez, será responsável por reportar todos consumos e eventos da produção, a fim de que os níveis superiores desempenhem seu papel.

No final deste trabalho, foi realizada um caso de estudo pratico onde aplicou-se as duas normas para a programação de um tanque de armazenamento para uma fábrica de lacticínios, onde a fabrica foi dividida seguindo, maioritariamente, a hierarquia física da norma ISA 88. O tanque era responsável por armazenar os produtos necessários e reportar a quantidade de matéria-prima utilizada.

Palavras-chave: Automação industrial alimentícia, Norma ISA 88, Norma ISA 95 e *Programmable Logic Controller*.

ABSTRACT

This work essentially aimed at understanding the ISA 88 and ISA 95 standards and their impacts on the PLC programming.

The ISA 88 standard has the role of creating nomenclatures and terminologies to establish divisions in the factory, whether based on physical aspects or aspects of the manufacturing process. This division has the objective of facilitating the control of production in batches. This division will also be reflected in the PLC so that the established hierarchy is respected.

The ISA 95 standard addresses communication between the PLC, SCADA/HMI, MES and ERP, establishing boundaries of action and terminology for the information to be exchanged. Because the MES and ERP layers have crucial information for production, such as scheduling, quantities of raw material available, production parameters and quantities to be produced, it is necessary that this information be sent to the PLC, so it has all parameters necessary to start production. The PLC, in turn, will be responsible for reporting all consumption and production events, so that the higher levels have all the information to do their functions.

At the end of this work, a practical case study was carried out where the two standards were applied for the programming of a storage tank for a dairy factory, where the factory was divided, mostly by the physical hierarchy of the ISA 88 standard. The tank was responsible for storing the necessary products and reporting the amount of raw material used.

Key words: Food industrial automation, ISA 88 standard, ISA 95 standard and Programmable Logic Controller.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
Capítulo 1 - Introdução	1
Capítulo 2 - ISA 88	3
2.1 – Modelo Físico	3
2.1.1 – <i>Enterprise</i>	4
2.1.2 – <i>Site</i>	5
2.1.3 – <i>Area</i>	5
2.1.4 – <i>Process Cell</i>	5
2.1.5 – <i>Unit</i>	9
2.1.6 – <i>Equipment Module</i>	11
2.1.7 – <i>Control Module</i>	12
2.2 – Modelo de Procedimento	13
2.2.1 – <i>Procedure</i>	14
2.2.2 – <i>Unit Procedure</i>	14
2.2.3 – <i>Operations</i>	14
2.2.4 – <i>Phases</i>	14
2.3 – Estado da Unit de acordo com a ISA88	14
Capítulo 3 – Visão da Au2mate para a norma ISA 88	15
Capítulo 4 – Norma ISA 95	17
4.1 – Hierarquia ISA 95	18
4.1.1 – Modelo de hierarquia de equipamentos	21
4.2 Modelos de troca de informações	24
4.2.1 Object Model	24
Capítulo 5 – Caso de estudo prático	35
5.1 – Norma ISA88 aplicada ao caso prático	36
5.1.1 – A01: Processamento do Leite	36
5.1.2 – A02: CIP	52
5.2 – Norma ISA95 aplicada ao caso prático	55
5.2.1 – <i>Process Segment 01: Receção</i>	56
5.2.2 – <i>Process Segment 02: Mixing</i>	57
5.2.3 – <i>Process Segment 03: Pasteurização</i>	58
5.2.4 – <i>Process Segment 04: CIP</i>	59
5.2.5 – <i>Coleta de Dados</i>	59
5.3 – Programação do PLC	60
5.3.1 - Estrutura do código	61
5.3.2 - UP01	63
5.3.3 - UP02 - CIP	66
5.3.5 - EM01 - Controlo de nível e agitação	69
5.3.5 - EM02 – Batch Control	73
5.3.6 - EM03 e EM04 – Event Control	76

<i>Capítulo 6 – Conclusão.....</i>	<i>81</i>
<i>Bibliografia.....</i>	<i>83</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama do Modelo Físico de acordo com a norma ISA 88 [4]	4
Figura 2 - Exemplo de uma Célula de Processo de acordo com a norma ISA 88 [7].....	6
Figura 3 - Exemplo de configuração de Process Cell em Single Path [4]	7
Figura 4 - Exemplo de configuração de Process Cell em Multi Path [4]	8
Figura 5 - Exemplo de configuração de Process Cell em Network	9
Figura 6 - Exemplo de uma Unidade de acordo com a Norma ISA 88 [8].....	11
Figura 7 - Exemplo de Control Modules definidos de acordo com a norma ISA 88 [9].....	12
Figura 8 - Diagrama do Modelo de Procedimento de acordo com a norma ISA 88 [6].....	13
Figura 9 - Hierarquia da visão da Au2mate para a norma ISA 88.....	15
Figura 10 – Hierarquia dos níveis de acordo com a norma ISA 95 [11]	18
Figura 11 - Hierarquia detalhada dos níveis de acordo com a norma ISA 95 [14].....	19
Figura 12 - Diagrama de comunicação entre os níveis 3 e 1/2 de acordo com a norma ISA 95 [14].....	20
Figura 13 - Modelo hierárquico físico apresentado pela norma ISA 95, baseado na norma ISA 88 [11].....	22
Figura 14 - Diagrama de Venn com as áreas de troca de informações [11].	25
Figura 15 – Diagrama de Venn com a informação sobre Production capability [11].	26
Figura 16 - Diagrama de Venn com as três principais áreas de informações que compõem o Product Definition de acordo com a norma ISA95 [11].	28
Figura 17 - Exemplo de aplicações para o Process Segment de acordo com a norma ISA95 [11].	29
Figura 18 - Diagrama de Venn com as três principais áreas de informações que compõem o Product Information de acordo com a norma ISA95 [11].	30
Figura 19 - Diagrama de Venn com as três principais áreas de informações que compõem o Process Segment de acordo com a norma ISA95 [11].....	32
Figura 20 - Diagrama de tubulação e instrumentação da fábrica que será utilizada para o estudo.	36
Figura 21 - Hierarquia da Area 01 até as Process Cells de acordo com a norma ISA88.....	37
Figura 22 - P&ID com A01C01U01 e A01C01U10 demarcadas.....	38
Figura 23 - P&ID com A01C01U11 demarcada.....	38
Figura 24 - Hierarquia com as Units que pertencem a A01C01: Receção do Leite	39
Figura 25 - Equipment Modules presentes na A01C01U01	41
Figura 26 - Hierarquia com as diferentes Unit Procedures presente na A01C01U10.	42
Figura 27 - Hierarquia com as diferentes Unit Procedures presente na A01C01U11.	44
Figura 28 - Hierarquia com as Units pertencentes a A01C02.	45
Figura 29 - P&ID da A01C02 onde as Units se encontram destacadas.....	45
Figura 30 - Hierarquia com as Unit Procedures pertencentes a A01C02U03 Linha de enchimento.	47
Figura 31 - Rotas do produto pertencentes a UP01 e UP02 da A01C02U04.	48
Figura 32 - P&ID para a A01C03 - Pasteurização.....	49
Figura 33 - Hierarquia com as Units que compõem a Process Cell 01 da Area 01.	50
Figura 34 - P&ID com as Units destacadas para a Process Cell 04.....	51

Figura 35 - P&ID com as Units que pertencem ao Process Cell 01 da Area 01.....	53
Figura 36 - Hierarquia de acordo com a norma ISA 88 com as Units que compõem a A02C01 (Instalação do CIP).	53
Figura 37 - Relação do Material ID, Process Segment e parâmetros de produção entre os níveis 1,2 e 3.....	56
Figura 38 - Estrutura da programação no TIA Portal V17.	61
Figura 39 - Organização do código dentro da Unit.....	62
Figura 40 - Estrutura da informação de interface com o nível SCADA/HMI	62
Figura 41 - Programação da UP01 para A01C02U01 em TIA Portal V17.	65
Figura 42 - Função da Unit Procedure 01 com suas entradas e saídas.	65
Figura 43 - Programação da UP02 para A01C02U01 em TIA Portal V17.	68
Figura 44 - Programação dos Control Modules a serem controlados diretamente pela UP02.	69
Figura 45 - Função da Unit Procedure 02 com suas entradas e saídas.	69
Figura 46 - Parâmetros de configuração do EM01.	71
Figura 47 - Programação do EM01 para A01C02U01 em TIA Portal V17.	72
Figura 48 - Programação dos sinais gerados pelo EM01 em TIA Portal V17.....	72
Figura 49 - Programação do Control Module a ser controlado pelo EM01 com suas entradas e saídas em TIA portal V17.	73
Figura 50 - Modelo do Batch a ser gerado pelo EM02.....	74
Figura 51 - Programação do EM02 para A01C02U01 em TIA Portal V17.	75
Figura 52 - Função do Equipment Module 02 com suas entradas e saídas.....	75
Figura 53 - Programação do EM03 e EM04 para A01C02U01 em TIA Portal V17.....	78
Figura 54 - Função do EM03 e EM04 com suas respectivas entradas e saídas.....	79

ÍNDICE DE Tabelas

Tabela 1 - Materiais que estão contidos no Process Segment da Receção.	57
Tabela 2 - Materiais que podem ser produzidos pelas unidades A01C02U01 e A01C02U01, que pertencem ao Mixing Process Segment.	57
Tabela 3 - Materiais que podem ser consumidos pelas unidades A01C02U01 e A01C02U01, que pertencem ao Mixing Process Segment.	57
Tabela 4 - Parâmetros do Product Definition que serão utilizados para produzir os materiais que pertencem ao Mixing Process Segment.	58
Tabela 5 - Materiais que podem ser produzidos pelos Units que estão inseridas no A01C04.	58
Tabela 6 - Parâmetros do Product Definition que serão utilizados para produzir os materiais que pertencem ao Process Segment de pasteurização.	58
Tabela 7 - Programas de limpeza que poderão ser utilizados para limpeza por todos os equipamentos.	59
Tabela 8 - Máquina de estados para a UP01 da A01C02U01.....	63
Tabela 9 - Máquina de estados para a UP02 da A01C02U01.....	66
Tabela 10 - Máquina de estados para o EM01 da A01C02U01.	69
Tabela 11 - Máquina de estados para o EM02 da A01C02U01.	73
Tabela 12 - Máquina de estados para o EM03 e EM04 da A01C02U01.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PLC – *Programmable Logic Computer*

ISA – *International Society of Automation*

FDA – *Food and Drug Administration*

CIP – *Cleaning in Place*

P&ID – *Piping and Instrumentation Diagram*

EM – *Equipment Module*

CM – *Control Module*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

HMI – *Human Machine Interface*

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*

MES – *Manufactory Executions System*

IEC – *International Electrotechnical Commission*

UP – *Unit Procedure*

U – *Unit*

C – *Process Cell*

A – *Area*

FB – *Function Block*

Capítulo 1 - Introdução

A *International Society of Automation* (ISA) é uma das maiores organizações sem fins lucrativos focada em definir padrões e educar profissionais da indústria de automação. Desde 1949, a ISA é reconhecida como a fonte especializada em normas de consenso da indústria de sistemas de automação e controle. As normas ISA auxiliam os profissionais de automação com o objetivo de otimizar os processos e melhorar a segurança, a eficiência e a lucratividade do setor. [1]

A norma *Batch Control*, conhecida também como norma ISA 88, consegue exemplificar a redução de custos de automação através do seu uso aplicado em indústrias alimentícias, farmacêuticas e químicas. Isso ocorre porque a norma ISA 88 reduz em até 30% o custo do projeto do sistema e do software usado nessas indústrias, estabelecendo um plano para ser possível a reutilização dos códigos de programação ao invés de programar todos os processos e equipamento desde o início. A redução de custo vai além do desenvolvimento da instalação, pode ser alcançado uma redução de 15% para atenderem os critérios de confiabilidade na automação pela *U.S Food and Drug Administration* (FDA). [1]

Além disso, as normas ISA conseguem padronizar estruturas de programação como, por exemplo, de *Programmable Logic Controllers* (PLCs), facilitando a compreensão e manutenção dos códigos por todos os programadores dentro de uma empresa de automação globalizada. Isso significa também que, através desta padronização há maior compreensão do código tanto por parte do programador quanto por parte do gestor da fábrica. [1]

O presente trabalho será realizado no âmbito de estágio curricular na empresa Au2mate Portugal, localizada em Faro. A Au2mate desenvolve soluções completas de automação de acordo com as normas ISA 88 e ISA 95. As suas soluções enfatizam um alto nível de facilidade de uso, confiabilidade operacional e uso otimizado das tecnologias a fim de minimizar os resíduos, consumo de energia e pegadas de carbono. O trabalho possui o intuito de introduzir e explicar brevemente as normas, ISA 88: *Batch Control* [2] e ISA 95: *Enterprise-Control System Integration* [3] e relacioná-las com a maneira que elas afetam e padronizam a estrutura do código de programação do PLC, além da realização de um caso pratico para a uma fábrica de lacticínios.

O trabalho possui o seguinte plano para 1 ano. A primeira etapa consiste na pesquisa bibliográfica e está prevista para ocorrer entre outubro e dezembro de 2021. A segunda etapa é a análise da norma ISA88 e ISA95 e suas implementações e utilidades que está prevista a ser realizada entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2022. A terceira etapa é constituída pela revisão da documentação esquemática da instalação dos diferentes processos de fabrico, desenvolvimento de documentação com base na norma ISA88 para a elaboração da programação no PLC, programação dos processos no PLC. Já a quarta e última etapa abrange a escrita do relatório de estágio com data prevista de realização entre maio e julho de 2022.

Este relatório está organizado em seis capítulos. No presente capítulo, é apresentado uma introdução geral sobre as normas ISA 88: *Batch Control* e ISA 95: *Enterprise-Control System Integration*, uma breve explicação da relação entre ambas as normas com o código de programação do PLC e o objetivo deste relatório.

No Capítulo 2 será introduzido e explicado brevemente a norma ISA 88: *Batch Control*.

No Capítulo 3 será apresentado a visão de uso da norma ISA 88 pela empresa Au2mate.

No Capítulo 4 será introduzido e explicado brevemente a norma ISA 95: *Enterprise-Control System Integration*.

No Capítulo 5 será implementado as duas normas apresentadas neste trabalho em um caso pratico de programação de PLC para o caso pratico de uma fábrica de lacticínios.

Capítulo 2 - ISA 88

A norma ISA 88 foi aprovada pela *International Society of Automation* no ano de 1995 e possui como objetivo definir modelos e terminologias direcionadas ao *Batch Control*, na tentativa de padronizar e facilitar a integração, comunicação e configuração de lotes de produção. Consequentemente esta norma reduz o tempo de implementação de novos produtos, permite que os usuários identifiquem as suas necessidades, faz com que o desenvolvimento de receitas para os produtos sejam mais simples e reduz os custos de automação. Esta norma não tem o intuito de definir um método único de aplicação, por isso é muito comum que diferentes documentos baseados no ISA 88 cheguem a diferentes conclusões, isso contribui a sua adoção assim como facilita a sua adaptação conforme as necessidades do utilizador. [4]

Pelo fato de direcionar-se a todos os aspetos da manufaturação, fornece ferramentas para a definição dos processos e define a maneira pela qual os equipamentos devem funcionar, seja manualmente, totalmente automatizada ou parcialmente automatizada. Apesar da norma focar na automação de *Batch Processes*, é possível que esta seja utilizada para outros métodos de produção, visto que este método requer quase todos os tipos fundamentais de controlo encontrados em outros métodos. [5]

Esta norma define *Batch Control* como sendo um processo que leva à produção de uma quantidade de material, submetendo estes materiais de entrada a um conjunto ordenado de processos ao longo de um período. Esta norma define dois modelos de divisão de fábrica, o primeiro é o modelo físico e o segundo é o modelo de procedimento. [6]

2.1 – Modelo Físico

O modelo físico é utilizado como uma maneira de separar toda a infraestrutura física da indústria em espaços menores. Além disso, o modelo físico é a base para todos os outros conceitos envolvidos no *Batch Control*, como: processos de fabricação e gestão da receita. [6]

Na Figura 1, apresenta-se um exemplo de como é dividida a hierarquia da fábrica de maneira a alcançar a produção do produto final:

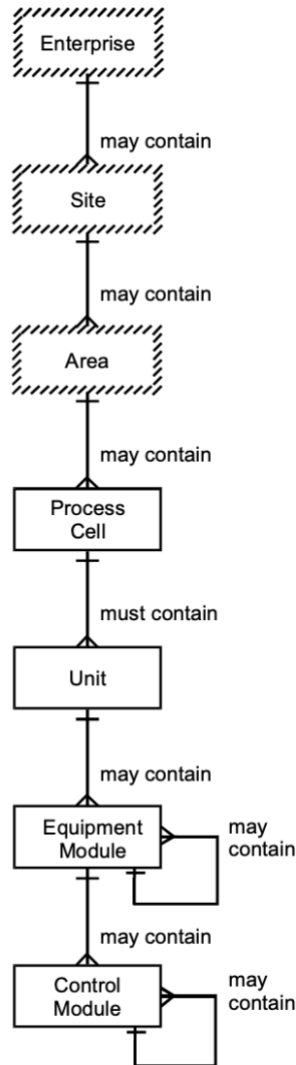


Figura 1 – Diagrama do Modelo Físico de acordo com a norma ISA 88 [4]

Os três primeiros níveis (*Enterprise*, *Site* e *Area*) são frequentemente definidos pela gestão da empresa e possuem o objetivo de estabelecer uma relação correta com os níveis mais baixos e encontram-se destacados, pois indica que os critérios de definição dos limites desses níveis estão além do ISA 88. [4]

2.1.1 – *Enterprise*

A empresa (*Enterprise*) é uma coleção de um ou mais locais (*Sites*), e pode conter ou não todos os níveis abaixo dele mostrados na Figura 1. [4]

A empresa é responsável por determinar quais produtos serão fabricados e em quais locais, além de definir o processo para a produção do mesmo. [4] Como por exemplo: *Kellogg's Company*.

2.1.2 – Site

O *Site* é definido pela localização geográfica, tendo os seus limites definidos consoante a necessidade da empresa e é comumente baseado em critérios de gestão ao invés de critérios técnicos, por esse motivo, o ISA 88 não define as fronteiras do local. [4] O exemplo de um *site* é uma fábrica localizada em Manchester.

2.1.3 – Area

Como dito anteriormente, o ISA 88 não define as fronteiras para a *Area* pelo fato de estar muito mais relacionado com a gestão da empresa do que a parte técnica do processo de fabricação. A *Area* pode conter *Process Cell*, *Unit*, *Equipment Model* e *Control Module* [4]. Como por exemplo: Uma fábrica de cereais.

2.1.4 – Process Cell

A *Process Cell* contém todas as *Units*, *Equipment Modules* e *Control Modules* necessários para se produzir um lote, ou seja, possui todos os equipamentos como: válvulas, tanques, tubos e entre outros, desde a entrada da matéria-prima até o processo final do produto. [4]

A *Process Cell* permite que haja o agendamento da produção e conseqüentemente permite o agendamento do CIP, que é a limpeza de todos os equipamentos através da circulação de químicos dissolvidos em água por onde houve a produção. Além disso, permite que seja definido uma estratégia de controlo para todo esse conjunto de equipamentos. [4]

Na Figura 2, apresenta-se um exemplo de *Process Cell* juntamente com todos equipamentos contidos nele.

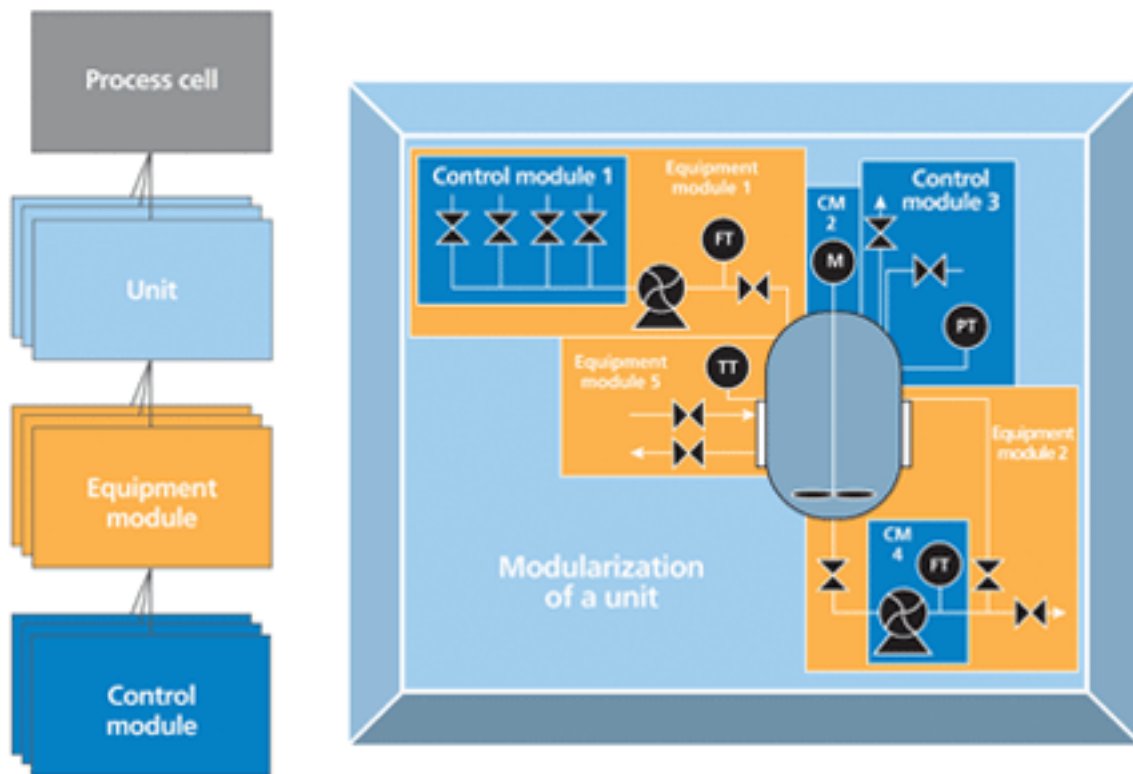


Figura 2 - Exemplo de uma Célula de Processo de acordo com a norma ISA 88 [7]

Outro aspecto do *Process Cell* é a sua classificação. A classificação pode ser feita pelo número de diferentes produtos que a célula irá produzir, produto único ou multiproduto, ou pela estrutura física do equipamento utilizado, *single path* (caminho único), *multi path* (multicaminhos) e *network* (rede). [4]

De acordo com a classificação pelos produtos, um *process cell* é classificado como de produto único quando ela produzir o mesmo produto em diferentes lotes de produção, podendo haver leves diferenças entre lotes para compensar algumas diferenças na qualidade do produto ou no próprio equipamento. Ele será classificado como multiprodutos quando houver a produção de diferentes produtos, pela mudança da receita ou pela alteração dos processos de fabrico. [4]

A estrutura *single path* é caracterizada pelo fato do produto ser processado de maneira sequencial ao longo das unidades que estão dentro da célula de processo ou da mesma unidade. Na Figura 3, temos uma representação da configuração física dos equipamentos para se constituir um *process cell* de caminho único. [4]

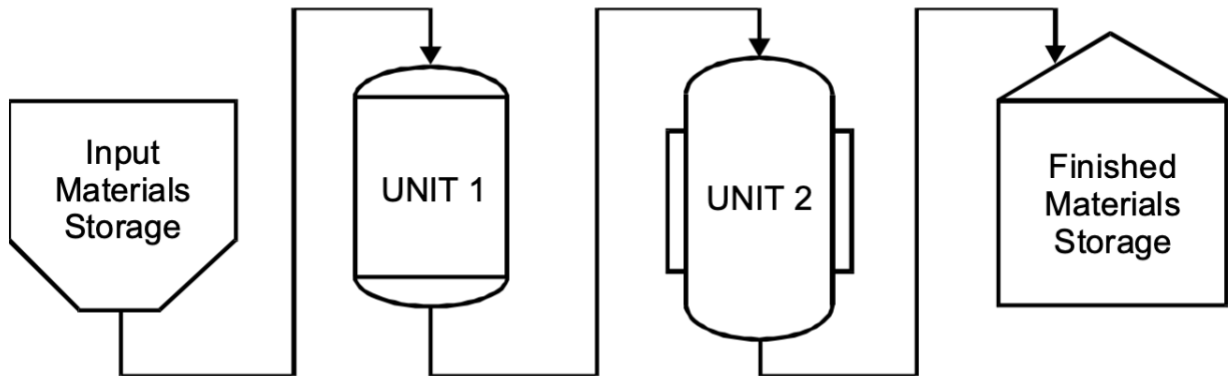


Figura 3 - Exemplo de configuração de Process Cell em Single Path [4]

A estrutura em multi path é determinada pelo uso em paralelo das unidades, porém sem transferência de produto entre elas. Além disso, cada unidade poderá estar processando diferentes produtos. [4]

Na Figura 4, apresenta-se um exemplo da configuração física para o *multi path*.

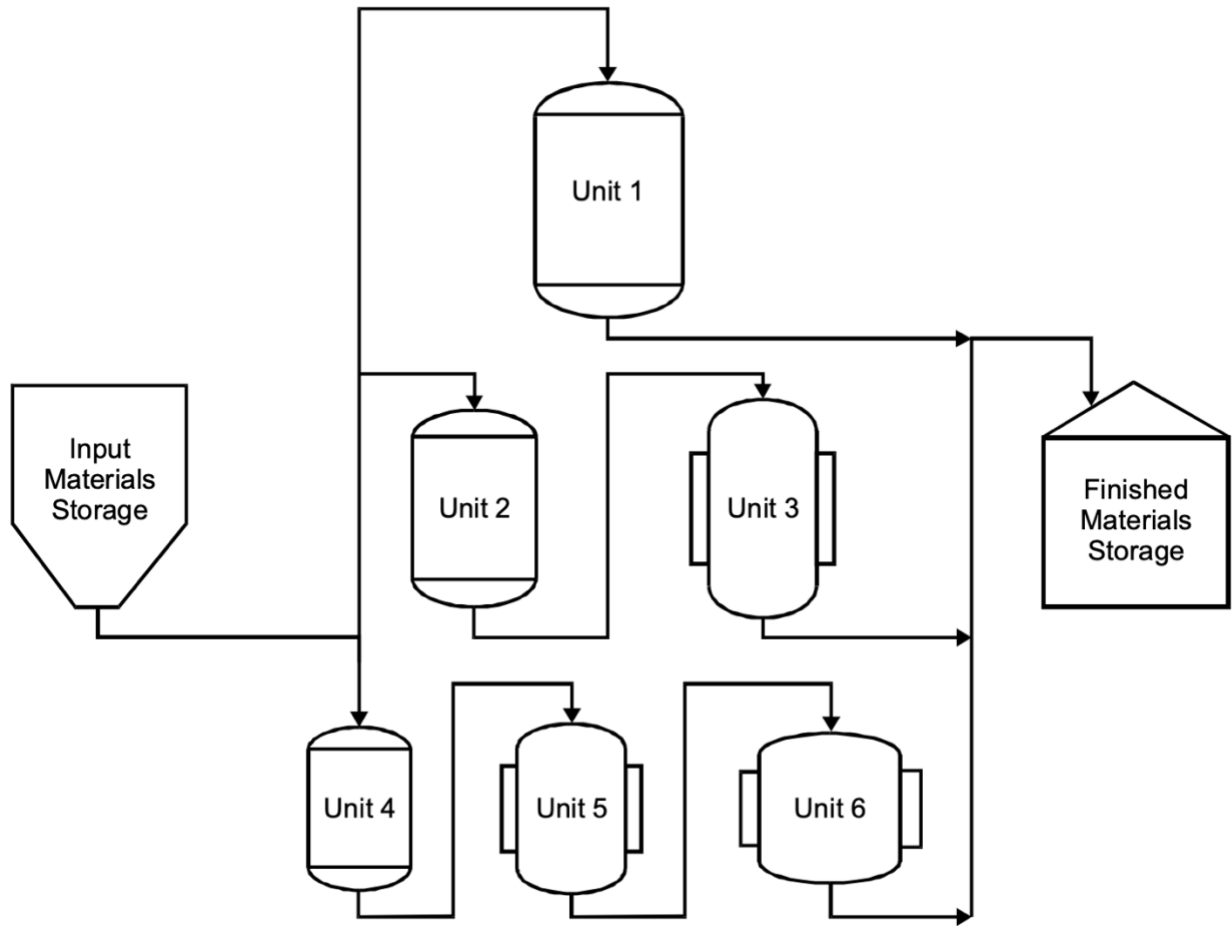


Figura 4 - Exemplo de configuração de Process Cell em Multi Path [4]

A classificação *network* é utilizada quando há transferência de produto entre as unidades, podendo esta transferência ser variável de acordo com o produto que está a ser fabricado. Na Figura 5, temos um exemplo da configuração física para a classificação em *network*.

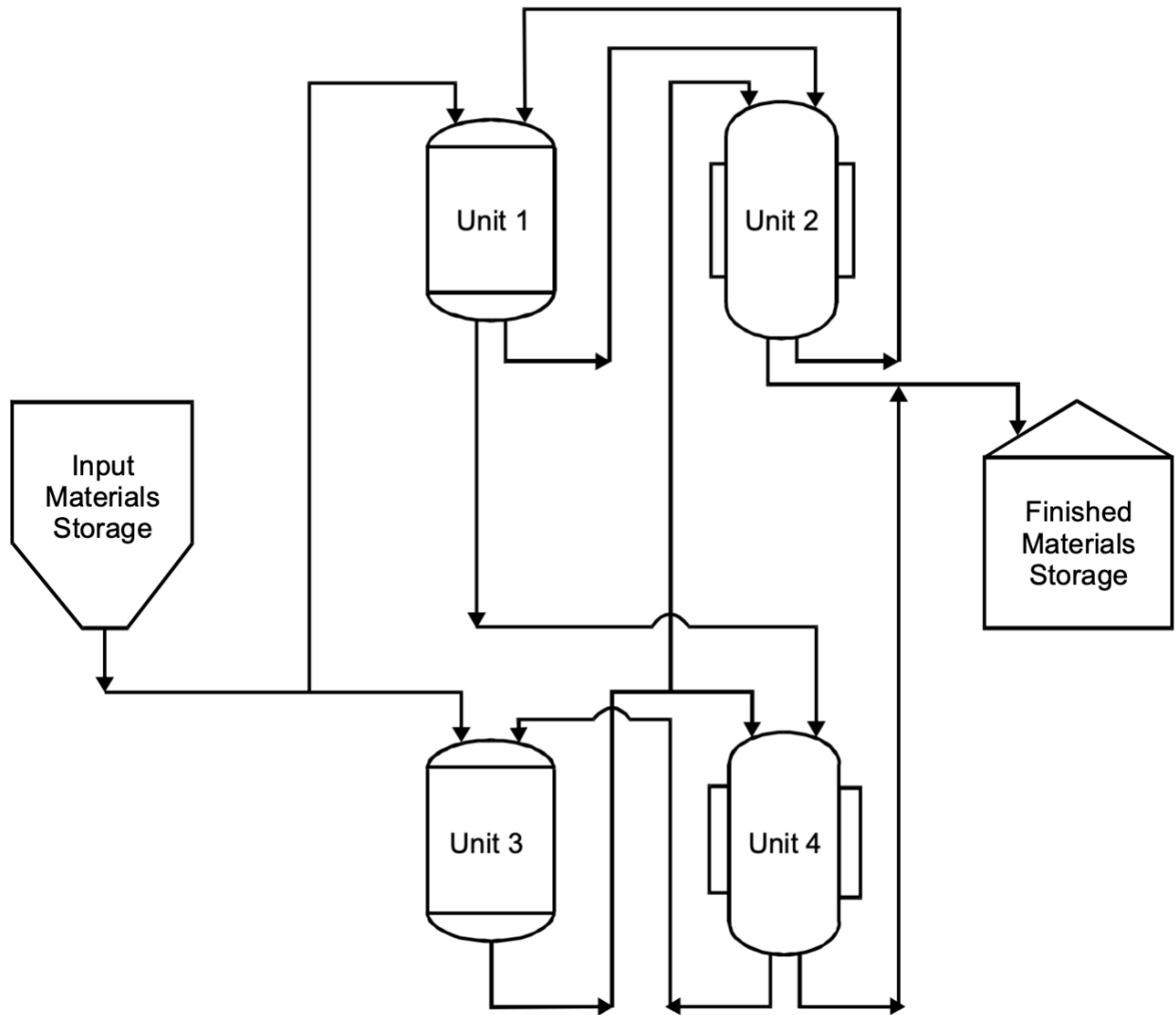


Figura 5 - Exemplo de configuração de Process Cell em Network

2.1.5 – Unit

A *Unit* será composta por *Control Modules* e por *Equipment Modules* em ambos os casos, é possível que seja fixos para aquela unidade ou então que sejam adquiridos por aquela unidade momentaneamente para desempenhar uma determinada função, por isso eles são chamados de *Shared Control Module* e *Shared Equipment Module*. [4]

A *Unit* pode contar com dois ou mais processos principais como: Pasteurização ou cristalização. Ela combina todos os equipamentos e processos físicos necessários para a

desempenhar uma determinada função. Geralmente a *Unit* é centralizada em um equipamento com um papel fundamental no processo como um tanque de resfriamento. [4]

Outro aspecto físico da *Unit* é a possibilidade de ser necessário o uso de outros equipamentos para que ela conclua seu processo, como por exemplo do tanque necessitar de uma linha de enchimento e outra de esvaziamento para que ele desempenhe seu papel. Porém, ainda é possível que algumas unidades operem de forma independentes uma das outras. [4]

A norma ISA 88 não prevê que uma *Unit* opere mais de um *Batch* ao mesmo tempo, porém, poderá processar uma parte ou toda a porção do mesmo. [4]

Na Figura 6, temos um exemplo de Unidade representada através de um diagrama de instrumentação e tubulação (P&ID).

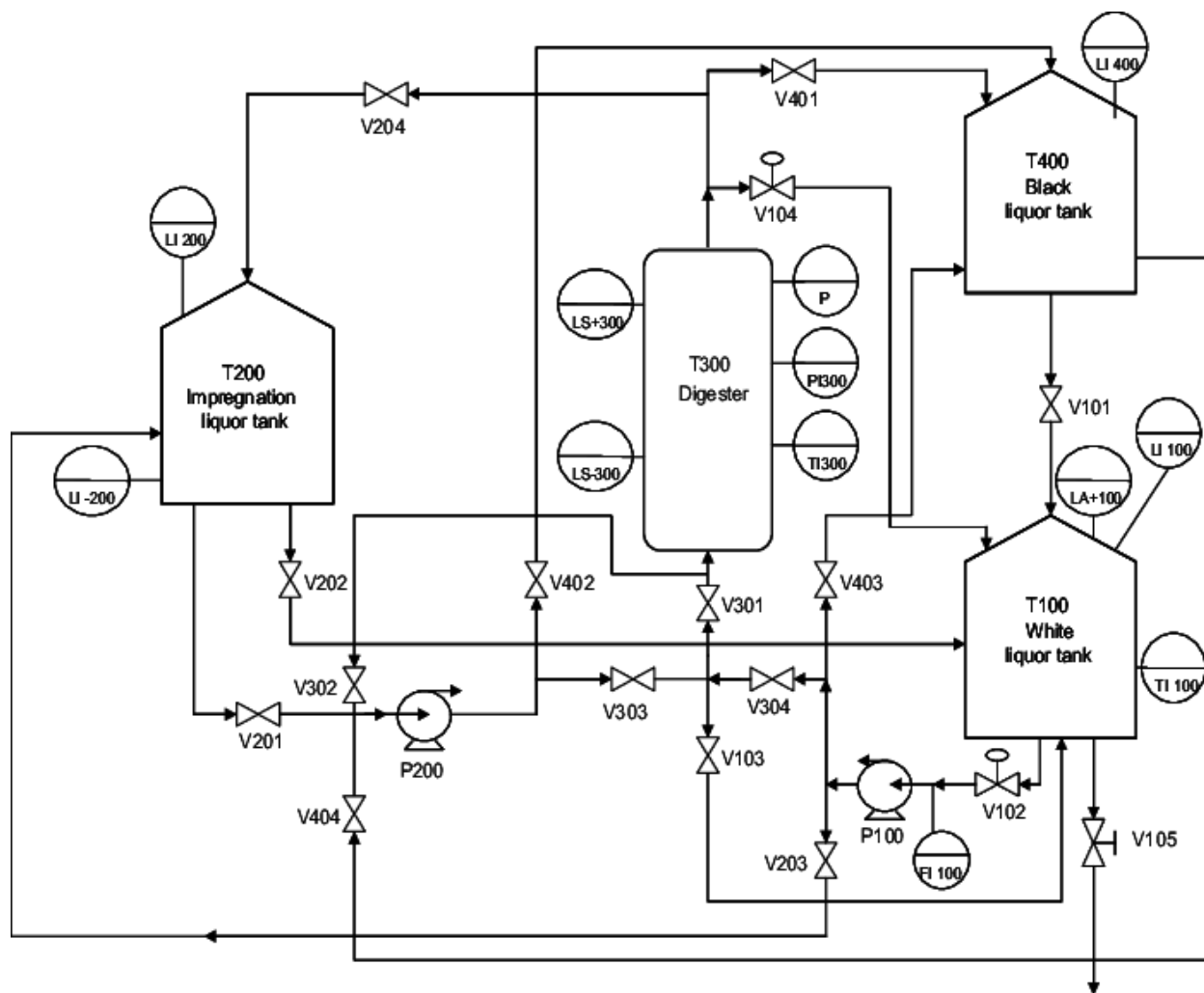


Figura 6 - Exemplo de uma Unidade de acordo com a Norma ISA 88 [8]

2.1.6 – Equipment Module

Como dito anteriormente, o *Equipment Module* poderá ser de uso exclusivo de uma *Unit* ou ser compartilhado por diversas. O EM tem a função de realizar processos de menor importância como: Pesagem e dosagem, combinando todos os processos físicos e controle dos equipamentos para realizá-la. [4]

Na Figura 7, indica-se alguns exemplos de divisões do *Equipment Module* de acordo com a norma ISA 88 no P&ID.

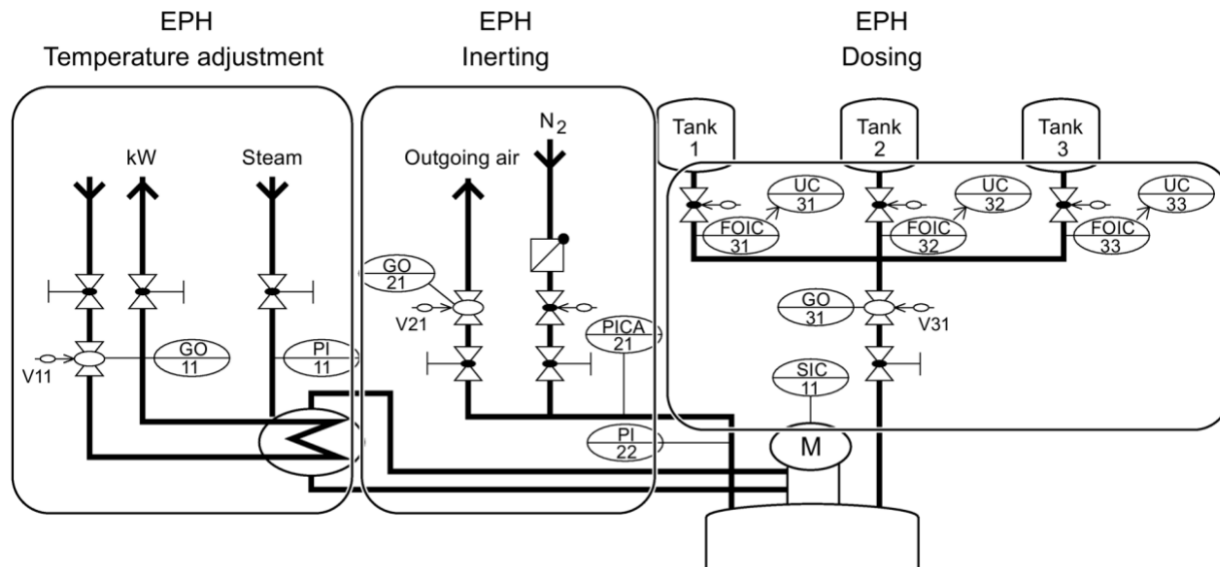


Figura 7 - Exemplo de Control Modules definidos de acordo com a norma ISA 88 [9]

Podemos observar na figura acima, que os EMs foram definidos de acordo com as suas funções a serem desempenhadas, sendo elas: ajuste de temperatura, doseamento e inertização (que é um processo de se introduzir um gás inerte em um espaço confiando a fim de retirar um gás já presente que apresenta algum perigo). [10]

2.1.7 – Control Module

Control Module é uma coleção de sensores, atuadores ou diferentes equipamentos, que serão operados como sendo uma única entidade. O CM poderá também ser composto por outros módulos de controle.

São alguns exemplos de *control module*: Um dispositivo regulador que consiste em um transmissor, um controlador e uma válvula que é operado através de um *setpoint*, uma válvula com sensores de posição que é operada por um *setpoint* ou um conjunto de válvulas que possui o objetivo de direcionar o fluxo de acordo com o *setpoint*.

2.2 – Modelo de Procedimento

Diferentemente do modelo físico, o modelo de procedimento é menos focado nos aspetos físicos da instalação e descreve como o processo de fabricação e *Batch* devem prosseguir. Este modelo possui 4 divisões, sendo elas: *Procedure* , *Unit Procedure*, *Operations* e *Phases*. [6]

Na Figura 8 temos um exemplo de hierarquia de acordo com a norma ISA 88 para o modelo de procedimento:

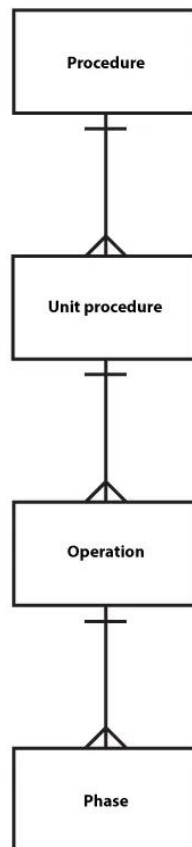


Figura 8 - Diagrama do Modelo de Procedimento de acordo com a norma ISA 88 [6]

2.2.1 – Procedure

Por possuir a maior hierarquia, ele define o processo e a restante divisões, porém deixando de lado todos os detalhes da produção. Como por exemplo: Produzir mostarda [6].

2.2.2 – Unit Procedure

Uma *unit procedure* consiste num conjunto de operações que será realizado no produto, como por exemplo: fermentação. Não pode ser realizado mais do que uma *Unit procedure* ao mesmo tempo na mesma *Unit* do modelo físico [6].

2.2.3 – Operations

As *operations* são definidas quando ocorre alguma alteração química ou física no produto, como por exemplo: Mistura de ingredientes [6].

2.2.4 - Phases

Estando esta no último nível da hierarquia, ela é constituída por comandos que resultam em ações, como por exemplo: Atuação de válvula que resulta na adição de um ingrediente [6].

2.3 – Estado da *Unit* de acordo com a ISA88

A norma ISA 88 também aborda qual o estado de funcionamento da máquina, muitos estados são definidos na norma, mas alguns deles são mais específicos para componentes. Uma válvula pode ter o estado de 30% aberta, enquanto um motor não. Por outro lado, um motor pode ter o estado de velocidade de 50%, o que geralmente não é possível para uma válvula [6].

Aqui estão alguns dos estados definidos pela norma: Parado, pré-selecionado, em funcionamento, completo, pausa, reiniciando, abortado [6].

Capítulo 3 – Visão da Au2mate para a norma ISA 88

Como mencionado no capítulo 2, a norma ISA 88 não limita a sua utilização conforme as divisões anteriormente apresentadas neste trabalho. Por isso, a Au2mate decidiu por optar por uma visão que se encaixa mais nas suas necessidades e nas necessidades dos projetos realizados de maneira que fosse mais simples a compreensão, tanto por parte dos operadores da fábrica quanto pelos utilizadores finais ou pelos desenvolvedores da programação.

Na Figura 9 apresenta-se a hierarquia criada:

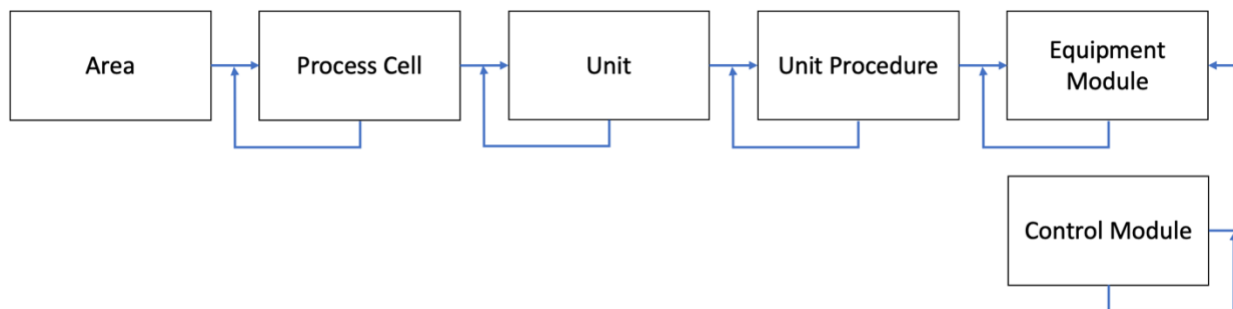


Figura 9 - Hierarquia da visão da Au2mate para a norma ISA 88

Como podemos observar, na sua maioria é utilizada a divisão por modelo físico, com exceção da *Unit Procedure* que é derivada da modelo por processos. A hierarquia foi realizada desta maneira devido à facilidade de compreensão do modelo físico, que auxilia na identificação da localização dos erros e falhas já que a mesma divisão é encontrada na programação do PLC. Além disso, o modelo físico propicia que as ampliações das instalações da fábrica já existentes sejam mais simples pelo fato das *Units* serem programadas de maneira que possam ser replicadas quantas vezes forem necessários.

A inserção da *Unit Procedure* foi necessário, pois nas indústrias alimentícias, o qual é a área onde a Au2mate trabalha, deve haver além do processo de produção, um processo de limpeza do equipamento. Assim, é muito comum que tenhamos mais de um processo programado dentro da *Unit*.

Esta será a divisão utilizada no estudo de caso de uma fábrica de leite a ser futuramente abordado neste trabalho

Capítulo 4 – Norma ISA 95

A norma ISA 95 foi aprovada pela *International Society of Automation* no ano de 2000, e posteriormente foi utilizada como base para a criação da norma IEC 62264 pela *International Electrotechnical Commission*. Possui como objetivo definir modelos e terminologias direcionadas à interface de comunicação entre os sistemas de controlo de manufatura (MES) e o sistema integrado de gestão empresarial (ERP). Dentre alguns dos benefícios desta norma estão: Reduzir o tempo de implementação de novos produtos, permitir que os usuários identifiquem as suas necessidades mais facilmente, reduzir custos de automação dos processos de manufatura, otimizar a cadeia logística e entre outros. [11]

Assim como a norma anteriormente abordada neste trabalho, esta norma não possui o intuito de definir um único método de sua implementação, por isso é comum que encontremos diferentes abordagens e soluções de acordo com a norma ISA95 para a necessidade de cada indústria. [11]

Para alcançar estes objetivos, esta norma divide o domínio de manufatura em quatro níveis: O nível 4 representa o *Business Planning and Logistics* (Planejamento de negócios e logística), o nível 3 representa a *Manufacturing Operations Management* (Gestão de Operações de Manufatura), o nível 2 é classificado como *Manufacturing Control Systems* (Sistemas de Controle de Fabricação), após isso, temos o nível 1 que é classificado como *Intelligent devices* (Dispositivos inteligentes) e por fim temos o nível 0 que são os atuadores e sensores. [12]

Esta norma também é crucial para a processo de fabricação, pois é necessária que haja a comunicação entre os diferentes níveis de software, já que as camadas superiores possuem informações que irão definir alguns processos que o PLC será responsável por executar e por ele se encontrar no nível 1, será responsável por reportar as etapas e acontecimentos da produção aos níveis superiores.

Alguns exemplos das informações trocadas são [13]:

- A capacidade de produção: Produtos que estão disponíveis para serem utilizados no processo de manufatura;

- Definição do produto: A camada superior possui as receitas dos processos que devem ser executados pelo PLC de forma a realizar a produção com a melhor qualidade e o melhor desempenho possível a fim de atender os requisitos de produção definidos pela marca;

- Agendamento da produção: Irá definir quando se deve realizar a produção.

Após a produção, o PLC será responsável por informar aos níveis superiores quais foram os materiais utilizados e suas respectivas quantidades além da quantidade do produto final manufaturado.

4.1 – Hierarquia ISA 95

Na Figura 10 e Figura 11 apresenta-se a hierarquia dos diferentes níveis de software abordados pela norma ISA 95:

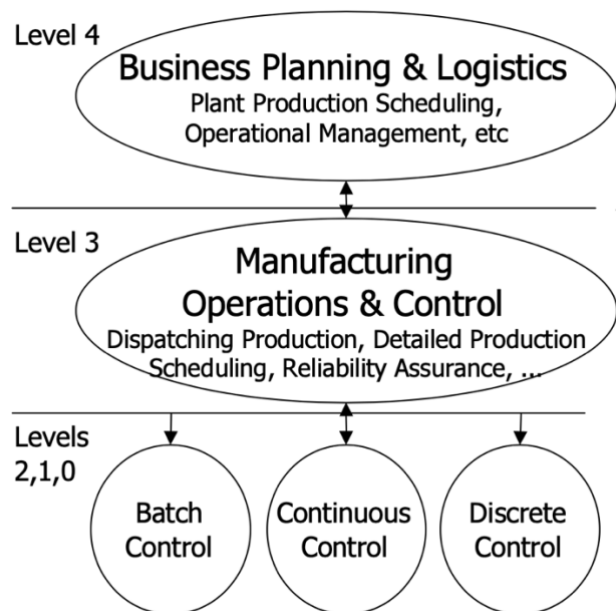


Figura 10 – Hierarquia dos níveis de acordo com a norma ISA 95 [11]

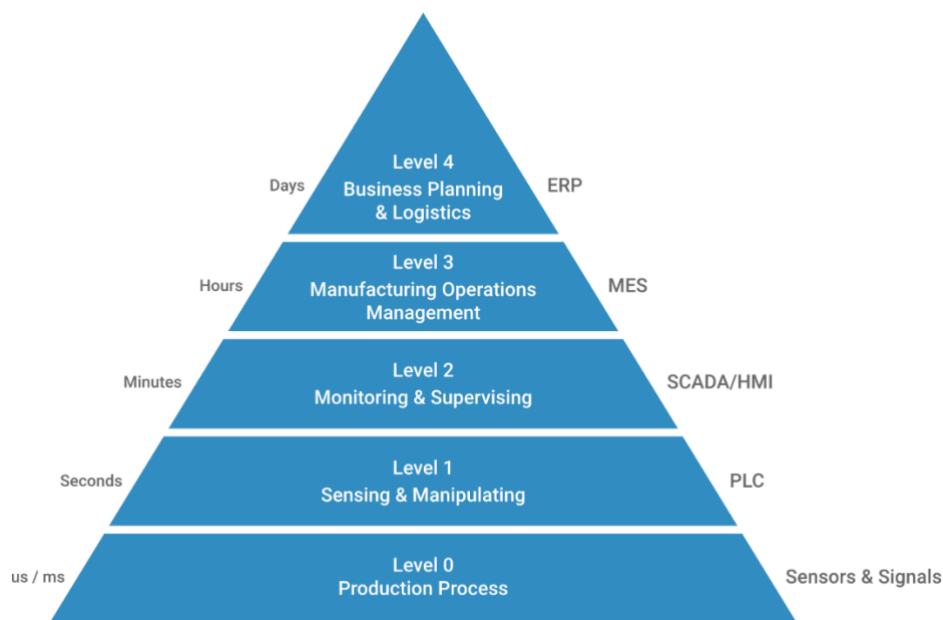


Figura 11 - Hierarquia detalhada dos níveis de acordo com a norma ISA 95 [14].

Os níveis 0, 1 e 2 consistem no controlo de diferentes processos e tarefas predefinidos [12]. Neste caso, poderá ser utilizada a norma ISA88 a fim de definir os processos que devem ser executados pelo PLC.

O nível 4 tem o objetivo de desenvolver um plano de produção, ou seja, determinar quais os produtos que devem ser produzidos e quando devem estar disponíveis, onde os intervalos de planeamento podem ser semanas, meses ou mesmo trimestres [12]. Algumas das atividades do nível 4 incluem: Coletar e manter o uso de matéria-prima, peças de reposição, stock disponível, além de fornecer dados para compra de matéria-prima e peças de reposição, coletar e manter o uso geral de energia e o inventário disponível, coletar e manter mercadorias gerais em arquivos de inventário de processo e produção, coletar e manter arquivos de controle de qualidade relacionados aos requisitos do cliente [11].

O nível 3 inicia o seu processo consumindo o plano de produção criado pelo nível 4, a fim de criar um cronograma de produção composto pelas etapas de processamento, horários de início/término e invoca os recursos de execução dos níveis 0, 1 e 2. Em última análise, o nível 3 deve traduzir a produção de maneira a agendar em tarefas ou trabalhos que são executáveis pelo sistema inferior, através das ações de controle nos níveis 0, 1 e 2 [12]. Além disso, o nível 3 é responsável por criar relatórios sobre a produção incluindo os custos variados da produção, coleta

e manutenção dos dados sobre produção, estoque, matérias-primas, peças de reposição e uso de energia, estabelecer o cronograma de produção detalhado imediato incluindo manutenção, transporte e outras necessidades relacionadas à produção, otimizar os custos da produção individual, cumprindo o cronograma de produção estabelecido pelas funções de nível 4 e entre outras funções [11].

Na Figura 12 temos um diagrama que exemplifica a troca de informações entre os níveis 3 e 1/2.

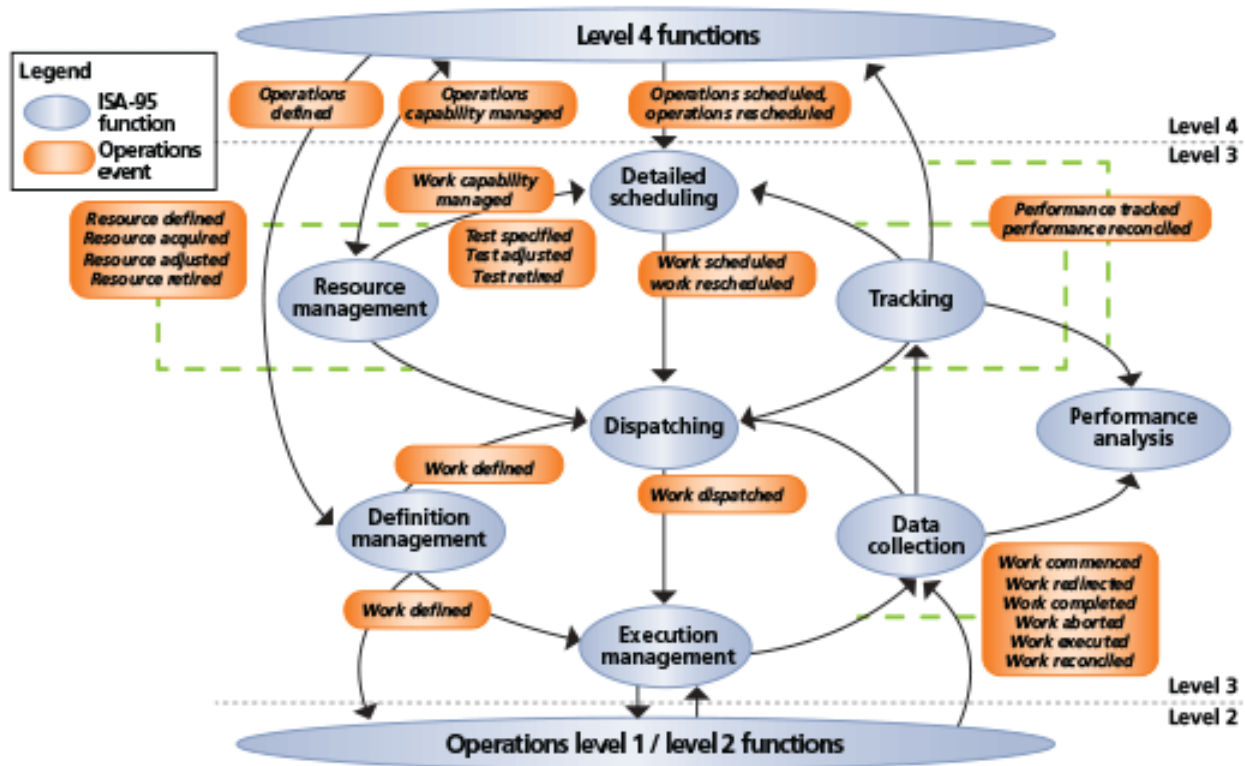


Figura 12 - Diagrama de comunicação entre os níveis 3 e 1/2 de acordo com a norma ISA 95 [14]

Como podemos observar através desta imagem os níveis 1 e 2, que são respectivamente o PLC e o Sistema SCADA/HMI, são responsáveis por reportar todos os dados dos sensores, reportar todas as atividades do operador, reportar todos os processos realizados até chegarmos ao produto final e reportar todos os materiais consumidos e suas respectivas quantidades. Todas estas funções possuem o objetivo de armazenar a coleção de dados das operações a fim de que o nível 3 do ISA 95 desempenhe suas funções.

Na Figura 12 cada função da norma ISA 95 corresponde à [12]:

- *Detailed scheduling*: Responsável por transformar o agendamento realizado pelo nível 4 em horários de trabalho;

- *Resource management*: Responsável por definir, coletar, ajustar e remover recursos;

- *Dispatching*: Atribuir os trabalhos agendados aos recursos;

- *Tracking*: Utiliza da coleção de dados do nível 1 e 2 para atualizar o andamento da produção, assim como fornecer dados para o *dispatching* e para futuras análises de desempenho;

- *Definition management*: Define o processo de trabalho;

- *Execution management*: Interage com os níveis inferiores a fim de executar as tarefas definidas;

- *Data collection*: Agrega todos os dados sobre o processo;

Dentre todas as funções, temos três funções principais de tomadas de decisão, *Scheduling* (Agendamento), *resource management* (gestão de recursos) e *dispatching* (Expedição).

4.1.1 – Modelo de hierarquia de equipamentos

A norma ISA 95 *part 1: Models and Terminology* também aborda a hierarquia física dos equipamentos instalados na fábrica, e para isso ela baseia-se em uma expansão do modelo descrito pela norma IEC 61512-1 e pela norma ISA-88.01-1995. [11]

Na Figura 13 temos o modelo hierárquico apresentado e quais níveis de software elas correspondem respectivamente:

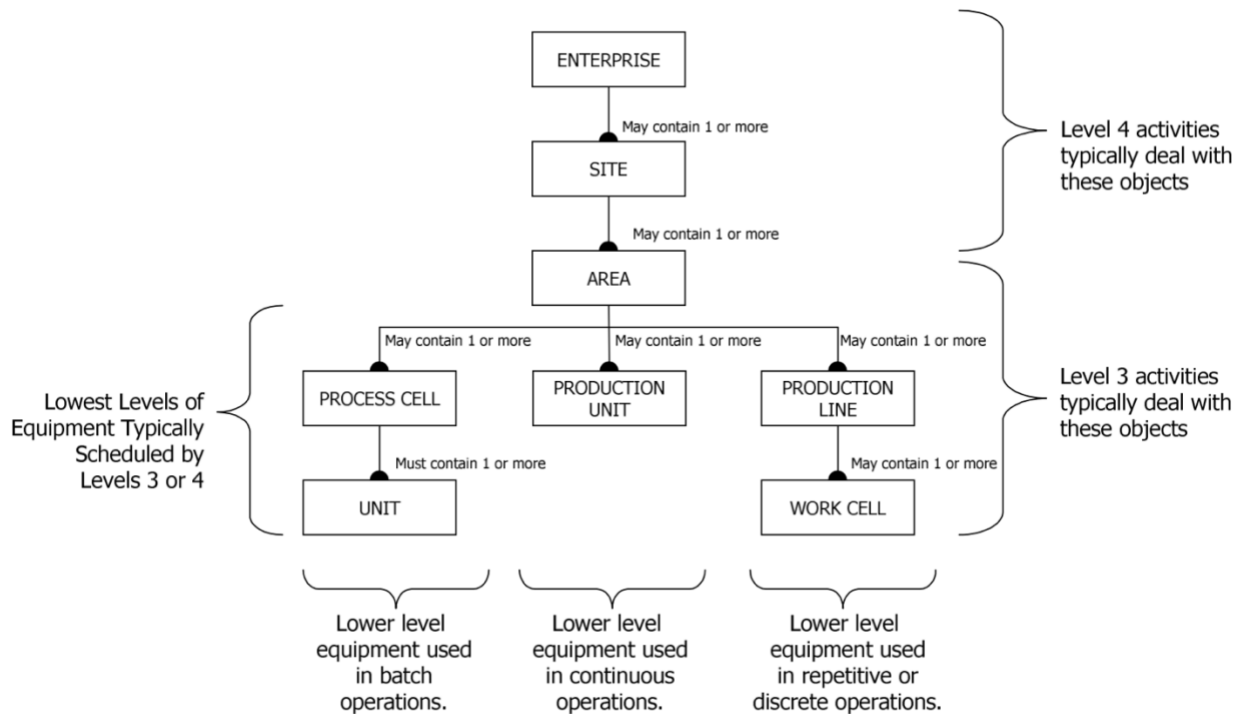


Figura 13 - Modelo hierárquico físico apresentado pela norma ISA 95, baseado na norma ISA 88 [11].

Os grupos com menor hierarquia são combinados de maneira a formar os níveis mais altos na hierarquia, e em alguns casos o agrupamento pode ser incorporado em outro grupo no mesmo nível [11].

O modelo apresentado na Figura 13 define as áreas de responsabilidade para as diferentes funções, além disso, define alguns objetos utilizados para a troca de informações entre as funções.

Pelo fato da norma ISA 88 e IEC 61512-1 já definirem quais são as fronteiras de criação para cada hierarquia, esta norma aborda somente as funções pela ótica da mesma, e cada divisão possui as seguintes funções e responsabilidades:

- *Enterprise*: É responsável por determinar quais os produtos e em qual *site* eles serão fabricados, além de definir de maneira geral a sua respectiva forma de produção [11];

- *Site*: É responsável por otimizar e realizar a gestão do local de produção, outra característica do *site* é que pode ser utilizado para breves planeamentos e programação da produção, além de possuir a sua capacidade de produção bastante definida [11];

- *Area*: A maioria das funções do nível 3 serão desempenhadas nesta divisão. Os recursos de produção da *area* serão utilizados para o planejamento e agendamento realizados pelo nível 3 e 4.

A *Area* é composta por diferentes elementos de níveis inferiores que executam as atividades de fabricação que irá variar de acordo com as necessidades de fabricação, mas podem ser divididos em três principais conjuntos: Modelo de fabricação contínua, modelo de fabricação discreta e modelo de fabricação por lotes de produção. Ela poderá ter um conjunto de *production line* para produção de operações discretas, *production unit* para processos contínuos e *process cell* para produções por lote. Dependendo da visão empregada para implementar a norma ISA 95, as funções do nível 4 de software podem parar na *Area* ou prosseguir para os elementos de inferior dentro das *Areas* [11];

- *Production Unit*: É o nível mais baixo dos elementos e geralmente agendado pelo nível 4 ou 3 para processos de fabricação contínua. Elas são compostas por elementos de nível inferior, como *equipment modules*, sensores e atuadores, mas as definições destes elementos estão fora da abordagem desta norma. Uma unidade de produção geralmente engloba todos os equipamentos necessários para um segmento de produção contínua, que opera de forma relativamente autônoma., convertendo, separando ou reagindo uma ou mais matérias-primas para produzir produtos intermediários ou finais [11];

-*Production Line* e *Work Cell*: Estes são os níveis mais baixos de equipamento normalmente programados pelas funções de nível 4 ou nível 3 para processos de fabricação discretos. As *Work Cell* geralmente só são identificadas quando há flexibilidade no encaminhamento do trabalho dentro de uma *Production Line*, além disso, podem ser compostas por elementos de nível inferior, mas as definições destes equipamentos estão fora do escopo desta norma [11];

- *Process Cell* e *Unit*: Elas são o nível mais baixo de equipamento normalmente programado pelas funções de nível 4 e nível 3 para processos de fabricação em lote. Normalmente, as unidades são identificadas apenas nos níveis 3 e 4 se houver flexibilidade no roteamento do produto dentro de uma célula de processo. As definições para células e unidades de processo estão contidas nas normas IEC 61512-1 e ANSI/ISA-88.01-1995, explicada anteriormente neste trabalho [11];

As células e unidades de processo têm recursos de fabricação e capacidades de lote bem definidos e são usados para funções de nível 3. As capacidades e capacidades também podem ser usadas como dados de entrada para escalonamento de nível 4, mesmo que as células ou unidades de processo não sejam escalonadas pelas funções de nível 4 [11].

4.2 Modelos de troca de informações

A norma ISA95 *part 1* apresenta dois modelos de troca de informações entre as diferentes camadas de softwares, sendo eles o *functional data flow model* e o *Object Model* [11]. Neste trabalho será abordado somente o *Object Model* pois ele é o que possui a maior relação com a norma ANSI/ISA-88.01-1995 dentre os dois modelos, pois este modelo é mais direcionado para as capacidades de produção, tanto no aspeto de capacidade física dos equipamentos quanto no estoque disponíveis de matéria-prima.

4.2.1 Object Model

Grande parte das informações abordadas por este modelo podem ser classificadas em três principais áreas: Informação necessária para fabricar um produto, informações sobre a capacidade de produção e informação sobre a atual produção [11].

Na Figura 14 indica-se um diagrama de Venn que é utilizado para exemplificar a sobreposição e identificação das informações trocadas entre o sistema de controlo de manufatura e os outros sistemas de gestão da fábrica. Este *standard* preocupa-se somente em abordar as informações sobrepostas na Figura 14 e com a definição de um modelo e terminologia comum para essas informações [11].

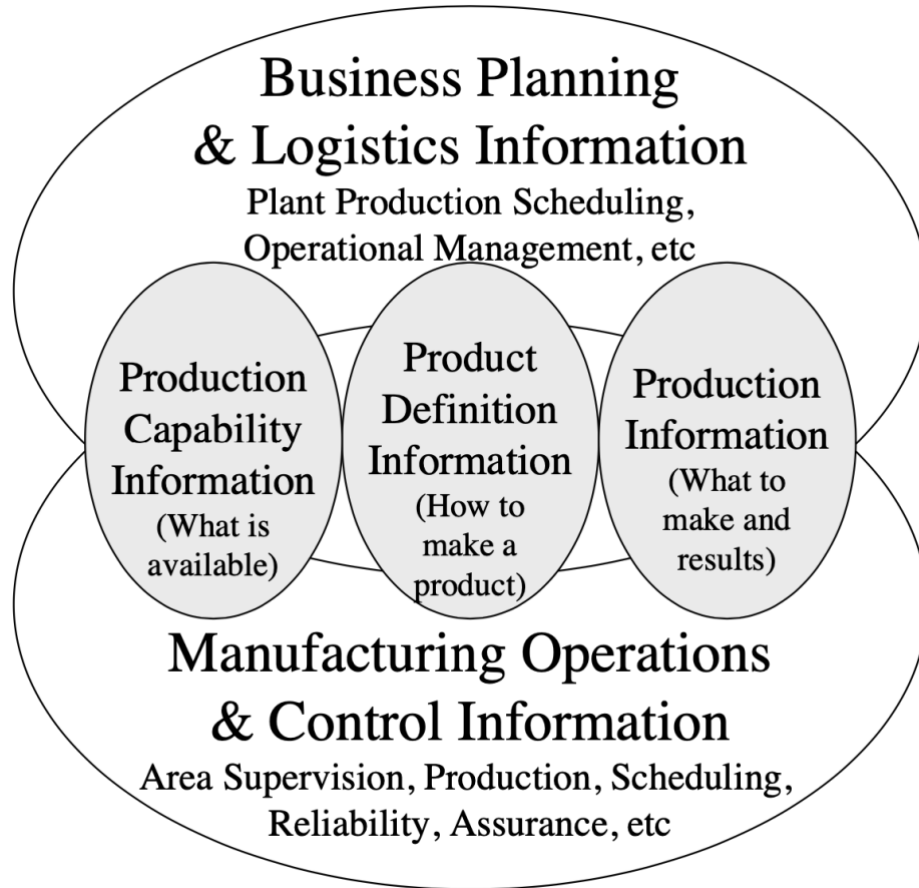


Figura 14 - Diagrama de Venn com as áreas de troca de informações [11].

Podemos utilizar esta figura para correlacionar a norma ISA95 *part 1* com a programação do PLC, que irá fazer o controlo das máquinas e equipamentos, pois as camadas 3 e 4 apresentadas pela mesma, possuem informações cruciais como a *Product Definition Information* (definição da produção), que possui todas os parâmetros necessários para a produção como por exemplo: Temperaturas, tempos para cada processo, quantidades de cada matéria-prima e entre outros muitos exemplos.

4.2.1.1 Production Capability Information

Existem três áreas principais de informação sobre a capacidade de produção que se sobrepõem significativamente. As três áreas de informação são: *Production Capability Information* (informações de capacidade de produção), *Maintenance Information* (informações de manutenção)

e *Capability Scheduling Information* (informações de programação de capacidade). A Figura 15 ilustra as relações entre as informações [11].

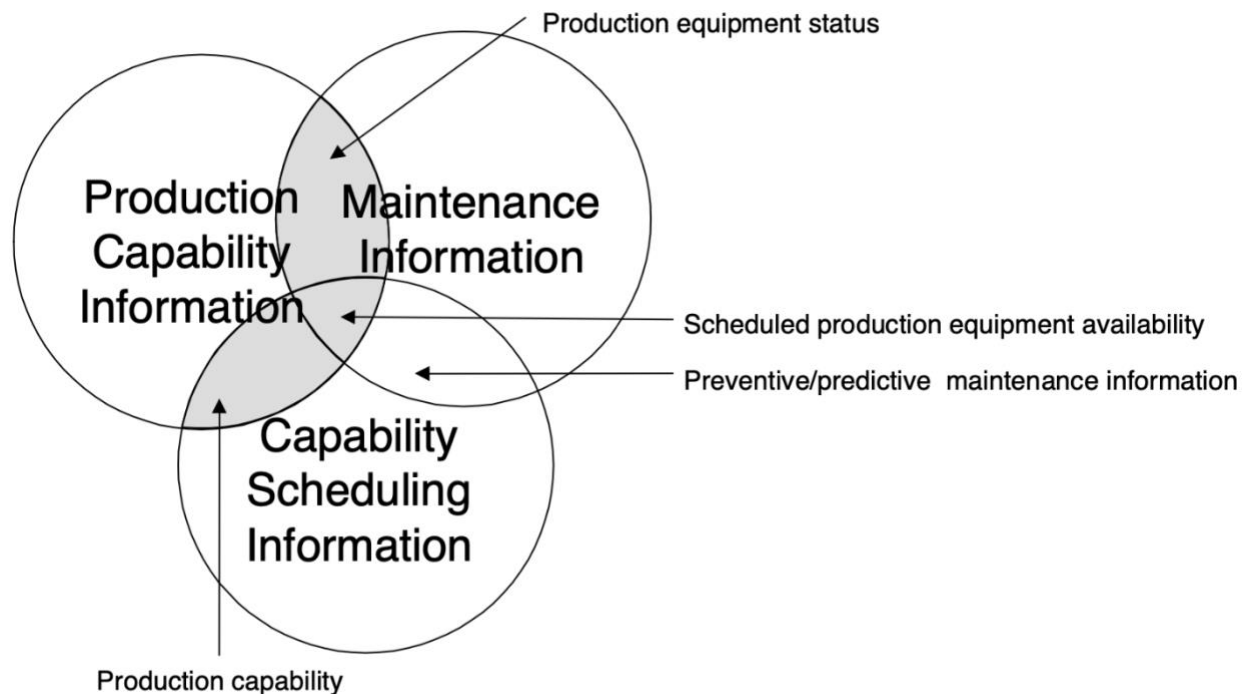


Figura 15 – Diagrama de Venn com a informação sobre *Production capability* [11].

Como podemos observar com esta imagem, o equipamento terá a sua disponibilidade de produção programada quando não estiver em manutenção, quando estiver no momento em que a sua produção foi agendada e quando o equipamento for capaz de produzir.

A *Production capability Information* significa que para cada *Site*, *Area*, e elemento dentro da *Area* há uma definição da capacidade de produção dos colaboradores, equipamentos e funcionários [11].

O *Maintenance Information* indica que para cada *Site*, *Area*, e elemento dentro da *Area* há uma definição do equipamento conforme o necessário para a manutenção do mesmo, isso inclui também informações como registos de manutenção ou outros documentos que não pertencem ao *Production Capability Information* [11].

Já a *capability scheduling Information*, que será abordada mais à frente neste trabalho, contém todos os *process segments* disponíveis para *product unit*, *process cell*, ou *production line*. Além disso, indica que para cada *Site*, *Area*, e elemento dentro da *Area* há uma definição da capacidade de produção [11].

O *Production equipment status* inclui a definição do equipamento, ou seja, qual o seu papel no processo, o estado atual do equipamento e o histórico de uso do mesmo [11].

Production capability é definido como a informação partilhada entre *capacity scheduling model* e *production capability model*. Essas informações incluem, a capacidade de produção atual seja dos equipamentos ou dos operários na fábrica ou dos limites pelo estoque de matéria-prima [11].

4.2.1.2 Product definition Information

Existem três principais áreas de informações necessárias para a fabricação de um produto específico que se sobrepõem significativamente. As três áreas são respetivamente informações *Product Production Rules*, *Bill of Resources* e *Bill of Materials*. A Figura 16 demonstra o diagrama de Veen com a relação entre três principais áreas [11].

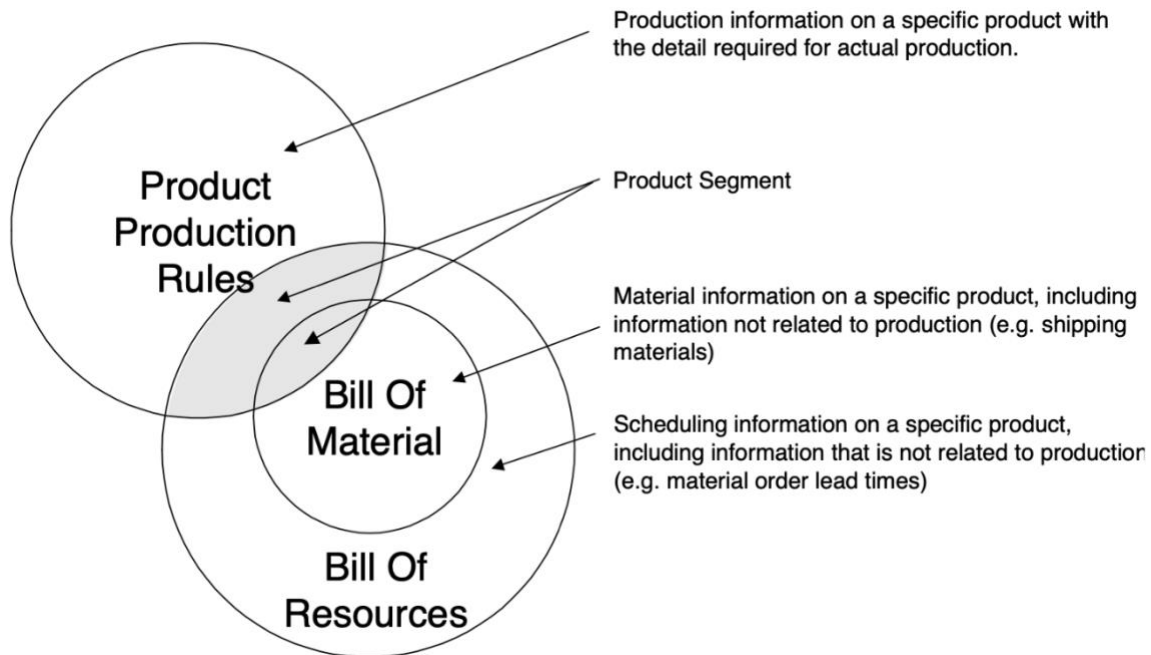


Figura 16 - Diagrama de Venn com as três principais áreas de informações que compõem o Product Definition de acordo com a norma ISA95 [11].

Cada um destes segmentos na Figura 16 podem ser descritas como:

-*Product Production Rules:* As regras de produção do produto são definidas como as informações usadas para instruir uma operação de fabricação [11];

- *Bill of Materials:* A lista de materiais é uma lista de todos os materiais que serão utilizados para produzir um produto, incluindo a respetiva quantidade necessária. Estes materiais podem ser matérias-primas, materiais intermediários, peças e consumíveis. Esta lista não contém a discriminação de onde e quando os materiais serão utilizados, mas pode ser organizado de forma hierárquica, criando uma algumas ideias gerais das etapas de produção. A lista de materiais também poderá incluir outras informações relativa aos materiais, como documentações de envio ou outra documentação incluída [11];

- *Bill of resources:* A lista de recursos é a lista de todos os recursos necessários para produzir um produto. Os recursos podem incluir materiais, trabalhadores, equipamentos, energia e consumíveis. A lista de recursos não contém as etapas de produção específicas [11];

- *Product Segment*: É definido como a sobreposição de informações entre as *Product Production Rules* e a *Bill of resources*, descrevendo um trabalho ou processo que consiste em um ou mais elementos de trabalho, geralmente feito essencialmente em um local, ou seja, pode ser resumido como a visão de processo mais detalhada para o sistema de gestão da fábrica controlar material, mão de obra, uso de recursos, custo e qualidade para controlar a produção [11]. Podendo também corresponder a um conjunto de operações, *unit procedures*, ou operações para manufaturação por *batches* de acordo com as normas IEC 61512-1 e ANSI/ISA-88.01-1995.

O exemplo da Figura 17 ilustra *Product Segment* onde cada caixa corresponde a um *Product Segment* diferente.

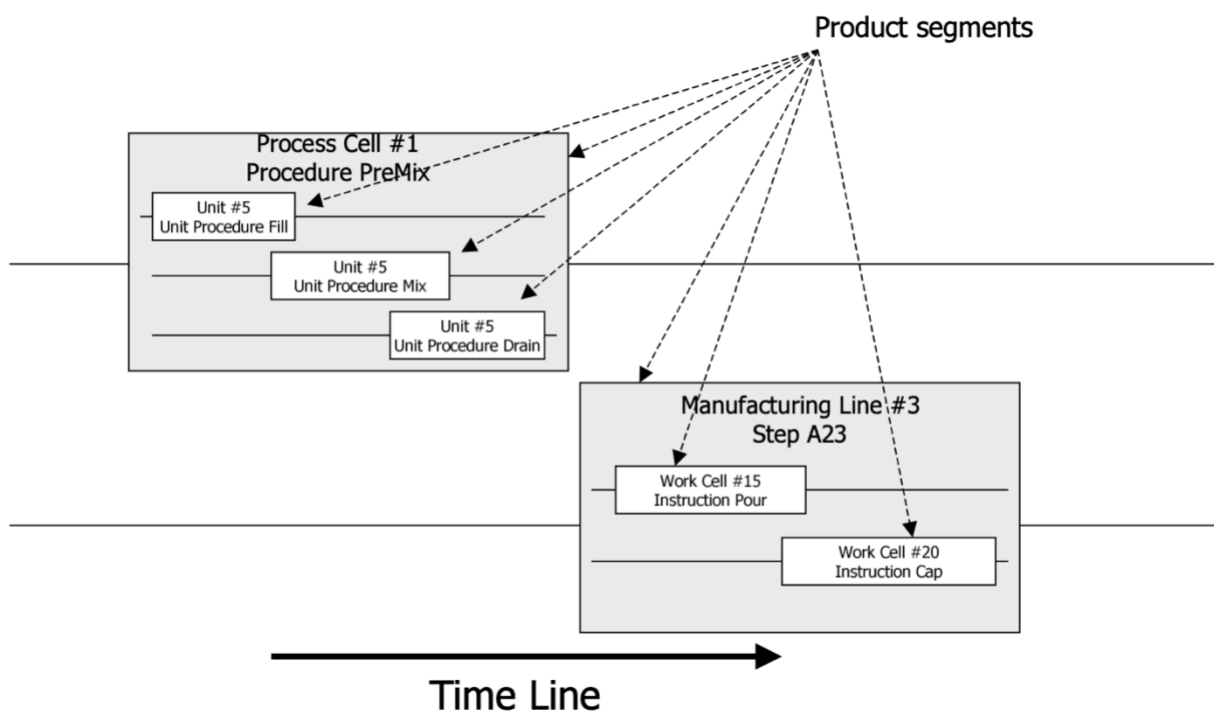


Figura 17 - Exemplo de aplicações para o Process Segment de acordo com a norma ISA95 [11].

4.2.1.3 Product Information

Assim como as outras áreas principais de informação, apresentadas na Figura 14, esta também é dividida em três áreas de informação principais sobre o produto. Essas três áreas são *Production History Information*, *Production Inventory* e *Production Scheduling Information*.

Na Figura 18 apresenta-se um diagrama de Venn que ilustra a relação entre as informações.

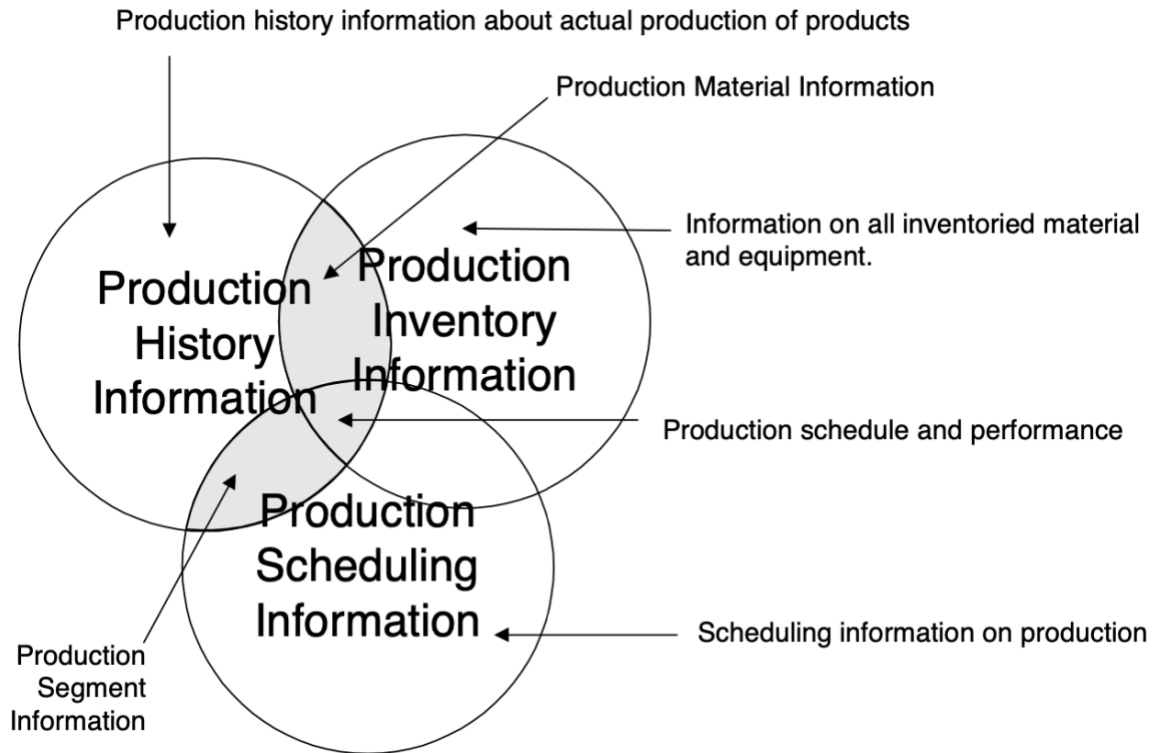


Figura 18 - Diagrama de Venn com as três principais áreas de informações que compõem o Product Information de acordo com a norma ISA95 [11].

Cada definição explícita nesta imagem, pode ser explicada como:

- *Production History Information*: As informações do histórico de produção são todas as informações registadas sobre a produção de um produto. Isso pode ser chamado por muitos nomes, como diário do lote, registo do produto ou viajante [11];

- *Production Inventory Information*: São todas as informações sobre materiais em stock, incluindo a quantidade atual dos mesmos. Normalmente, todos os materiais consumidos e produzidos são mantidos no *Production Inventory Information* e, por vezes, os materiais intermédios são mantidos se forem necessários para avaliação financeira. Em algum dos casos, poderá incluir-se informações sobre energia a fim de que o custo do mesmo seja ponderado na avaliação financeira [11];

- *Production Scheduling Information*: O modelo de agendamento contém todas as informações sobre a execução da produção agendadas [11];

- *Production Segment Information*: É definidas como o histórico de produção que contém informações sobre os segmentos de produção [11];

- *Production Material Information*: São classificados como a parte do *Production History Information* que contém informações sobre o material utilizado para produção [11];

- *Production Schedule and Performance*: É composta pela informação conjunta de todas as áreas na Figura 18. Isso inclui a definição das matérias-primas consumidas, materiais produzidos e materiais descartados. Também inclui a definição de quanto tempo os segmentos de produção realmente levaram e quanto material foi produzido e consumido. Essas informações geralmente são usadas para rastrear a produção real em relação às solicitações de produção e como feedback para o ciclo de agendamento [11];

4.1.2.4 Process Segment

Dadas as definições anteriores, o *Process Segment* é definido como um conjunto de especificidades necessárias para uma parte da produção [11]. Isso pode incluir recursos de material, energia, pessoal ou equipamento.

Na Figura 19 indica-se como as diferentes capacidades se relacionam entre si.

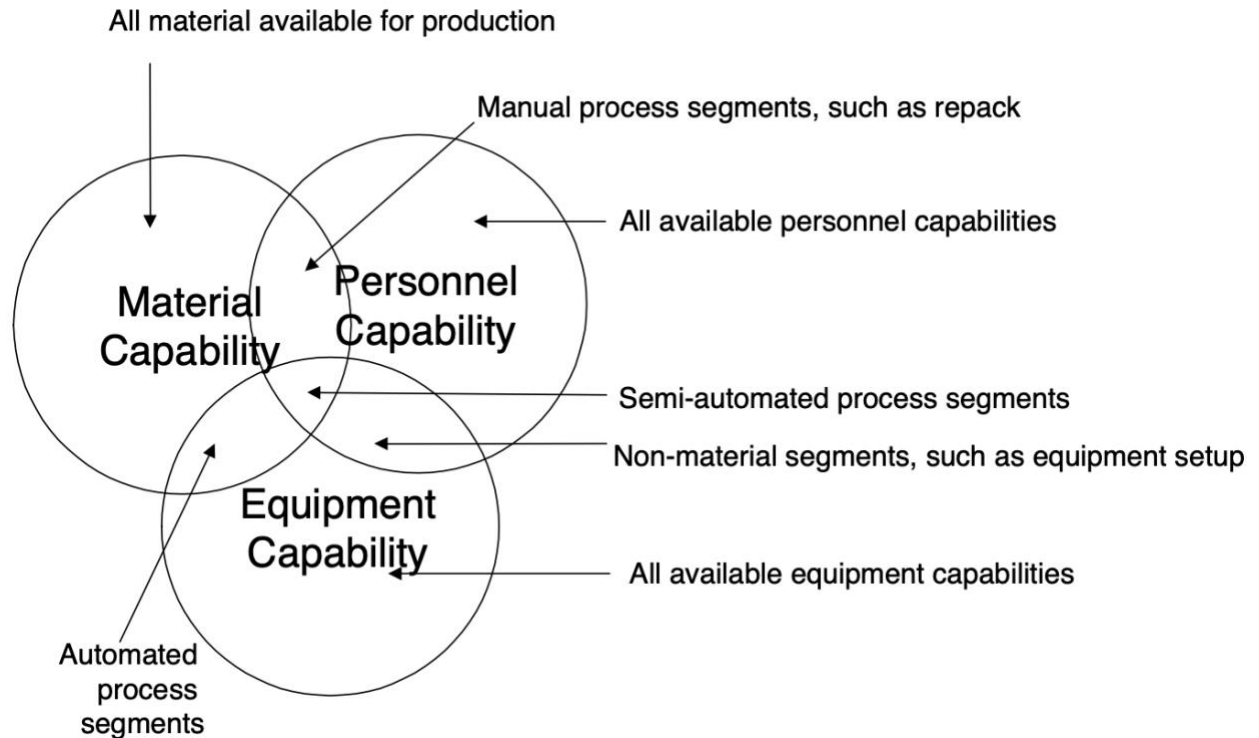


Figura 19 - Diagrama de Venn com as três principais áreas de informações que compõem o Process Segment de acordo com a norma ISA95 [11].

Um *Manual Process Segment* só poderá definir a classe de materiais e a classe de pessoal necessários para a produção.

Para o *Semi-automated Process Segment*, poderá somente definir a classe de materiais, pessoal e equipamentos necessários.

Já um *Non-material Segment*, como por exemplo a configuração do equipamento, poderá definir a classe de equipamento e pessoal utilizado.

Por último teremos o *Automated Process Segment* só pode definir as classes de materiais e equipamentos necessários.

De maneira geral, o *Process Segment* em um processo automatizado, será utilizado como uma chave para habilitar ou desabilitar a seleção de um determinado produto para produção naquela *Unit* em específico, definindo a classe de materiais. Como por exemplo, o nível 2 do software (SCADA/HMI) irá coletar na base de dados, que foi disponibilizada pelo nível 3 (MES), os

materiais disponíveis para produção de filtrado pelo *Process Segment* para aquela *Unit* de produção, sendo assim possível que o operário da fábrica selecione e envie, através do SCADA, para o nível 1 (PLC) qual o produto que será produzido.

Capítulo 5 – Caso de estudo prático

Neste capítulo será abordado um caso de estudo prático, onde serão aplicadas as normas anteriormente explicadas neste documento, mais detalhadamente, este estudo possui como objetivo o uso da norma ISA88 para a divisão da fábrica em todos os aspetos abordados e utilizando a visão de implementação da Au2mate para a norma. Após essa divisão, é proposta a elaboração da documentação detalhada de funcionamento de uma *Area* seguindo também a norma ISA88, onde serão descritos os processos a serem realizados pela *Unit* e pelo *Equipment Module*, respeitando a hierarquia de envio de comandos descritos pela norma. Após este passo, será programada uma *Unit* no PLC utilizando também a norma ISA95 para o envio e recebimento de informações de produção.

A programação será realizada em um PLC da marca Siemens e será utilizado o Software desenvolvido pela mesma, TIA Portal V17.

Como objeto deste estudo, será utilizada uma fábrica de laticínios localizada na Dinamarca, nas instalações da Au2mate A/S. Esta fábrica foi desenvolvida para fins de treinamento. Na Figura 20 apresenta-se o P&ID que serviu de modelo para a construção destes equipamentos e funcionamento da produção.

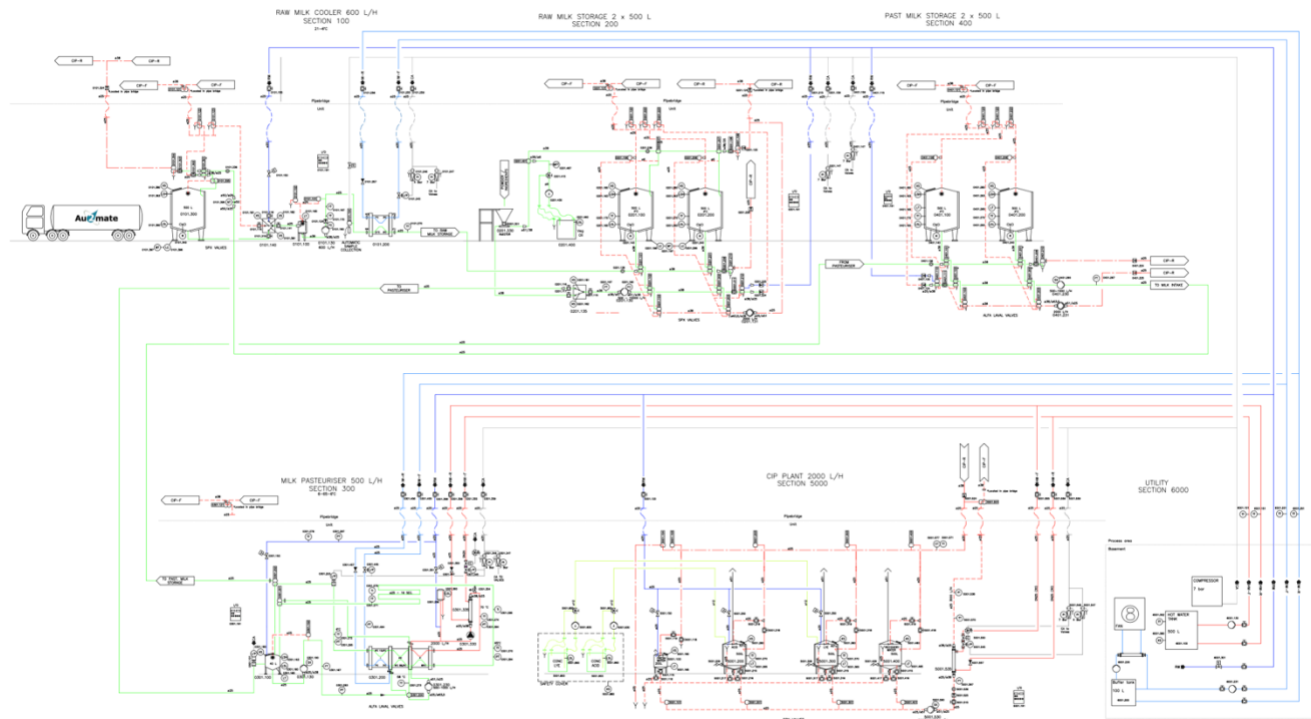


Figura 20 - Diagrama de tubulação e instrumentação da fábrica que será utilizada para o estudo.

5.1 – Norma ISA88 aplicada ao caso prático

Nesta secção será utilizada a hierarquia apresentada na Figura 9 para dividir, de acordo com os aspetos físicos, o diagrama apresentado na Figura 20.

O P&ID ilustrado na Figura 20 não possui a parte de embalagem do leite pelo fato de ser construída com o intuito de treinar os colaboradores da Au2mate, por isso, alguns itens ou processos encontrados aqui, podem variar um pouco em relação a uma fábrica completa.

No primeiro nível de hierarquia que será abordado neste capítulo, teremos a *Area*, onde este P&ID foi dividido em duas *Areas* com os seguintes nomes: Processamento do Leite e CIP.

5.1.1 – A01: Processamento do Leite

Esta *Area* será responsável por realizar todos os processos no leite, desde a sua receção até aos tanques de produto final.

Seguindo a hierarquia apresentada na Figura 9, teremos a seguir as seguintes *Process Cells*: C01 (Receção do Leite), C02 (Armazenamento de leite não processado), C03 (Pasteurização) e por último C04 (Armazenamento do produto final).

Na Figura 21 indica-se a hierarquia da *Area 01* composta até o momento.

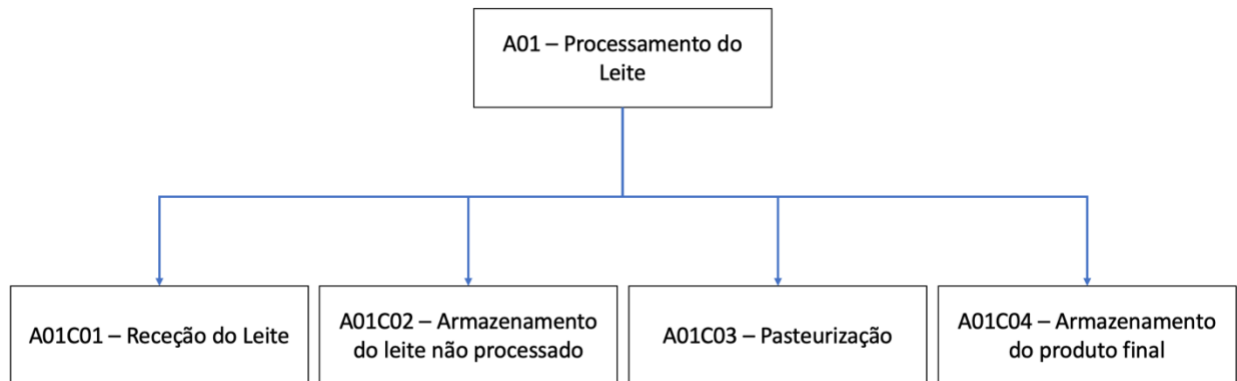


Figura 21 - Hierarquia da Area 01 até as *Process Cells* de acordo com a norma ISA88

5.1.1.1 – A01C01: Receção do Leite

A receção do leite será composta por três *Units*, sendo cada uma dela respetivamente: U01 (Camião de carregamento), U10 (Linha de receção com resfriamento), U11 (Linha de enchimento a partir dos tanques com o produto final). Além disso, como o próprio nome da *Process Cell* indica, ela será responsável por realizar a receção do leite e encaminhá-la para algum dos processos.

Na Figura 22 e Figura 23 indica-se o P&ID da A01C01 com as suas *Units* destacadas com a linha em pontilhado.

Observando a Figura 22, concluímos que o tanque inserido na U01 terá a função de simular a chegada de uma carga para produção. Foi utilizado um tanque para simular este processo pelo fato desta instalação ser construída com o intuito de treinamento, e a linha que está inserida na U11 foi criada com o intuito de se poder realizar o todo processo no produto sem a necessidade de encher a U01 a todo o momento, assim teremos um circuito fechado na instalação. Já a linha U10 será responsável por dar continuidade no processo, mantendo-o resfriado e encaminhando-o para a C02 (Armazenamento do leite não processado).

Nesta primeira abordagem da utilização da norma ISA88, já conseguimos observar a sua capacidade quebrar um sistema complexo em diferentes etapas menos complexas. Tendo como exemplo este caso da recepção do leite, conseguimos dividir o processo em duas linhas simples e um tanque, tornando-o mais simples de programar e perceber os passos necessários para o funcionamento dos equipamentos.

A Figura 24 apresenta a hierarquia de acordo com a norma ISA88 para as *Units* que pertencem ao A01C01.

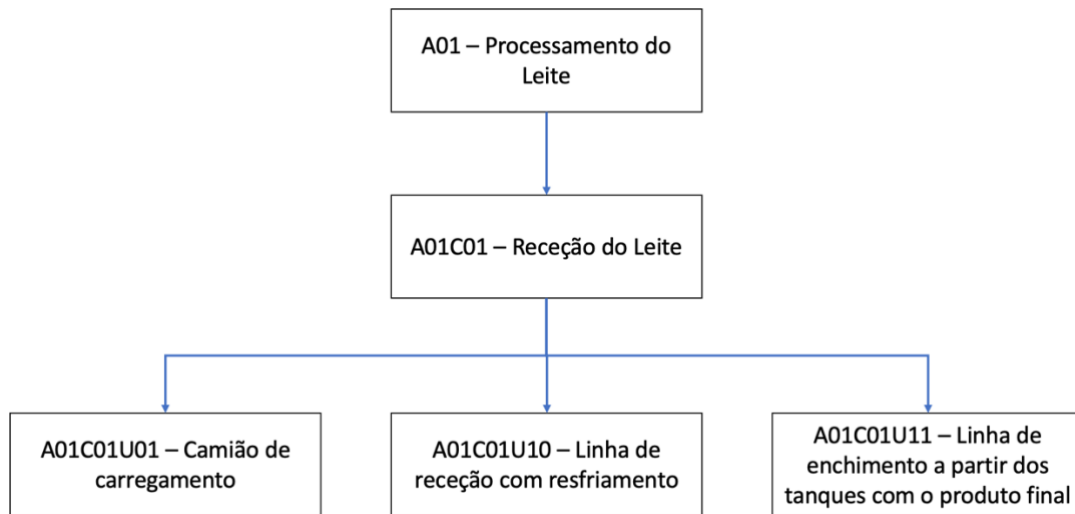


Figura 24 - Hierarquia com as *Units* que pertencem a A01C01: Recepção do Leite

5.1.1.1.1 – A01C01U01: Camião de carregamento

Dentro da *Unit* 01 teremos duas *Unit Procedures*, UP01 e UP02, que serão respectivamente: Produção e CIP.

A UP01 será responsável por tratar todos processos em que o leite será utilizado, que neste caso será a simulação da chegada de um carregamento de leite, como foi indicado anteriormente.

Já a UP02 será responsável pela limpeza desta unidade. Este processo é de extrema importância, pois é necessário que haja o cumprimento da legislação de higiene e segurança alimentar. Para a realização desta limpeza, serão utilizados químicos com pH ácidos e base diluídos em água a temperaturas elevadas a fim de remover todas as bactérias ou outros microrganismos que podem se alojar nas tubulações ou equipamento das instalações. Além disso, a UP02 funcionará em conjunto com a central de limpeza, que neste caso está localizada na *Area 02*, que será explicada mais a frente neste projeto. É comum que vejamos a mesma função de limpeza em todos os equipamentos dentro da mesma fábrica.

Pelo fato da UP não estar incluída no modelo físico da norma ISA88, mas no modelo por procedimentos, faz com que ela não esteja fisicamente conectado aos EMs, porém as UPs serão responsáveis por enviar os comandos aos EMs, que por sua vez, enviarão os comandos diretamente aos atuadores e irá monitorizar os sensores.

Seguindo a hierarquia da norma ISA88, no próximo nível teremos os *Equipment Modules*, para essa *Unit*, teremos os seguintes EMs: EM01 (Controlo do Nível e Agitação), será responsável por controlar o nível do tanque e motor de agitação presente no mesmo, já o EM02 (Controlo da válvula de enchimento) será responsável por controlar a válvula de entrada do tanque.

A Figura 25 representa toda a hierarquia presente na A01C01U01 e seus níveis inferiores.

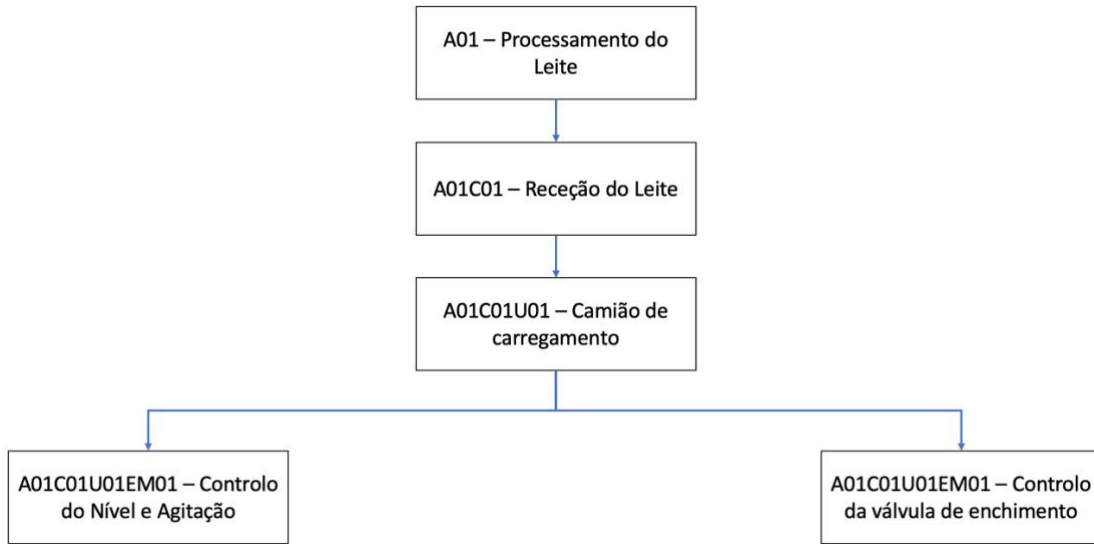


Figura 25 - Equipment Modules presentes na A01C01U01

5.1.1.1.2 – A01C01U10: Linha de receção com resfriamento

Abaixo da hierarquia da linha de receção com resfriamento, teremos as seguintes UPs: UP01 (Entrada), UP02 (*Water Push*), UP03 (CIP).

A UP01 será responsável por esvaziar o tanque da U01 para abastecer os tanques presentes na *Process Cell 02*.

O procedimento de *Water Push* terá a função de utilizar-se de água para empurrar todo o produto que ficou dentro das tubulações, a fim de que todo o produto possa ser utilizado.

Já UP03 terá a mesma função que o procedimento de limpeza para a *Unit* anteriormente explicada.

Na Figura 26 apresenta-se a hierarquia para as diferentes UPs que estão contidas na A01C01U10.

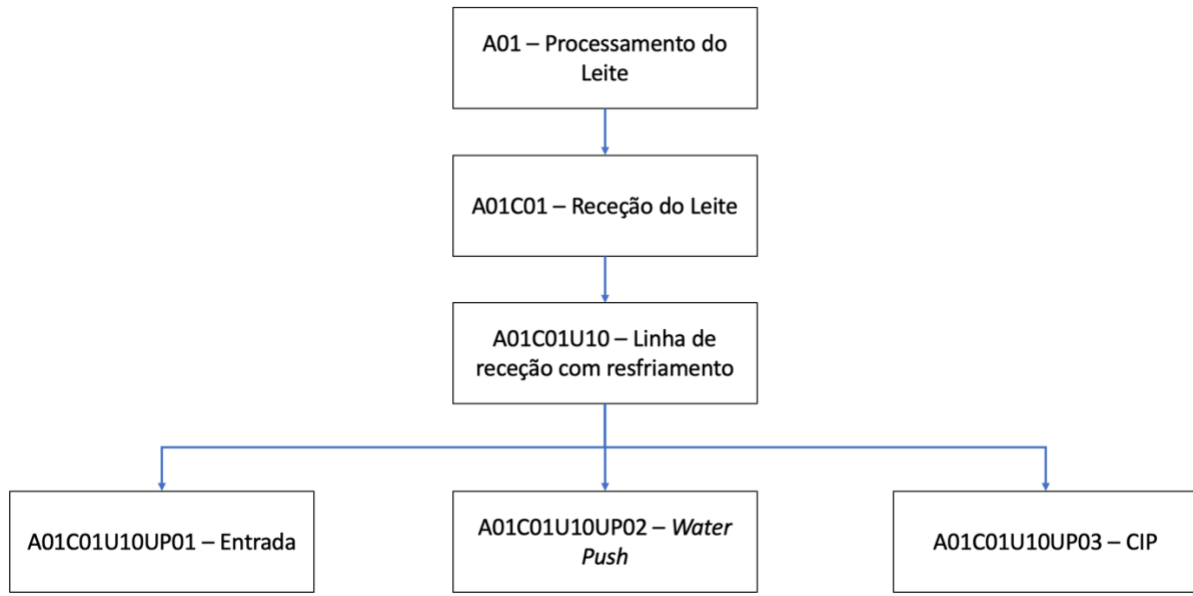


Figura 26 - Hierarquia com as diferentes Unit Procedures presente na A01C01U10.

Seguindo a hierarquia da norma ISA88, encontraremos os seguintes EMs: EM01 (Controlo da eletrobomba), EM02 (Controlo do tanque de expansão), EM03 (Controlo de resfriamento), EM04 (Controlo da Válvula de Água), EM05 (Controlo da válvula de amostras), EM10 (*Batch Control*) e por último temos o EM11 (*Event Control*).

O EM01 será responsável por controlar a eletrobomba, de número P0101.130 que está presente na conduta.

Já o programa de Controlo do tanque de expansão visa garantir que a pressão dentro da conduta esteja dentro dos níveis suportados pela mesma.

O EM03 terá a função de controlar a temperatura com qual o leite será entregue a A01C02.

No caso do EM04, teremos a função de controlar a entrada de água quando a UP02 (*Water Push*) requisitar a mesma.

A função de controlo da válvula de amostras irá garantir que amostras sejam coletadas nos diferentes níveis do tanque da U01, a necessidade de se coletar diferentes amostras em diferentes momentos do mesmo produto, deve-se ao fato do leite ser uma mistura heterógena, ou seja há

diferentes concentrações de gordura ao longo do produto e caso a amostragem fosse realizada apenas uma vez por entrega, levará a erros de aferição da qualidade do produto.

Pelo fato desta ser a primeira *Unit* de processamento do produto, será gerado um *batch* toda vez que um novo processo for iniciado, utilizando-se do EM10 para este efeito. Caso seja optado pela geração de um *batch* por *Unit*, será necessário a implementação deste EM nas mesmas.

Já o EM11 será responsável pela geração dos eventos que serão enviados para a camada superior de software, conforme foi descrito no Capítulo 4 – Norma ISA 95 deste trabalho. A sua funcionalidade e alguns exemplos serão abordados posteriormente neste trabalho.

5.1.1.1.3 – A01C01U11: Linha de enchimento a partir dos tanques com o produto final

As UPs que pertencem a *Unit* deste capítulo são: UP01 (Enchimento) e UP02 (CIP).

A UP01, como o próprio nome já indica, será responsável por realizar o processo de enchimento do tanque na *Unit* 01. Já a UP02 possuirá a mesma função das *Unit Procedures* responsáveis pelo CIP explicadas anteriormente.

Na Figura 27 apresenta-se a representação da hierarquia para a *Unit* 11.

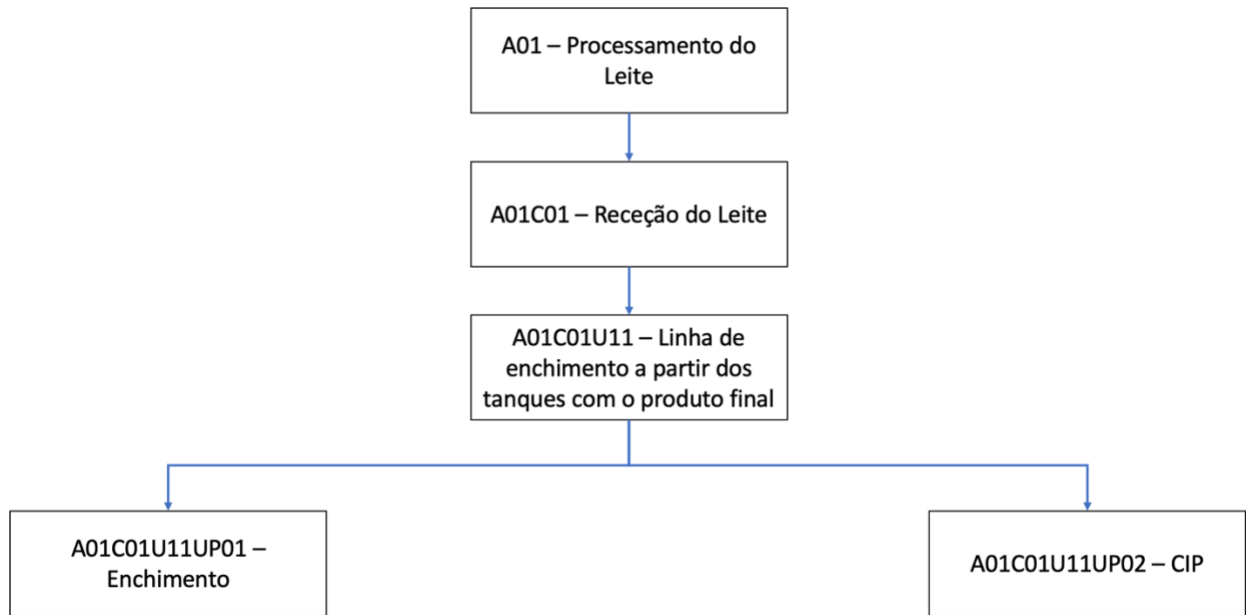


Figura 27 - Hierarquia com as diferentes Unit Procedures presente na A01C01U11.

Diferentemente das *Units* explicadas anteriormente, esta não possui nenhum EM associado a mesma, por isso, a sua hierarquia terminará aqui.

5.1.1.2 – A01C02: Armazenamento do leite não processado

Existem quatro *Units* associadas ao *Process Cell* 02, os quais são: U01 (Tanque de Leite não processado 01), U02 (Tanque de Leite não processado 02), U03 (Linha de enchimento a partir da recepção) e por último temos a U04 (Linha de esvaziamento/*Mixing*).

A Figura 28 mostra a hierarquia do A01C02 com suas *Units*.

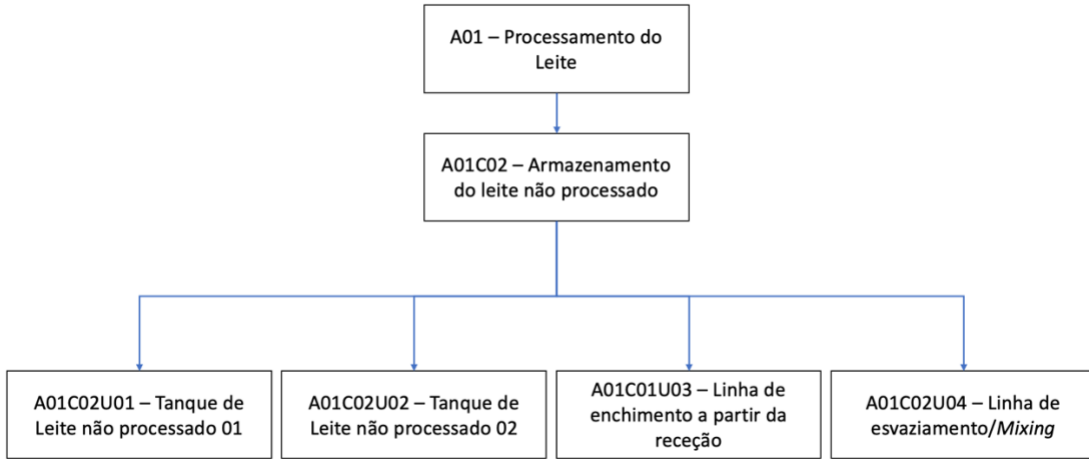


Figura 28 - Hierarquia com as Units pertencentes a A01C02.

A Figura 29 apresenta o P&ID da A01C02 onde as Units se encontram destacadas.

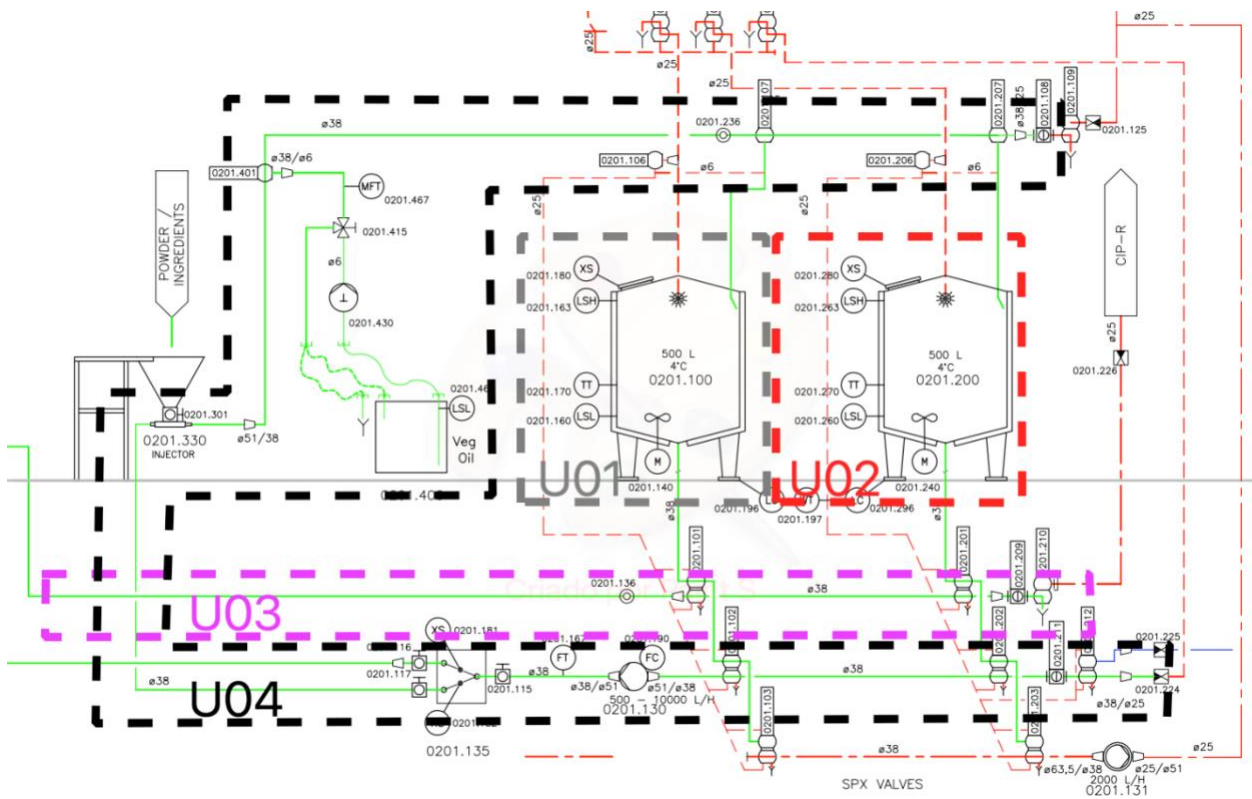


Figura 29 - P&ID da A01C02 onde as Units se encontram destacadas.

Como explicado anteriormente, a norma ISA 88 possui diversas vantagens sendo uma delas a possibilidade de reutilizarmos o código programado e os documentos redigidos para Units que

possuem a mesma função. Observando as figuras acima conclui-se que conseguiremos colocar essa vantagem em prática na *Unit 01 Unit 02*, já que ambas possuem a mesma função, assim conseguiremos poupar tempo e recursos de implementação e teste do código para os dois tanques.

5.1.1.2.1 – A01C02U01 e U02: Tanque de Leite não processado

Inserido nos tanques de armazenamento, teremos três *Equipment Modules*, o EM01 (Controlo de Nível e Agitação), EM02 (*Batch Control*), EM03 (*Event Control - Leite*) e EM04 (*Event Control – Óleo Vegetal*).

Como todas os EMs utilizados pelos tanques são também utilizados pelo A01C01U01 (Camião de Carregamento), todas as funções e documentação poderão ser reutilizadas.

Assim como as *Units* anteriormente explicadas, teremos duas *Unit procedures*, sendo uma delas a UP01 que é responsável pela produção e a outra será responsável pelo CIP.

5.1.1.2.2 – A01C02U03: Linha de enchimento a partir da receção

Nesta unidade teremos duas UPs. A primeira será responsável pelo enchimento (produção), já por sua vez, a segunda será responsável pelo processo de limpeza.

A linha de enchimento não possuirá nenhum EM, pois por ser um processo simples, as *Unit procedures* poderão controlar diretamente os atuadores e monitorizar os sensores.

Na Figura 30 apresenta-se a hierarquia com as diferentes UPs para A01C02U03.

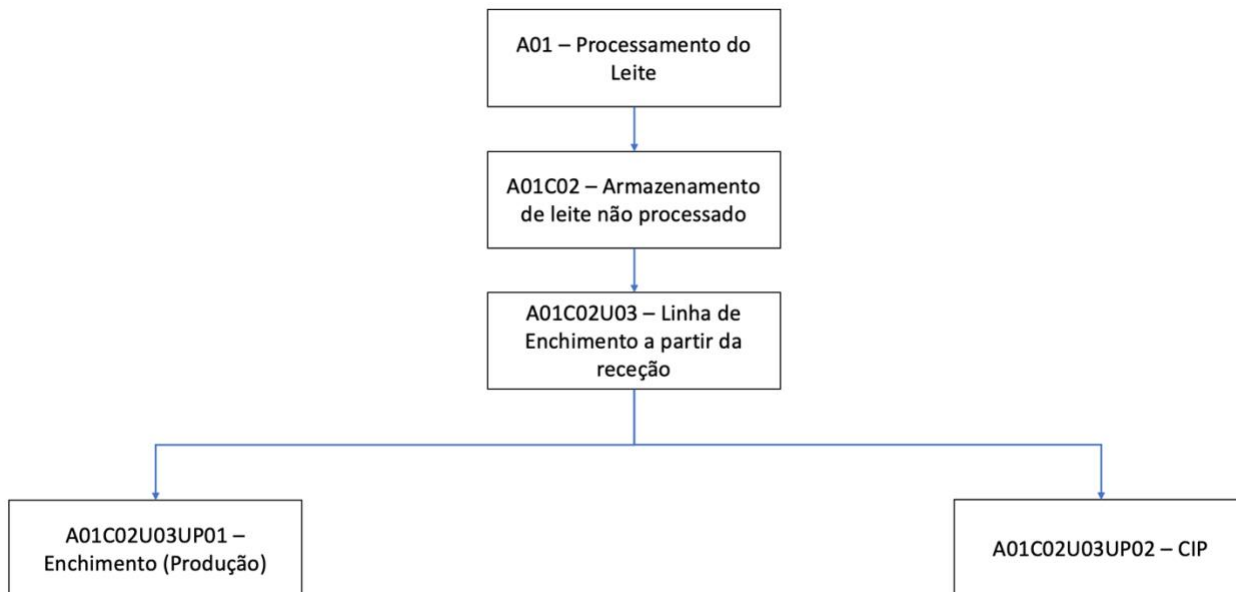


Figura 30 - Hierarquia com as Unit Procedures pertencentes a A01C02U03 Linha de enchimento.

5.1.1.2.3- A01C02U04: Linha de esvaziamento/Mixing

Essa unidade possui uma peculiaridade pelo fato de ser possível utilizá-la para tanto esvaziar quanto misturar alguns ingredientes, por isso, teremos três *Unit Procedures*. A UP01 será responsável pelo esvaziamento dos tanques, a UP02 será responsável a mistura de ingredientes extras ao leite e por último teremos a UP03 que realizará a limpeza da linha.

Na Figura 31 indica-se as rotas utilizadas para UP01, UP02 e o troço utilizada por ambas.

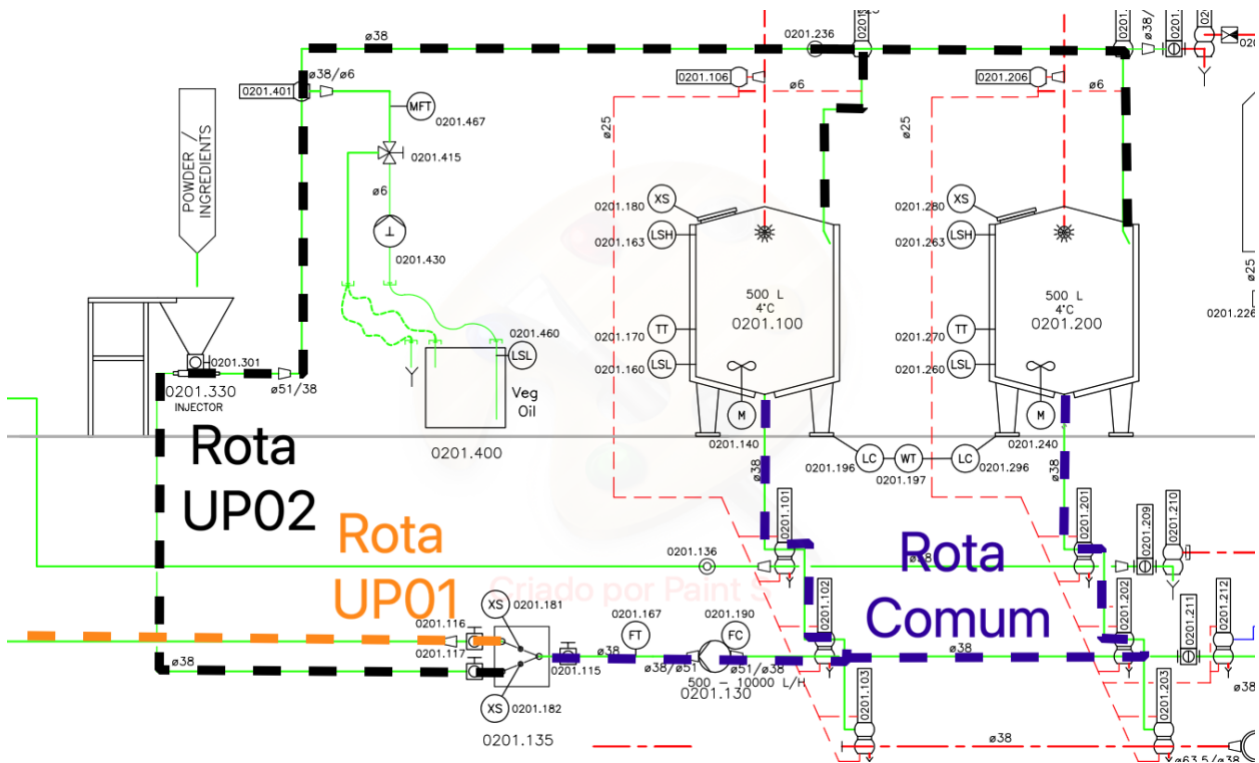


Figura 31 - Rotas do produto pertencentes a UP01 e UP02 da A01C02U04.

Esta linha será composta por 3 EMs, o EM01 terá a função de controlar a eletrobomba, o EM02 terá a responsabilidade de controlar o doseamento de óleo para a mistura do leite com outros ingredientes e por último, o EM03 terá a responsabilidade de controlar a gestão do doseamento de pó aditivo ao leite.

5.1.1.3 – A01C03: Pasteurização

Este *Process Cell*, terá apenas uma *Unit* a compor a sua hierarquia que terá o nome de U01 (Pasteurizador de Leite).

Na Figura 32 apresenta-se o P&ID ampliado na A01C03.

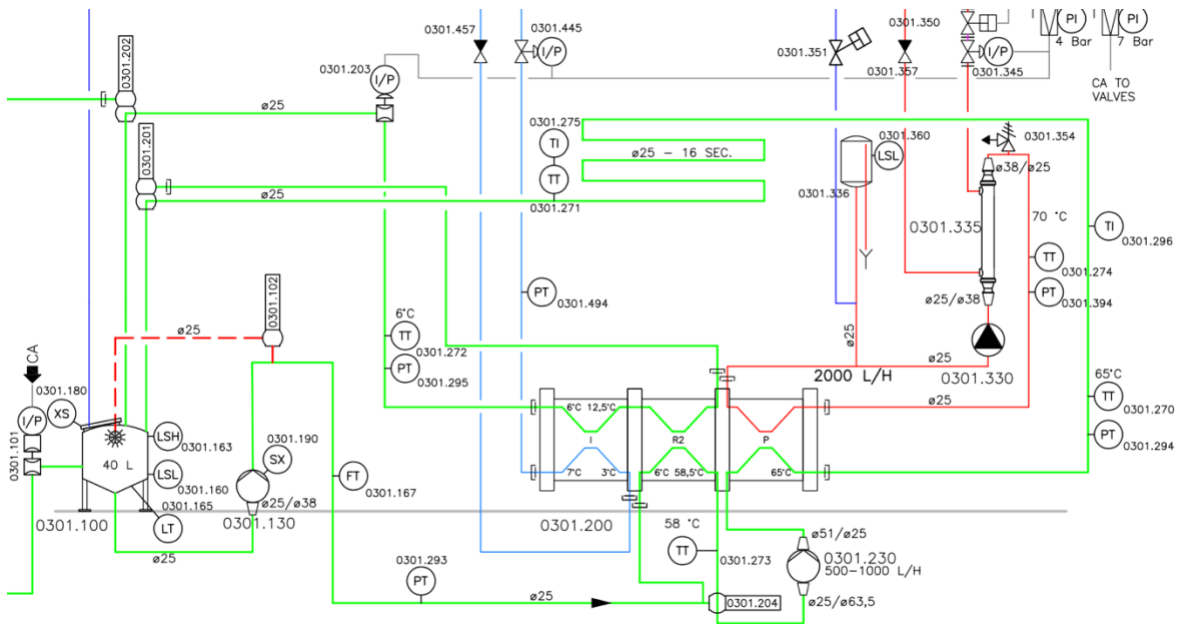


Figura 32 - P&ID para a A01C03 - Pasteurização.

5.1.1.3.1– A01C03U01: Pasteurizador de Leite

Apesar da Figura 32 mostrar poucos equipamentos para o pasteurizador de leite, esta é uma das principais e mais complexa *Unit* a ser abordado neste trabalho. Para seu funcionamento teremos sete *Equipment Modules* e três *UPs*.

As *UPs* pertencentes a esta *Unit* terão os seguintes nomes: *UP01* (Esterilização), *UP02* (Produção) e *UP03* (CIP). Esta é a primeira a apresentar um processo de esterilização, e isso deve-se ao fato de que o pasteurizador é o primeiro equipamento a trabalhar com temperaturas mais quentes e por utilizar vapor de água para elevar a temperatura, tornando-o um lugar propício para o surgimento e proliferação de fungos e bactérias, que são microrganismos indesejados para as indústrias alimentares.

Os *EMs* que compõem o pasteurizador são os seguintes: *EM01* (Controlo do tanque de equilíbrio), *EM02* (Controlo das Eletrobombas), *EM03* (Controle da Pressão), *EM04* (Controlo da linha de enchimento), *EM05* (Controlo do aquecimento), *EM06* (*Batch Control*) e por último teremos o *EM07* (*Events Control*).

5.1.1.4 – A01C04: Armazenamento do produto final

Este será o último *Process Cell* para a *Area 01* (Processamento do Leite), ele será composto por quatro *Units*: U01 (Tanque com produto final 01), U02 (Tanque com produto final 02), U03 (Linha de enchimento a partir do pasteurizador) e por último U04 (Linha de esvaziamento para a entrada de leite).

Na Figura 33 indica-se as *Units* que estão presentes na A01C04.

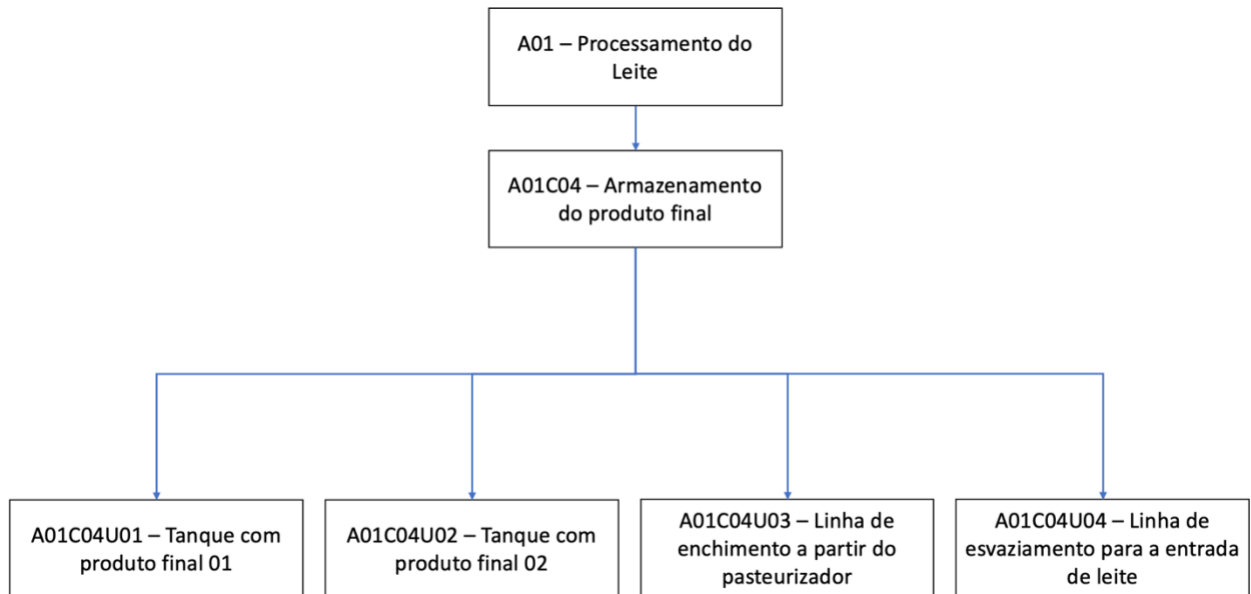


Figura 33 - Hierarquia com as *Units* que compõem a *Process Cell 01* da *Area 01*.

Na Figura 34 apresenta-se as *Units* pertencentes ao armazenamento do produto final.

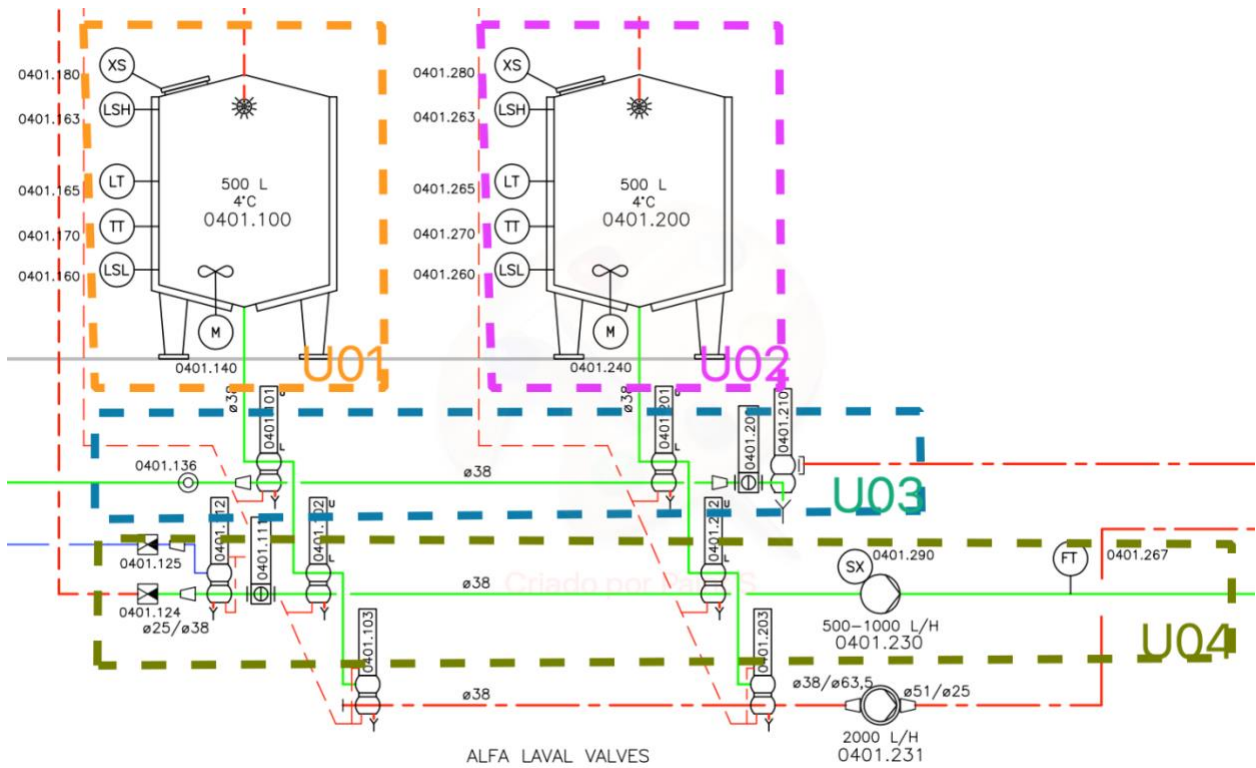


Figura 34 - P&ID com as Units destacadas para a Process Cell 04.

5.1.1.4.1– A01C04U01 e U02: Tanque com produto final 01 e 02

Com a utilização da norma ISA88 para a programação desta fábrica, poderemos reutilizar o código e documentação da A01C02U01 e U02 (Tanque de Leite não processado). Desta forma, conseguiremos poupar recursos para a elaboração e implementação da fábrica, por isso ele possuirá as mesmas UPs e EMs do que *Units* abordadas anteriormente.

5.1.1.4.2– A01C04U03: Linha de enchimento a partir do pasteurizador

Essa *Unit* terá a função de encher os tanques 01 e 02 a fim de que ambos realizem a sua função de armazenar o produto. Ela será composta por duas UPs: UP01 (Enchimento) e UP02 (CIP), e não possuirá nenhum EM associado ao mesmo.

5.1.1.4.3– A01C04U04: Linha de esvaziamento para a entrada de leite

A função dessa linha será de esvaziar os tanques para o tanque encontrado na A01C01U01, a fim de que o sistema seja composto por um ciclo fechado. Essa função geralmente não é aplicada nas fábricas em escala real pois não há a necessidade de o produto finalizado voltar para a *Unit* de início do processo, porém por se tratar de uma instalação de treinamento essa função facilitará a utilização da mesma.

Essa linha será composta por três *Unit Procedures*: UP01 (Transferência de produto), UP02 (Transferência de água) e UP03 (CIP).

5.1.2 – A02: CIP

Esta Area será composta por dois *process cells*: A02C01 (Instalação do CIP) e A02C02 (Serviços de utilidade).

A Instalação do CIP será responsável por armazenar todos os compostos químicos utilizados para a limpeza dos equipamentos restantes, bem como a limpeza de seus equipamentos internos.

Neste tipo de processo, é comum encontrarmos dois tanques com substâncias químicas essenciais para a limpeza, sendo o primeiro uma mistura entre dois ácidos, o nítrico e o fosfórico, já o segundo será lixívia, onde ambos os químicos se encontram diluídos em água.

Neste caso, os equipamentos responsáveis por fornecer água quente e fria a toda a fábrica estão também incluídos nesta *Area*.

5.1.2.1 – A02C01: Instalação do CIP

A instalação do CIP será composta por cinco *Units*: U01 (Tanque de água limpa), U02 (Tanque de ácido), U03 (Tanque de lixívia) e U04 (Tanque de recuperação de água) e por último temos a U05 (Linha de CIP).

Na Figura 35 indica-se todas as *Units* destacadas no P&ID.

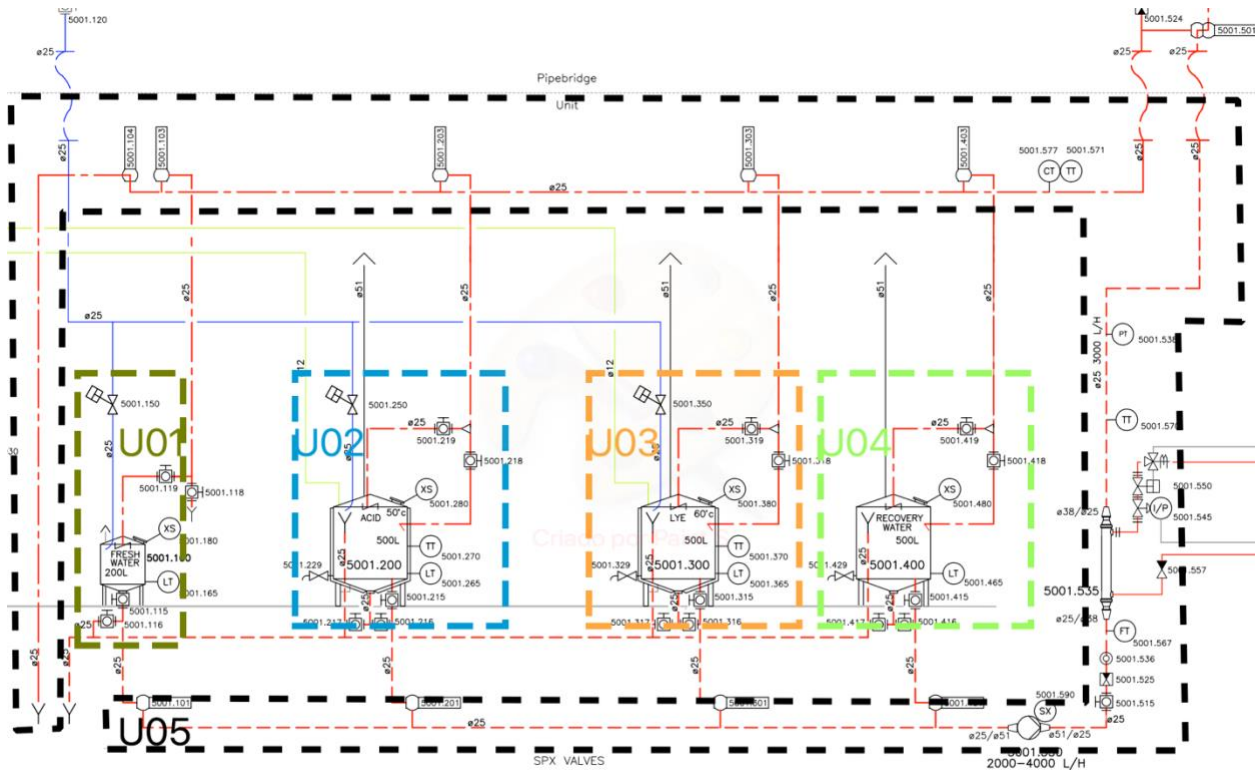


Figura 35 - P&ID com as Units que pertencem ao Process Cell 01 da Area 01.

Na Figura 36 apresenta-se a hierarquia com as Units que compõem a A02C01.

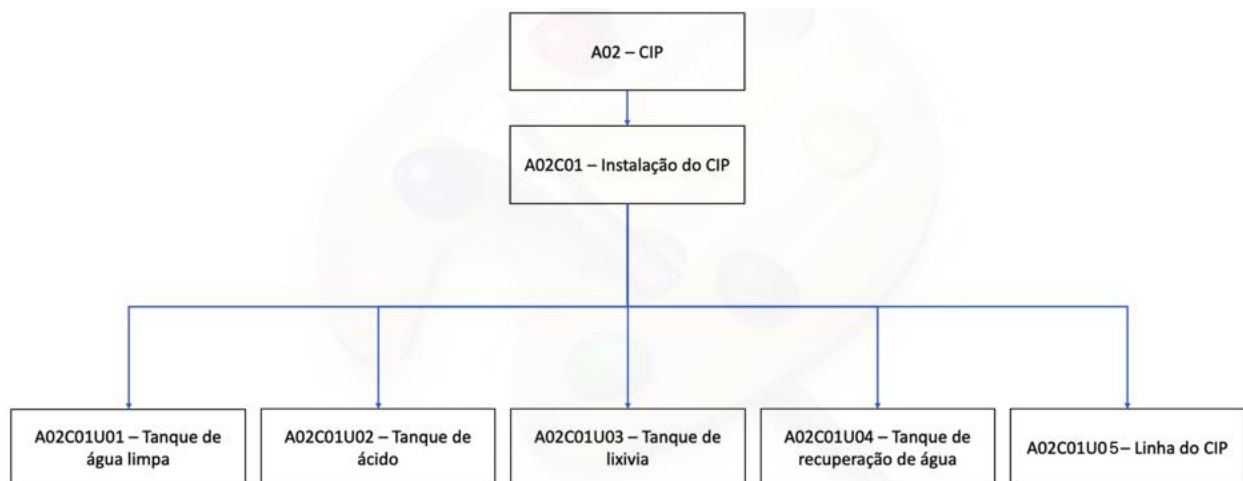


Figura 36 - Hierarquia de acordo com a norma ISA 88 com as Units que compõem a A02C01 (Instalação do CIP).

5.1.2.1.1 – A02C01U01: Tanque de água limpa

Essa Unit possui o propósito de controlar quando o tanque de água limpa está disponível para outras unidades, por exemplo: Linha de CIP. Para isso, ela contará com uma Unit Procedure (UP01

– Em operação) que controlará dois *Equipment Modules*: EM01 (Enchimento de água e controle do nível) que possuirá a função de controlar quando o tanque de água limpa está com a válvula de água aberta para encher o tanque, além de monitorizar o nível da água e sinalizar se o nível está adequado ou não, já o EM02 (*Event Control*) será responsável por reportar todos os consumos de água para as camadas superiores de acordo com a norma ISA95.

5.1.2.1.2 – A02C01U02 e U03: Tanque de ácido e lixívia

Estes tanques possuem a função de controlar quando o composto químico contido nos mesmos está disponível para outras *Units*, por exemplo linha do CIP, e por conta de possuírem a mesma função, poderá ser utilizada a mesma documentação para ambos.

Para desempenhar o seu papel, eles utilizarão uma *Unit procedure*: UP01 (Em operação) e três *Equipment Modules*: EM01 (Enchimento de água) que possui o propósito de controlar quando o tanque ativa ou desativa a válvula de enchimento para o mesmo além de monitorar o nível e sinalizar se o nível está adequado ou não, o EM02 (Doseamento) irá controlar quando o tanque de ácido está ativando ou desativando a bomba de dosagem do químico para o tanque, ele monitora a concentração e sinaliza se a mesma encontra-se adequada ou não, e por ultimo o EM03 (*Events Control*) que ira reportar todos os matérias consumidos pela *Unit*.

5.1.2.1.3 – A02C01U04: Tanque de recuperação de água

Este tanque terá a função de controlar quando o tanque de recuperação de água está disponível para outras unidades, por exemplo, linha do CIP e para alcançar este objetivo irá possuir apenas uma *Unit Procedure*: UP01 (Em operação) e apenas um *Equipment Module*: EM01 (Controle de nível), que terá a função de monitorar o nível de água e sinalizar se está adequado.

5.1.2.1.4 – A02C01U05: Linha do CIP

A linha do CIP será a *Unit* com o maior número de *Unit Procedures*, ao todo, serão 7 UPs e cada uma será responsável por:

- UP01 (Sequência do CIP): Responsável por levar os químicos para a *Unit* em que será realizada a limpeza.

A sequência CIP consiste em 7 fases: primeiro é utilizada água para limpar os equipamentos, logo após será utilizada a lixívia e o ácido separadamente, já no retorno para a instalação do CIP a primeira fase irá para o dreno. A segunda fase irá levar a água para o tanque de recuperação, e nas duas últimas fases irá encaminhar a lixívia e o ácido para o dreno. Essas fases podem ser ordenadas para funcionar de várias maneiras diferentes:

- UP02 (CIP interno para o tanque de água limpa): O tanque de água limpa é, em princípio, um tanque de processo e deve ser limpo em intervalos regulares, a fim de minimizar o crescimento de culturas de bactérias transmitidas pela água.

- UP03 e UP04 (CIP interno para o tanque de ácido e base): Os tanques dos químicos são, em princípio, tanques de processo e devem ser limpos em intervalos regulares, a fim de minimizar o crescimento de bactérias.

- UP05 (CIP interno para o tanque de recuperação de água): O tanque de água recuperada é, em princípio, um tanque de processo e deve ser limpo em intervalos regulares, a fim de minimizar o crescimento de culturas de bactérias transmitidas pela água.

- UP06 (Ajuste do ácido): Utilizado para ajustar a concentração de ácido no tanque.

- UP07 (Ajuste da base): Utilizado para ajustar a concentração de lixívia no tanque.

Para realizar as funções designadas, esta *Unit* contará com cinco *Equipment Modules*: EM01 (Linha de ida do CIP), EM02 (Linha de retorno do CIP), EM03 (Controlo do aquecimento), EM04 (Controlo da eletrobomba) e EM05 (Roteamento do produto).

5.2 – Norma ISA95 aplicada ao caso prático

O objetivo desta secção deste trabalho é especificar as definições de material e receita necessários para a produção e a limpeza dos equipamentos, e para esse alcançar este objetivo, será utilizado a terminologia criada pela norma ISA95, que foi abordada no Capítulo 4 – Norma ISA 95 deste trabalho.

A receita de produção é criada quando há a associação entre o *Material ID* e o *Process Segment*. O *Material ID* por sua vez, está associado aos parâmetros de produção daquele produto em específico na camada de nível 3 do software, assim, é possível que o PLC (nível 1) faça a requisição dos parâmetros para a produção, e o *Process Segment* possui o papel de limitar as *Units* em que esse material pode ser produzido.

Na Figura 37 apresenta-se o diagrama com um exemplo das informações trocadas entre os diferentes níveis.

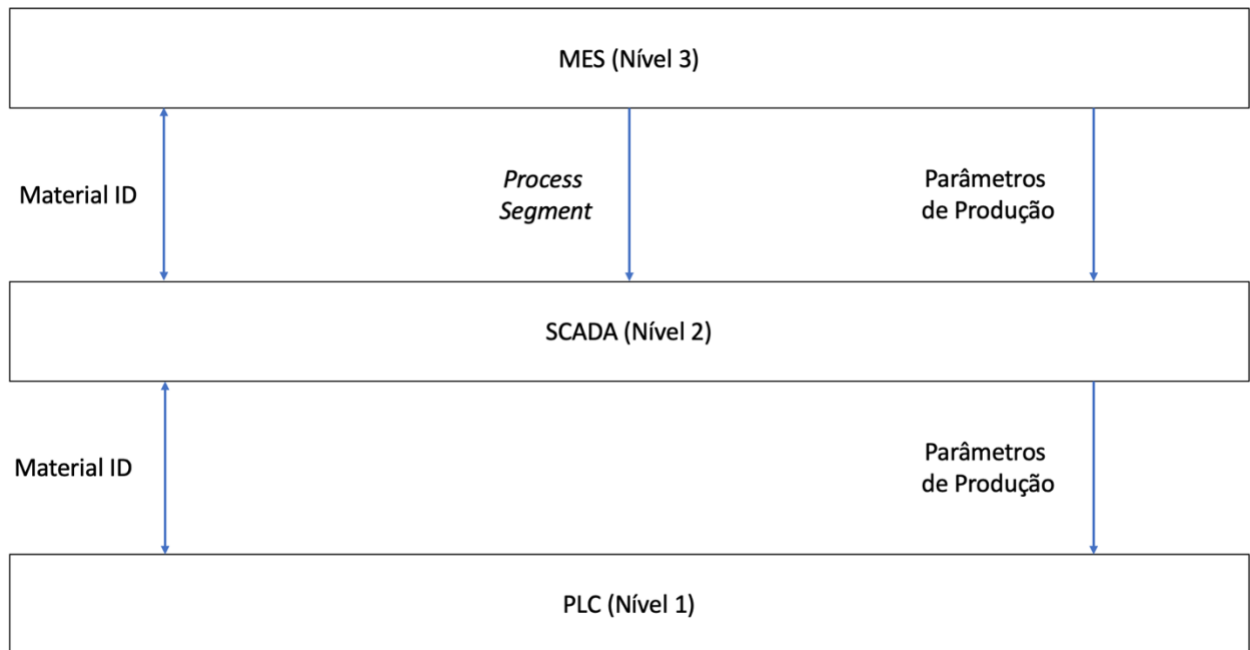


Figura 37 - Relação do *Material ID*, *Process Segment* e parâmetros de produção entre os níveis 1,2 e 3.

5.2.1 – *Process Segment* 01: Receção

Estará somente disponíveis para as *Units* contidas em A01C01 (Receção do Leite), estando disponíveis dois materiais, leite e leite orgânico. Neste caso, os materiais não estarão associados a nenhum *Product Definition* (receita), pois não há nenhum processo a ser realizado com o produto, ocorrendo a apenas a receção e armazenamento do mesmo.

Na Tabela 1, a seguir, apresenta-se as matérias pertencentes ao *Process Segment* da receção.

Tabela 1 - Materiais que estão contidos no Process Segment da Receção.

Nome	ID numérico
Leite	101
Leite orgânico	102

5.2.2 – Process Segment 02: Mixing

Este *Process Segment* estará disponível para serem seleccionados nos tanques que pertencem a A01C02 (Armazenamento de leite não processado).

Na Tabela 2, indica-se todos os materiais que podem ser produzidos pelas *Units* que pertencem ao *Mixing Process Segment*.

Tabela 2 - Materiais que podem ser produzidos pelas unidades A01C02U01 e A01C02U01, que pertencem ao Mixing Process Segment.

Nome	ID numérico
Leite	101
Leite orgânico	102
Leite com proteína adicionada	203
Leite com gordura adicionada	204

Já na Tabela 3, apresenta-se os materiais que podem ser consumidos para a produção na A01C02.

Tabela 3 - Materiais que podem ser consumidos pelas unidades A01C02U01 e A01C02U01, que pertencem ao Mixing Process Segment.

Nome	ID numérico	Descrição
Leite base	-	Leite que está presente no tanque
Proteína em pó	251	Proteína que será adicionado ao leite.
Óleo vegetal	252	Óleo vegetal que será adicionado ao leite

Na Tabela 4, apresenta-se os parâmetros que pertencem ao *Product Definition* destes materiais que serão produzidos.

Tabela 4 - Parâmetros do Product Definition que serão utilizados para produzir os materiais que pertencem ao Mixing Process Segment.

Nome	Descrição
Caudal	Caudal durante a mistura de ingredientes
Tempo de mistura final	Tempo de mistura após o término de adição de ingredientes

5.2.3 – Process Segment 03: Pasteurização

Estará interligado com os dois tanques presentes no A01C03 (Pasteurização).

Na Tabela 5, indica-se todos os materiais que podem ser produzidos pelas *Units* que pertencem ao *Process Segment* da pasteurização.

Tabela 5 - Materiais que podem ser produzidos pelos Units que estão inseridas no A01C04.

Nome	ID numérico
Leite – Baixa temperatura	211
Leite – Alta temperatura	212
Leite orgânico	213
Leite com proteína adicionada – Baixa temperatura	214
Leite com proteína adicionada – Alta temperatura	215
Leite com gordura adicionada – Temperatura mediana	216

Na Tabela 6, a seguir, indica-se os parâmetros que pertencem ao *Product Segment* dos materiais que podem ser produzidos.

Tabela 6 - Parâmetros do Product Definition que serão utilizados para produzir os materiais que pertencem ao Process Segment de pasteurização.

Nome	Descrição
Temperatura de pasteurização	Temperatura de pasteurização do produto

Temperatura de desvio de fluxo	Temperatura em que o fluxo do produto é desviado
Temperatura de Saida	Temperatura em que o produto está pronto para sair da pasteurização

O único material que poderá ser consumido neste processo é o leite que estava armazenado nos tanques do leite não processado.

5.2.4 – Process Segment 04: CIP

O *Process Segment* quatro será utilizado por todos as *Units* que possuem a *Unit Procedure* de CIP.

Na Tabela 7, apresenta-se os programas de limpeza que poderão ser reutilizados.

Tabela 7 - Programas de limpeza que poderão ser utilizados para limpeza por todos os equipamentos.

Nome	ID numérico
Lavagem com água	901
Limpeza com lixívia	902
Limpeza com ácido	903
Limpeza completa	904

5.2.5 – Coleta de Dados

Outro aspecto importante que a norma ISA95 será a coleta de dados. Pelo fato do PLC possuir todas as informações necessárias relativas a produção, ele será responsável por enviar as mesmas para as camadas superiores do software.

Para todas as *Units*, serão realizados envio dos consumos de materiais com os seguintes parâmetros:

- *Batch ID*: O *Batch ID* será gerado assim que a produção iniciar, e quando houver algum consumo, ele será enviado a fim de que seja possível rastrear a produção. Será enviado também o *Batch ID* da *Unit* em que o material estava armazenado, caso o mesmo não venha de fora da fábrica.

- Equipamento ID: Será enviado um ID único do equipamento a fim de que seja possível rastreamos qual foi o equipamento que utilizou aquele material. Esse ID será gerado conforme o número da *Area*, *Process Cell* e *Unit*, por exemplo, um equipamento localizado na A01C04U03 terá o ID 010403.

- Material ID: Essa informação será utilizada para conseguirmos localizar qual o material que foi consumido.

- Quantidade: A quantidade será enviada para que os níveis 3 e 4 do software consigam realizar os rastreios das quantidades disponíveis e consumidas para cada produto.

5.3 – Programação do PLC

Neste capítulo será abordado como foi realizada a programação do PLC de acordo com os capítulos anteriores, assim como será explicitado as documentações realizadas para alcançarmos a melhor eficiência e garantirmos o funcionamento do programa.

Para esta etapa, será abordado somente o equipamento A01C02U01 (Tanque de leite não processado), onde será programado as suas *Unit procedures* e *Equipment Modules*, bem como sua comunicação com as outras *Units*.

Os *Control Modules* que foram incluídos nesta *Unit* serão os seguintes:

- Válvulas: V0201.122, V0202.106, V0201.101, V0201.102, V0201.103, V0201.107.

-Motores: M0201.140.

-Sinais Digitais: XS0201.180, LSH0201.163, LSL0201.160.

-Sinais analógicos: TT0201.170, WT0201.197.

5.3.1 - Estrutura do código

Pelo fato de utilizarmos a norma ISA 88, dividindo os aspetos físicos do processo em *Area*, *Process Cell*, *Unit* e *Equipment Module*, esta divisão também será utilizada na programação do PLC.

Na Figura 38, apresenta-se como esta estruturação esta representada no software de programação do PLC.

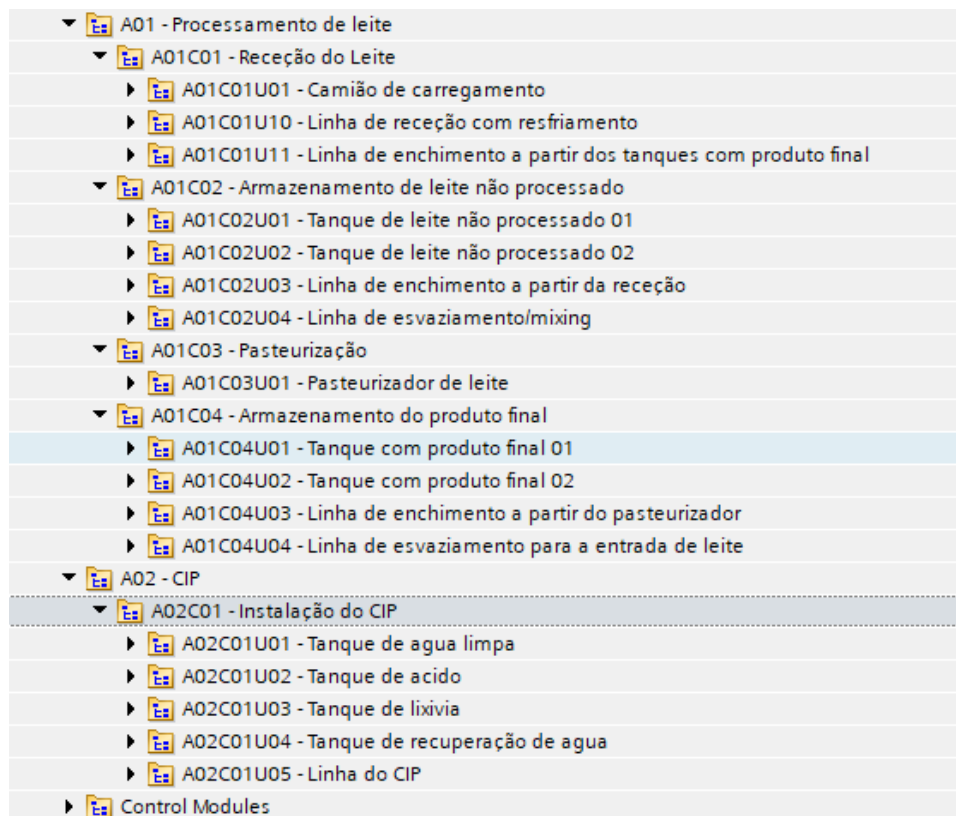


Figura 38 - Estrutura da programação no TIA Portal V17.

Dentro de cada pasta da *Unit*, encontraremos a função de controlo da mesma e dois conjuntos de informações para a comunicação com outros equipamentos e para a interface entre o PLC e a SCADA/HMI.

Na Figura 39, indica-se a estrutura dentro da pasta da *Unit*.

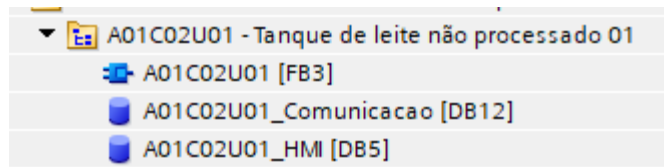


Figura 39 - Organização do código dentro da Unit.

As informações contidas no A01C02U01_HMI serão relativas ao equipamento que elas representam, por isso, encontraremos as informações de *Batch ID*, se está em manutenção ou fora de serviço, o estado das *Unit Procedures*, os parâmetros de produção e o estado de limpeza.

Na Figura 40, apresenta-se a estrutura dentro do A01C02U01_HMI.

Static	
UP01	"HMI_Interface"
S88_Status	Byte
Comando	Byte
Step	Byte
UP02	"HMI_Interface"
EM01	"HMI_Interface"
EM02	"HMI_Interface"
EM03	"HMI_Interface"
EM04	"HMI_Interface"
Status	Struct
Batch_ID	DInt
Fora_de_Serviço	Bool
Em_Manutenção	Bool
CIP_Status	Byte
UP02_SP	Struct
MaterialID	DInt
EM01_SP	"A01C02U0xEM01..."
Peso_Tanque_Cheio	Real
Peso_Tanque_Vazio	Real
Agitador_nivel_inicio	Real
Agitador_nivel_parar	Real
Agitador_tempo_ligado	Int
Agitador_tempo_desligado	Int
CIP_Agitador_tempo_ligado	Int
CIP_Agitador_tempo_desligado	Int
Delay_Tanque_vazio	Int
Delay_Tanque_cheio	Int

Figura 40 - Estrutura da informação de interface com o nível SCADA/HMI

As informações de comunicação irão variar de acordo com as necessidades do processo e do equipamento, para esta *Unit*, teremos as informações a serem trocadas com a linha de CIP (A02C01U05) e a informação se o tanque está selecionado pela linha de esvaziamento/*mixing* (A01C02U04).

A A01C02U01 (FB3) será a função que contém todas as funções das *Unit Procedures* e *Equipament Modules*.

5.3.2 - UP01

A *Unit Procedure* 01 será responsável por controlar o tanque quando o mesmo está em produção. Para alcançar este objetivo, utilizaremos uma máquina de estados que possuirá 4 estados.

Na Tabela 8, apresenta-se todos os estados assim como as condições para mudar entre os estados e as ações.

Tabela 8 - Máquina de estados para a UP01 da A01C02U01.

Estado	Transição	Ação
0 - Parado	Comando = Iniciar e <i>Blockings</i> OK = <i>True</i>	Mudar para estado 1 - Pronto
1 - Pronto	Tanque vazio (EM01) = <i>False</i>	Mudar para estado 2 -Em Produção
	Tanque cheio (EM01) = <i>True</i>	Mudar para estado 3 – Tanque cheio
2 - Em Produção	Tanque vazio = <i>True</i> e Tanque Selecionado (U04) = <i>False</i>	Mudar para estado 0 - Parado
	Tanque vazio = <i>True</i> e Tanque Selecionado (U04) = <i>True</i>	Mudar para estado 1 - Pronto
	Tanque Cheio (EM01) = <i>True</i>	Mudar para estado 3 – Tanque cheio

3 - Tanque Cheio	Tanque Cheio = <i>False</i>	Mudar para estado 2 – Em Produção
	Tanque vazio = <i>True</i>	Mudar para estado 0 - Parado
Transições em todos os estados		
Comando = Parar ou <i>Manway = False</i>		Mudar para estado 0 - Parado

O estado parado indica que a *Unit Procedure* se encontra inativa e não está em produção. Para iniciar a produção, é necessário que o operador da fábrica envie o comando iniciar através do HMI ou SCADA, além disso, é necessário que os requisitos de início do processo sejam verdadeiros, neste caso, o bloqueio do início da UP acontecerá quando possui alguma outra UP ativa que não esta, quando a sua porta de manutenção estiver aberta (*Manway*) e quando o tanque está fora de serviço ou em manutenção.

O estado 1 indica que o tanque está pronto para receber o produto. Já o estado número 2 indica que o tanque está recebendo o produto que foi transportado pela *Unit 03* ou *Unit 04*. Por último, o estado 3 informa que o tanque está cheio.

Na Tabela 8 também indica-se que algumas condições para transição possuem sinais vindo de outras *Units* e dos *Equipment Modules* dentro desta *Unit*.

Em todos os estados, a máquina estará em funcionamento de acordo com o estado da norma ISA88, como exceção do estado 0 que estará no estado parado.

Esta *Unit Procedure* também será responsável por mandar o comando Produção para o EM01 nos estados que não sejam o estado zero.

Na Figura 41, apresenta-se como se reflete a Tabela 8 na programação do PLC.

```

1 REGION Multi transições
2 IF #Step >= 1 AND #Step <= 3 THEN
3   IF #HMI.Comando = "Comandos".Parar OR #Manway_Fechada = FALSE THEN
4     #Step := 0; // Mudar para o Step parado
5   END_IF;
6 END_IF;
7 END_REGION
8
9 REGION Atualizar Sinais HMI
10 #HMI.Step := #Step;
11 END_REGION
12
13
14 CASE #Step OF
15 0: // Step 0 - Parado
16   #HMI.S88_Status := 0; // Colocar o status da Unit como parado
17   IF #HMI.Comando = "Comandos".Iniciar AND #Blockings_OK = TRUE THEN
18     #Step := 1; //Mudar para o step pronto
19     #Estado_Termino := 0; // Estado de termino de produção - OK
20   END_IF;
21
22
23
24 1: // Step 1 - pronto
25   #HMI.S88_Status := 2; // Colocar o status da Unit como em funcionamento
26   IF #Tanque_Vazio = FALSE THEN
27     #Step := 2; // Mudar para o step de produção
28   END_IF;
29
30   IF #Tanque_Cheio = TRUE THEN
31     #Step := 3; // Mudar para o step de tanque cheio
32   END_IF;
33
34
35
36 2: // Step 2 - Produção
37   #HMI.S88_Status := 2; // Colocar o status da Unit como em funcionamento
38   IF #Tanque_Vazio = TRUE AND #Tanque_Selecionado = FALSE THEN
39     #Step := 0; // Mudar para o step de parado
40     #Estado_Termino := 1; // Estado de termino de produção - Tanque não selecionado
41   END_IF;
42
43   IF #Tanque_Vazio = TRUE AND #Tanque_Selecionado = TRUE THEN
44     #Step := 1; // Mudar para o step ready
45     #Estado_Termino := 1; // Estado de termino de produção - Tanque desselecionado
46   END_IF;
47
48   IF #Tanque_Cheio = TRUE THEN
49     #Step := 3; // Mudar para o step tanque cheio
50   END_IF;
51
52

```

Figura 41 - Programação da UP01 para A01C02U01 em TIA Portal V17.

Na Figura 42, indica-se a função da UP01 a ser chamada dentro da FB03, com suas respectivas entradas e saídas.

```

REGION UP01
IF "A01C02U01_HMI".Status.Fora_de_Servico = TRUE OR "Control_Module".XS0201_180 = FALSE OR "A01C02U01_HMI".Status.Em_Manutencao = TRUE OR #UP02.Step < 0 THEN
ELSE
#Blockings_OK_UP01 := FALSE;
END_IF;
#UP01.Tanque_Vazio := #EM01.Sinais.Tanque_Vazio,
Tanque_Cheio := #EM01.Sinais.Tanque_Cheio,
Manway_Fechada := "Control_Module".XS0201_180,
Tanque_Selecionado := "A01C02U01.Comunicacao".Com_das_linhas.Tanque_Selecionado,
Blockings_OK := #Blockings_OK_UP01,
HMI := "A01C02U01_HMI".UP01;
END_REGION ;

```

Figura 42 - Função da Unit Procedure 01 com suas entradas e saídas.

5.3.3 - UP02 - CIP

A UP02 será responsável pela limpeza do equipamento e com a comunicação com a linha do CIP na Area 02.

Na Tabela 9, temos a máquina de estados que utilizamos para a UP02.

Tabela 9 - Máquina de estados para a UP02 da A01C02U01.

Estado	Transição	Ação
0 – Parado	Comando = Iniciar e <i>Blockings</i> OK = <i>True</i>	Mudar para estado 1 - Pré-selecionado e iniciar timer
1 – Pré-selecionado	CIP Status = Não Completo ou Comando = Parar	Mudar para estado 13 - Não terminado corretamente
	Timer Expirado	Mudar para estado 6 - Definir rota
6 - Definir Rota		Mudar para estado 7 – Em funcionamento
7 – Em funcionamento	Completo (Linha do CIP) = <i>True</i>	Mudar para estado 10 - Completo
	Pulsando (Linha do CIP) = <i>True</i>	Mudar para estado 15 – Pulsar e Iniciar timer
10 – Completo	Completo (Linha do CIP) = <i>True</i>	Mudar para estado 0 - Parado
13 – Não terminado corretamente		Mudar para estado 0 - Parado
15 – Pulsar	Pulsar Ativo = <i>False</i> e Timer expirado	Mudar para estado 17 – Pulsar completo
17 – Pulsar Completo	Pulsando (Linha do CIP) = <i>False</i> e Pulsar Completo = <i>True</i>	Mudar para estado 7 – Em funcionamento
Transições em todos os estados		

Rota ativa (Linha do CIP) \neq Rota	Mudar para estado 0 - Parado
---------------------------------------	---------------------------------

O estado 0 indica que esta *Unit Procedure* não está sendo utilizada, para iniciar serão utilizadas as mesmas condições que a UP01.

A função do estado de pré-selecionado é de informar a linha do CIP que a *Unit* foi selecionada para a limpeza e aguardar que a linha esteja disponível para limpar o equipamento.

Para o estado 6, teremos a função de definir a rota que será utilizada para a limpeza do equipamento e será realizada a troca de informações para a linha realizar o programa que foi selecionado.

Já o estado em funcionamento representa que a *Unit* está sendo limpa pela linha do CIP.

O estado 10 é utilizado para informar que a limpeza foi concluída e para atualizar o estado de limpeza do *Unit*.

Já estado 13 é utilizado para informar que a limpeza não foi concluída corretamente e para atualizar o estado de limpeza do *Unit*.

O estado 15 é utilizado para ativar o *spray ball* que esta localizado no topo do interior do tanque e serve para pulverizar a solução de limpeza pelo tanque. Já o estado 17 serve para indicar que a limpeza interna do tanque esta completa.

Em todos os estados, a máquina estará em funcionamento de acordo com o estado da norma ISA88, como exceção do estado 0 que estará no estado parado e do estado 1 que estará em pré-selecionado.

Esta *Unit Procedure* também será responsável por mandar o comando CIP para o EM01 nos estados que não sejam o estado zero.

Na Figura 43, temos a programação do PLC para a UP02.

```

1 REGION Multi Transições
2 IF #Step <> 1 AND #Step <> 12 AND #Step <> 0 THEN
3     IF #Com_para_Rota.No_Rota_Activa <> #Rota_No THEN
4         #Step := 13; // Mudar para step não terminado
5     END_IF;
6 END_IF;
7 END_REGION ;
8
9 REGION Atualizar Sinais HMI
10 #HMI.Step := #Step;
11 END_REGION
12
13 CASE #Step OF
14     0: // Step 0 - Parado
15         #HMI.S88_Status := 0; // Colocar o status da Unit como parado
16         IF #HMI.Comando = "Comandos".Iniciar AND #Blockings_OK = TRUE THEN
17             #Timer.Timer_Novo := TRUE;
18             #Timer.Timer_Setpoint := INI_TO_TIME(IN := 2*1000);
19             #Step := 1; // Mudar step para pre-selecionado
20         END_IF;
21
22
23     1: // Step 1 - Pre-selecionado
24         #HMI.S88_Status := 1; // Colocar o status da Unit como pre-selecionado
25         IF #CIP_Status = "CIP_Status".Nao_Completo AND #HMI.Comando = "Comandos".Parar THEN
26             #Step := 13; // Mudar step para nao terminado
27         END_IF;
28
29         IF #HMI.Comando = "Comandos".Parar THEN
30             #Step := 13; // Mudar step para pre-selecionado
31         END_IF;
32
33         IF #Rota_No = #Com_para_Rota.No_Rota_Activa THEN
34             // Se o tanque atual for o que esta sendo limpo, enviar todas as informacoes para a estacao de CIP
35             #Com_da_Rota.No_Programa := #Programa_No;
36             #Com_da_Rota.CIP_STATUS := #CIP_Status;
37
38
39             IF #Timer.Timer_expirado = TRUE THEN
40                 #Step := 6; // Mudar para step definir rota
41             END_IF;
42
43         END_IF;
44
45
46     6: // Step 6 - Definir rota
47         #HMI.S88_Status := 2; // Colocar o status da Unit como em funcionamento
48         #Com_da_Rota.Ultimo_CIP_Abortado := #CIP_Status = "CIP_Status".Nao_Completo;
49         #CIP_Status := "CIP_Status".Nao_Limpo;
50         #Com_da_Rota.No_Programa := #Programa_No;
51
52         #Step := 7; // Mudar para step em funcionamento

```

Figura 43 - Programação da UP02 para A01C02U01 em TIA Portal V17.

Os *Control Modules* a serem controlados diretamente pela UP02 serão:

-Válvula V0201_122: Será ativa nos estados 6,7,15 e 17.

-Válvula V0201_102: Será ativa no estado 15.

-Válvula V0201_103: Será ativa nos estados 6,7,15 e 17.

Na Figura 44, apresenta-se a forma como os *Control Modules* usados pela UP02 foram programados.

```

4
5 REGION Control Modules controlados diretamente pelas UPs
6
7 "Control_Module".V0201_122 := #UP02.Step <> 0 AND #UP02.Step <> 1 AND #UP02.Step <> 10 AND #UP02.Step <> 13;
8 "Control_Module".V0201_106 := #UP02.Step = 15;
9 "Control_Module".V0201_103 := #UP02.Step <> 0 AND #UP02.Step <> 1 AND #UP02.Step <> 10 AND #UP02.Step <> 13;
0
1 END_REGION ;

```

Figura 44 - Programação dos Control Modules a serem controlados diretamente pela UP02.

Na Figura 45, indica-se a função da UP02 a ser chamada dentro da FB03, com suas respectivas entradas e saídas.

```

REGION UP02
IF "A01C02U01_HMI".Status.For_a_Servico = TRUE OR "Control_Module".XS0201_180 = FALSE OR "A01C02U01_HMI".Status.Em_Mantencao = TRUE OR #UP01.Step <> 0 OR #EM01.Sinais.Tanque_Vazio = FALSE THEN
#Blockings_OK_UP02 := FALSE;
ELSE
#Blockings_OK_UP02 := TRUE;
END_IF;

#UP02(Rota_No:=3,
Programa_No:="A01C02U01_HMI".UP02_SF.MaterialID,
Tanque_Vazio:=#EM01.Sinais.Tanque_Vazio,
Tempo_Pulsa:=32000,
Pulsa_Activo:=TRUE,
Blockings_OK:=#Blockings_OK_UP02,
Com_para_Rota:="A01C02U01_Comunicacao".Com_da_CIP_Linha_01,
Com_da_Rota:="A01C02U01_Comunicacao".Com_para_CIP_Linha_01,
HMI:="A01C02U01_HMI".UP02,
CIP_Status:="A01C02U01_HMI".Status.CIP_Status);
END_REGION

```

Figura 45 - Função da Unit Procedure 02 com suas entradas e saídas.

5.3.5 - EM01 - Controlo de nível e agitação

O *Equipment Module* 01 terá a responsabilidade de controlar o nível do tanque e de controlar os momentos em que o motor de agitação do produto estará ligado.

Na Tabela 10, apresenta-se a máquina de estados utilizadas para programar o EM01.

Tabela 10 - Máquina de estados para o EM01 da A01C02U01.

Estado	Transição	Ação
0 - Parado	Comando = CIP	Mudar para estado 5 - CIP em funcionamento e ativar timer
	Comando = Produção e Agitador tempo Ligado > 0	Mudar para estado 1 – Esperar nível

1 – Esperar nível	Peso \geq Agitador nível início e Tanque Vazio = <i>False</i>	Mudar para estado 2 – Em funcionamento e ativar timer
	Comando = CIP	Mudar para estado 5 - CIP em funcionamento e ativar timer
2 - Em funcionamento	Peso < Agitador nível parar ou Tanque Vazio = <i>True</i>	Mudar para estado 1 – Esperar nível
	Timer expirado = <i>True</i> e Agitador tempo desligado > 0	Mudar para estado 3 - Desligado e ativar timer
	Comando = CIP	Mudar para estado 5 - CIP em funcionamento e ativar timer
3 - Desligado	Peso < Agitador nível parar ou Tanque Vazio = <i>True</i>	Mudar para estado 1 – Esperar nível
	Timer expirado = <i>True</i>	Mudar para estado 2 – Em funcionamento e ativar timer
	Comando = CIP	Mudar para estado 5 - CIP em funcionamento e ativar timer
5 – CIP em funcionamento	Timer expirado = <i>True</i> e CIP agitador tempo desligado > 0	Mudar para estado 6 – CIP desligado e ativar timer
	Comando \neq CIP	Mudar para estado 0 - Parado
6 – CIP desligado	Timer expirado e CIP agitador tempo ligado > 0	Mudar para estado 5 - CIP em funcionamento e ativar timer
	Comando \neq CIP	Mudar para estado 0 - Parado

Transições em todos os estados	
(Estado >=1 e Estado <=3) e (Comando = Nada ou (Agitador Tempo ligado = 0 e Comando = Produção))	Mudar para estado 0 - Parado

Em todos os estados, a máquina estará em funcionamento de acordo com o estado da norma ISA88, como exceção do estado 0 que estará no estado parado.

Para o EM01 será necessário o uso de parâmetros para a configuração de funcionamento do mesmo, por isso, indica-se na Figura 46 os parâmetros que serão utilizados com a sua utilização sendo explicada pelo seu respetivo nome.

■	Peso_Tanque_Cheio	Real
■	Peso_Tanque_Vazio	Real
■	Agitador_nivel_inicio	Real
■	Agitador_nivel_parar	Real
■	Agitador_tempo_ligado	Int
■	Agitador_tempo_desligado	Int
■	CIP_Agitador_tempo_ligado	Int
■	CIP_Agitador_tempo_desligado	Int
■	Delay_Tanque_vazio	Int
■	Delay_Tanque_cheio	Int

Figura 46 - Parâmetros de configuração do EM01.

Também será utilizado outros sinais que são gerados pelo próprio *Equipment Module*, nomeadamente temos:

- Tanque Cheio: Nível alto = *True* + *Delay* Tanque cheio.
- Tanque Cheio: Nível baixo = *True* + *Delay* Tanque vazio.

Em ambos os casos o *delay* será necessário pois é comum que o líquido contido no tanque esteja em movimento, seja pelo agitador ou pelo esvaziamento ou pelo enchimento, assim visamos garantir que o nível esteja realmente correto.

Na Figura 47 e Figura 48 indica-se como foi programado a máquina de estados e os outros sinais.

```

1 REGION Multi transições
2 IF #Step >= 1 AND #Step <= 3 THEN
3 IF #comando = "Comandos".Nada OR (#SP.Agitador_tempo_ligado = 0 AND #comando = "Comandos".Produção) THEN
4 #Step := 0; // Mudar para o Step parado
5 END_IF;
6 END_IF;
7 END_REGION
8
9 REGION Atualizar Sinais HMI
10 #HMI.Step := #Step;
11 END_REGION
12
13
14 CASE #Step OF
15 0: // Step 0 - Parado
16 #HMI.S88_Status := 0; // Colocar o status da Unit como parado
17
18 IF #comando = "Comandos".CIP THEN
19 #Timer.Timer_Novo := TRUE;
20 #Timer.Timer_Setpoint := INT_TO_TIME(IN := #SP.CIP_Agitador_tempo_ligado * 1000);
21 #Step := 5; // Mudar para o step CIP - Em funcionamento
22 END_IF;
23
24 IF #comando = "Comandos".Produção AND #SP.Agitador_nivel_inicio > 0 THEN
25 #Step := 1; // Mudar para o step esperar nivel
26 END_IF;
27
28
29 1: // Step 1 - Esperar Nivel
30 #HMI.S88_Status := 2; // Colocar o status da Unit como em funcionamento
31
32 IF #Peso >= #SP.Agitador_nivel_inicio AND #Sinais.Tanque_Vazio = FALSE THEN
33 #Timer.Timer_Novo := TRUE;
34 #Timer.Timer_Setpoint := INT_TO_TIME(IN:=#SP.Agitador_tempo_ligado * 1000);
35 #Step := 2; // Mudar para step em funcionamento
36 END_IF;
37
38 IF #comando = "Comandos".CIP THEN
39 #Timer.Timer_Novo := TRUE;
40 #Timer.Timer_Setpoint := INT_TO_TIME(IN := #SP.CIP_Agitador_tempo_ligado * 1000);
41 #Step := 5; // Mudar para step CIP - Em funcionamento
42 END_IF;
43
44
45 2:// Step 2 - Em funcionamento
46 #HMI.S88_Status := 2; // Colocar o status da Unit como em funcionamento
47
48 IF #Peso < #SP.Agitador_nivel_parar OR #Sinais.Tanque_Vazio = FALSE THEN
49 #Step := 1; // Mudar para o step esperar nivel
50 END_IF;
51
52 IF #Timer.Timer_expirado = TRUE AND #SP.Agitador_tempo_desligado > 0 THEN

```

Figura 47 - Programação do EM01 para A01C02U01 em TIA Portal V17.

```

REGION Sinais
// Tanque Vazio
"IEC_Timer_0_DB_2".TON(IN := NOT #Nivel_Baixo,
PT := INT_TO_TIME(IN := #SP.Delay_Tanque_vazio * 1000));
"IEC_Timer_0_DB_3".TON(IN:=#Peso < #SP.Peso_Tanque_Vazio,
PT:=INT_TO_TIME(IN := #SP.Delay_Tanque_vazio * 1000));

IF "IEC_Timer_0_DB_2".Q = TRUE OR "IEC_Timer_0_DB_3".Q = TRUE THEN
#Sinais.Tanque_Vazio := TRUE;
ELSE
#Sinais.Tanque_Vazio := FALSE;
END_IF;

// Tanque Cheio
"IEC_Timer_0_DB_4".TON(IN:=#Nivel_Alto,
PT:=INT_TO_TIME(IN := #SP.Delay_Tanque_cheio * 1000));
"IEC_Timer_0_DB_5".TON(IN:=#Peso > #SP.Peso_Tanque_Vazio,
PT:=INT_TO_TIME(IN := #SP.Delay_Tanque_cheio * 1000));

IF "IEC_Timer_0_DB_4".Q = TRUE OR "IEC_Timer_0_DB_5".Q = TRUE THEN
#Sinais.Tanque_Cheio := TRUE;
ELSE
#Sinais.Tanque_Cheio := FALSE;
END_IF;

END_REGION ;

```

Figura 48 - Programação dos sinais gerados pelo EM01 em TIA Portal V17.

Conforme foi descrito, o EM01 irá controlar o agitador do tanque, e de acordo com a Tabela 10 devemos ligá-lo no estado 2 e 5. Na Figura 49 apresenta-se como foi programado o controle do *Control Module*, além das suas respectivas entradas e saídas da função.

```

REGION EM01
  IF #UP01.Step = 1 OR #UP01.Step = 2 OR #UP01.Step = 3 THEN
    #EM01.comando := "Comandos".Produção;
  END_IF;

  #EM01(Nivel_Alto := "Control_Module".LSH0201_163,
        Nivel_Baixo := "Control_Module".LSL0201_160,
        Peso := "Control_Module".WT0201_197_1,
        HMI := "A01C02U01_HMI".EM01,
        SP := "A01C02U01_HMI".EM01_SP);

  "Control_Module".M0201_140 := #EM01.Step = 2 OR #EM01.Step = 5;
END_REGION ;

```

Figura 49 - Programação do Control Module a ser controlado pelo EM01 com suas entradas e saídas em TIA portal V17.

5.3.5 - EM02 – Batch Control

O *Batch control* será responsável por gerar o *Batch ID* assim que a produção for iniciada nesta *Unit*.

Na Tabela 11, temos todos os estados do EM02 e suas transições.

Tabela 11 - Máquina de estados para o EM02 da A01C02U01.

Estado	Transição	Ação
0 - Parado	<i>Batch</i> Iniciou = <i>True</i>	Mudar para estado 1 – Gerar <i>Batch ID</i>
	Hora atual = Meia-noite	Mudar para o estado 2 – <i>Reset</i> Contador
1 – Gerar <i>Batch ID</i>		Mudar para estado 0 - Parado
2 – <i>Reset</i> Contador		Mudar para estado 0 - Parado

Em todos os estados, a máquina estará em funcionamento de acordo com o estado da norma ISA88, como exceção do estado 0 que estará no estado parado.

Na Figura 50, indica-se o formato do *Batch* a ser gerado pelo EM02.

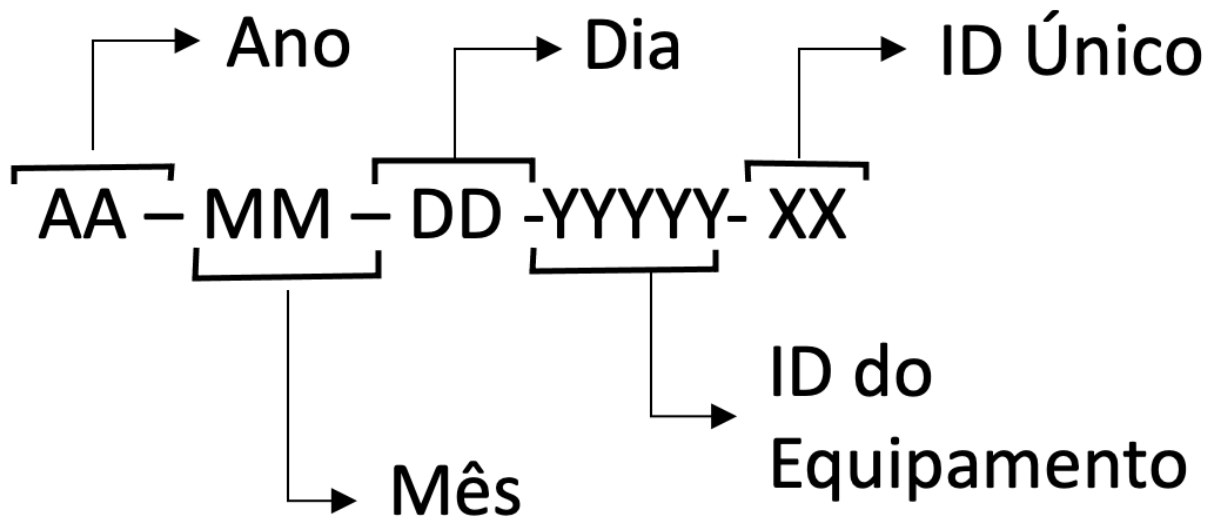


Figura 50 - Modelo do Batch a ser gerado pelo EM02.

O estado parado indica que o EM02 não está a ser utilizado. Já o estado 1 é responsável por gerar o *Batch ID* conforme o indicado na Figura 50 e incrementar o contador, e por último, o estado dois irá colocar o contador de *Batch IDs* diário a zero.

Na Figura 51, temos como o EM02 foi programado no PLC.

```

1 REGION Atualizar Sinais HMI
2   #HMI.Step := #Step;
3 END_REGION
4
5
6 REGION Ler os horarios atuais
7   #Int01 := RD_LOC_T(#Time);
8 END_REGION ;
9
10
11 CASE #Step OF
12   0: // Step 0 - Parado
13     #HMI.S88_Status := 0; // Colocar o status da Unit como parado
14     IF #Batch_Iniciou = TRUE THEN
15       #Step := 1; // Mudar para step "Gerar Batch ID"
16     END_IF;
17
18     IF #Time.HOUR = 0 AND #Time.MINUTE = 0 AND #Time.SECOND = 0 THEN
19       #Step := 2; // Mudar para o step "Zerar contador a meia noite"
20     END_IF;
21
22
23   1: // Step 1 - Gerar Batch ID
24     #HMI.S88_Status := 2; // Colocar o status da Unit como em funcionamento
25     #Contador := #Contador + 1;
26
27     // Formato do batch AA MM DD EQUIPID xx
28     #Batch_ID_String := RIGHT(IN := UINT_TO_STRING(IN := #Time.YEAR), L := 2);
29     #Batch_ID_String := CONCAT(IN1 := #Batch_ID_String, IN2 := UINT_TO_STRING(IN := #Time.MONTH));
30     #Batch_ID_String := CONCAT(IN1 := #Batch_ID_String, IN2 := UINT_TO_STRING(IN := #Time.DAY));
31     #Batch_ID_String := CONCAT(IN1 := #Batch_ID_String, IN2 := DINT_TO_STRING(IN := #Equipamento_ID));
32     #Batch_ID_String := CONCAT(IN1 := #Batch_ID_String, IN2 := INT_TO_STRING(IN := #Contador));
33
34     #Batch_ID := STRING_TO_DINT(IN := #Batch_ID_String);
35
36     #Step := 0; // Mudar para step "Parado"
37
38
39   2: // Step 3 - Zerar contador a meia noite
40     #HMI.S88_Status := 2; // Colocar o status da Unit como em funcionamento
41     #Contador := 0;
42     #Step := 0; // Mudar para step "Parado"
43 END_CASE;

```

Figura 51 - Programação do EM02 para A01C02U01 em TIA Portal V17.

Na Figura 52, temos o EM02 a ser chamado pela FB03 com suas entradas e saídas.

```

6
7 REGION EM02 - Batch Control
8
9   #EM02(Equipamento_ID:=010201,
10     Batch_Iniciou:="A01C02U03_Com".Com_Para_Tanque.Enchimento_Activo,
11     Batch_ID=>"A01C02U01_HMI".Status.Batch_ID,
12     HMI:="A01C02U01_HMI".EM02);
13
14 END_REGION ;

```

Figura 52 - Função do Equipament Module 02 com suas entradas e saídas.

5.3.6 - EM03 e EM04 – Event Control

Os *Equipment Modules* 03 e 04 utilizarão a mesma função e por isso serão descritos em conjunto, a única diferença entre ambos serão as suas entradas e saídas.

Na Tabela 12, temos a máquina de estados usada no *Event Control*.

Tabela 12 - Máquina de estados para o EM03 e EM04 da A01C02U01.

Estado	Transição	Ação
0 - Parado	Consumo iniciou = <i>True</i> e Novo Evento = <i>False</i>	Mudar para estado 1 – Enviar evento iniciar consumo e Novo Evento = <i>True</i>
	Consumo terminou = <i>True</i> e Novo Evento = <i>False</i>	Mudar para o estado 2 – Enviar evento terminar consumo e Novo Evento = <i>True</i>
1 – Enviar evento iniciar consumo	Novo Evento = <i>False</i>	Mudar para estado 0 - Parado
2 – Enviar evento terminar consumo	Novo Evento = <i>False</i>	Mudar para estado 0 - Parado

O estado 0, assim como em todos os processos irá indicar que o *Equipment Module* não está em uso e assim que mudar para o estado 1 ou 2, irá enviar um sinal de novo evento para as camadas do nível superior do software a fim de que elas recolham que informação que foi disponibilizada, e assim que essa informação for coletada, o nível superior irá desativar esse sinal.

O estado 1 será responsável por enviar as seguintes informações: *Batch ID*, *Material ID* do material consumido, *Event ID* de início para que seja possível a tradução da mensagem, Equipamento ID para que saibamos qual o equipamento que envio a mensagem e por último, caso

haja o consumo de algum outro equipamento será enviado também o Equipamento ID donde o material foi consumido.

Já o estado 2 possuirá a mesma função e as mesmas informações, com exceção do *Event ID* de término e da quantidade de material consumida.

Em todos os estados, a máquina estará em funcionamento de acordo com o estado da norma ISA88, como exceção do estado 0 que estará no estado parado.

Na Figura 53, apresenta-se a programação do *Equipment Module* 03 e 04.

```

1 REGION Ver quando o consumo começou e terminou
2     "R_TRIG_DB"(CLK:=#Consumo_Ativo,
3         Q=>#Consumo_Comecou);
4     "F_TRIG_DB"(CLK:=#Consumo_Ativo,
5         Q=>#Consumo_terminou);
6 END_REGION ;
7
8 REGION Atualizar Sinais HMI
9     #HMI.Step := #Step;
10 END_REGION
11
12 CASE #Step OF
13     0: // Step 0 - Parado
14         #HMI.S88_Status := 0; // Colocar o status da Unit como parado
15         IF #Consumo_Comecou = TRUE AND #Novo_Evento = FALSE THEN
16             #Step := 1; // Mudar para step Enviar evento de iniciar consumo
17             #Novo_Evento := TRUE;
18         END_IF;
19         IF #Consumo_terminou = TRUE AND #Novo_Evento = FALSE THEN
20             #Step := 2; // Mudar para step Enviar evento de terminar consumo
21             #Novo_Evento := TRUE;
22         END_IF;
23
24
25     1: // Step 1 - Enviar evento iniciar consumo
26         #HMI.S88_Status := 2; // Colocar o status da Unit como em funcionamento
27         IF #Novo_Evento = FALSE THEN
28             #Step := 0; // Mudar para o step parado
29         END_IF;
30         "Eventos".Batch_ID := #Batch_ID;
31         "Eventos".Material_ID := #Material_ID;
32         "Eventos".Event_ID := #Event_ID_Inicio;
33         "Eventos".Equipamento_ID := #Equipamento_ID;

```

Figura 53 - Programação do EM03 e EM04 para A01C02U01 em TIA Portal V17.

Na Figura 54, temos a função do *Event Control* a ser chamada para o EM03 e EM04 com suas respectivas entradas e saídas.

```

7  REGION EM03 - Event Control (Consumo de leite)
8
9  #EM03(Consumo_Ativo:="A01C02U03_Com".Com_Para_Tanque.Enchimento_Activo,
0      Event_ID_Inicio:=21,
1      Event_ID_Fim:=22,
2      Batch_ID:="A01C02U01_HMI".Status.Batch_ID,
3      Equipamento_ID:=#EM03.Equipamento_ID,
4      Conusmido_do_Equip_ID:="A01C02U03_Com".Status.Equipamento_ID,
5      Material_ID:="A01C02U03_HMI".Status.MaterialID,
6      Quantidade:="Control_Module".FTC0101_167_TOTAL,
7      HMI:="A01C02U01_HMI".EM03);
8
9  END_REGION ;
0
1  REGION EM04 (Consumo de Oleo Vegetal)
2
3  #EM04(Consumo_Ativo := "A01C02U04_Com".Com_Para_Tanque.Consumo_oleo_ativo,
4      Event_ID_Inicio := 23,
5      Event_ID_Fim := 24,
6      Batch_ID := "A01C02U01_HMI".Status.Batch_ID,
7      Equipamento_ID := #EM03.Equipamento_ID,
8      Conusmido_do_Equip_ID := "A01C02U04_Com".Status.Equipamento_ID,
9      Material_ID := "A01C02U04_HMI".Status.MaterialID,
0      Quantidade := "Control_Module".MFTC0201_467_PURGE,
1      HMI := "A01C02U01_HMI".EM04);
2
3  END_REGION ;

```

Figura 54 - Função do EM03 e EM04 com suas respectivas entradas e saídas.

Capítulo 6 – Conclusão

Tal como foi abordado ao longo deste trabalho, a norma ISA 88 e a norma ISA 95, ambas não possuem o intuito de definir o método de aplicação, mas sim o objetivo de definir nomenclaturas e terminologias de processos que já são realizados nas indústrias.

Com este trabalho, conseguiu-se observar a versatilidade da norma ISA88, pelo que esta possibilita a reutilização da documentação e do código de programação para equipamentos que desempenham funções iguais ou similares. Dessa forma, o tempo de implementação da automação na fábrica e o tempo de teste da programação serão reduzidos e consequentemente reduzirá custos, além de que o uso da norma facilita a compreensão do processo por parte dos programadores do PLC e a compreensão da programação pelos operadores da fábrica.

Já para a ISA95, com este trabalho foi possível entender que a norma possui um papel fundamental para a comunicação com as camadas de ERP e MES, de maneira a facilitar qual será a função a ser desempenhada por cada nível de *software*. Outra vantagem deve-se ao fato dela padronizar a terminologia, facilitando o entendimento de projetos já existentes.

Através do estudo de caso deste trabalho, foi possível demonstrar na prática a aplicação destas duas normas mencionadas anteriormente. Foi utilizado a norma ISA 88 para a simplificação do código de programação para um tanque de armazenamento e divisão de uma fábrica de laticínios de acordo com a sua hierarquia. No que diz respeito a ISA 95, esta foi utilizada na padronização de nomenclaturas para as divisões definidas com o auxílio da norma ISA 88.

Desta maneira, a realização deste trabalho foi de extrema importância para o aluno de mestrado, assim como possibilitou a aquisição de algumas competências fundamentais para o exercício futuro da profissão.

Bibliografia

- [1] International Society of Automation, “International Society of Automation,” [Online]. Available: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards>. [Acesso em 26 Fevereiro 2022].
- [2] International Society of Automation, “International Society of Automation,” [Online]. Available: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa88>. [Acesso em 26 Fevereiro 2022].
- [3] International Society of Automation, “International Society of Automation,” [Online]. Available: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa95>. [Acesso em 26 Fevereiro 2022].
- [4] ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society , *ANSI/ISA-88.01-1995, Batch Control, Part 1: Models and Terminology*, 1995.
- [5] Rockwell Automation, *The ISA S88 Standard A Roadmap for Automation A Powerful Management Tool*.
- [6] Peter, “PLC Academy,” 23 Outubro 2018. [Online]. Available: <https://www.plcademy.com/isa-88-s88-batch-control-explained/>. [Acesso em 23 Janeiro 2022].
- [7] M. Tennant, “ISA Interchange,” [Online]. Available: <https://blog.isa.org/modular-systems-speed-simplify-new-industrial-plant-programming>. [Acesso em 05 Março 2022].
- [8] D. Ivanova, I. Batchkova, F. Wagner e S. D. Panjaitan, “Combining IEC 61499 and ISA S88 for batch control”.
- [9] Siemens , “Process Control System PCS 7 Compendium Part C – Equipment Phases with SFC Types (V8.1),” 2015.
- [10] Health and Safety Executive, “HSE,” [Online]. Available: <https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeasinerting.htm>. [Acesso em 07 Março 2022].
- [11] ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society, *ANSI/ISA–95.00.01–2000 - Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology*, 2000.
- [12] L. F. McGinnis, “Formalizing ISA-95 Level 3 Control with Smart Manufacturing System Models,” National Institute of Standards and Technology - U.S. Department of Commerce, Atlanta, Geórgia, 2019.
- [13] D. Brandl, *What is ISA-95? Industrial Best Practices of Manufacturing Information Technologies with ISA-95 Models*, 2019.
- [14] D. Daff e C. Gifford, “isa.org,” [Online]. Available: <https://www.isa.org/intech-home/2017/november-december/features/isa-95-to-support-smart-manufacturing-iiot>. [Acesso em 18 Junho 2022].