

# **Desenvolvimento do Sistema de Controlo de uma EPTARi**

*Ricardo Jorge Pinto Ferreira*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na Continental-ITA, S.A.: Engenheiro José Osório

Orientador na FEUP: Prof. Joaquim Gabriel Magalhães Mendes



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

**Especialização em Automação**

Setembro de 2017



## Resumo

O objetivo principal das Estações de Tratamento de Águas Residuais é reduzir a poluição dos esgotos pelo menor custo, isto é, remover – dentro do possível - componentes poluentes dos efluentes, para que estejam dentro dos limites permitidos por lei. A legislação restrita, evidencia a necessidade de sistemas de medição e controlo fiáveis e robustos.

A Continental Indústria Têxtil do Ave, S.A. dedica-se à produção e impregnação de tela e corda para a indústria do pneu. Na etapa de impregnação são originados resíduos químicos que necessitam de ser devidamente tratados, pois segundo a diretiva europeia 91/271/CEE, não podem ser diretamente enviados para o meio ambiente. Nas instalações da fábrica existe uma Estação de Pré-Tratamento de Águas Residuais Industriais (EPTARi) onde é efetuado um processo de coagulação-floculação com posterior desidratação de lamas. O presente trabalho consiste no projeto de automatização desta estação.

O tratamento envolve um processo de coagulação-floculação, onde são controlados parâmetros como a percentagem de sólidos suspensos e pH e de seguida um processo de desidratação de lamas a alta pressão.

No passado, foi implementado um sistema semi-automático onde a maioria do processo estava dependente das ordens de comando de um operador, principalmente no processo de coagulação-floculação. Existiam diversos subsistemas independentes entre si o que dava origem a erros de operação por falta de um controlo central. Para além disso, não existiam sensores que medissem as variáveis do processo e tinham que ser medidas manualmente.

Para satisfazer as exigências deste tipo de aplicação, foi desenvolvido um novo sistema moderno e mais eficaz. Foi elaborado e implementado um algoritmo de controlo num autómato Beckhoff que assegura o funcionamento automático e manual dos tratamentos. Para a monitorização local, foi elaborada uma aplicação no software de SCADA-*Indusoft* que permite visualizar as variáveis do sistema e gerar alarmes. A monitorização remota é igualmente possível usando um programa desenvolvido para uma consola tátil (Beijer). Foi necessário fazer um estudo ao procedimento de tratamento e ao sistema prévio, por forma a averiguar quais os equipamentos a reutilizar e quais os a requisitar.



## Abstract

The main objective of Wastewater Treatment Plants is to reduce sewage pollution at a lower cost, i.e. to remove - as far as possible - pollutants from the effluents, so that they are within the limits permitted by law.

Continental Indústria Têxtil do Ave, S.A. is dedicated to the production and impregnation of fabric and rope for the tire industry. In the dipping process, chemical residues are created which need to be properly treated, since according to the European directive 91/271 / EEC, they cannot be directly sent to the environment. In the factory facilities, there is an Industrial Wastewater Pretreatment Station (EPTARi) where a coagulation-flocculation process is carried out with subsequent sludge dewatering. The present work consists of the automation project of this station.

The treatment involves a coagulation-flocculation process, where parameters such as the percentage of suspended solids and pH are controlled, followed by a high-pressure sludge dewatering process.

In the past, a semi-automatic system was implemented and most of the process was dependent on the operator orders, mainly in the process of coagulation-flocculation. There were several subsystems independent of each other, which could cause manual operational errors due to lack of central control. In addition, there were no sensors that measured % SS or pH and these had to be measured manually.

To meet the requirements of this type of application, a new modern and more effective system has been developed. A control algorithm was developed and implemented in a Beckhoff PLC that ensures the automatic and manual function of the treatments. For local monitoring, an application was developed in the SCADA-Indusoft software that allows visualizing system variables and generating alarms. Remote monitoring is also possible using a program developed for a tactile console (Beijer). It was necessary to make a study of the treatment procedure and of the previous system, to ascertain which equipment to be reused and which to acquired.



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à Continental – Indústria Têxtil do Ave pela excelente oportunidade que me foi dada para desenvolver esta dissertação em âmbito empresarial. Agradeço ao Eng. Joaquim Rocha por todo o conhecimento transmitido, disponibilidade, orientação e conselhos valiosíssimos para a minha formação como engenheiro. Agradeço ao Eng. José Osório que foi meu orientador durante o estágio e me deu auxílio importante na fase de projeto e estudo de mercado. Agradeço ao Eng. Diogo Nunes e Eng. Rafael Castro pelo auxílio que me prestaram no terreno durante a implementação do sistema. Não poderia deixar de agradecer aos meus colegas de estágio que me acompanharam nesta fase, que para além do convívio e camaradagem, deram os seus contributos para o desenvolvimento desta dissertação. Muitos foram os elementos da empresa que aqui não foram mencionados, por falta de espaço, mas que deram o seu contributo, principalmente na implementação.

Agradeço a todos os elementos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que contribuíram para a minha formação académica e me ajudaram a chegar a esta etapa do percurso. Deverei agradecer particularmente ao Prof. Joaquim Gabriel que me motivou para este tema e que me orientou na escrita da tese.

Por fim, agradeço aos meus pais que sempre investiram na minha formação, me apoiaram sempre nas fases mais complicadas e me deram motivação para a conclusão do curso. Deixo também um agradecimento aos restantes familiares e amigos.



## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação.....	1
1.2	Projeto de renovação e automatização da EPTARi .....	2
1.3	Objetivos do projeto.....	2
1.4	Metodologia do projeto.....	4
1.5	Estrutura da dissertação .....	5
2	Apresentação do Sistema Prévio.....	7
2.1	Descrição do procedimento de tratamento.....	7
2.2	Disposição e Subdivisão do Sistema Prévio .....	9
2.3	Subsistema de Recolha de Efluentes – Benninger-ZELL.....	11
2.3.1	Equipamento existente no Subsistema de Recolha de Efluentes.....	11
2.3.2	Arquitetura do Subsistema de Recolha de Efluentes.....	13
2.4	Subsistema de Tratamento Químico .....	14
2.4.1	Equipamento existente no Subsistema de Tratamento Químico .....	14
2.4.2	Arquitetura do Subsistema de Tratamento Químico .....	21
2.5	Subsistema da Bomba Peristáltica .....	23
2.5.1	Equipamento Existente no Subsistema da Bomba Peristáltica.....	23
2.5.2	Arquitetura do Subsistema da Bomba Peristáltica .....	25
2.6	Subsistema Filtro Prensa.....	26
2.6.1	Equipamento Existente no Subsistema Filtro Prensa .....	26
2.6.2	Arquitetura do Subsistema Filtro Prensa .....	28
2.7	Layout do sistema prévio .....	29
2.8	Aspetos a melhorar no sistema prévio .....	30
2.8.1	Inexistência de interface de comunicação entre os subsistemas.....	30
2.8.2	Elevada distância de separação dos subsistemas.....	31
2.8.3	Baixa eficiência do Processo .....	31
2.8.4	Velocidade de Tratamento.....	32
2.8.5	Dependência da presença de operadores .....	32
3	Proposta do novo Sistema.....	33
3.1	Objetivos e Requisitos para o novo sistema de controlo da EPTARi.....	33
3.1.1	Objetivos.....	33
3.1.2	Requisitos .....	34

3.2	Estudo de aquisição e reutilização de equipamentos.....	34
3.2.1	Reutilização de Equipamentos do Sistema Prévio.....	34
3.2.2	Beneficiação, ativação e inclusão do segundo Filtro Prensa .....	35
3.2.3	Aquisição de Novos Atuadores.....	38
3.2.4	Aquisição de Novos Sensores .....	40
3.2.5	Conversores de Frequência .....	48
3.2.6	Autómato.....	51
3.2.7	Painéis de Interface homem máquina-HMI .....	53
3.3	Redefinição de Layout.....	54
3.4	Elaboração do projeto de tubagens.....	55
3.4.1	Coletor das bombas Peristálticas para os Filtros Prensa.....	55
3.4.2	Configuração Final das Tubagens.....	57
3.5	Quadros Elétricos e Painéis de Comando.....	58
3.5.1	Arquitetura Geral dos Quadros Elétricos .....	58
3.5.2	P1 – Quadro Elétrico Principal de Comando e Potência .....	58
3.5.3	P2 - Quadro de Comando do Tratamento Químico .....	62
3.5.4	P3 – Quadro de comando das Bombas Peristálticas .....	62
3.5.5	P4 – Quadro de Comando Remoto (ZELL) .....	63
3.5.6	P5 – Quadro Elétrico dos Filtros Prensa .....	63
3.5.7	Arquitetura de Comunicação .....	64
3.6	<i>Graficets</i> para Controlo Automático .....	65
3.7	Programação do Autómato .....	76
3.7.1	Software TwinCAT 2® .....	76
3.7.2	Programa Implementado .....	77
3.8	Supervisionamento .....	83
3.8.1	Software de SCADA .....	83
3.8.2	IX Developer.....	84
3.8.3	HMI local .....	84
3.8.4	HMI remota – ZELL .....	95
4	Implementação e Testes .....	97
4.1	Mudança de Layout .....	97
4.2	Execução das Tubagens.....	98
4.3	Instalações Elétricas .....	101
4.4	Instalação dos sensores no Tanque de Mistura.....	101

4.5	Funcionamento das Bombas Peristálticas .....	103
4.6	Resultados .....	105
4.7	Dificuldades encontradas .....	106
5	Conclusões e Trabalhos Futuros .....	107
5.1	Conclusões .....	107
5.2	Trabalhos Futuros .....	108
	Bibliografia.....	111
	ANEXO A: Cálculo do Caudal de Saída do Tanque de Auto-Controlo.....	113
	ANEXO B: Cartas e Módulos Beckhoff .....	115
	ANEXO C: Expressão para o Cálculo de $V(i)$ – Volume Máximo do Tanque de Mistura para diluição ( $\%SS > 3,5$ ).....	121
	ANEXO D: Dimensionamento do sistema de refrigeração do Quadro P1 .....	123
	ANEXO E: Esquema Elétrico Quadro P1 .....	129
	ANEXO F: Procedimento de Tratamento Químico da EPTARi.....	131



## Siglas

**%SS** – Percentagem de Sólidos Suspensos

**Bomba DD** – Bomba de Duplo Diafragma

**BP** – Bomba Peristáltica

**CBO** – Carência Biológica de Oxigénio

**C-ITA** – Continental – Indústria Têxtil do Ave

**CQO** – Carência Química de Oxigénio

**EPTARi** – Estação de Pré-Tratamento de Água Residual Industrial

**FP** – Filtro Prensa

**SIDVA** – Sistema de Despoluição do Vale do Ave

**TA-C** – Tanque de Auto-Controlo

**TM** – Tanque de Mistura

**TR** – Tanque de Retenção



## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Cronograma de tarefas da execução de tarefas .....	4
Figura 2.1 - Esquema da EPTARi para o procedimento de tratamento .....	7
Figura 2.2 - Divisão em subsistemas da EPTARi .....	10
Figura 2.3 - Planta de localização da Zona de Recolha de Efluentes e ETPARI .....	10
Figura 2.4 - Tanque de Retenção (Zona de Recolha de Efluentes - ZELL) .....	11
Figura 2.5 – Bomba de Duplo Diafragma .....	12
Figura 2.6 - Válvula Estranguladora Manual .....	12
Figura 2.7 - Display do Sensor Ultrassónico .....	13
Figura 2.8 - Arquitetura do Subsistema de Recolha de Efluentes .....	13
Figura 2.9 - Tanque de Mistura e Agitador .....	14
Figura 2.10 - Recipiente do Floculante .....	15
Figura 2.11 - Agitador do Floculante .....	15
Figura 2.12 - Bomba Doseadora de coagulante e soda cáustica.....	16
Figura 2.13 - Tanque de 140 L .....	16
Figura 2.14 - Tanque de Auto-Controlo .....	17
Figura 2.15 - Bomba do Tanque de Auto-Controlo.....	17
Figura 2.16 - Porta do quadro elétrico de comando e potência .....	18
Figura 2.17 - Painel de comando do tratamento químico.....	20
Figura 2.18 - Autómato OMRON SYSMAC CPM1A + módulo 20EDR1 .....	21
Figura 2.19 - Arquitetura do Subsistema de Tratamento Químico.....	22
Figura 2.20 - Bomba Peristáltica, Bredel SPX40 .....	23
Figura 2.21 - Transdutor de pressão para a Bomba Peristáltica .....	24
Figura 2.22 - Sistema de controlo da Bomba Peristáltica.....	25
Figura 2.23 - Arquitetura do subsistema da bomba peristáltica .....	26
Figura 2.24 - Filtro Prensa do sistema prévio.....	27
Figura 2.25 - Cilindro de simples efeito do Grupo Hidráulico do Filtro Prensa .....	27

Figura 2.26 - Grupo Hidráulico do Filtro Prensa .....	27
Figura 2.27 - Circuito do Grupo Hidráulico do Filtro Prensa .....	28
Figura 2.28 - Diagrama de histerese do pressostato.....	28
Figura 2.29 - Arquitetura do Subsistema do Filtro Prensa.....	29
Figura 2.30 - Layout do Sistema Prévio: 1) Tanque de Mistura, 2) Tanque de 1m <sup>3</sup> , 3) Quadro Elétrico de Comando e Potência, 4) Bomba do Coagulante, 5) Bomba de Soda Cáustica, 6) Recipiente do Floculante, 7) Bomba do Floculante, 8) Recipiente do Coagulante, 9) Recipiente da Soda Cáustica, 10) Tanque de 140L, 11) Grupo Hidráulico do Filtro Prensa, 12) Filtro Prensa, 13) Bomba Peristáltica, 14) Quadro da Bomba Peristáltica, 15) Quadro do Grupo Hidráulico, 16) Tanque de Auto-Controlo, .....	29
Figura 2.31 - Esquema geral da EPTARi.....	30
Figura 3.1 - Filtro Prensa inativo .....	36
Figura 3.2 - Circuito do Grupo Hidráulico do FP2 .....	37
Figura 3.3 - Novo Circuito do Grupo Hidráulico do FP2 .....	38
Figura 3.4 - Electroválvula Pneumática SMC VT317-5DZ-02F-Q.....	39
Figura 3.5 - Atuador Belimo SR230A-5 para válvula de Borboleta.....	40
Figura 3.6 - Radar de Nível Endress+Hauser, Micropilot FMR10.....	41
Figura 3.7 - Sensor Solitax hs-line sc Turbidity and Suspended Solids .....	42
Figura 3.8 - Controlador Hach sc 200.....	43
Figura 3.9 - Controlador de pH HANNA Instruments pH500211/D.....	44
Figura 3.10 - Eléctrodo de pH HANNA Instruments HI1090B/5 .....	44
Figura 3.11 - Transdutor de pressão WIKA A-10 .....	45
Figura 3.12 - Transdutor de pressão BOSCH HEDE 10.....	46
Figura 3.13 - Caudalímetro Endress+Hauser Promag L400 .....	47
Figura 3.14 - Fim de curso mecânico (para atuadores de válvulas) Belimo S2A.....	48
Figura 3.15 - Conversor de frequência ABB, ACS550.....	49
Figura 3.16 - Sine Wave Filter, Schaffner .....	50
Figura 3.17 Autómato Beckhoff CX5020-0121 .....	51

Figura 3.18 - Novo Layout da EPTARi.....	55
Figura 3.19 - Coletor das Bombas Peristálticas para os Filtros Prensa .....	55
Figura 3.20 - Novo layout para as tubagens da EPTARi .....	57
Figura 3.21 - Arquitetura de comunicação entre os Quadro Elétrico Principal e os quadros de comando .....	58
Figura 3.22 - Arquitetura do Quadro Elétrico Principal de Comando e Potência - P1 .....	59
Figura 3.23 - Permutador de calor ar/ar TopTherm, montagem lateral com controlador .....	60
Figura 3.24 - Porta do Quadro P1: a) Painel CP2916-0000, Beckhoff; b) Start Bomba Duplo Diafragma (Manual) c) Stop Bomba Duplo Diafragma (Manual); d) Reset aos alarmes e paragem de emergência; e) Modo Automático/Manual; f) Controlador de pH HANNA Instruments pH500211/D; g) Controlador Hach sc 200; h) Paragem de Emergência; i) Corte Geral de Alimentação .....	61
Figura 3.25 - Interior de P1 .....	61
Figura 3.26 - P2 - Quadro de comando do Tratamento Químico .....	62
Figura 3.27 - P3 – Quadro de comando das Bombas Peristálticas .....	63
Figura 3.28 - Arquitetura de Comunicação do sistema da EPTARi.....	65
Figura 3.29 - Grafcet G11, Ordem de Tratamento .....	67
Figura 3.30 - Macro-Etapa M1, Tráfega.....	68
Figura 3.31 - Macro-Etapa M2, Tratamento Químico.....	69
Figura 3.32 - Macro-Etapa M3, Adição de Coagulante .....	70
Figura 3.33 - Macro-Etapa M4, Adição de Soda Cáustica.....	71
Figura 3.34 - G21, Processo de Filtragem para o CASO 1 .....	73
Figura 3.35 - G22, Processo de Filtragem para o CASO 3 e CASO 7 .....	74
Figura 3.36 - G23, Processo de Filtragem para o CASO 4 e CASO 8.....	74
Figura 3.37 - G24, Processo de Filtragem para o CASO 2, CASO 5 e CASO 6 .....	75
Figura 3.38 - G25, Condição de Paragem do Processo de Filtragem.....	76
Figura 3.39 - Software TwinCAT da Beckhoff.....	76
Figura 3.40 - Software TwinCAT System Manager .....	76

Figura 3.41 - Norma IEC 61131-3 .....	77
Figura 3.42 - Software TwinCAT PLC Control .....	77
Figura 3.43 - Atribuição do Task Configuration e tempo de Ciclo .....	78
Figura 3.44 - Software Indusoft WebStudio, Schneider .....	84
Figura 3.45 - Software IX Developer, Beijer .....	84
Figura 3.46 - Ecrã de boas vindas, HMI local .....	85
Figura 3.47 - Ecrã Principal de Tratamento, HMI local .....	86
Figura 3.48 - Ecrã do Tanque de Mistura, HMI local .....	87
Figura 3.49 - Ecrã do Recipiente do Coagulante, HMI Local .....	88
Figura 3.50 - Recipiente de Floculante, HMI Local .....	89
Figura 3.51 - Sistema do Coletor das Bombas Peristálticas, HMI Local .....	89
Figura 3.52 - Editar Tipo de Funcionamento do FP's, HMI Local .....	90
Figura 3.53 – Água Industrial, HMI Local .....	91
Figura 3.54 - Alarmes, HMI Local .....	91
Figura 3.55 - Programação em VBScript, Seleção do caso 4 de funcionamento das bombas peristálticas .....	92
Figura 3.56 - Script Global das Telas .....	93
Figura 3.57 - Janela de Autenticação de Utilizador, HMI Local .....	94
Figura 3.58 - Código para o comando de adição de 5 L de Coagulante, HMI Local .....	94
Figura 3.59 - Ecrã Principal, HMI remota .....	95
Figura 3.60 - Ecrã do Tanque de Mistura, HMI remota .....	96
Figura 4.1 - Relocalização do Tanque de Auto-Controlo .....	97
Figura 4.2 - Mudança de Layout no interior do Edifício (Antes e Depois) .....	98
Figura 4.3 - Pequeno troço das tubagens - Curvas Flangeadas .....	99
Figura 4.4 - Válvula Borboleta TTV (V7) + Atuador Belimo SR230-A + Fim de Curso Belimo S2A .....	99
Figura 4.5 - Válvulas de Borboleta TTV + Fins de Curso Mecânicos TTV .....	100
Figura 4.6 - Coletor das Bombas Peristálticas .....	100

Figura 4.7 - Instalações elétricas da EPTARi.....	101
Figura 4.8 - Sensores instalados no Tanque de Mistura .....	102
Figura 4.9 - Evolução do nível, pH e da %SS do Tanque de Mistura com o Agitador ligado .....	103
Figura 4.10 - Bombas Peristálticas + Coletor.....	103
Figura 4.11 - Evolução da Pressão e da Velocidade da Bomba Peristáltica 1 durante um ciclo de funcionamento .....	104
Figura 5.1 - Arquitetura de comunicação com os Conversores de Frequência a comunicar por EtherCAT com autómato.....	109
Figura A.1 - Desenho representativo do Tanque do Auto-Controlo .....	113
Figura B.1 - Extensão EtherCAT Beckhoff EK1110 .....	115
Figura B.2 - EtherCAT Bus Coupler Beckhoff BK1120.....	115
Figura B.3 - Carta de Entradas Digitais Beckhoff KL1404 .....	116
Figura B.4 - Carta de Saídas Digitais Beckhoff KL2404 .....	117
Figura B.5 - Carta de Entradas Analógicas Beckhoff KL3054 .....	117
Figura B.6 - Carta de Entradas Analógicas Beckhoff KL3454 .....	118
Figura B.7 - Carta de Saídas Analógicas Beckhoff KL4424.....	119
Figura D. 1 - Potências Caloríficas trocadas no Quadro P1 .....	125
Figura D.2 - Esquema da Análise por Resistências Térmicas das transferências de calor no quadro P1 .....	125

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 Lista de Equipamentos Reutilizados do Sistema Prévio .....	35
Tabela 3.2 - Características da electroválvula pneumática SMC VT317-5DZ-02F-Q.....	39
Tabela 3.3 - Características dos Atuadores Belimo SR230A-5 .....	40
Tabela 3.4 - Características dos radares de Nível Endress+Hauser FMR10 .....	41
Tabela 3.5 - Características do Sensor Solitax hs-Line Turbidity and Suspended Solids .....	42
Tabela 3.6 - Características do Controlador Hach sc200.....	43
Tabela 3.7 - Características do Controlador de pH, HANNA Instruments pH500211/D.....	44
Tabela 3.8 – Características do transdutor de pressão WIKA A-10 .....	45
Tabela 3.9 - Características do Transdutor de Pressão BOSCH HEDE10 .....	46
Tabela 3.10 - Características do Caudalímetro Endress+Hauser Promag L400 DN50 .....	47
Tabela 3.11 - Características do conversor de frequência ABB, ACS550 .....	49
Tabela 3.12 - Características do autómato Beckhoff CX5020-0121 .....	51
Tabela 3.13 - Casos de funcionamento para o Coletor .....	56
Tabela B.1 - Características do Bus Coupler Beckhoff BK1120.....	116
Tabela B.2 - Características da Carta de Entradas Digitais Beckhoff KL1404 .....	116
Tabela B.3 - Características da Carta de Saídas Digitais Beckhoff KL2404.....	117
Tabela B.4 - Características da Carta de Entradas Analógicas Beckhoff KL3054.....	118
Tabela B.5 - Características da Carta de Entradas Analógicas Beckhoff KL3454.....	118
Tabela B.6 - Características da Carta de Saídas Analógicas Bekchoff KL4424 .....	119
Tabela D.1 - Potências dissipadas para cada elemento elétrico presente no interior do quadro P1 .....	123

## Índice de Equações

Equação 2.1 - Expressão para o Cálculo do Volume de Coagulante a adicionar para %SS>3,5 .....	8
Equação A.1 - Equação da Energia para Escoamentos Uniformes, (Munson, 2009, 6ª edição) .....	113
Equação A.2 - Equação das Perdas Locais, (Munson, 2009, 6ª edição) .....	114
Equação A.3 - Caudal numa tubagem, (Munson, 2009, 6ª edição).....	114
Equação A.4 - Equação do Caudal à saída do Tanque de Auto-Controlo.....	114
Equação C.1 - Equação da Percentagem do Sólidos Suspensos .....	121
Equação C.2 - Equação para o cálculo do volume de enchimento máximo antes de diluição .....	121
Equação D.3 - Expressão para o cálculo da potência calorífica específica do permutador de calor .....	127



# **1 Introdução**

## **1.1 Enquadramento do projeto e motivação**

### *Tratamento de Águas Residuais*

A implementação da diretiva europeia 91/271/CEE veio obrigar quer os municípios, quer as empresas, a fazerem o tratamento das águas residuais, antes de serem enviadas para o meio ambiente de modo a proteger o ambiente dos efeitos nefastos das referidas descargas de águas residuais (Europeia, 1991).

O objetivo principal das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR's) é reduzir a poluição dos esgotos pelo menor custo, isto é, remover – dentro do possível - componentes poluentes dos efluentes, para que estejam dentro dos limites permitidos por lei (Miquel Sánchez, 1996).

Os efluentes, após o tratamento, devem possuir níveis de poluição aceitáveis para serem enviados para o mar, ou para o rio. Uma variante das ETAR's são as Estações de Pré-Tratamento de Águas Residuais Industriais (EPTARi). Nestas estações a água residual sofre um pré-tratamento para depois ser recolhida por uma rede de recolha de águas residuais e os efluentes deverão respeitar os parâmetros impostos na descarga. Após a recolha da água pré-tratada, a entidade responsável realiza um tratamento final para posteriormente poder enviar a água para o meio ambiente.

A automação é uma área fundamental das estações de tratamento, visto que todo o processo deve ser total, ou parcialmente automático. A legislação restrita, evidencia a necessidade de sistemas de medição e controlo fiáveis e robustos. Em paralelo, há sempre a necessidade de supervisão humano e interfaces Homem-Máquina que forneçam informações das variáveis mais relevantes.

## 1.2 Projeto de renovação e automatização da EPTARi

O fabrico dos pneus passa por várias etapas de produção onde são usados diversos materiais para conferir adesão, estrutura e resistência mecânica. Para o pneu não ovalizar a altas velocidades, é aplicada uma tela têxtil que pode ser constituída por poliéster, nylon e rayon. A Continental-Indústria Têxtil do Ave (C-ITA), dedica-se ao fabrico e impregnação desta tela e também de corda, maioritariamente para a indústria do pneu.

A principal máquina que realiza a impregnação das telas é a Benninger-Zell e decorrente desta etapa do processo, são originados resíduos químicos, designados solutos, que necessitam de ser tratados. A C-ITA possui uma EPTARi para realizar o tratamento desses efluentes e onde são controlados parâmetros, tais como, pH, percentagem de Sólidos Suspensos (%SS), Carência Química de Oxigénio (CQO) e Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO). Após o tratamento, os efluentes são descarregados para o Sistema Integrado de Despoluição do Ave (SIDVA).

No início deste projeto, o processo de tratamento era maioritariamente manual, requerendo a presença constante de um operador na EPTARi, para controlar o procedimento pré-estabelecido. Naturalmente que nestas circunstâncias, são frequentes as falhas: incumprimento do procedimento de tratamento, derrames de tanques, projeção de águas residuais, etc. Foi neste contexto que a C-ITA avançou com o projeto de renovação e automatização da EPTARi.

Todo o trabalho de dissertação foi desenvolvido na C-ITA, em torno da automatização da Estação de Pré-tratamento de Águas Residuais Industriais. Apesar da dissertação ser da especialização de automação, obrigou naturalmente ao estudo da componente química associada ao processo.

## 1.3 Objetivos do projeto

No passado existia um sistema semi-automático que apresentava alguns problemas de funcionamento e que já estava bastante desatualizado. O objetivo deste projeto é implementar um novo sistema, em substituição ao semi-automático e que permita que o tratamento de Águas Residuais na EPTARi seja feito de uma forma automática. Para além do funcionamento automático, o novo sistema deverá permitir o funcionamento manual do sistema.

Numa ótica de contenção de custos, será avaliado o estado do equipamento existente e avaliada a possibilidade da sua reutilização, porém também será necessário fazer um estudo de mercado e adquirir novos sensores e atuadores.

Para a implementação do novo sistema, será desenvolvido um algoritmo de controlo baseado num autómato da *Beckhoff*. Será desenvolvido um sistema SCADA que permita controlar o

sistema e monitorizar o tratamento. Para além da monitorização local, pretende-se que seja desenvolvida uma monitorização remota que permita acompanhar à distância todo o processo da EPTARi. A integração do sistema na rede interna da C-ITA é um ponto que também deverá ser estudado, de modo a permitir uma monitorização a partir de um escritório.

A inclusão de novos equipamentos irá obrigar a repensar o Layout da instalação, tendo em conta a facilidade de acesso para tarefas de operação e manutenção. Para além disso, pretende-se que as tubagens e as instalações elétricas sejam substituídas devido ao estado de degradação atual.

Um dos objetivos impostos pela C-ITA foi o projeto de um novo quadro elétrico de comando de potência adequado ao novo sistema a implementar.

Os tratamentos na EPTARi nunca deverão ser interrompidos por um tempo superior a 3 dias devido à produção contínua de águas residuais. Porém, esse intervalo de tempo não é suficiente para a execução, implementação e testes do novo sistema. Isso significa que a implementação do novo sistema deve ser realizada com a EPTARi em funcionamento.

### 1.4 Metodologia do projeto

A execução deste projeto envolveu várias etapas desde o estudo do sistema prévio até à implementação final e testes. Foi elaborado um cronograma de tarefas é apresentado na Figura 1.1

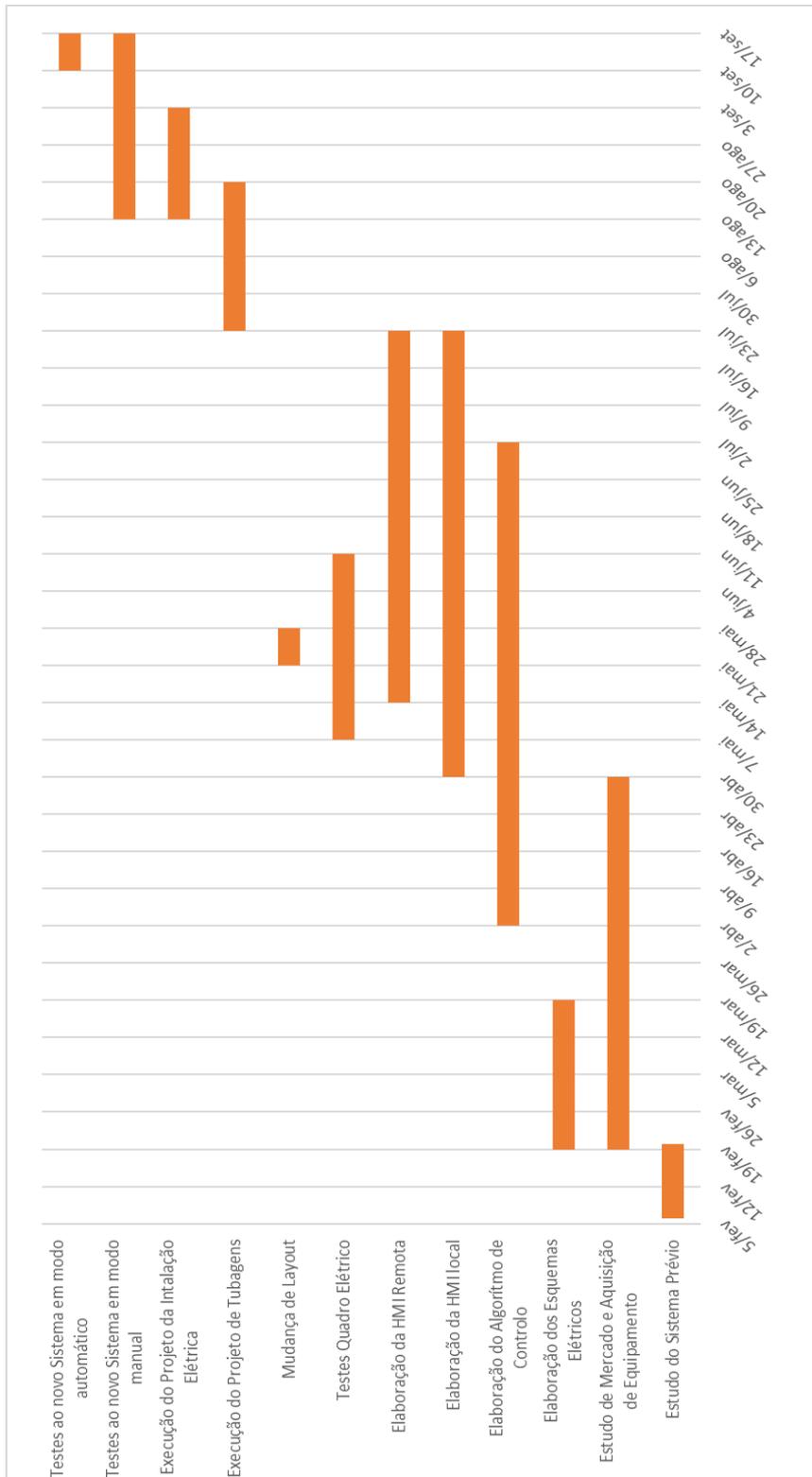


Figura 1.1 - Cronograma de tarefas da execução de tarefas

## 1.5 Estrutura da dissertação

No capítulo 2 é apresentado o sistema prévio, onde é feita uma breve explicação do procedimento usado no tratamento e uma apresentação dos equipamentos (reservatórios, bombas, sensores, etc.). Para além disso é feita uma abordagem ao funcionamento do sistema, interligação entre equipamentos e do Layout. Na parte final do capítulo são apresentados os problemas que existiam com esse sistema.

No capítulo 3 é apresentado todo o estudo envolvido no desenvolvimento do novo sistema, bem como os requisitos a seguir. É abordada a reutilização e aquisição de equipamentos, é discutido o novo Layout definido para a EPTARi, não deixando de se abordar o projeto das novas tubagens. É ainda abordada neste capítulo a arquitetura do novo sistema, os *Graficets* de funcionamento automático, o algoritmo de controlo desenvolvido para o autómato e as HMI's desenvolvidas para a monitorização local e remota.

O capítulo 4 é reservado para a implementação de todo o projeto que foi apresentado no capítulo anterior. Serão apresentadas as alterações e equipamentos que foram instalados, bem como alguns testes de funcionamento realizados para o novo sistema.

O capítulo final, apresenta as conclusões que a execução deste projeto permitiu retirar bem como os aspetos que podem ser melhorados em trabalhos futuros.



## 2 Apresentação do Sistema Prévio

Conforme referido anteriormente, o processo de tratamento de águas residuais provenientes da máquina Benninger Zell era semi-automático. Um operador seguia um procedimento pré-estabelecido para o tratamento, atuando em painéis com botoneiras que comunicavam com um autómato e este acionava os diferentes equipamentos eletromecânicos.

Nos subcapítulos seguintes, será feita uma abordagem ao sistema que foi substituído.

### 2.1 Descrição do procedimento de tratamento

Uma vez que é importante perceber as etapas do tratamento de águas residuais para a implementação do sistema automático, será apresentado a descrição do procedimento manual que foi estabelecido para o tratamento, também apresentado no anexo F.

Na Figura 2.1, é apresentado um esquema geral da EPTARi, que permite elucidar o processo.

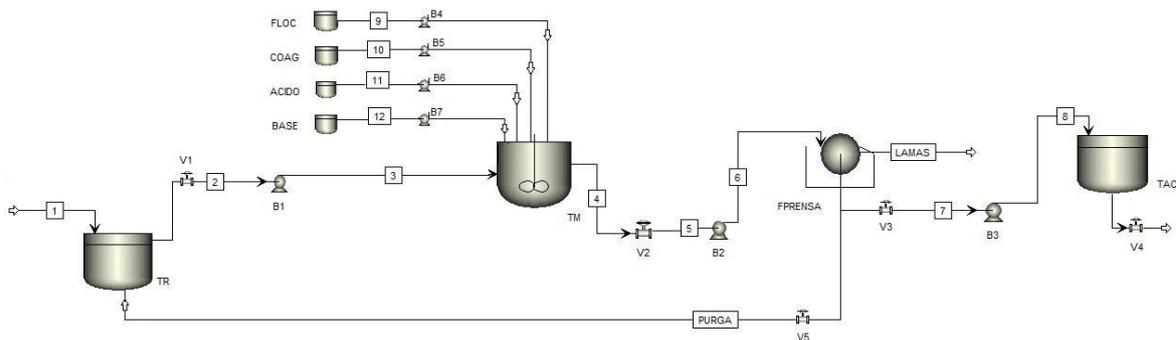


Figura 2.1 - Esquema da EPTARi para o procedimento de tratamento

#### *Recolha de Efluentes*

Todos os efluentes provenientes da máquina Benninger Zell, são recolhidos no Tanque de Retenção (TR) e posteriormente bombeados para o Tanque de Mistura (TM) por B1. Antes e durante a trasfega o agitador do TR deve estar permanentemente ligado, para que os efluentes sejam homogeneizados.

### ***Tratamento Químico no Tanque de Mistura (TM)***

No TM são adicionados os produtos químicos, nomeadamente o Coagulante, a Soda Cáustica e o Floculante. Para um tratamento mais eficiente, a percentagem de Sólidos Suspensos (%SS) deve-se encontrar num valor próximo de 3,5 %. Se esse valor for superior, será necessário reajustar as doses dos compostos químicos, nomeadamente do coagulante. Nessa condição, são necessárias doses maiores de coagulante e pode levar a que os parâmetros finais da água tratada não sejam os pretendidos.

Durante a Trásfega, o operador deverá ajustar o agitador do TM para a máxima velocidade (2000 rpm). O fim da trásfega ocorre quando o TM estiver cheio (ou próximo de cheio), e B1 deverá ser desligada. Deverão ser aguardados 1 a 2 minutos, para que o agitador do TM promova a homogeneização da mistura. No sistema prévio, o operador necessitava de retirar uma amostra do TM, para fazer a medição da %SS. O conhecimento deste valor é necessário para se calcular a dose de coagulante a adicionar. Se a %SS for inferior ou igual a 3,5%, então são adicionados 47 L de coagulante. Caso contrário, a dose é calculada pela seguinte expressão:

$$Dose\ de\ Coagulante\ (L) = \frac{\%SS * 47\ L}{3,5\ \%}$$

Equação 2.1 - Expressão para o Cálculo do Volume de Coagulante a adicionar para %SS>3,5

O Coagulante é adicionado através de B4, e no fim desta etapa devem ser novamente aguardados 2 minutos para agitação e homogeneização da mistura.

De seguida, o operador deverá efetuar a medição do pH, que era realizada com tiras de papel de tornassol. A adição de Coagulante reduz o pH para 4, devido ao seu carácter ácido. A Soda Cáustica tendo um carácter básico, deverá ser adicionada após a adição do coagulante, através de B7, para subir o pH da mistura para um valor próximo de 7, que é o valor ideal para a atuação do Floculante. O ajuste desse valor, era feito através de um processo iterativo onde era medido o pH e era adicionada, em pequenas doses, a Soda Cáustica.

No fim do acerto e após uma agitação de 3 minutos à velocidade máxima, a velocidade do agitador deverá ser ajustada para uma velocidade intermédia (1500 rpm) para que se adicione o Floculante, através de B5. Deverão ser adicionados 200 L, independentemente dos valores medidos no TM, e no fim desta etapa dever-se-á temporizar 5 min de agitação à velocidade intermédia e de seguida, reduzir para a velocidade mínima 500 rpm. Após isto, dever-se-á desligar o agitador, e a solução deverá repousar durante 20 minutos.

### ***Processo de Filtragem***

O processo de filtragem consiste em separar fisicamente a matéria sólida da água e é realizado no Filtro Prensa (FP). A água residual proveniente do TM é bombeada a alta pressão, por ação de B2, e é enviada para o FP que possui várias placas de filtro que retêm a matéria sólida. Entretanto, a água separada da matéria sólida (denominada de água pré-tratada), é sangrada lateralmente nas placas.

Quando o FP se encontra colmatado, significa que necessita de ser limpo, implicando o fim de ciclo de filtragem. Esta limpeza consiste na separação das placas do FP e raspagem da matéria sólida que é recolhida em *Big Bags*. A água pré-tratada é bombeada por B3 para o Tanque de Auto-Controlo (TA-C) e poderá ter dois destinos. Se os parâmetros de CQO e CBO estiverem dentro do definido, o responsável pelo Controlado de Qualidade pode dar ordem de descarga para o SIDVA. Caso contrário, esta água tem que ser retratada e deverá ser reenviada para o TM.

## **2.2 Disposição e subdivisão do sistema prévio**

Para simplificar e facilitar a compreensão do sistema prévio, será feita a sua divisão em quatro subsistemas, representados na Figura 2.2. Podem ser considerados 4 subsistemas, que sob o ponto de vista de comando e controlo, são independentes e serão aqui denominados como:

- *Subsistema de Recolha de Efluentes - Benninger ZELL*
- *Subsistema do Tratamento Químico*
- *Subsistema da Bomba Peristáltica*
- *Subsistema Filtro Prensa*

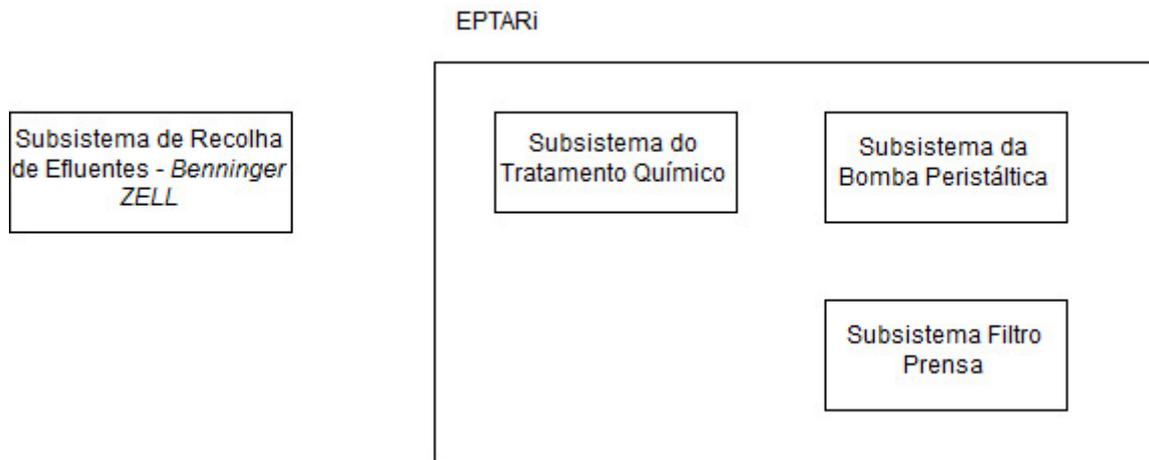


Figura 2.2 - Divisão em subsistemas da EPTARi

O Subsistema de Recolha de Efluentes – *Benninger Zell* localizava-se numa área externa ao edifício da EPTARi. Essa área pertence ao edifício da máquina da Benninger ZELL, que é onde é feita a recolha de efluentes. Na planta da Figura 2.3, estão demarcadas essas duas zonas, Zona de Recolha de Efluentes e Zona de Tratamento de Águas Residuais (EPTARi), havendo uma distância que as separa de aproximadamente 66 m.

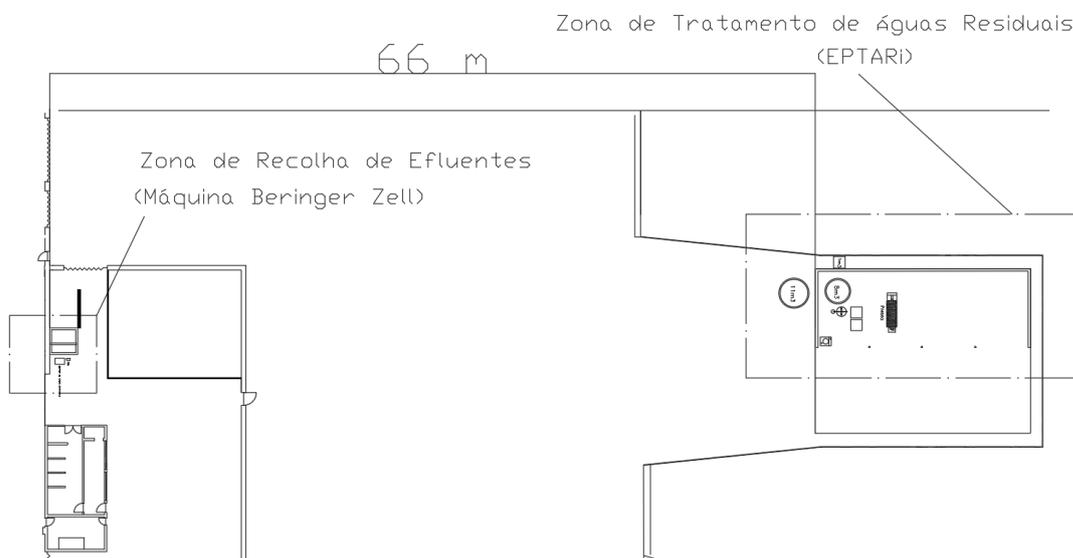


Figura 2.3 - Planta de localização da Zona de Recolha de Efluentes e ETPARI

Nos subcapítulos seguintes serão examinados com detalhe cada um destes subsistemas. Será feita uma apresentação dos equipamentos existentes, (incluindo sensores, atuadores, elementos de comando), a arquitetura de como eles se relacionavam e uma breve explicação do seu funcionamento.

## 2.3 Subsistema de Recolha de Efluentes - Benninger-ZELL

No edifício onde se encontra a Máquina Benninger Zell, existe um tanque de retenção (TR) onde é feita a recolha dos solutos (ou águas residuais), que são mais tarde transferidos por ordem manual para a zona de tratamento de águas residuais.

### 2.3.1 Equipamento existente no Subsistema de Recolha de Efluentes

#### *Tanque de Retenção (TR)*

Neste tanque, para além dos solutos residuais, podem ser recolhidas águas provenientes das lavagens realizadas durante a manutenção da máquina. Consoante a %SS é feita uma pré-diluição, por modo a aproximar esse valor para 3,5%.

#### *Agitador do TR*

Um agitador existente no TR, permite homogeneizar a solução de águas residuais aí recolhidas. A ordem de funcionamento desse agitador era dada manualmente, através do arranque direto dado por um interruptor existe nessa zona.



Figura 2.4 - Tanque de Retenção (Zona de Recolha de Efluentes - ZELL)

#### *Bomba de Duplo Diafragma (Bomba-DD)*

A bomba responsável pela trasfega do TR para o Tanque de Mistura (TM), é acionada pneumáticamente e possui uma solução construtiva de Duplo Diafragma, Figura 2.5.

### ***Válvula Estranguladora Pneumática Manual***

O acionamento da Bomba de Duplo Diafragma (Bomba-DD) era feito pneumáticamente e o seu funcionamento era controlado através de uma válvula estranguladora pneumática manual, Figura 2.6. A percentagem de abertura desta válvula permitia controlar a velocidade da bomba e por sua vez o caudal de água residual enviada para a Zona de Tratamento.



Figura 2.5 – Bomba de Duplo Diafragma

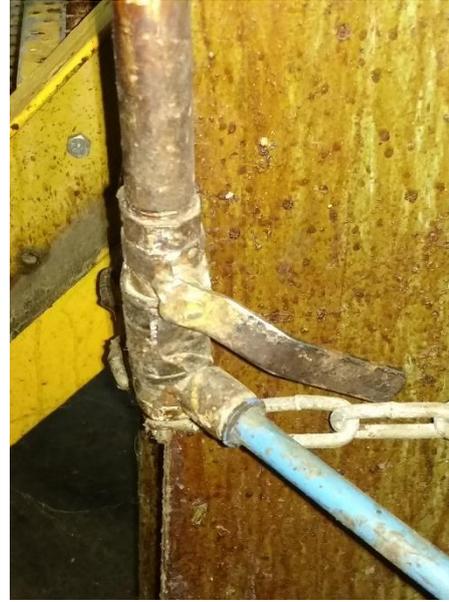


Figura 2.6 - Válvula Estranguladora Manual

### ***Sensor de Nível Ultrassónico***

A leitura de nível do TR, estava acessível através de um display apresentando o valor medido por um sensor de nível ultrassónico localizado no TR. O sinal de saída desse sensor é em corrente, na gama de 4-20 mA.



Figura 2.7 - Display do Sensor Ultrassónico

### 2.3.2 Arquitetura do Subsistema de Recolha de Efluentes

Na Figura 2.8, está representada a arquitetura do Subsistema de Recolha de Efluentes. De uma forma resumida, o sensor de nível ultrassónico apenas servia para dar informação ao operador do volume existente no TR. O display não tinha qualquer possibilidade de comando sobre a Bomba-DD, porém tinha a capacidade de gerar um alarme, caso esse nível atingisse a capacidade máxima – situação iminente de derrame.

Quando o operador verificava as condições necessárias para o início da trasfega, procedia à abertura da válvula pneumática, colocando a Bomba-DD em funcionamento.

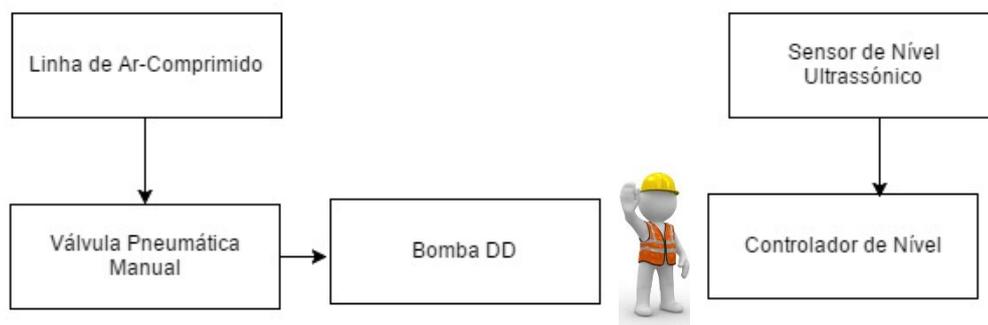


Figura 2.8 - Arquitetura do Subsistema de Recolha de Efluentes

## 2.4 Subsistema de Tratamento Químico

### 2.4.1 Equipamento existente no Subsistema de Tratamento Químico

#### *Tanque de Mistura*

Como já foi referido no procedimento, no TM é onde se realiza o tratamento químico. A sua capacidade é de cerca de 7.5 m<sup>3</sup>, Figura 2.9.

#### *Agitador do TM*

O agitador acionado por um motor trifásico, tal como no TR, permite homogeneizar a mistura presente no TM.

#### *Conversor de Frequência do Agitador do TM*

Para permitir que o agitador funcione em diferentes velocidades de agitação, um conversor de frequência controla a velocidade do seu motor. Este recebe os sinais de um seletor de três posições, onde cada posição corresponde a uma velocidade de rotação – 500, 1500 e 2000 rpm.

#### *Bóias de Nível*

Duas bóias de nível, uma na parte superior e outra na parte inferior do tanque, permitiam saber quando o TM estava cheio ou estava vazio.



Figura 2.9 - Tanque de Mistura e Agitador

### ***Recipiente do Floculante***

A solução do floculante é preparada num recipiente cilíndrico de 500 L de capacidade, Figura 2.10.

### ***Agitador do Floculante***

Para realizar a preparação do floculante é necessária uma agitação constante da solução. Para esse fim, no topo do recipiente existe um agitador acionado por um motor trifásico, Figura 2.11

### ***Bomba do Floculante***

A jusante do Tanque do Floculante, uma bomba, acionada por um motor de alimentação trifásica, transfere a solução para o TM durante o tratamento químico.



Figura 2.10 - Recipiente do Floculante



Figura 2.11 - Agitador do Floculante

### ***Bombas Doseadoras***

O coagulante e o floculante são doseados por duas bombas do mesmo modelo. A bomba etiquetada como Ácido Sulfúrico caiu em desuso visto que esse químico já não é usado no processo, Figura 2.12.



Figura 2.12 - Bomba Doseadora de coagulante e soda cáustica

### ***Recipiente de Recolha***

A montante do Filtro Prensa existe um recipiente de recolha, com 140 L de capacidade, para onde é escoada a água pré-tratada, Figura 2.13.

### ***Bomba do Recipiente de Recolha (ou Tanque de 140 L)***

Uma bomba retira a água deste recipiente para o Tanque de Auto-Controlo. O seu funcionamento é automático e o arranque é controlado através de uma boia de nível. Quando o nível chega ao limite superior, a bóia coloca a bomba em funcionamento e quando chega ao limite inferior desliga-a.



Figura 2.13 - Tanque de 140 L

### ***Tanque de Auto-Controlo (TA-C)***

No tanque de Auto-Controlo é armazenada a água pré-tratada, possuindo uma capacidade de cerca de 11m<sup>3</sup>, Figura 2.14. A descarga deste tanque para o SIDVA era realizada com uma válvula manual se a água armazenada neste tanque possuisse os parâmetros impostos e se fosse dado o parecer positivo por parte da engenharia de qualidade.

A bomba do recipiente do tanque de 140L enviava a água pré-tratada para o TA-C sem leitura do seu nível, havendo a possibilidade de ocorrência de derrame. Uma *DropLine* no TA-C, permite escoar a água diretamente para o SIDVA, caso o nível chegue ao limite superior.

### ***Bomba do TA-C***

A água presente no TA-C pode ter dois destinos: ser descarregado para o SIDVA ou retomar o TM. Para a água pré-tratada retomar o TM, quer para fazer diluição da mistura, quer para ser retratada, existe uma bomba à saída do TA-C que realiza essa transferência, Figura 2.15.

### ***Bóia de Nível do TA-C***

Na parte inferior do TA-C existe uma bóia que deteta quando o tanque fica vazio e não permite que a bomba funcione.



Figura 2.14 - Tanque de Auto-Controlo



Figura 2.15 - Bomba do Tanque de Auto-Controlo

### ***Tanque de recolha de águas derramadas e de lavagens (1m<sup>3</sup>)***

Na parte exterior da EPTARi existe um tanque subterrâneo com capacidade de 1m<sup>3</sup> que recolhe água proveniente de eventuais derrames de tanques ou das lavagens efetuadas durante a manutenção da EPTARi.

### ***Bomba do Tanque de 1m<sup>3</sup>***

Toda a água recolhida neste tanque, retoma ao TR, ou seja, ao ponto inicial, para posteriormente ser tratada. Uma bomba submersível nesse tanque é responsável por essa transferência.

### ***Boias de Nível Superior e Inferior do Tanque de 1m<sup>3</sup>***

Duas boias de nível presentes no tanque de 1m<sup>3</sup>, uma na parte superior e outra na parte inferior, comunicam com o autómato. A função destas bóias é informa-lo quanto ao nível do tanque, para que seja dada a ordem de arranque ou paragem à bomba suprarreferida.

### ***Painéis de Comando***

O tratamento químico podia ser controlado por dois painéis de comandos: um localizado na porta do QE100 – (Quadro Elétrico de Controlo e Potência no sistema prévio), Figura 2.16, ou no Pannel de Comandos do Tratamento, Figura 2.17.



Figura 2.16 - Porta do quadro elétrico de comando e potência

As ordens de comando disponíveis na porta do QE100 eram:

- Ligar o agitador do Floculante;
- Desligar o Agitador do Floculante;
- Ligar a Bomba do Tanque de 1m<sup>3</sup>;
- Desligar a Bomba do Tanque de 1m<sup>3</sup>;
- Descarga da ETAR
- Paragem de Emergência;
- Reset;

Para além das ordens de comando, era possível ter a informação de algumas variáveis ao tratamento químico tais como:

- Avaria do Agitador do Floculante;
- Avaria do Agitador do Tanque de Mistura;
- Avaria da Bomba do Floculante;
- Avaria da Bomba do Tanque de 1m<sup>3</sup>;
- Agitador do Tanque ON;
- Agitador do Floculante ON;
- Bomba da Floculante ON;
- Bomba do Tanque de 1m<sup>3</sup> ON

No Painel de Comando do Tratamento, localizado no topo do TM, eram dadas ordens relativas ao processo que se desenrolava neste tanque. Aqui era possível definir as quantidades as doses a adicionar de cada químico:

- Adicionar 47L de Coagulante;
- Adicionar 5L de Coagulante;
- Adicionar 1L de Soda Cáustica;
- Adicionar 10L de Soda Cáustica;
- Adicionar 5L de Ácido (função desativada);
- Adicionar 1L de Ácido (função desativada);
- Ligar a Bomba de Floculante;
- Desligar a Bomba de Floculante;

Também era possível controlar outros parâmetros intervenientes no tratamento químico do Tanque de Mistura, que não estavam relacionados com a adição de produtos químicos:

- Ligar a Bomba de Auto-Controlo;
- Desligar a Bomba de Auto-Controlo;
- Ligar o Agitador do TM;
- Desligar o Agitador do TM;
- Selecionar a Velocidade do Agitador do TM – Seletor de 3 posições;



Figura 2.17 - Painel de comando do tratamento químico

### ***Autómato***

O modelo do autómato que estava implementado no sistema prévio era o SYSMAC CPM1A da OMRON, juntamente com o módulo 20EDR1, Figura 2.18. Esta configuração de autómato+módulo só possuía entradas e saídas digitais.

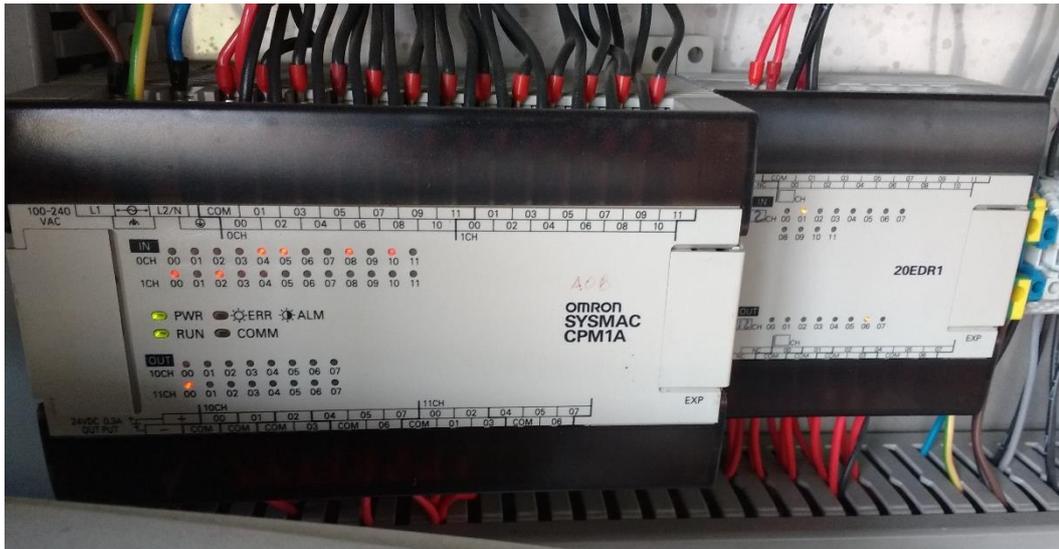


Figura 2.18 - Autómato OMRON SYSMAC CPM1A + módulo 20EDR1

O programa que estava implementado neste autómato, consistia na leitura dos estados das botoneiras (pertencentes aos painéis de comando), do estado das boias de nível e do estado dos disjuntores magneto-térmicos. Em função das condições dos sinais de entrada, dava ordem de arranque ou paragem das bombas (energizando as bobinas dos contactores) e ligava/desligava os sinalizadores do quadro.

A complexidade do programa anterior era reduzida, havendo uma dependência elevada da ação de um operador para a realização do tratamento. As principais funções eram:

- Memorizar as ordens de arranque ou paragem das botoneiras de atuação momentânea;
- Temporizar o funcionamento das bombas doseadoras de químicos;
- Dar ordem de atuação dos contactores das bombas/motores, se e só se os disjuntores magneto-térmicos estivessem armados;
- Dar ordem de paragem das bombas, caso fossem detetadas pelas boias de nível que os tanques estavam cheios e evitar derrames;
- Dar ordem de paragem de bombas, caso fossem detetadas pelas bóias de nível que os tanques estavam vazios e para que estas não funcionassem sem fluído;
- Sinalizar o funcionamento/avaria das bombas;

#### **2.4.2 Arquitetura do Subsistema de Tratamento Químico**

Na Figura 2.19, é apresentada a arquitetura geral do sistema principal de tratamento. Este sistema acabou por ser considerado o principal por possuir um autómato que controla uma grande variedade de ações. Como já foi referido, o autómato tinha um papel central para a leitura das ordens de comando, leitura de sensores, análise das condições impostas de

funcionamento e comando dos atuadores. Todas as bombas eram de arranque direto (por contactores), à exceção do agitador do TM em que era possível controlar a velocidade de rotação. Neste sistema o operador tinha a possibilidade de dosear os químicos para o tratamento ou acionar os agitadores e bombas referidos.

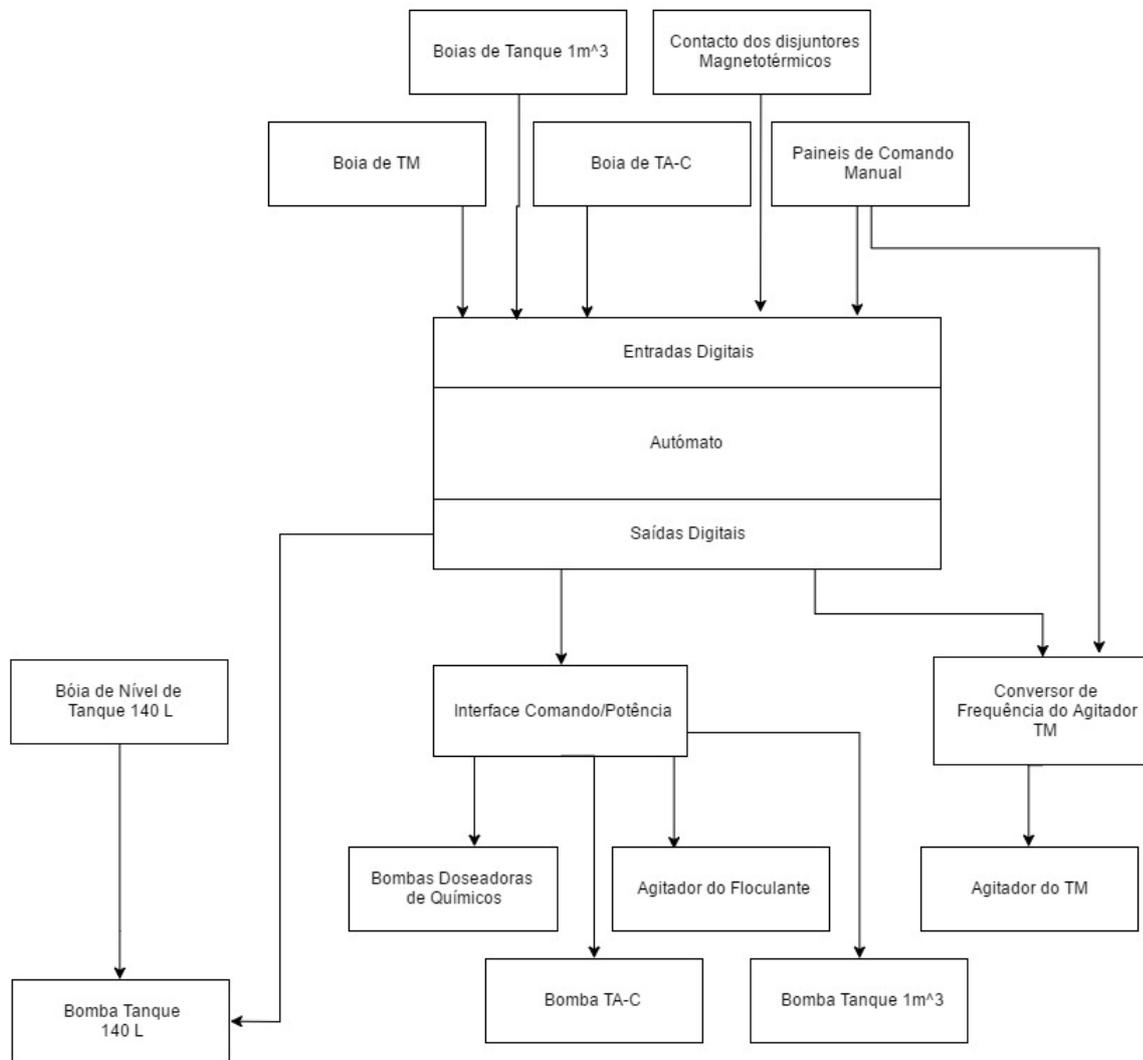


Figura 2.19 - Arquitetura do Subsistema de Tratamento Químico

## 2.5 Subsistema da Bomba Peristáltica

### 2.5.1 Equipamento existente no Subsistema da Bomba Peristáltica

#### *Bomba Peristáltica - BP*

Após o tratamento químico, os efluentes do TM são aspirados por uma Bomba Peristáltica, modelo *Bredel SPX40*. Esta bomba cria um diferencial de pressão positivo e injeta o fluído para o Filtro Prensa (FP), Figura 2.20.

A bomba é acionada por um motor trifásico e o acoplamento mecânico é proporcionado por um redutor de índice de redução  $i=35,5:1$ .



Figura 2.20 - Bomba Peristáltica, Bredel SPX40

#### *Transdutor de Pressão*

Um dos parâmetros que deve ser controlado durante o processo de filtragem é a pressão do fluído injetado. Um transdutor a jusante da BP mede a pressão do fluído que sai da bomba, Figura 2.21. Possui uma saída analógica em corrente, 4-20 mA, e fornece o feedback da pressão para o controlo deste parâmetro em malha fechada.



Figura 2.21 - Transdutor de pressão para a Bomba Peristáltica

### ***Termostato***

A maior parte do tempo de funcionamento da bomba é a baixa velocidade e a pressão elevada, o que origina um grande aquecimento dos enrolamentos do motor de acionamento. Um termostato permite parar a bomba, caso o motor atinja uma temperatura elevada.

### ***Ventilador***

Como o motor da BP opera, maioritariamente, a baixas rotações, um ventilador acoplado ao veio que possua a mesma velocidade de rotação não é uma solução viável. A baixas rotações não é possível obter caudais de ar que realizem uma refrigeração eficaz do motor. Para contornar esse problema, o ventilador possui alimentação própria, ou seja, não está acoplado ao veio de motor da BP e possui uma velocidade de rotação independente da do motor.

### ***Sensor de Nível de Óleo***

Em condições normais de funcionamento, o nível de óleo presente na bomba peristáltica permanece constante. Caso exista uma perfuração da mangueira onde circula o fluído, este irá misturar-se com óleo e aumentar o seu nível. Nessa condição o sensor de Nível de Óleo deteta essa anormalidade e para a bomba.

### ***Conversor de Frequência de BP***

A velocidade da bomba é controlada por um segundo conversor de frequência, que para este subsistema funciona também como um controlador PID. Recebe os sinais do termostato e do sensor do nível de óleo para verificar se existem condições de funcionamento para a bomba. Através de botoneiras ligadas diretamente ao conversor, eram dadas as ordens de comando manuais para arranque ou paragem. Sempre que a bomba entrasse em funcionamento, uma

saída digital do conversor tomava o valor lógico 1 e acionava um relé de interface que por sua vez colocava o ventilador em funcionamento.

O controlo em malha fechada da pressão da BP era realizado por um controlador PID implementado no conversor de frequência, Figura 2.22, com o feedback dado pelo transdutor de pressão. O *SETPOINT* definido manualmente era 5 bar.

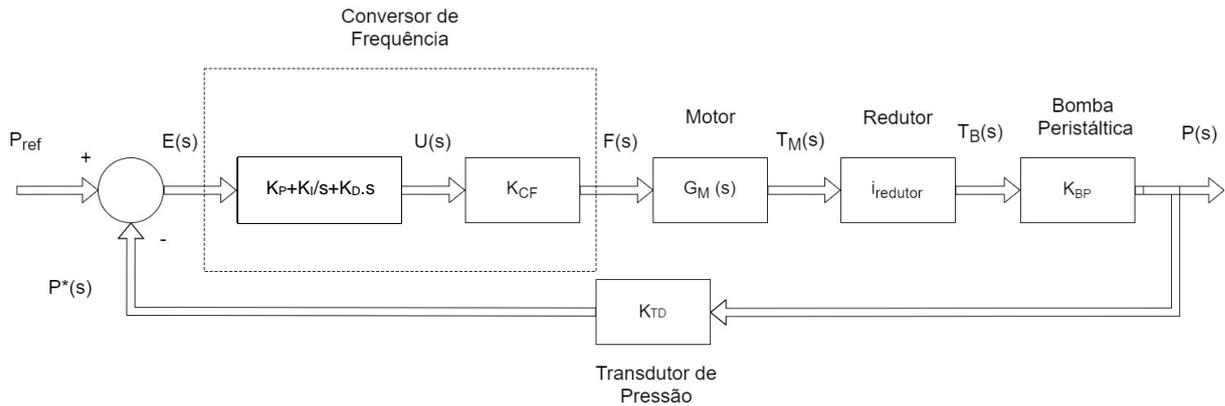


Figura 2.22 - Sistema de controlo da Bomba Peristáltica

### ***Painel de Comando de BP***

É de relembrar que o autómato não possui capacidade de controlo sob este sistema devido à inexistência de comunicação entre eles. As ordens de funcionamento da bomba peristáltica eram dadas no quadro elétrico existente especificamente para este subsistema. Duas botoneiras permitiam que fossem dadas as seguintes ordens:

- Início de Ciclo de Funcionamento;
- Fim de Ciclo de Funcionamento;

Os dois sinalizadores conectados ao conversor de frequência também estavam localizados neste painel e indicavam:

- Funcionamento (da Bomba Peristáltica);
- Entupimento/avaria;

### **2.5.2 Arquitetura do Subsistema da Bomba Peristáltica**

Neste subsistema o elemento central de controlo era o conversor de frequência que lia as ordens de comando, sinais dos sensores e comandava a Bomba Peristáltica (e respetivo ventilador). Tendo uma ação de controlo PID integrada, permitia controlar a pressão a jusante desta bomba, atuando na velocidade e binário do motor da bomba.

O conversor impedia o funcionamento da bomba se recebesse um sinal do termostato (temperatura do motor elevada) ou do sensor de nível de óleo. Aquando esta condição, para além da paragem da bomba, era ligado o sinalizador de Entupimento/Avaria.

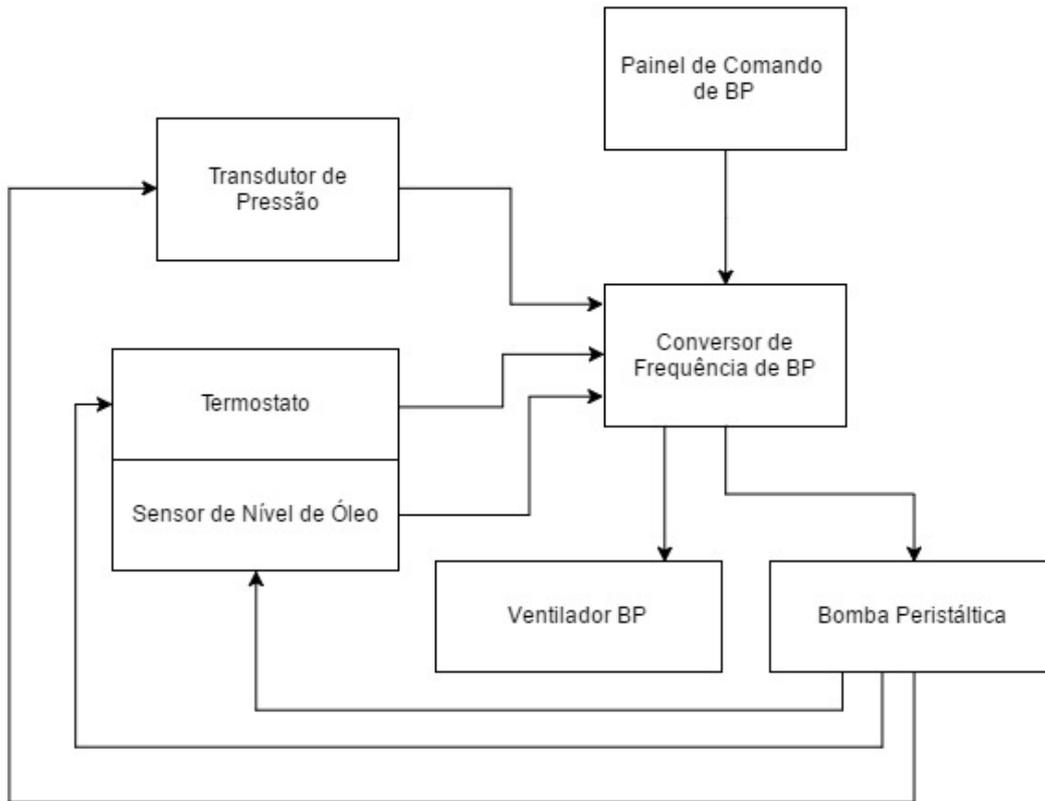


Figura 2.23 - Arquitetura do subsistema da bomba peristáltica

## 2.6 Subsistema Filtro Prensa

### 2.6.1 Equipamento existente no Subsistema Filtro Prensa

#### *Filtro Prensa - FP*

Este equipamento é constituído por uma série de placas com telas filtrantes, Figura 2.24, e prensadas por um cilindro hidráulico de simples efeito, Figura 2.25. A força exercida por este cilindro nas placas contraria a pressão que lhes é exercida pela água proveniente da bomba peristáltica. Entretanto, a água pré-tratada é extraída lateralmente e recolhida pela aparadeira lateral.



Figura 2.24 - Filtro Prensa do sistema prévio

### ***Central Hidráulica ou Grupo Hidráulico (GH)***

O FP possui uma central-hidráulica própria, Figura 2.26, que alimenta o cilindro hidráulico de simples efeito. O circuito hidráulico do FP é representado na Figura 2.27. A válvula VD1 é atuada quando se pretende avançar o cilindro A1. O pressostato PST1, possui display de leitura e controla a pressão do cilindro por histerese, onde são definidos um limite superior e um inferior, Figura 2.28. Se a pressão for igual ou menor do que o limite inferior (290 bar) então a bomba B1 entra em funcionamento. Caso atinja o limite superior (300 bar – pressão de funcionamento do cilindro), então a bomba é desligada e a válvula VR1 retém a pressão do cilindro. Quando se pretende recuar, a válvula VD1 é desligada, permitindo a despressurização do cilindro. O recuo é feito por gravidade através de um mecanismo que coloca o cilindro na vertical.



Figura 2.26 - Grupo Hidráulico do Filtro Prensa



Figura 2.25 - Cilindro de simples efeito do Grupo Hidráulico do Filtro Prensa

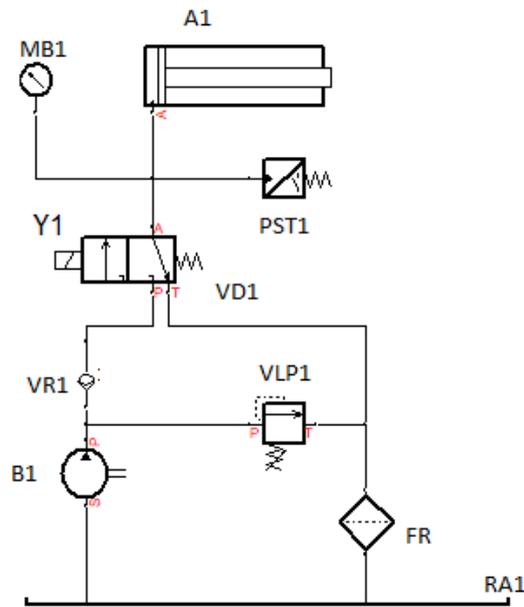


Figura 2.27 - Circuito do Grupo Hidráulico do Filtro Prensa

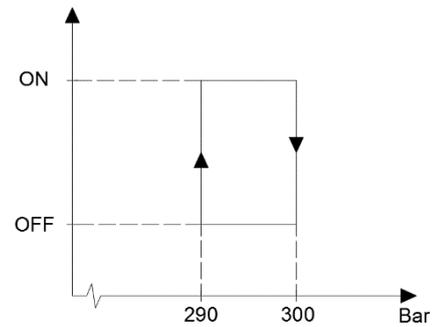


Figura 2.28 - Diagrama de histerese do pressostato

### ***Painel de Comando do GH***

Todo este processo era invisível ao autómato do subsistema de Tratamento Químico. No painel de comando do GH era possível dar as seguintes ordens:

- Início de Ciclo;
- Fim de Ciclo;
- Comando Manual ou Comando Automático;
- Ligar a Bomba - Manualmente;
- Comutar a Válvula (VD1) – Manualmente;
- Paragem de Emergência.

### **2.6.2 Arquitetura do Subsistema Filtro Prensa**

Na Figura 2.29 está representada a arquitetura do Sistema Filtro Prensa que corresponde ao seu grupo hidráulico. O operador dava ordem de início de ciclo no painel de comando e o cilindro avançava até atingir a pressão de funcionamento definida pelo pressostato. O sistema restituía a pressão do cilindro para compensar as fugas existentes entres as suas câmaras e na válvula.

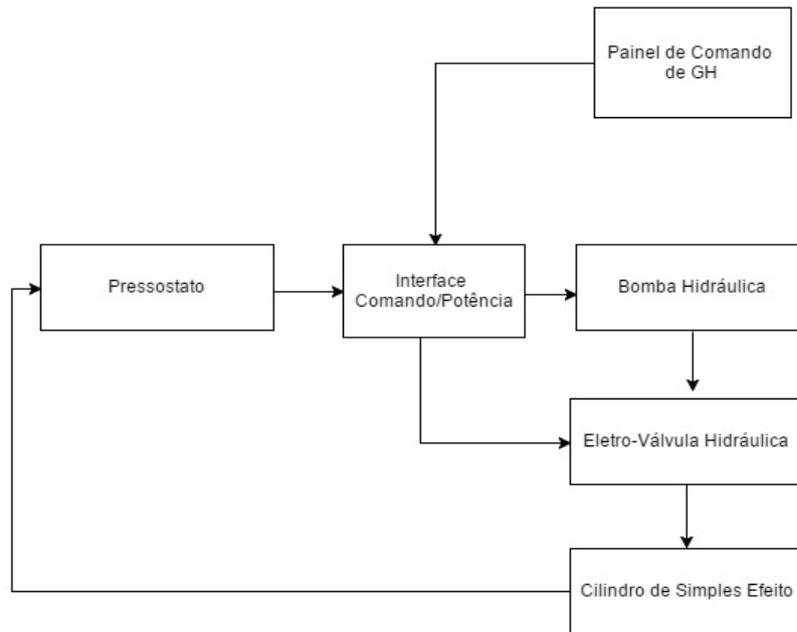


Figura 2.29 - Arquitetura do Subsistema do Filtro Prensa

## 2.7 Layout do sistema prévio

Até ao presente subcapítulo, foram analisados os subsistemas independentemente e não foi evidenciada qual a relação entre eles. Na Figura 2.30, é exposto o Layout da ETPARI implementada com o sistema prévio, por forma a exibir a disposição dos equipamentos no espaço.

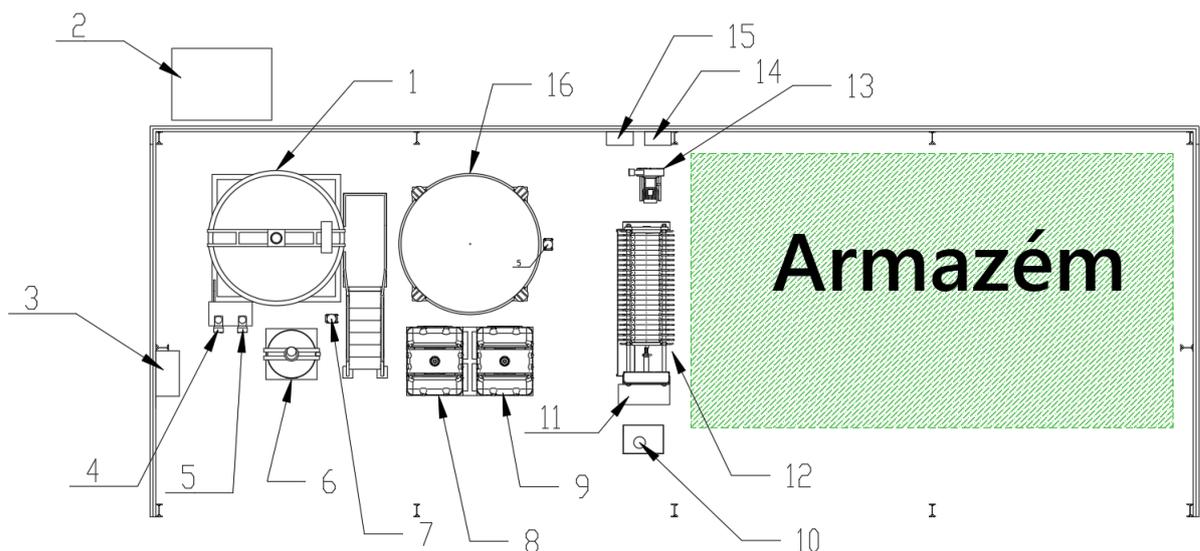


Figura 2.30 - Layout do Sistema Prévio: 1) Tanque de Mistura, 2) Tanque de 1m3, 3) Quadro Elétrico de Comando e Potência, 4) Bomba do Coagulante, 5) Bomba de Soda Cáustica, 6) Recipiente do Floculante, 7) Bomba do Floculante, 8) Recipiente do Coagulante, 9) Recipiente da Soda Cáustica, 10) Tanque de 140L, 11) Grupo

Hidráulico do Filtro Prensa, 12) Filtro Prensa, 13) Bomba Peristáltica, 14) Quadro da Bomba Peristáltica, 15) Quadro do Grupo Hidráulico, 16) Tanque de Auto-Controlo,

Na Figura 2.31, está representada a relação e as interligações físicas existentes entre os equipamentos da EPTARi. Neste esquema é possível ter uma visão global do sistema e uma análise ao processo.

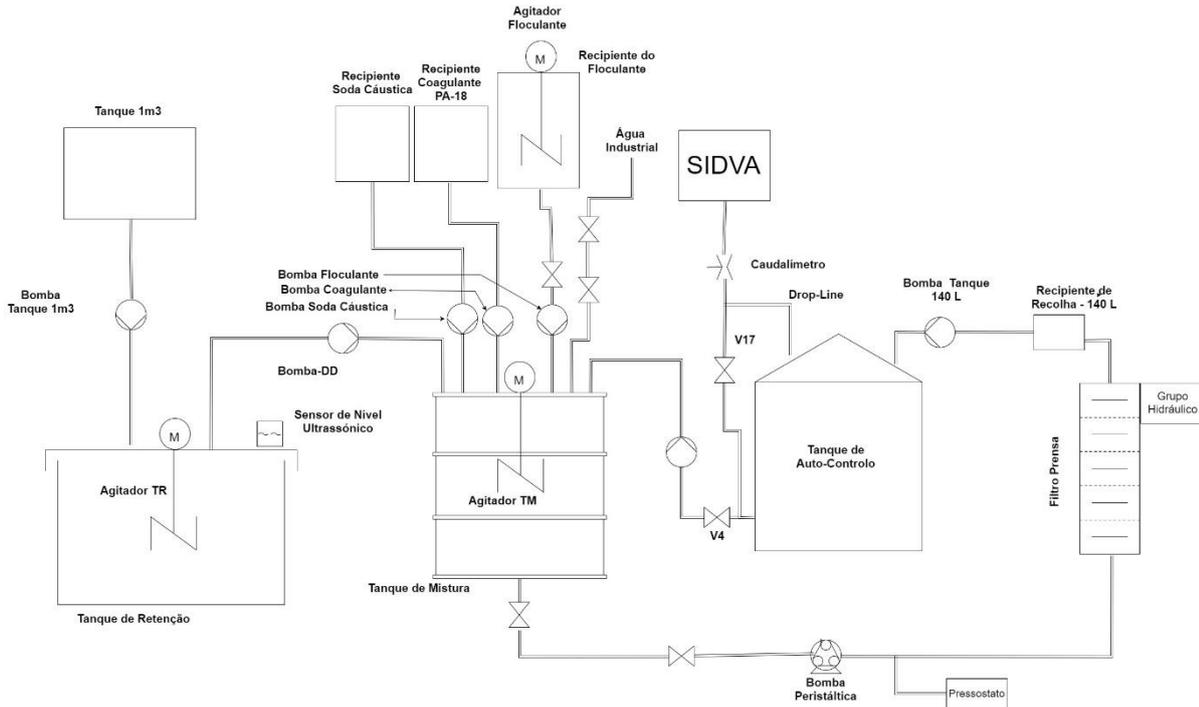


Figura 2.31 - Esquema geral da EPTARi

## 2.8 Aspetos a melhorar no sistema prévio

O sistema prévio apresentava vários problemas, que são expostos nos subcapítulos seguintes e que davam origem a erros de operação. Muitas das vezes os tratamentos não tinham a eficiência desejada, originando lamas extraídas nos filtros prensa, com uma percentagem de água acima do desejado.

### 2.8.1 Inexistência de interface de comunicação entre os subsistemas

As principais falhas e os erros de operação, muitas vezes ocorriam devido à inexistência de uma interface de comunicação entre os subsistemas. Todos eles funcionavam de um modo independente, não havendo troca de informação entre eles. Um erro de operação ou falha de um dos subsistemas não era visível aos outros podendo ocorrer falhas críticas para o tratamento e acidentes. Por exemplo, se não fosse dada a ordem de avanço do cilindro do FP, as suas placas não estavam devidamente apertadas e as lamas poderiam ser projetadas quando fosse ligada a

BP. O Subsistema das Bombas Peristálticas funcionava sem *feedback* do Subsistema do Filtro Prensa e não tinha o conhecimento se o cilindro estaria à pressão correta.

### **2.8.2 Elevada distância de separação dos subsistemas**

Como foi evidenciado no subcapítulo 2.1, existe uma elevada distância que separa a zona de recolha de efluentes do edifício da EPTARi. Esta distância dificultava o controlo manual do sistema, principalmente entre subsistema de recolha de efluentes e o subsistema do tratamento químico.

#### ***Ordem de Trásfega***

Para se dar o início do tratamento era necessário acionar manualmente a Bomba-DD que se encontra próximo ao TR (zona de recolha de efluentes – edifício da máquina Benninger-ZELL) e bombeava os efluentes para o TM. Devido à inexistência de um sensor de nível no TM que enviase um sinal para o edifício da Benninger-ZELL, não havia possibilidade de monitorizar o seu nível durante a trásfega. Quando o nível do TM chegasse à capacidade máxima, Bomba-DD não era parada, nem mesmo o operador teria essa informação na zona de recolha de efluentes, podendo dar origem a um derrame.

Havia, assim, a necessidade do operador se deslocar até ao edifício da EPTARi para monitorizar o nível de TM e regressar a ZELL para finalizar a trásfega, tendo que percorrer uma grande distância.

#### ***Manutenção dos Filtros Prensa***

Como já foi referido no subcapítulo 2.1, quando o FP está colmatado é necessário o operador deslocar-se à EPTARi e realizar a limpeza dos filtros. A equipa que realiza a manutenção, não possuía qualquer informação acerca do estado dos filtros prensa. Deste modo, podiam existir instantes em que a Bomba Peristáltica poderia estar parada devido à falta de um alarme gerado à distância (no edifício da máquina Benninger-ZELL) após a colmatação do FP.

### **2.8.3 Baixa eficiência do Processo**

Como foi referido, parâmetros como %SS e pH eram medidos manualmente. Erros de leitura eram altamente prováveis o que poderia levar a que no final do tratamento, a água pré-tratada não obedecesse aos parâmetros impostos pelo SIDVA.

Um outro problema que era suscetível de acontecer era o incumprimento do procedimento de tratamento pré-estabelecido. Este incumprimento é algo que também poderia originar resultados finais que não estivessem em conformidade.

Quando esses parâmetros não são obedecidos, deve-se realizar um retratamento, o que implica mais custos e acumulação de efluentes. Se a matéria sólida retida no Filtro Prensa não estiver devidamente desidratada (baixa %SS) significa que o processo também não foi eficiente.

#### ***2.8.4 Velocidade de tratamento***

Como referido no ponto 2.8.2, existiam muitos momentos em que o FP estaria parado para que fosse realizada a manutenção. Nessa condição, a inexistência de um segundo filtro-prensa atrasava bastante o processo de tratamento, havendo momentos em que não era possível acompanhar a taxa de produção de efluentes e começavam a acumular.

#### ***2.8.5 Dependência da presença de operadores***

Para a realização do tratamento era necessário a presença constante de um operador, que desse as ordens de comando nas diferentes etapas do processo. Muitos dos acidentes/problemas só poderiam ser contornados com a supervisão de um ou mais operadores no local. Para além de ser uma tarefa entediante, consome muitos recursos à empresa que sob ponto de vista industrial não é vantajoso.

### **3 Proposta do novo Sistema**

O objetivo da C-ITA era manter o procedimento pré-estabelecido para o tratamento da EPTARi, porém torna-lo automático. O procedimento apresentado no subcapítulo 2.1 foi elaborado com base em testes à otimização do tratamento (Martins, 2013) e que se for seguido permite obter resultados finais em conformidade com o SIDVA. A sua implementação na forma de um algoritmo é uma solução que permite que ele seja rigorosamente cumprido, evitando os erros oriundos da operação manual.

#### **3.1 Objetivos e Requisitos para o novo sistema de controlo da EPTARi**

Neste subcapítulo serão abordados os objetivos e requisitos que foram impostos pela C-ITA para a implementação do novo sistema:

##### **3.1.1 Objetivos**

1. Elaborar um sistema capaz de replicar o procedimento estabelecido e monitorizar as variáveis mais importantes do tratamento.
2. Projetar e implementar um sistema com a possibilidade de escolha entre funcionamento automático e manual;
3. Implementar um sistema central com a aptidão de monitorização e controlo sobre o tratamento.
4. Ativar e implementar um segundo Filtro-Prensa para acelerar o processo de tratamento, principalmente na etapa do processo de filtragem;
5. Redefinir um novo Layout da EPTARi – reposicionamento dos equipamentos existentes e posicionamento dos novos equipamentos;
6. Integrar o novo sistema na rede interna da Continental Indústria Têxtil do Ave.

### **3.1.2 Requisitos**

1. O funcionamento automático deverá decorrer sem a necessidade de presença de operadores, desde a ordem de início de trasfega até à colmatação dos Filtros Prensa.
2. Projetar um novo quadro de comando e potência;
3. Projetar uma nova instalação elétrica para a EPTARi;
4. Monitorizar a percentagem de sólidos suspensos e pH;
5. Utilizar o autómato Beckhoff CX5020 para esta aplicação;
6. Projetar novas tubagens;
7. Reutilizar o máximo de equipamento para redução de custos;
8. Monitorizar a pressão dos grupos hidráulicos – garantir que as placas dos filtros prensa estão devidamente prensadas;
9. Desenvolvimento de uma HMI local (na EPTARi, onde seja possível fazer uma leitura de todos os parâmetros relevantes do processo, realizar ações de controlo, gerar alarmes, etc.);
10. Desenvolvimento de uma HMI remota (no edifício da Benninger-ZELL) (zona de recolha de efluentes);
11. Implementação de todo o novo sistema sem paragem da EPTARi.

## **3.2 Estudo de aquisição e reutilização de equipamentos**

Apesar da reutilização de uma grande parte de equipamentos, é preciso ter em mente que os sensores e atuadores existentes eram insuficientes para o funcionamento automático. Este subcapítulo abordará quais os equipamentos que foram reutilizados para o novo sistema, bem como os novos equipamentos que foram adquiridos.

### **3.2.1 Reutilização de equipamentos do Sistema Prévio**

Uma vez mantida a estrutura do tratamento, quase todos os equipamentos foram reutilizados por se encontrarem operacionais, isto inclui todos os tanques e recipientes, bombas, agitadores e alguns sensores. Na Tabela 3.1, estão especificados todos os equipamentos que foram reutilizados do sistema prévio:

Tabela 3.1 Lista de Equipamentos Reutilizados do Sistema Prévio

<b>Tanques e Recipientes</b>	<b>Bombas</b>
Tanque de Retenção	Bomba de Duplo Diafragma
Tanque de Mistura	Bomba Peristáltica
Recipiente de Recolha – Tanque de 140L	Bomba Tanque 140 L
Tanque de Auto-Controlo	Bomba do Tanque de Auto-Controlo
Tanque de 1m <sup>3</sup> (Subterrâneo)	Bomba do Coagulante
Recipiente do Coagulante	Bomba da Soda Cáustica
Recipiente da Soda Cáustica	Bomba do Floculante
Recipiente do Floculante	Bomba Tanque 1m <sup>3</sup>
<b>Agitadores</b>	<b>Sensores</b>
Agitador do Tanque de Retenção	Boia de Nível superior Tanque de 1m <sup>3</sup>
Agitador do Tanque de Mistura	Boia de Nível inferior Tanque de 1m <sup>3</sup>
Agitador do Floculante	Boia do Tanque de Auto-Controlo (inferior)
	Sensor Ultrassónico do Tanque de Retenção
	Transdutor de Pressão da Bomba Peristáltica
<b>Outros equipamentos</b>	
Filtro Prensa	

### **3.2.2 Beneficiação, ativação e inclusão do segundo Filtro Prensa**

Nas instalações da C-ITA encontrava-se um Filtro Prensa inativo e que podia ser empregue no novo sistema por modo a duplicar a capacidade de filtragem do tratamento, Figura 3.1. Porém, foi necessário realizar alguns testes e verificar o estado do grupo hidráulico.



Figura 3.1 - Filtro Prensa inativo

A sua solução construtiva, em grande parte, é muito semelhante ao Filtro Prensa que já se encontrava em funcionamento. A principal diferença entre eles consistia no tamanho das placas dos filtros e na configuração do circuito hidráulico

Para distinguir os dois Filtros Prensa, a denominação que será adotada é:

- FP1 – Filtro Prensa que se encontrava em funcionamento no sistema prévio;
- FP2 – Filtro Prensa que se encontrava parado.

### ***Circuito Hidráulico de FP2***

O FP2 tem um cilindro de duplo efeito, A2, ao invés de simples efeito, sendo possível dar ordem para avançar e recuar, Figura 3.2. Uma válvula direcional 4/3, VD2, é atuada por Y3 ou Y2, quando se pretende avançar ou recuar, respetivamente. A válvula de retenção dupla pilotada, VR2, permite reter o êmbolo do cilindro na posição pretendida quando uma das câmaras está sob pressão. O pressostato, PST2, impõe um limite de pressão de funcionamento e quando é atingido, é cortada a alimentação de B2 no avanço, de modo a que o motor não trabalhe em esforço, prolongando a sua vida. Por questões de economia energética, o motor de B2 é desligado quando não se realiza o avanço/pressurização do cilindro no avanço ou recuo.

Mais uma vez, para distinguir os dois Grupos hidráulicos serão definidas as seguintes siglas:

- GH1 – Grupo Hidráulico do Filtro Prensa 1;
- GH2 – Grupo Hidráulico do Filtro Prensa 2;

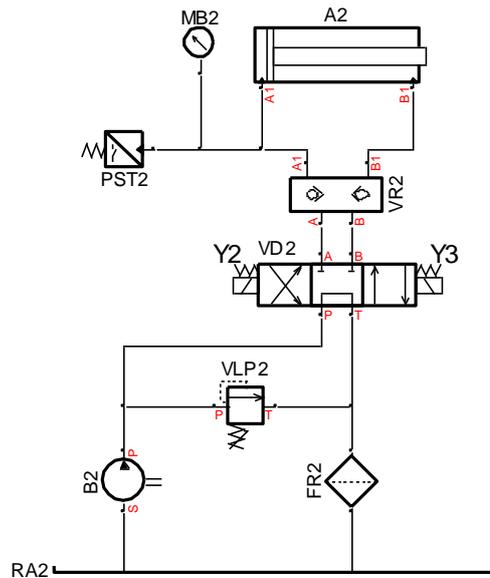


Figura 3.2 - Circuito do Grupo Hidráulico do FP2

### ***Beneficiação de GH2***

Em suma, o GH de uma forma geral estava num bom estado de funcionamento, principalmente o cilindro, só sendo necessário substituir alguns componentes com maior evidência de desgaste.

Durante os ensaios, verificou-se que no recuo do cilindro após a pressurização ao limite máximo, havia uma trepidação bastante violenta. Este efeito era causado pela existência de VR2. A elevada pressão a que se encontrava a câmara principal do cilindro realizava uma força sobre elemento móvel da válvula de retenção, forçando-a a fechar. Esta só seria aberta se a pressão na via principal A-A fosse maior em sentido contrário ou se a pilotagem com origem em B-B fosse pressurizada. A câmara secundária do cilindro encontrava-se a uma pressão muito mais baixa e seria necessário que ela se elevasse para poder abrir VR2 durante o recuo. Havendo este desequilíbrio de pressões acentuado, era originado um comportamento instável do elemento móvel de VR2 e por sua vez do movimento do cilindro. As vibrações eram transmitidas para a estrutura do FP, havendo um risco associado para a estrutura, principalmente para frequências de oscilação próximas da frequência natural.

Para contornar esta situação, foi implementado uma válvula de descompressão, VD3 tal como representado na Figura 3.3. Antes de recuar o cilindro, VD3 é atuada para descomprimir a câmara principal e a válvula estranguladora, VE1, permite ajustar a velocidade de despressurização. Quando a pressão for mais baixa, já é possível energizar Y2 e realizar o recuo de A2.

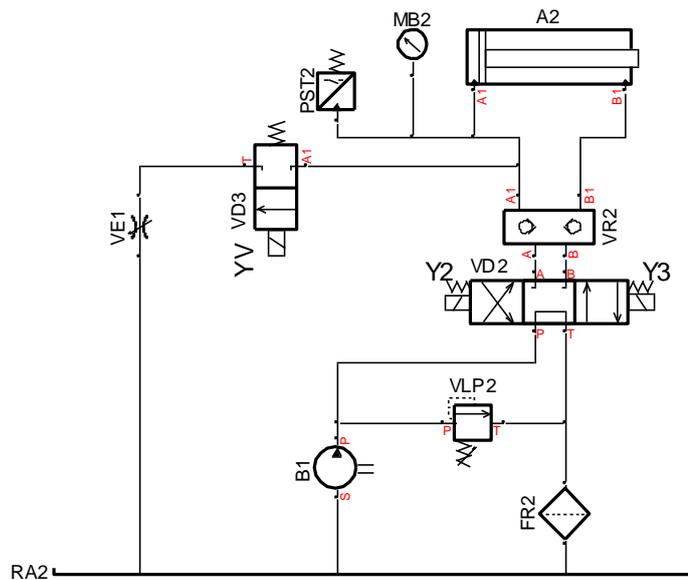


Figura 3.3 - Novo Circuito do Grupo Hidráulico do FP2

### 3.2.3 Aquisição de novos atuadores

#### *Segunda Bomba Peristáltica*

A inclusão do FP2 permitiria a duplicação da capacidade de filtragem a menos que se mantivesse apenas uma bomba peristáltica. É justificável acrescentar uma segunda Bomba Peristáltica por modo a tirar proveito da capacidade oferecida pelos dois filtros prensa. A nomenclatura que será abordada é:

- BP1 – Bomba Peristáltica que se encontrava em funcionamento no sistema prévio;
- BP2 – Nova Bomba Peristáltica implementada.

#### *Electroválvula pneumática*

Como já referido, o acionamento da bomba-DD (zona de recolha águas residuais) é pneumático, e no sistema prévio era feito manualmente através de uma válvula estranguladora. A solução para acionar a bomba através de um sinal de autómato é adicionar uma electroválvula pneumática.

Foi adquirida uma electroválvula monoestável SMC VT317-5DZ-02F-Q, de 2 posições e 3 orifícios, Figura 3.4. Quando o solenoide é energizado, o P liga ao A e coloca a Bomba-DD em funcionamento. Algumas características de operação são apresentadas na Tabela 3.2.



Figura 3.4 - Electroválvula Pneumática SMC VT317-5DZ-02F-Q

Tabela 3.2 - Características da electroválvula pneumática SMC VT317-5DZ-02F-Q

Características	
Gama de Pressão de Funcionamento	0...0,9 MPa
Tensão de alimentação	24 VDC
Potência Consumida	6W
Fluído	Ar
Caudal Volúmico/ $\Delta P$ (P->A)	2.4 dm <sup>3</sup> /(s.bar)
Tempo de Resposta	30 ms
Frequência de Operação	10 Hz

### *Atuadores de Válvulas*

Para o controlo automático é essencial ter capacidade de atuação sobre determinadas válvulas a partir de um autómato. A solução mais usada são atuadores rotativos que tanto podem ser acionados pneumaticamente como eletricamente. Devido à inexistência de ar comprimido na EPTARi, a escolha ficou limitada aos atuadores elétricos. Dependendo da solução construtiva da válvula, de borboleta ou macho esférico, estes atuadores poderão ter uma diferença de custos significativa. Por esse motivo, foram usadas válvulas de borboleta que requerem atuadores de menor potência e menor custo.

Os atuadores rotativos *Belimo SR230A-5* são atuadores indicados para acionar válvulas de borboleta, Figura 3.5 e as suas características encontram-se na Tabela 3.3.



Figura 3.5 - Atuador Belimo SR230A-5 para válvula de Borboleta

Tabela 3.3 - Características dos Atuadores Belimo SR230A-5

Características	
Tensão de Alimentação	230 VAC @50/60 Hz
Potência consumida	3W
Torque do Motor	Min. 20Nm
Velocidade de abertura/fecho	90 <sup>o</sup> /90s
Indicação da posição	Mecanicamente
Controlo Manual	Embraiagem com botão de apertar
Índice de Proteção	IP54

### 3.2.4 Aquisição de novos sensores

#### *Radar de Nível no Tanque de Mistura*

No sistema prévio da EPTARi, o nível do TM era monitorizado com recurso a duas bóias de nível, uma para o nível inferior e outra para o nível superior. Esta solução não era eficaz face à acumulação de lamas/resíduos nas bóias que interferia nas suas leituras.

Para além do mau funcionamento referido, ter apenas a informação de tanque cheio ou tanque vazio revela-se insuficiente para monitorização do nível durante o tratamento. Um sinal analógico que permitisse saber qual o volume exato do tanque, seria muito mais adequado para esta aplicação. Era, também, essencial que o sensor não ficasse submerso no tanque devido à acumulação de resíduos. O *Micropilot FMR10 - Endress+Hauser*, Figura 3.6, é um sensor que cumpre estas exigências e é adequado para esta aplicação. As suas características são listadas na Tabela 3.4.

Uma das funcionalidades a realçar deste radar de nível é a sua conectividade por *Bluetooth*. Através da aplicação *Endress+Hauser SmartBlue*, é possível configurar, através de um

*smartphone*, os parâmetros do tanque – altura máxima e altura mínima de medição, monitorizar o nível em tempo real (e respetiva saída analógica), visualizar gráficos de evolução, ver relatórios, histórico de falhas, etc., sem a necessidade de uma HMI.



Figura 3.6 - Radar de Nível Endress+Hauser, Micropilot FMR10

Tabela 3.4 - Características dos radares de Nível Endress+Hauser FMR10

Características	
Faixa de Medição Máxima	5 m
Precisão	$\pm 5$ mm
Tensão de Alimentação	24 VDC
Sinal de Saída	4 a 20 mA
Frequência de Medição	26 GHz
Índice de Proteção	IP66
Conectividade	Bluetooth®

### ***Sensor de Sólidos Suspensos***

A medição da %SS do TM, era realizada em laboratório, através de uma amostra retirada da água residual do TM. Esta prática não seria conveniente durante o funcionamento automático, sendo fundamental que o novo sistema tivesse a capacidade de medir a %SS em tempo real.

O *Solitax hs-line sc Turbidity and Suspended Solids*, Figura 3.7, é um sensor submersível construído em aço inoxidável que permite medir quer a turbidez, quer a percentagem de sólidos suspensos. A cor da mistura não influencia a sua leitura, o que poderá ser relevante para esta aplicação, visto que os efluentes variam na sua coloração. Uma alavanca de limpeza permite

remover os resíduos sólidos que se possam acumular em frente do fotorreceptor. Em suma, este sensor foi desenvolvido especificamente para aplicações com águas residuais.



Figura 3.7 - Sensor Solitax hs-line sc Turbidity and Suspended Solids

Tabela 3.5 - Características do Sensor Solitax hs-Line Turbidity and Suspended Solids

Características	
Gama de Leitura Turbidez	0,001 – 4000 NTU
Gama de Leitura da Concentração de Sólidos Suspensos	0.001-500 g/L
Temperatura de operação	0 – 40 °C
Repetibilidade	<3%
Tempo de Resposta (ajustável)	1-300 s
Velocidade de Fluido máxima	3 m/s
Gama de Pressão de Funcionamento	Até 6 bar (ou 60 m)
Manutenção	1 h/mês

O sensor não pode ser ligado diretamente a uma entrada analógica e necessita do controlador *Hach sc 200* para estabelecer essa interface, Figura 3.8. O *sc 200* alimenta o sensor e recebe o sinal da sua leitura, tendo disponível um sinal analógico em corrente (4 a 20mA), que é enviado para o autómato. O seu display apresenta a informação dos valores medidos e possui botões para navegar nos menus, ajustar os parâmetros e modos de funcionamento.



Figura 3.8 - Controlador Hach sc 200

Na Tabela 3.6 são listadas as características deste controlador.

Tabela 3.6 - Características do Controlador Hach sc200

Características	
Tensão de Alimentação	100 - 240 VAC, @ 50/60 Hz
Índice de Proteção	IP66
Nº de Entradas Digitais	3
Nº de Saídas Relé	4 SPDT eletromecânico (1200 W, 5A)
Nº de Saídas Analógicas	2 (0 – 20 mA ou 4 – 20mA)
Comunicação	Modbus, RS232/RS485, Profibus DPV1 ou HART
Nº de Sensores	2

### ***Sensor de pH***

O *Hach sc 200* também permite ligar um sensor de pH, porém, a C-ITA já possuía um controlador, *pH500211/D*, Figura 3.9 e um elétrodo de medição de pH, ambos da *HANNA Instruments*. Ao contrário do elétrodo, o controlador estava operacional havendo, portanto, duas opções:

1. Adicionar um sensor compatível com o *sc200*, e este controlador passaria a receber a leitura de dois sensores - %SS e pH:
2. Adquirir um elétrodo de pH da *HANNA Instruments* e usar um controlador para cada sensor.



Figura 3.9 - Controlador de pH HANNA Instruments pH500211/D

Como a solução 2 se apresentou como mais económica, o sensor que se adquiriu foi o HI1090B/5 da *HANNA Instruments*, Figura 3.10, conectado ao controlador pH500211/D.



Figura 3.10 - Eléctrodo de pH HANNA Instruments HI1090B/5

Na Tabela 3.7 são apresentadas algumas características do controlador de pH.

Tabela 3.7 - Características do Controlador de pH, HANNA Instruments pH500211/D

Características	
Gama de Medição	0,00 a 14,00 pH (-600 A 600 mV)
Resolução	$\pm 0,02$ pH ( $\pm 0,5$ mV)
Precisão (@20 °C)	$\pm 0,02$ pH ( $\pm 0,5$ mV)
Tensão de Alimentação	230 V $\pm$ 10% VAC, 50 Hz
Saída Analógica	0 a 1 mA, 0 a 20 mA, 4 a 20mA, 0 a 5 V, 1 a 5 V, e 0 a 10 V.
Comunicação Digital	RS232, bidirecional, opto-isolada
Saídas Relé	2 saídas de contacto SPST (5A – 250 VAC)

### ***Transdutor de Pressão da Segunda Bomba Peristáltica***

Como foi abordado no ponto 3.2.3, é necessário incluir uma segunda bomba peristáltica para alimentar o segundo Filtro Prensa. Como foi apresentado no ponto 2.5.1, é necessário um transdutor de pressão para controlar a bomba em malha fechada. O transdutor usado é o WIKA A-10, Figura 3.11



Figura 3.11 - Transdutor de pressão WIKA A-10

Tabela 3.8 – Características do transdutor de pressão WIKA A-10

Características	
Gama de Leitura	0...10 bar
Tensão de Alimentação	8...30 VDC
Saída Analógica	4-20 mA

### ***Transdutor de Pressão dos GH's***

Um dos requisitos impostos foi a monitorização em tempo real da pressão de cada um dos cilindros dos FP's, para garantir que se encontra no valor recomendado de funcionamento para o processo de filtragem. Para isso foi necessária a implementação de um transdutor de pressão para cada um dos grupos hidráulicos dos Filtros prensa.

O transdutor de pressão adquirido para esse fim foi o BOSCH REXROTH HEDE10/400/1/-GA-K35-V, Figura 3.12. As suas características são apresentadas na Tabela 3.9.



Figura 3.12 - Transdutor de pressão BOSCH HEDE 10

Tabela 3.9 - Características do Transdutor de Pressão BOSCH HEDE10

Características	
Gama de Leitura	0...400 bar
Nº de saídas Relé	1
Tensão de Alimentação	18...30 VDC
Nº de Saídas Analógicas	1 (4-20 mA, 0-10 V)
Ponto de comutação	4 ... 400 bar

### ***Caudalímetro***

Por questões legais, a C-ITA têm o encargo de contabilizar o volume de água pré-tratada que é descarragado para o SIDVA. Essa descarga é feita a partir do Tanque de Auto-Controlo e deverá ter à sua saída um Caudalímetro que contabilize esse volume.

O *Endress Promag LA00*, Figura 3.13, é um caudalímetro eletromagnético que possui um revestimento da linha principal em PTFE.



Figura 3.13 - Caudalímetro Endress+Hauser Promag L400

A tubagem usada à saída do TA-C possui um diâmetro de 2" (DN50), e é necessário confirmar se a gama de leitura do *Promag L400 DN50* é adequada para a aplicação. No Anexo A é mostrado o cálculo do caudal de saída do TA-C aplicando a equação da energia para escoamentos uniformes. Resultante dos cálculos, obteve-se um caudal de  $672 \text{ dm}^3/\text{min}$ , que se encontra dentro do intervalo de leitura de caudais do *Promag L400 DN50*.

Na Tabela 3.10, estão representados as características do caudalímetro Promag L400 com diâmetro de 50 mm.

Tabela 3.10 - Características do Caudalímetro Endress+Hauser Promag L400 DN50

Características - DN50	
Gama de Medição	35 até 1 100 $\text{dm}^3/\text{min}$
Valor do pulso	2,5 $\text{dm}^3/\text{pulso}$
Tensão de Alimentação	100 a 240 VAC/ 24 V DC/AC
Entrada Digital	DC 30 V (6 mA)
Saída Analógica	0-20 mA/4-20 mA HART
Resolução da Saída Analógica	0,5 $\mu\text{A}$
Saída Digital	Pulso/Frequência (30 VDC, 250 mA)
Largura do Impulso (ajustável)	0,05 a 2 000 ms
Saída em Frequência (ajustável)	0 a 12 500 Hz
Comunicação Digital	HART, PROFIBUS, EtherNet/IP, Modbus RS485

### ***Fins de curso de válvulas***

Quando é dada a ordem de abertura ou fecho uma válvula automática, o sistema necessita de saber, efetivamente, se a válvula se encontra aberta ou fechada. Para a obtenção do feedback da posição dessas válvulas foram adquiridos os sensores fins de curso Belimo S2A, Figura 3.14. que são módulos adicionais a serem montados sobre o atuador SR230A. Possui 2 contactos auxiliares inversores, um para cada posição extrema que o elemento móvel do atuador alcança durante a sua rotação.



Figura 3.14 - Fim de curso mecânico (para atuadores de válvulas) Belimo S2A

Não só as válvulas com atuadores elétricos deverão ter feedback de posição, como também há válvulas manuais que o deverão ter. Por hipótese, se uma válvula, situada a jusante ou a montante de uma bomba, não tiver feedback de posição, poderá haver o risco do sistema dar ordem de funcionamento da bomba com a válvula fechada. Portanto, sob o ponto de vista de segurança e perseverança do equipamento justifica-se usar fins de curso mecânicos acoplados às válvulas manuais.

### **3.2.5 Conversores de frequência**

No sistema prévio eram usados tanto para o Agitador do TM como para BP1 conversores de frequência da ABB, ACS550,

Figura 3.15. Este modelo é um dos conversores *standard* da C-ITA, e por essa razão foi também implementado para o novo sistema. Por uma questão de uniformização, foram usados três conversores da mesma potência: ACS550-UI-08A8-4.

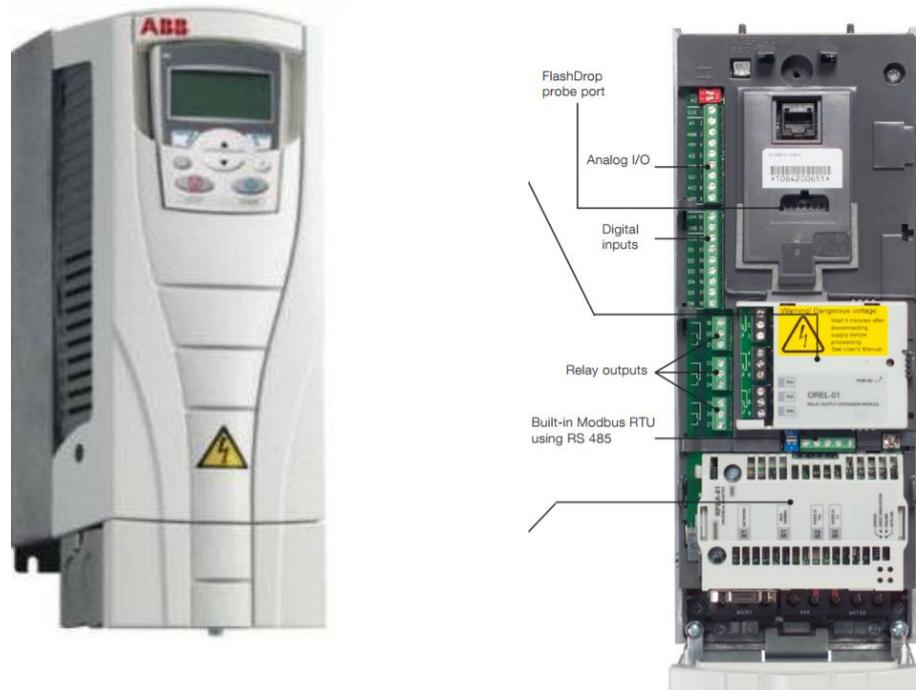


Figura 3.15 - Conversor de frequência ABB, ACS550

É um conversor bastante versátil, que possui uma série de portas I/O de interface e uma consola programável. As suas características são apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 3.11 - Características do conversor de frequência ABB, ACS550

Características		
Tensão de Alimentação	Trifásico, 380 a 480 V, @ 48 a 63 Hz	
Potência	3,73 kW ( <i>Normal Duty</i> ) 2,24 kW ( <i>Heavy Duty</i> )	
Frequência de Comutação	1 kHz, 4 kHz, 8 kHz ou 12 kHz	
Temperatura de Funcionamento	-15 a 40 °C	
Entrada Analógica	Nº de entradas	2
	Intervalo	0(2) a 10 V ou 0(4) a 20mA
	Resolução	0,1%
	Atraso	12 ... 32 ms
	Precisão	± 1%
Saídas Analógicas	Nº de Saídas	2
	Intervalo	0(4) a 20mA
	Precisão	± 3%
Fonte de Alimentação Interna	24 VDC ± 10%, máx 250mA	

Entradas Digitais	Nº de Entradas	6
	Tensão	12 a 24 VDC
Saídas Relé	Nº de Saídas	3
	Máxima Tensão	250 VAC/ 30 VDC
	Corrente Máxima	6 A/30 VDC, 1500 A/230 VAC
Comunicação Série	RS485 ( <i>Built-in</i> )	

O sinal de saída do conversor de frequência é uma onda retangular PWM que diminui o tempo de vida útil das bobinas e dos rolamentos dos motores. Por essa razão, foram usados *sine wave filters* (filtros sinusoidais) do fabricante *Schaffner*, Figura 3.16, que são constituídos por bobinas e condensadores e atuam como filtros passa baixo (rejeitam as altas frequências). Convertem a onda retangular numa onda sinusoidal protegendo o motor contra picos de tensão e sobreaquecimento (Schaffner, 2012).



Figura 3.16 - *Sine Wave Filter*, Schaffner

### 3.2.6 Autómato

#### CX5020

Para esta aplicação o autómato implementado foi o CX5020-0121 da Beckhoff, Figura 3.17.

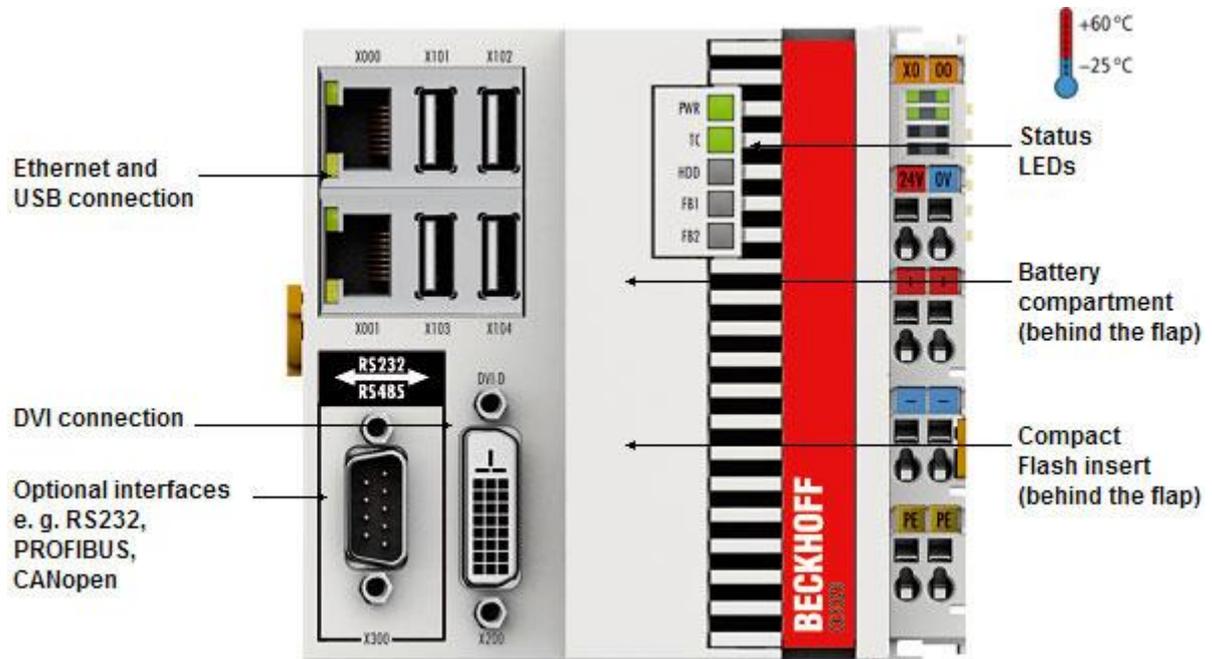


Figura 3.17 Autómato Beckhoff CX5020-0121

Esta versão pertence a uma série de autómatos de PC incorporado que executa o sistema operativo *Microsoft Windows Embedded Standard 2009* e o runtime *TwinCAT 2* como *software* de Controlo.

Tabela 3.12 - Características do autómato Beckhoff CX5020-0121

Características	
Processador	Intel® Atom™ Z530, 1.6 GHz <i>clock frequency</i>
Memória <i>Flash</i>	128 MB <i>Compact Flash Card</i>
Memória RAM	1 GB
Memória Persistente	UPS integrada (1MB <i>Compact Flash Card</i> )
Barramento de I/O	E-bus
Tensão de Alimentação	24 V DC
Corrente de alimentação ao barramento	2 A
Temperatura de Funcionamento	-25 ... +60 °C
Interface	2 x RJ45, FVI-D, 4x USB

A existência de uma placa gráfica permite conectar um display via DVI-D. Com esta solução, é possível executar um sistema SCADA em simultâneo com a execução do programa de controlo em *runtime* num único dispositivo.

O CX5020-0121 é apenas a unidade central de processamento e não possui portas I/O. Para esse efeito é necessário adicionar cartas conforme a necessidade de entradas ou saídas. Após o estudo do tipo de sensores e atuadores a utilizar, estão bem definidos os tipos de sinais de entrada e saída que irão ser ligados ao autómato.

#### ***Extensão EtherCAT - EK1110***

A EK1110, Anexo B, é uma carta que é colocada no final do barramento de cartas ou módulos EtherCAT. A partir da sua porta RJ-45 é possível conectar um cabo Ethernet e estender a comunicação EtherCAT até 100 m.

#### ***EtherCAT Bus Coupler – BK1120***

O acoplador BK1120, Anexo B, permite prolongar um barramento EtherCAT, através de uma ligação Ethernet em tempo real. Possui duas portas RJ-45, X1 – Entrada do Sinal EtherCAT e X2 – Saída do Sinal EtherCAT. Com estas duas portas tanto é possível conectar um barramento a montante como a jusante da BK1120. Permite adicionar até 255 cartas ou módulos K-Bus e são automaticamente detetados pelo PLC.

#### ***Carta de Entradas Digitais – KL 1404***

A KL 1404, Anexo B, é uma carta que recebe sinais digitais de 0 a 24VDC. Permite a conexão de sensores a dois fios e fornece 4 pinos de +24 VDC.

Neste projeto, a KL1404 é adequada para a leitura dos sinais das botoneiras, das bóias de nível, dos fins de curso das válvulas, e das saídas digitais dos conversores de frequência.

#### ***Carta de Saídas Digitais – KL 2404***

A KL2404, Anexo B, é uma carta de saídas digitais, cujos sinais binários de saída poderão ser 0 (valor lógico 0) ou 24 VDC (valor lógico 1). Tal como a KL1404 apresenta uma tecnologia de conexão a 2 fios. Estas cartas poderão ser usadas para alimentar as bobinas dos contactores e relés, para ligar sinalizadores ou para enviar sinais às entradas digitais dos conversores de frequência.

#### ***Carta de Entradas Analógicas (Passiva) – KL 3054***

A KL 3054, Anexo B, é uma carta de entradas analógicas de 4-20 mA, que é isolada do barramento de alimentação de entradas e saídas. Possui 4 ligações *ground* que fornece a

referência do potencial para as entradas. A existência de 4 LEDs de erro, acendem quando existe uma condição de sobrecarga ou quando um fio é cortado.

#### ***Carta de Entradas Analógicas (Ativa)– KL 3454***

A KL3454, Anexo B, é uma carta de entradas analógicas de 4-20 mA, mas que ao contrário da KL3054, não é isolada da alimentação do barramento de entradas e saídas. Devido à existência de 4 contactos com 24 V permite que sejam conectados sensores de 2 fios sem a necessidade de alimentação externa. Para além de 4 LEDs de erro que também indicam sobrecarga ou fio cortado, possui outros 4 LEDs que indicam troca de dados com o *Bus Coupler*. Tirando estas diferenças é uma carta muito semelhante à KL3054 em características.

Os sensores, como o radar de nível FMR10 e o sensor de nível ultrassónico, não possuem alimentação própria nem externa, e podem ser diretamente ligados a esta carta que também lhes fornece alimentação através dos pinos de 24V.

#### ***Carta de Saídas Analógicas (Ativa)– KL 4424***

A KL4424, Figura B.7 B, é uma carta ativa de saídas analógicas de 4 a 20 mA. As saídas são autoalimentadas a 24 V (proveniente do barramento de I/O) e permitem ligar dispositivos a dois fios. Possui um *ground* comum a todas as saídas com referência a 0V.

Para este projeto, a KL4424 é usada para enviar um sinal analógico ao conversor de frequência que controla a velocidade do agitador do TM.

### **3.2.7 Paneis de interface homem máquina-HMI**

#### ***Monitorização Local***

Um dos requisitos impostos foi a implementação de uma Interface Gráfica no local da EPTARi. Uma vez que o autómato possui uma placa gráfica interna (por ser um computador embutido), é possível correr o algoritmo de controlo e um software de SCADA. Com isto é possível projetar, via DVI-A, a imagem do SCADA num painel ou consola.

Foi adquirido para este projeto o CP2916-0000, um painel de controlo da Beckhoff que possui 15,6 polegadas, resolução de 1366x768 e tela tátil. Para além da visualização de parâmetros, este painel permite dar ordens de comando para o tratamento.

### ***Monitorização remota – Edifício Benninger ZELL***

De modo a permitir a monitorização remota (a partir da zona de recolha de efluentes), foi adquirida uma consola *Beijer X2 pro 12* – uma consola tátil de 12” que possui um CPU *i.MX6DualLit* e executa o *runtime IX*. Ao possuir duas portas RJ-45, permite comunicar via TCP/IP com o autómato CX5020 e importar o estado de todas as variáveis do projeto que é executado no *TwinCAT 2*. Na aplicação *IX* é exibida uma HMI que permite visualizar o estado das variáveis importadas do CX5020. Com esta solução, são executadas duas aplicações de interface gráfica semelhantes, mas independentes uma da outra.

### **3.3 Redefinição de Layout**

Com a adição do novo Filtro-Prensa, houve a necessidade de uma redefinição de *Layout*, Figura 3.18. Uma das principais mudanças no layout foi a translação do Tanque de Auto-Controlo para o exterior da EPTARi. Esta mudança juntamente com a translação dos reservatórios dos químicos para a zona frontal ao tanque de mistura, permitiu aumentar a área disponível e posicionar o novo Filtro-Prensa. Os filtros prensa foram dispostos perpendicularmente um em relação ao outro, precisamente para criar uma zona ampla de manutenção.

Outra mudança consistiu na translação da escada para o lado oposto do Tanque de Mistura (ou lado esquerdo do TM na Figura 3.18). Com esta alteração, permitiu afastar os recipientes do Quadro Elétrico Principal de modo a criar uma zona de operação. A posição da escada no novo layout acaba por ser mais funcional, pois encontra-se mais próximo do quadro elétrico, onde foi instalada a HMI *CP2916-0000*. Se o operador necessitar de subir a escada para visualizar o interior do TM enquanto tiver a controlar o processo na HMI, não necessita de percorrer uma distância tão extensa como no layout prévio.

De uma forma geral a zona de armazém foi mantida, apesar da adição do segundo Filtro Prensa e foi mantida uma zona de circulação na zona frontal da EPTARi.

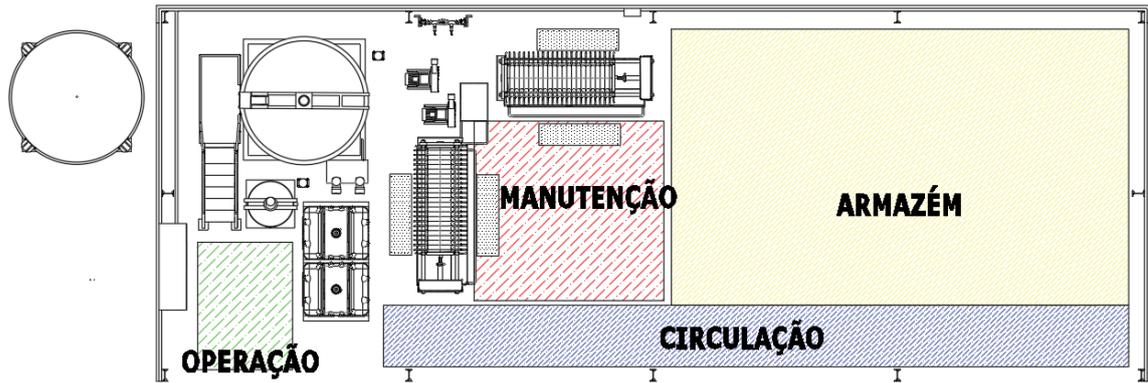


Figura 3.18 - Novo Layout da EPTARi

### 3.4 Elaboração do projeto de tubagens

A redefinição do layout implicou uma alteração do percurso de algumas tubagens. Já se encontravam num estado de degradação avançado e foram substituídos por tubagens com ligações flangeadas em INOX AISI 316. A principal alteração das tubagens que se destaca é o coletor das bombas peristálticas.

#### 3.4.1 Coletor das Bombas Peristálticas para os Filtros Prensa

Se fosse feita uma conexão direta entre cada BP e cada FP, haveria uma limitação em termos de modos de funcionamento entre estes elementos. No caso de uma das Bombas avariar para esse tipo de ligação, então só poderia ser usado um dos Filtros Prensa. Se essa ligação for substituída por um coletor, então são permitidas mais opções de funcionamento, Figura 3.19.

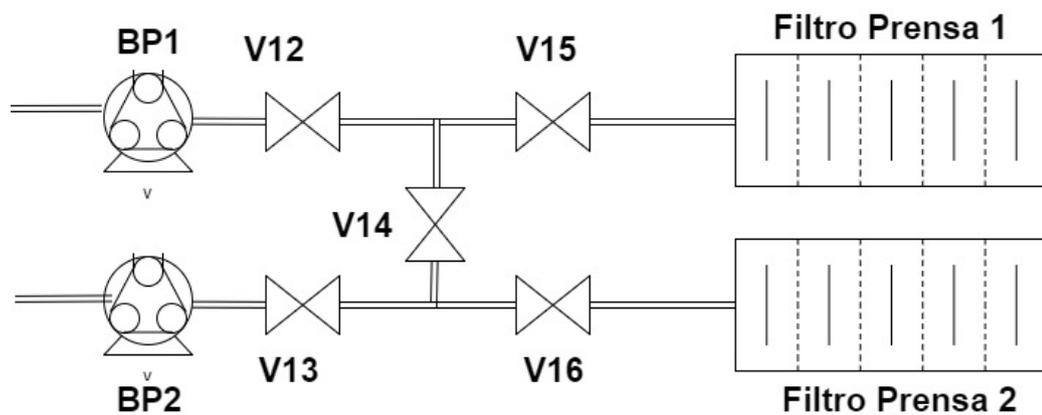


Figura 3.19 - Coletor das Bombas Peristálticas para os Filtros Prensa

Com este coletor é possível configurar 8 casos de funcionamento, que estão representados na Tabela 3.13. As válvulas V14, V15 e V16 são válvulas automáticas e sob o ponto de vista de programação é importante definir quais os estados de cada válvula e de cada bomba peristáltica para os diferentes casos de funcionamento (Tabela 3.13).

Tabela 3.13 - Casos de funcionamento para o Coletor

	V14	V15	V16	BP1	BP2	FP1	FP2
Caso 1	0	1	1	1	1	1	1
Caso 2	0	1	0	1	0	1	0
	0	0	1	0	1	0	1
Caso 3	0	1	0	1	0	1	0
Caso 4	0	0	1	0	1	0	1
Caso 5	1	1	0	0	1	1	0
	0	0	1	0	1	0	1
Caso 6	0	1	0	1	0	1	0
	1	0	1	1	0	0	1
Caso 7	1	1	0	0	1	1	0
Caso 8	1	0	1	1	0	0	1

O caso 1 corresponde ao funcionamento simultâneo das duas bombas peristálticas e dos dois filtros prensa. Nesta configuração a válvula V14 encontra-se fechada para que cada BP apenas bombeie exclusivamente para um só FP.

O caso 2 corresponderá ao funcionamento alternado entre BP1 para FP1 e BP2 para FP2, daí existirem duas configurações na tabela para esse caso. Durante o funcionamento, quando um dos FP's fica colmatado, a BP correspondente é parada e é colocado o outro grupo em funcionamento.

O caso 3 e o caso 4 corresponde ao funcionamento de BP1 para FP1 e de BP2 para FP2 respetivamente. Estes dois casos de funcionamento são selecionados no caso de existir um Filtro Prensa não operacional.

O caso 5 e o caso 6 serão selecionados na eventualidade duma avaria de uma das bombas peristálticas. Para o caso 5 a BP2 irá bombear para os dois FP's alternadamente, ou seja, quando um dos FP's está colmatado, altera a configuração das válvulas e começa a bombear para o outro filtro prensa se já se encontrar limpo. O caso 6 possui um funcionamento equivalente, só que em vez de BP1 é a BP2 que bombeia o fluído.

O caso 7 e o caso 8 são dois modos de funcionamento mais particulares, que existem para quando a BP1 e o FP2 estão indisponíveis (caso 7) ou para quando a BP2 e a FP1 estiverem indisponíveis (caso 8).

### 3.4.2 Configuração Final das Tubagens

Apesar de não terem existido grande alterações em termos de ligações entre tanques e bombas, o novo layout de tubagens para EPTARi é apresentado na Figura 3.20. Destacam-se o coletar das bombas peristálticas para os Filtros Prensa e as Válvulas com atuador elétrico V7, V14, V15, V16 e V17.

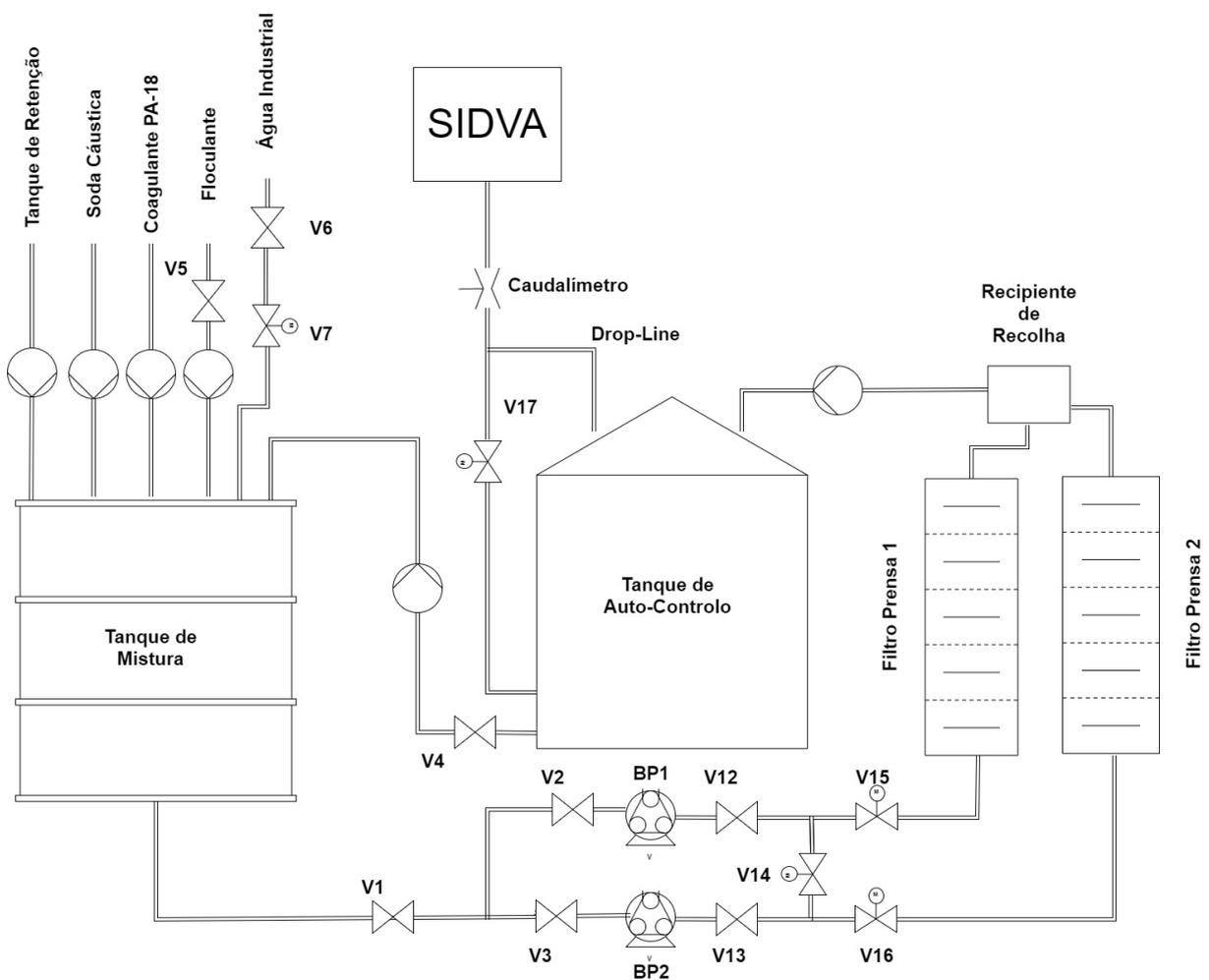


Figura 3.20 - Novo layout para as tubagens da EPTARi

### 3.5 Quadros Eléctricos e Painéis de Comando

Devido ao estado de degradação do quadro eléctrico prévio e à complexidade do novo sistema houve a necessidade de projetar um novo quadro eléctrico de comando e potência de maiores dimensões e ainda os diferentes quadros de comando.

#### 3.5.1 Arquitetura Geral dos Quadros Eléctricos

No novo sistema, todos os painéis de comando possuem interface de comunicação com o Quadro Eléctrico Principal P1, tal como é representado na Figura 3.21. Em boa verdade se diga, essa comunicação tem como elemento central o CX5020, que irá receber os sinais dos diferentes painéis de comando. Isto é um passo importante para a centralização do comando num quadro eléctrico principal.

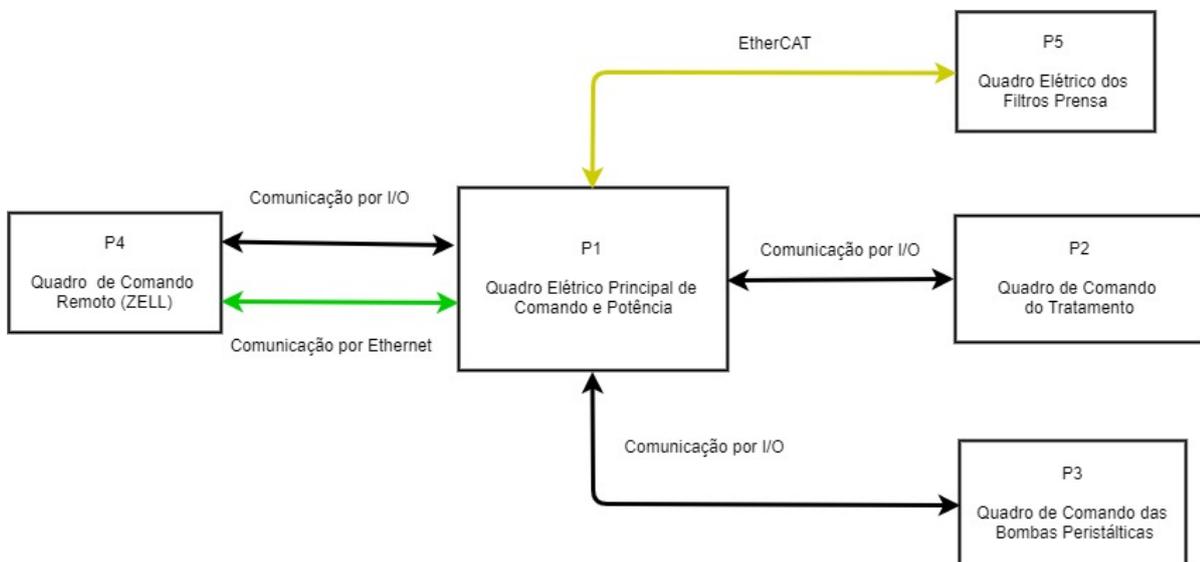


Figura 3.21 - Arquitetura de comunicação entre os Quadro Eléctrico Principal e os quadros de comando

Com a implementação de uma HMI no P1, todo o comando pode ser dado a partir deste quadro, porém, no funcionamento em modo manual, pode ser insuficiente. Os restantes quadros posicionados estrategicamente na EPTARi, permitem que o operador possa dar as ordens de comando nas zonas mais convenientes. Exemplo disso são o Quadro de Comando do Tratamento – P2, Quadro de Comando de Bombas Peristálticas – P3, Quadro Eléctrico dos Filtros Prensa – P5.

#### 3.5.2 P1 – Quadro Eléctrico Principal de Comando e Potência

O Quadro Eléctrico Principal de Comando e Potência é o que abrange toda as variáveis do processo. O esquema eléctrico de P1 (Quadro Eléctrico Principal de Comando e Potência) é apresentado em anexo E. Apenas foi apresentado um excerto desse esquema eléctrico, com as páginas mais relevantes, por ser um documento extenso.

## Arquitetura

No ponto 3.5.1, foi apresentado a arquitetura geral dos quadros elétricos para EPTARi, já na Figura 3.22 é apresentada a arquitetura para o P1.

De uma forma geral estão representados os equipamentos que foram adquiridos e os que foram reutilizados para o projeto. Repare-se que o elemento *Painéis de Comando* representa o conjunto de painéis de comando existentes em toda a EPTARi, incluindo a porta de P1.

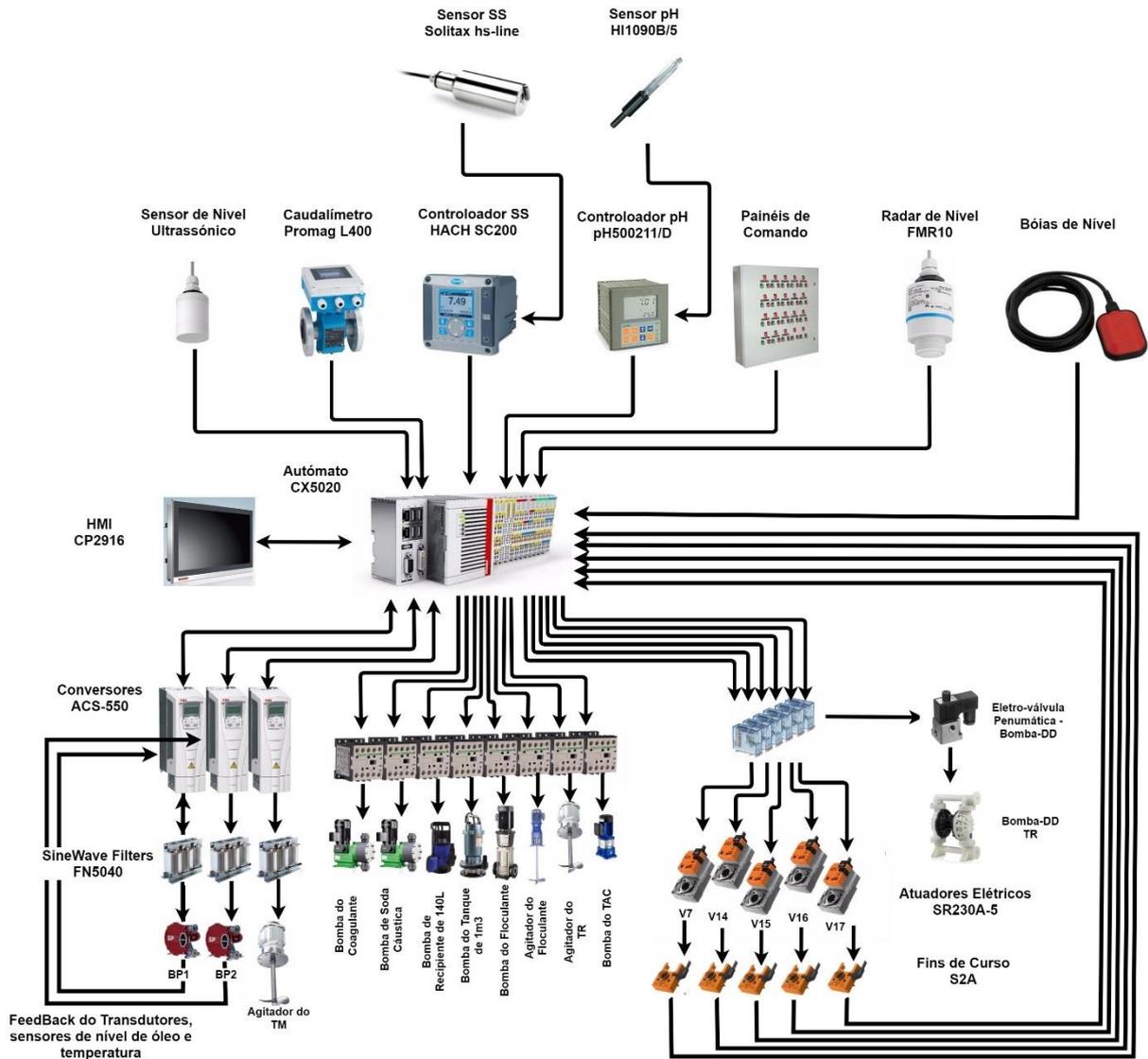


Figura 3.22 - Arquitetura do Quadro Elétrico Principal de Comando e Potência - P1

## Refrigeração de P1

É necessário ter em conta que existem 3 conversores de frequência e 3 filtros da *Schaffner*, entre outros equipamentos, que dissipam calor no interior do quadro. No anexo D é calculada a potência calorífica que é necessário extrair do quadro por modo a manter a temperatura interior abaixo dos  $40^{\circ}\text{C}$  (temperatura máxima de funcionamento dos conversores). Nesse cálculo foi

obtido um valor de potência calorífica específica de 43 W/K, sendo que foi dimensionado um permutador de calor de 45 W/K da Rittal para o Quadro P1.



Figura 3.23 - Permutador de calor ar/ar TopTherm, montagem lateral com controlador

### ***Porta de P1***

Na porta do P1 encontra-se o painel CP2916-0000, onde é mostrada a HMI desenvolvida em Indusoft, e possui botoneiras físicas que permitem realizar determinadas operações, Figura 3.24. Para além destes elementos encontram-se também os controladores de pH e sólidos suspensos e deste modo é possível ter uma leitura imediata destes dois valores sem necessidade de procurar na HMI.

### ***Interior de P1***

Na Figura 3.25, é apresentado o interior do P1. Este quadro apresenta o comando na divisória da esquerda e a potência na divisória da direita. Na parte de comando encontram-se o autómato, a fonte de alimentação e alguns relés de interface. Quanto à parte de Potência encontram-se os conversores de frequência, os *Sine Wave Filters*, os contactores e os disjuntores Magneto Térmicos.

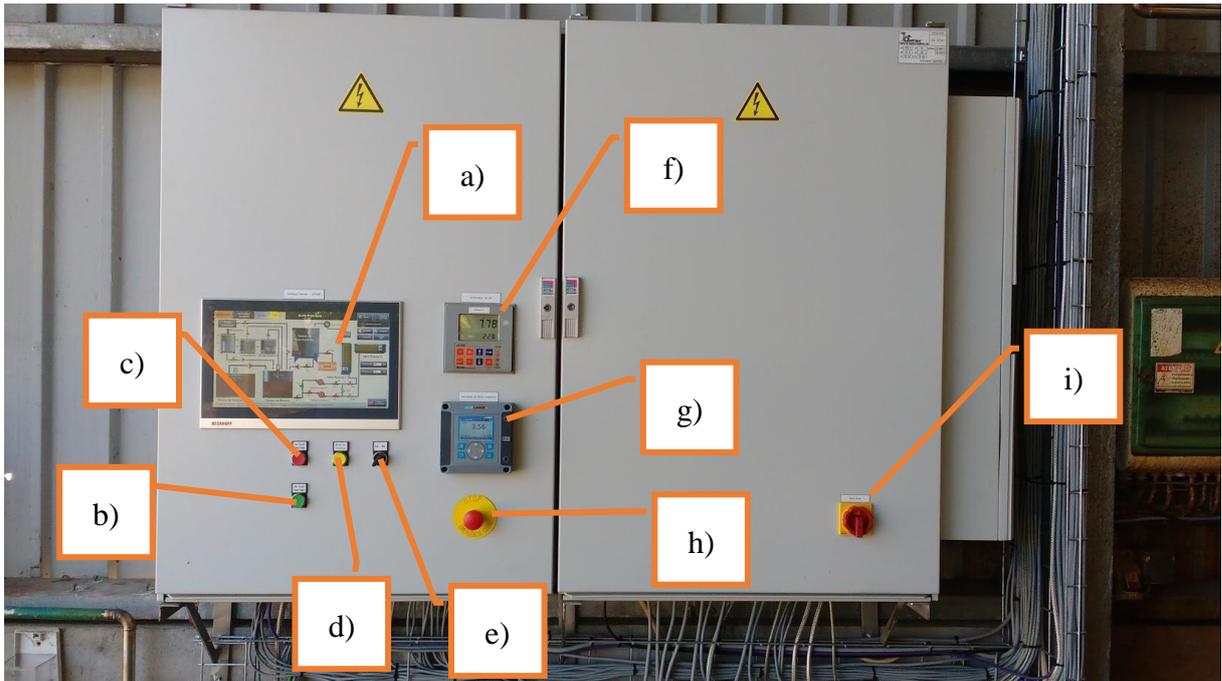


Figura 3.24 - Porta do Quadro P1: a) Painel CP2916-0000, Beckhoff; b) Start Bomba Duplo Diafragma (Manual); c) Stop Bomba Duplo Diafragma (Manual); d) Reset aos alarmes e paragem de emergência; e) Modo Automático/Manual; f) Controlador de pH HANNA Instruments pH500211/D; g) Controlador Hach sc 200; h) Paragem de Emergência; i) Corte Geral de Alimentação

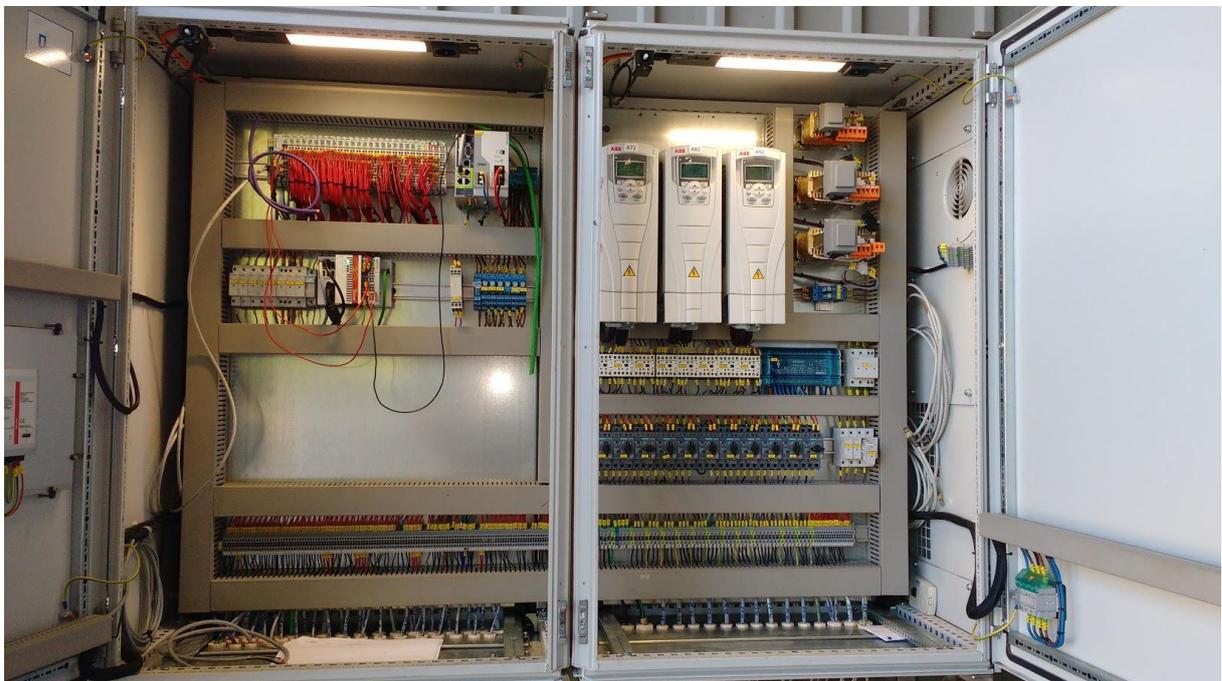


Figura 3.25 - Interior de P1

### 3.5.3 P2 - Quadro de Comando do Tratamento Químico

Para realizar o tratamento no modo manual, as ordens podem ser dadas na HMI presente no P1. Porém é importante ter a possibilidade de realizar o tratamento próximo do Tanque de Mistura, onde decorre todo o processo de tratamento químico das águas residuais. Para esse efeito foi elaborado um Quadro de Comando de Tratamento Químico que inclui as mesmas ordens de comando que o painel de comando de tratamento do sistema prévio, Figura 3.26.



Figura 3.26 - P2 - Quadro de comando do Tratamento Químico

### 3.5.4 P3 – Quadro de comando das Bombas Peristálticas

As ordens de Arranque ou Paragem das Bombas em modo manual, normalmente serão dadas aquando a manutenção dos Filtros Prensa. Portanto, será relevante ter um quadro de comando próximo quer das Bombas Peristálticas quer dos Filtros Prensa. Esse quadro de comando, P3, está representado na Figura 3.27



Figura 3.27 - P3 – Quadro de comando das Bombas Peristálticas

### 3.5.5 P4 – Quadro de Comando Remoto (ZELL)

Para monitorização remota (na máquina Benninger-ZELL), foi adquirida uma HMI da Beijer e foi instalada na porta de um quadro existente próximo do Tanque de Retenção. Para além da HMI, foi incluída uma botoneira momentânea que permite realizar o arranque e paragem do Agitador do TR.

### 3.5.6 P5 – Quadro Eléctrico dos Filtros Prensa

Para realizar a limpeza dos Filtros Prensa é necessário dar ordens de avanço e de recuo aos cilindros dos grupos hidráulicos, que permitem compactar ou separar as placas dos filtros. Para esse efeito, é necessário ter o comando próximo dos Filtros. O quadro P5 possui na porta botoneiras que permitem dar ordens de comando bem como a sinalização de variáveis referentes aos grupos hidráulicos.

Os componentes de Potência para os dois grupos hidráulicos também foram incluídos neste quadro, o que permite que estes funcionem independentemente de P1.

### 3.5.7 Arquitetura de Comunicação

Na Figura 3.28 é apresentada a arquitetura de comunicação que foi implementada no novo sistema automático. Um dos objetivos da C-ITA era que o novo sistema da EPTARi estivesse integrado na rede interna da Continental de modo a existir um acesso remoto a partir de um computador de escritório. Com isto a engenharia tem um acesso facilitado à informação acerca da EPTARi – estado do tratamento, alarmes, níveis dos tanques, etc. – sem a necessidade de sair do escritório.

Neste projeto foi usada uma topologia mista, Figura 3.28:

- Topologia em Estrela – A *Continental Network* encontra-se nesta topologia como o nível superior de comunicação que gere os dados para a monitorização remota. Através desta rede o CX5020-0121 comunica com a consola Beijer X2 PRO12 e com os diferentes equipamentos que aí estejam conectados (um computador de escritório ou um smartphone).
- Topologia em Barramento – Existe um barramento EtherCAT que contém o CX5020-0121, as BK1120 (uma no quadro P1 e outra no quadro P5), e todas as cartas de entradas e saídas digitais/analógicas. Deste modo todos os I/O que dizem respeito ao tratamento químico da água residual (ligar bombas, ler botoneiras, etc.) são lidos e controlados a partir de P1, enquanto que os sinais dos grupos hidráulicos são lidos no P5, havendo apenas entre estes dois quadros um cabo Ethernet que estabelece a comunicação. A segunda BK1120 usada no P5, permite a comunicação por EtherCAT com P1 e assim, se no futuro for necessário acrescentar variáveis nos grupos hidráulicos que se pretendam que sejam lidas/controladas pelo autómato, apenas é necessário acrescentar módulos de entradas ou saídas no P5, evitando alterar a cablagem entre estes dois quadros.

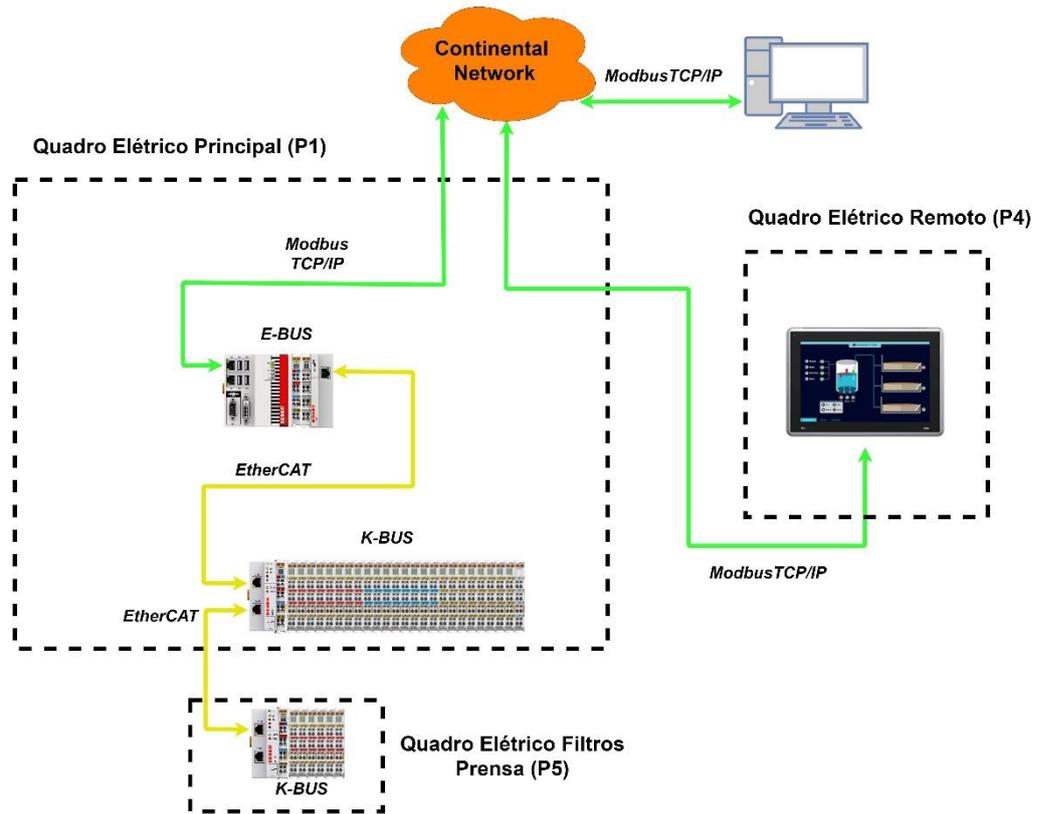


Figura 3.28 - Arquitetura de Comunicação do sistema da EPTARi

### 3.6 Grafquets para controlo automático

Desenvolver um algoritmo de controlo com uma sequência de ações sem auxílio de um *grafcet* pode ser uma tarefa bastante difícil, principalmente se houverem muitas condições e etapas de processo. Foi por este motivo que foi desenvolvido um *grafcet* apenas para o funcionamento automático, como base para a elaboração do algoritmo de controlo. Além disso, permite, nesta dissertação, elucidar de uma forma mais gráfica e visual o raciocínio transversal ao algoritmo. A elaboração destes *Grafquets* foi baseada no procedimento manual pré-estabelecido (presente em anexo F e abordado no subcapítulo 2.1).

#### *Grafcet G11 – Ordem de Tratamento*

De uma forma geral, este *grafcet* define o início do tratamento automático e é apresentado na Figura 3.29. Nas três primeiras etapas, antes de iniciar qualquer ação, são analisadas condições de funcionamento necessárias para realizar o tratamento:

- *Nível Mínimo de Químicos* – Se não houver um nível mínimo atribuído a cada químico (Floculante, Coagulante, Soda Cáustica), o sistema não irá prosseguir com o tratamento. Este nível mínimo é definido por questões de segurança visto que não existe leitura deste parâmetro.

- *Tanque de Mistura Vazio* – É uma condição que implica que para realizar um tratamento (ou retratamento), seja necessário que o Tanque de Mistura não contenha líquido. Esta condição serve para garantir que o tratamento é iniciado apenas se o tratamento anterior for completo.
- *Modo de Funcionamento Selecionado* – O sistema para prosseguir com o tratamento deverá ter obrigatoriamente um caso de funcionamento selecionado.

Quando as condições são garantidas, dependendo da ordem do operador, o sistema poderá prosseguir com o início de um novo tratamento, ou um retratamento, Etapa 3. Se for dada a ordem de Trasfega, é iniciado um novo tratamento, realizando a trasfega dos efluentes do TR para o TM, Macro-Etapa M1. No entanto, esta ordem só será aceite se o volume do TR for pelo menos  $6,5 \text{ m}^3$  (*TR com 6.5m3*) e se agitador do Tanque de Retenção estiver ligado (*Tanque de Retenção ON*).

Se for dada a ordem de Retratamento - situação para quando os parâmetros da água Pré-Tratada no TA-C não respeitam os valores impostos pelo SIDVA – a água do TA-C é transferida para o TM. O fim dessa transferência tanto pode ser dado se o TM chega ao limite máximo imposto (*TM com 6.5M3*) ou se o Tanque de Auto-Controlo fica vazio (*TA-C Vazio*).

No fim de ambas etapas, Macro-Etapa M1 e Etapa 4, é realizada uma temporização de 2 minutos de agitação para promover uma homogeneização no TM. Passados esses 2 minutos, é iniciado o tratamento químico no TM (M2). Quando esta Macro Etapa chega ao fim, é iniciado o processo de filtragem, ou seja, o funcionamento das BP's que envia a água do TM para os FP's.

O processo regressa à etapa 0 quando toda da mistura tratada do TM é filtrada para o TA-C, ou seja, quando o nível do TM chega ao mínimo imposto. Foi estabelecido um mínimo de  $0,5 \text{ m}^3$  para garantir que as bombas peristálticas não funcionem sem líquido. Nessa zona podem existir sólidos depositados que impedem que a água esteja distribuída no fundo do tanque e originar erros de leitura.

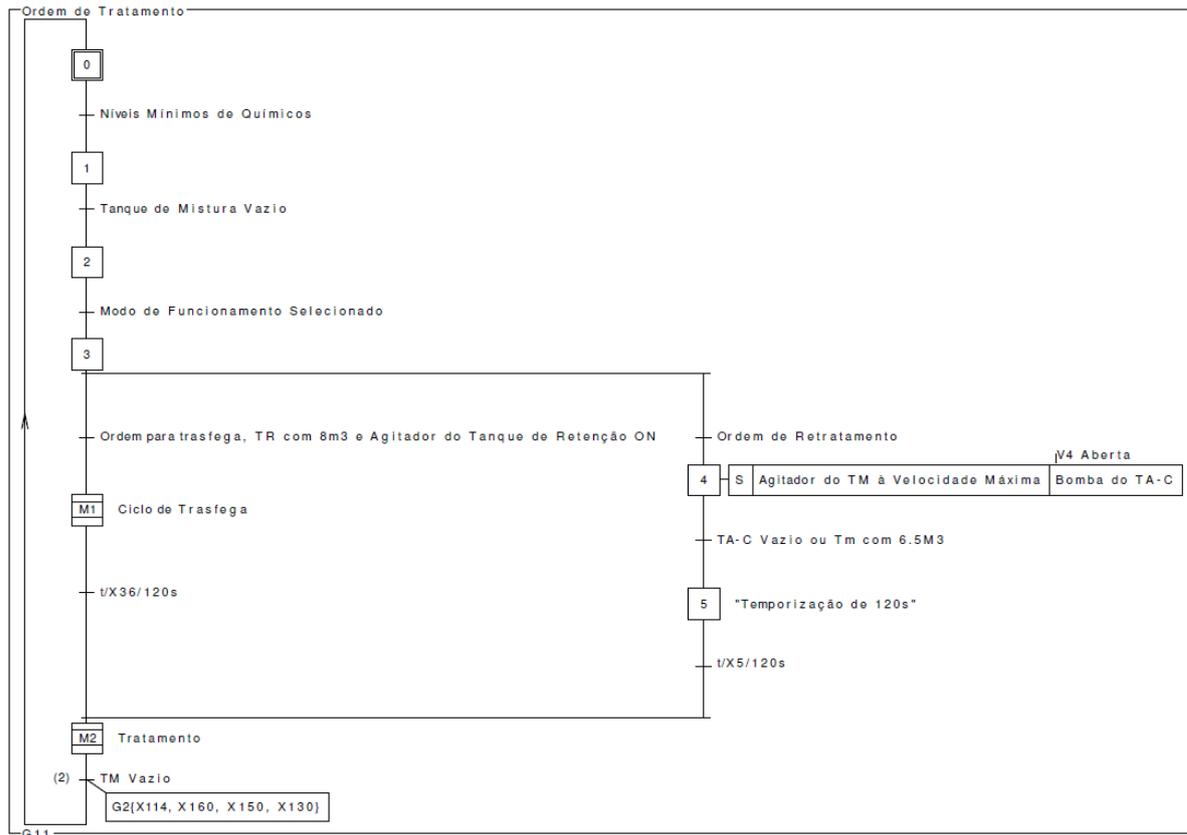


Figura 3.29 - Grafcet G11, Ordem de Tratamento

### Macro-Etapa M1 – Trásfega

A Etapa 19 (etapa inicial da Macro-Etapa M1) tem como propósito garantir que as válvulas automáticas V15 e V16 estejam fechadas. Quando os fins de curso destas válvulas detetarem que ambas estão fechadas (*V15 e V16 fechada*), é ligada a Bomba de Duplo Diafragma e simultaneamente é ligado o agitador do TM à velocidade máxima (2000 rpm.).

A partir da Etapa 20 o sistema pode tomar dois rumos: encher o TM até aos 6.5m<sup>3</sup> ou encher o TM até a um valor calculado. Estas duas alternativas vão depender da percentagem de sólidos dissolvidos (%SS). Se a %SS for menor que 3,5 %, então o volume do TM é perfeito exclusivamente com os efluentes provenientes do TR. Se a %SS for maior que 3,5% então sistema irá calcular um Volume Máximo V(i)<sup>1</sup> sempre menor do que 6,5m<sup>3</sup>, de modo a ter uma reserva para que seja possível realizar uma diluição (com água industrial ou com água do Tanque de Auto-Controlo). Esta diluição tem como objetivo final, diminuir a %SS para aproximadamente 3,5% e conseqüentemente diminuir o volume adicionado de coagulante.

<sup>1</sup> A expressão usada para calcular V(i) encontra-se em anexo C.

Por outras palavras, caso a %SS medida seja superior a 3,5 % então o TM é cheio até V(i) e de seguida é realizada uma diluição. Esse processo será realizado prioritariamente com água do TA-C (Etapa 32), pois permite economizar água industrial e reutilizar água pré-tratada (desde que o tanque de Auto-Controlo não esteja vazio). A adição de água Industrial (Etapa 30) só será realizada apenas se o TA-C estiver vazio ou quando ficar vazio após a Etapa 32. Notar que por segurança, a bomba TA-C só entra em funcionamento se a Válvula V4 estiver aberta, por se encontrar a montante dessa bomba.

Quando o TM atinge o volume máximo, ambas as etapas, Etapa 30 e Etapa 32, são terminadas e é ativada a Etapa 36. Como já foi abordado, nesta etapa são temporizados 2 min de agitação à velocidade máxima para homogeneizar a mistura e posteriormente medir a %SS.

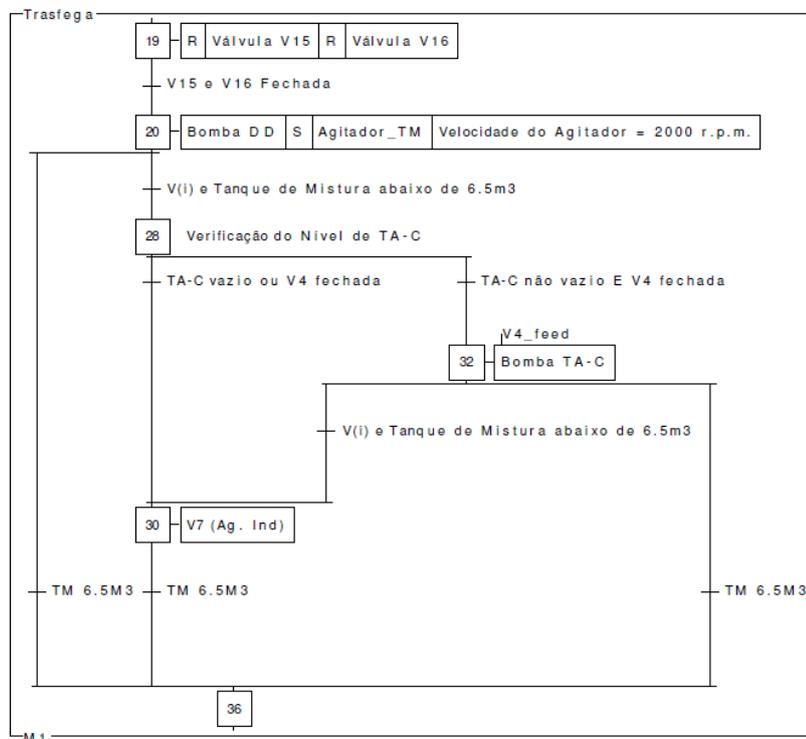


Figura 3.30 - Macro-Etapa M1, Trásfega

### **Macro-Etapa M2 – Tratamento Químico**

Esta Macro-Etapa consiste, de grosso modo, na adição dos produtos químicos no TM, Figura 3.31. Dentro desta Macro-Etapa existem mais duas Macro-Etapas, a M3 para adição de Coagulante e a M4 para adição de Soda Cáustica. Quando M2 é iniciada, a Macro-Etapa M3 é a primeira a ser ativada e simultaneamente é ligado o Agitador do Floculante.

No fim da adição do coagulante, inicia a Macro-Etapa M4 para a adição de Soda-Cáustica. Quando o pH do TM atinge um valor neutro, M4 dá-se por concluído e a velocidade do agitador do TM é reduzida para a velocidade intermédia.

O Floculante é adicionado, após uma temporização de 30 segundos de agitação, contudo a bomba do Floculante só opera se a válvula V5 estiver aberta (a válvula encontra-se a jusante da bomba). Adicionados os 200 L de Floculante, o agitador do respetivo recipiente é desligado para a seguir serem temporizados 5 min (300s) de agitação no TM à velocidade intermédia. Após isto, a velocidade é reduzida para o valor mínimo passados outros 5 min, Etapa 58.

No fim da agitação à velocidade mínima, o Agitador do TM é desligado e desta vez são temporizado 20 min (1200 s) e é dada a ordem para o início do processo de filtragem.

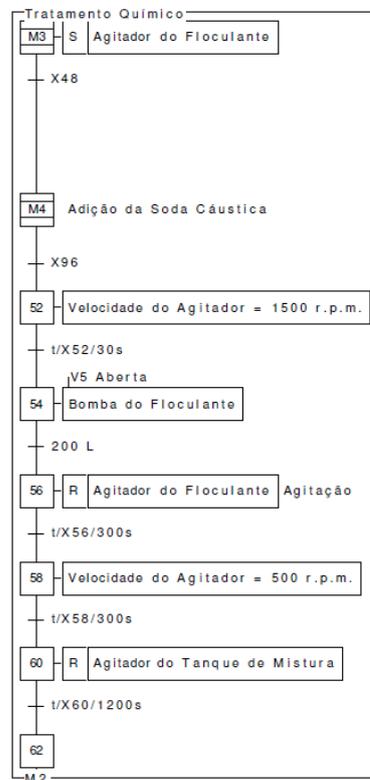


Figura 3.31 - Macro-Etapa M2, Tratamento Químico

### **Macro-Etapa M3 – Adição de Coagulante**

Como já foi referido, o objetivo na Macro-Etapa M1 é o de ajustar a %SS para valores próximos de 3,5%. Todavia, quer por falhas de medição, quer por falta de homogeneização perfeita da mistura durante a trasfega, este valor pode não ser garantido e deve ser confirmado, Etapa 42.

Se o Valor da %SS for menor ou igual a 3,5%, então são adicionados 47 L de Coagulante, Etapa 44. Caso contrário, o sistema terá que calcular o volume de Coagulante a adicionar, com recurso à Equação 2.1. na Etapa 46. Quer por uma via quer por outra, são temporizados 2 min para que

o agitador homogeneíze a mistura e seja feita uma verificação do pH na Etapa 47. É necessário ter em conta que no final do tratamento o pH da água deve andar em torno dos 7 e o coagulante é o único químico que reduz o pH. No fim da adição do coagulante o sistema deverá garantir que o pH se situe pelo menos a 7.2 (foi deixada uma margem de 0,2 pois o pH demora muito tempo a estabilizar e pela experiência prática costuma baixar 0,2 após a “estabilização aparente”) pois não há possibilidade de o baixar de outra forma. Se não se situar abaixo desse valor então o sistema irá adicionar doses de 5 L de coagulante até que seja atingida a condição pretendida.

Caso a condição seja satisfeita, é ativada a Etapa 48 que finaliza a adição de Coagulante.

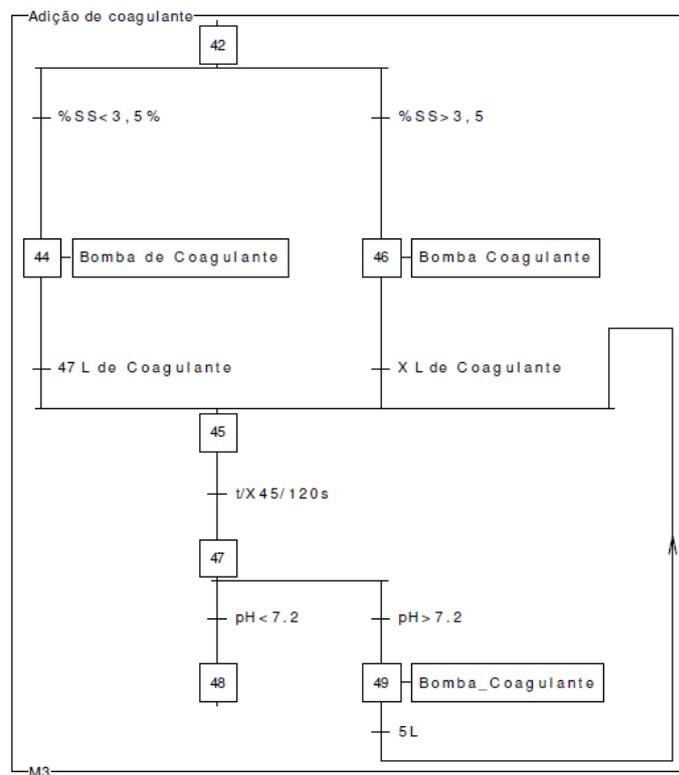


Figura 3.32 - Macro-Etapa M3, Adição de Coagulante

### **Macro-Etapa M4 – Adição de Soda Cáustica**

Nesta Macro-Etapa o objetivo é ajustar o pH para 7 através da adição de soda-cáustica, pois tipicamente a adição do coagulante baixa-o para um intervalo entre 4 a 6. Na Etapa 80 é verificada em que condição é que o sistema irá adicionar Soda-Cáustica: com recurso ao controlador de pH ou através de um algoritmo específico, Figura 3.33.

Se o pH for ajustado pelo controlador de pH, então a bomba de Soda Cáustica irá funcionar quando a saída relé do controlador tomar o valor lógico 1. Quando o pH atingir 6.7 então M3 finaliza na Etapa 96 (foi definido este valor pelas mesmas razões que em M3, porém como o sentido da evolução do pH nesta Macro-Etapa é a subir, foi ajustado por defeito).

Quando o pH é ajustado pelo autómato e se este valor estiver abaixo de 6,7, então é adicionado um volume de Soda Cáustica calculado segundo uma expressão obtida por um método empírico. Após a adição desse volume, são temporizados 120 s para a agitação e homogeneizar a solução. Enquanto o pH estiver abaixo de 6,7 serão ciclicamente adicionados 0,25 L de Soda cáustica, até que atinja esse valor.

Por questões de segurança, um Grafcet auxiliar força M4 para a Etapa 96 caso o sensor meça um valor de pH superior a 6,7.

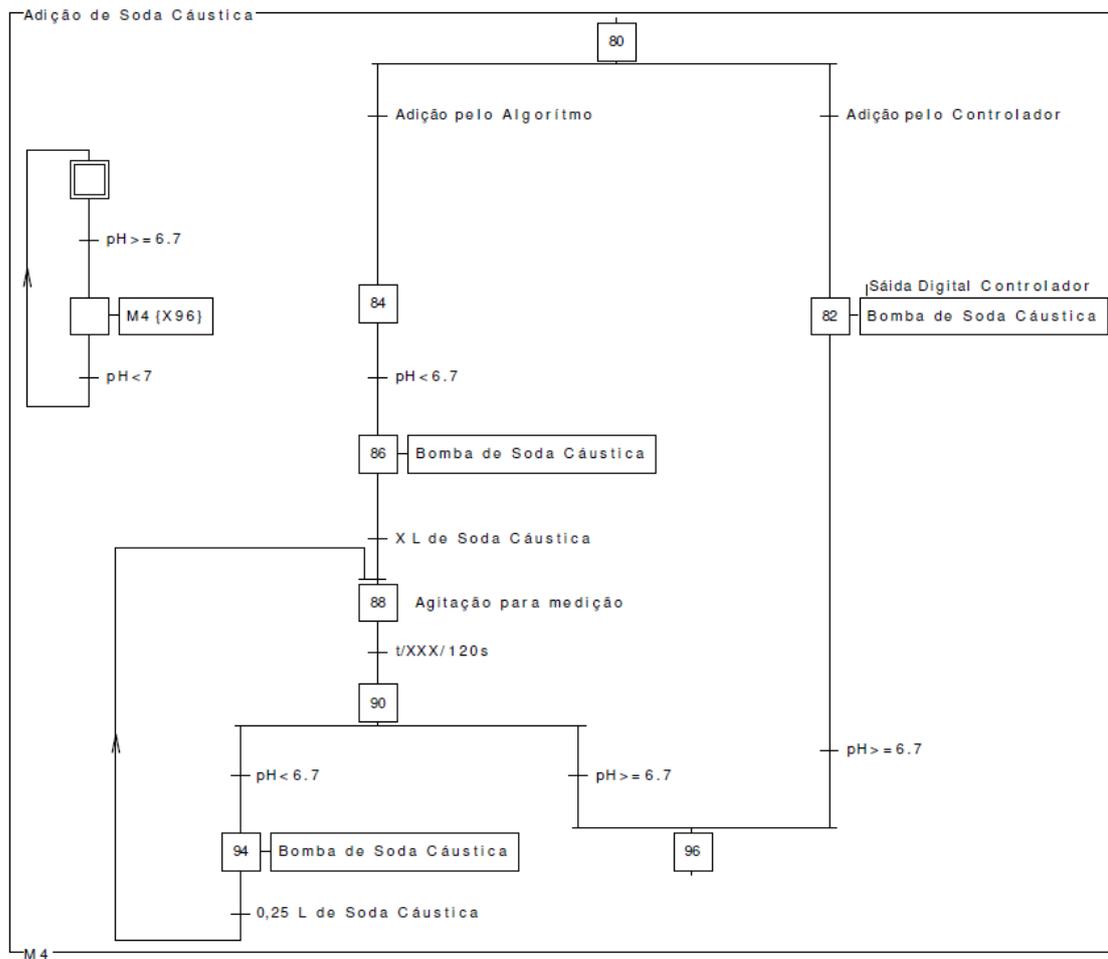


Figura 3.33 - Macro-Etapa M4, Adição de Soda Cáustica

### ***Grafcet G2 – Processo de Filtragem***

Este Grafcet é constituído por 5 SubGrafcets (G21, G22, G23, G24 e G25). Cada SubGrafcet irá ser iniciado conforme o modo ou caso de funcionamento para os filtros prensa que foi seleccionado ou pedido ao sistema. Estes Grafcets só poderão ser iniciados quando a Etapa 36 (Grafcet M2) estiver ativa.

Em todos os Subgrafcets são definidas condições de funcionamento das bombas peristálticas onde são definidas expressões que envolvem o estado das válvulas do coletor e dos parâmetros dos filtros prensa, para que não ocorram acidentes de funcionamento.

#### ***Grafcet G21 – Funcionamento caso 1***

Um dos dois modos de funcionamento mais standard corresponde ao funcionamento dos dois Filtros Prensa em simultâneo, caso 1. Para iniciar o funcionamento de FP1 e FP2, as válvulas V15 e V16 deverão estar totalmente abertas. A ordem de abertura destas válvulas apenas é dada se o FP1 e FP2 não estiverem colmatados (*FP1 Limpo e FP2 Limpo*).

Se houverem condições para as bombas peristálticas funcionarem, então BP1 entra em funcionamento na Etapa 118 e BP2 na Etapa 124. Se as condições para o funcionamento de cada uma das bombas peristálticas não estiverem reunidas, estas serão paradas, no entanto a Etapa 118 ou Etapa 124 não serão interrompidas por esta condição. Com isto, quando forem reunidas novamente condições de funcionamento para cada uma das BP's então estas são ligadas novamente.

O ciclo de funcionamento da BP1 ou BP2 é concluído quando o FP1 ou FP2 atingem o estado de colmatção, respetivamente. Nesta circunstância, é dada a ordem de fecho das válvulas V15 e V16 e o sistema fica a aguardar a limpeza dos FP's. O sistema só reinicia o processo de filtragem se e só se o operador der a confirmação de manutenção de ambos os FP's.

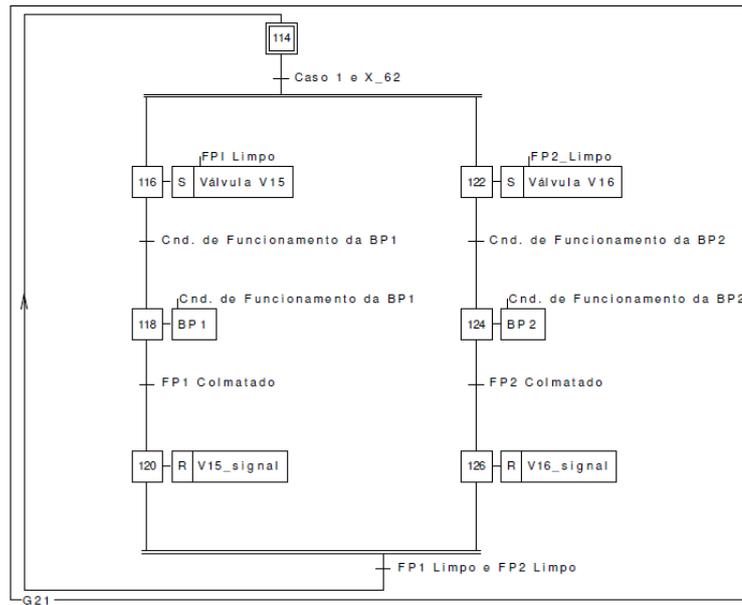


Figura 3.34 - G21, Processo de Filtragem para o CASO 1

### ***Grafcet G22 – Funcionamento do caso 3 ou caso 7***

No G22 estão incluídos os casos de funcionamento 3 e 7, que envolvem apenas o funcionamento do FP1. Para o seu funcionamento, é necessária a abertura da válvula V15 e que o Filtro Prensa não esteja em espera para ser limpo - um pouco à luz de G21. Após esta etapa, existe uma condição que envolve um “ou exclusivo”. Para o caso 3 apenas existe funcionamento da BP1 enquanto que para o caso 7 é o funcionamento exclusivo de BP2. Portanto, para transitar para a Etapa 164 é obrigatório que a condição de funcionamento apenas seja válida para uma das bombas, consoante o caso. Nesta Etapa, as condições de funcionamento para as duas bombas não poderão coexistir (imposto pela programação).

Quando o FP1 se encontra colmatado, então a Etapa 164 transita para Etapa 166 onde é dada a ordem de fecho da válvula V15 para realização de manutenção e é aguardada a confirmação por parte do operador. Quando essa confirmação é realizada então o processo de filtragem reinicia.

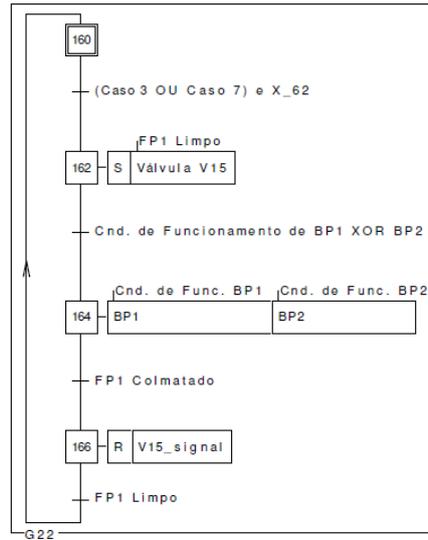


Figura 3.35 - G22, Processo de Filtragem para o CASO 3 e CASO 7

**Grafcet G23 – Funcionamento do caso 4 ou caso 8**

O Grafcet G23 está estruturado de igual modo ao Grafcet G22, à exceção de que este é para o funcionamento do FP2 e é empregue quando os casos 4 ou 8 são validados.

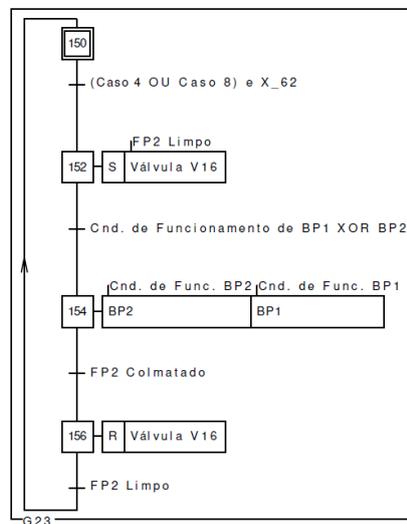


Figura 3.36 - G23, Processo de Filtragem para o CASO 4 e CASO 8

**Grafcet 24 – Funcionamento do caso 2, caso 6 ou caso 8.**

Para os três casos (2, 5 e 6) os Filtros Prensa funcionam em modo alternado, ou seja, funciona apenas um filtro prensa durante o processo de filtragem. Quando um filtro prensa em funcionamento fica colmatado, caso o segundo esteja operacional, substitui o funcionamento do anterior, e vice-versa.

À semelhança dos Grafjets anteriores, é verificada se está selecionado algum dos casos de funcionamento referidos, Etapa 130. Verificada essa condição, na Etapa 132 o sistema vai verificar qual dos filtros prensa está pronto a operar. Se os dois estiverem operacionais, então é dada a prioridade ao FP1.

Neste Grafjet, ao contrário dos anteriores, na Etapa 133, a abertura da válvula v14 irá depender do caso que foi selecionado. Mais uma vez, é aplicado um “ou exclusivo” para a condição de funcionamento das bombas peristálticas, pelas mesmas razões indicadas para G22.

O funcionamento das bombas peristálticas termina quando o filtro prensa atinge o estado de colmatado e nesse instante a Etapa 138 é ativada. Se o FP2 estiver operacional então o sistema avança com a filtragem nesse Filtro Prensa. Porém, na Etapa 139 são verificadas as condições de funcionamento para as bombas peristálticas. Para a Etapa 140 e Etapa 144, o desenvolvimento do Grafjet é idêntico à Etapa 133 e Etapa 134, respetivamente, com exceção de o funcionamento envolver o FP2, ao invés do FP1.

Na Etapa 144 é verificado se o FP1 se encontra para manutenção e avança se o FP estiver operacional. A partir daí o processo repete-se e retoma à etapa 133.

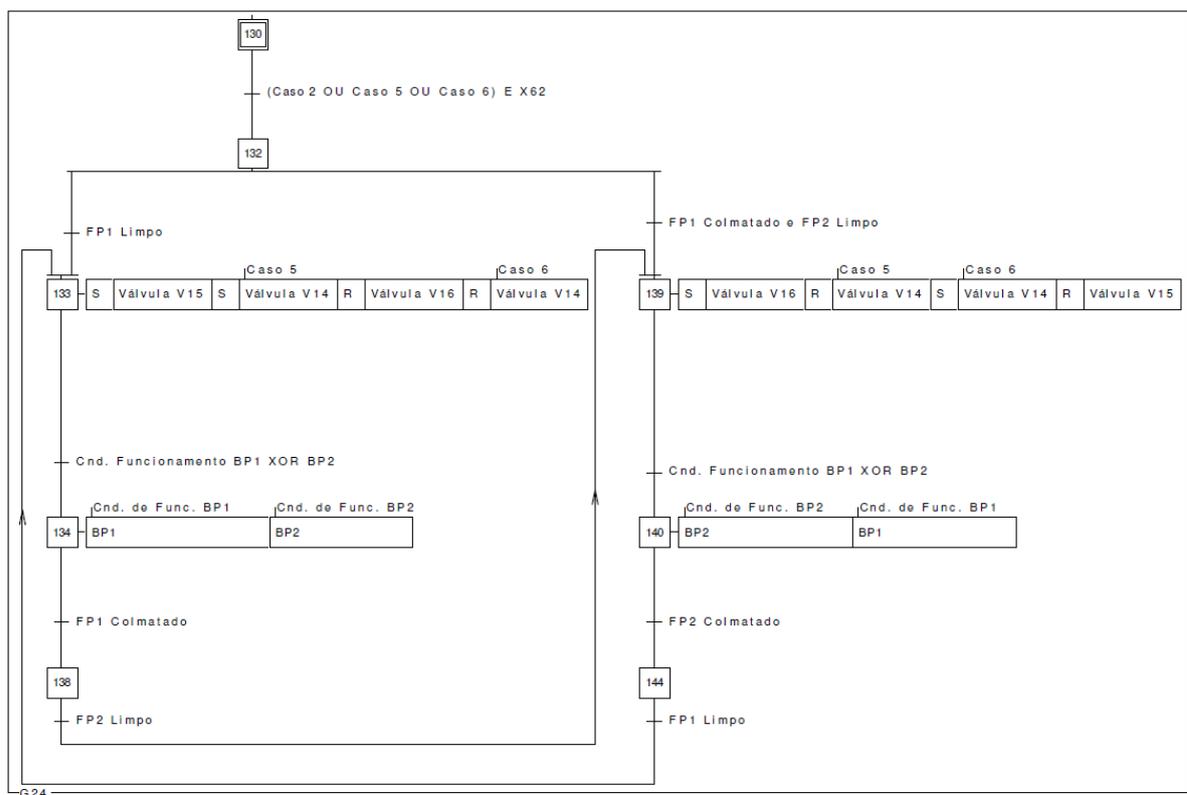


Figura 3.37 - G24, Processo de Filtragem para o CASO 2, CASO 5 e CASO 6

### G25 – Condição de Paragem do Processo de Filtragem

Apresentando uma única etapa, este Grafcet apenas tem como objetivo parar o processo de filtragem, independentemente da etapa em que se encontra quando o Tanque de mistura se encontra vazio.

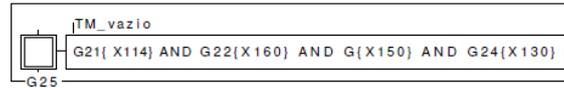


Figura 3.38 - G25, Condição de Paragem do Processo de Filtragem

## 3.7 Programação do autómato

### 3.7.1 Software TwinCAT 2®

O *software* que permite desenvolver aplicações para os autómato da Beckhoff é o *TwinCAT*®. Até à data de escrita da tese existem 3 versões deste *software*: *TwinCAT*, *TwinCAT 2* e *TwinCAT 3*. Para este projeto a programação do autómato foi em *TwinCAT 2* que é a versão do *runtime* do CX5020-0012.



Figura 3.39 - Software TwinCAT da Beckhoff

Dentro do *TwinCAT2* existem várias ferramentas que permitem ao programador do projeto desenvolver uma panóplia de configurações conforme a sua necessidade. Para este projeto foram usadas duas ferramentas: *System Manager* e o *PLC Control*

#### *TwinCAT System Manager*

Esta ferramenta permite gerir as conexões de entradas e saídas e a organização do sistema, ou por outras palavras, o *TwinCAT System Manager* organiza o sistema *TwinCAT*.



Figura 3.40 - Software TwinCAT System Manager

É no *System Manager* onde é(são) configurado(s) o(s) PLC(s) que irão correr o(s) programa(s) desenvolvidos para aplicação. Uma das vantagens desta ferramenta é que permite detetar automaticamente todos as cartas, módulos ou outros terminais (*devices*) que estiverem acoplados ao PLC. Esta deteção automática tanto inclui *devices* que estejam acoplados por *K-Bus*, *E-Bus*, *EtherCAT* ou qualquer outro protocolo de comunicação. O único requisito é que os *devices* estejam presentes na biblioteca do TwinCAT.

A alocação das variáveis do programa desenvolvido para o PLC às entradas e saídas das cartas, é realizada com esta ferramenta. Para tornar essas variáveis alocaíveis é necessário definir um endereço nos registos do autómato.

### ***TwinCAT PLC Control***

O ambiente de programação do PLC é o *TwinCAT PLC Control*, e está ao abrigo da norma IEC 61131-3. Assim, as linguagens que estão disponíveis para programação são: IL, FBD, LD, SFC, ST e CFC.



Figura 3.41 -  
Norma IEC  
61131-3

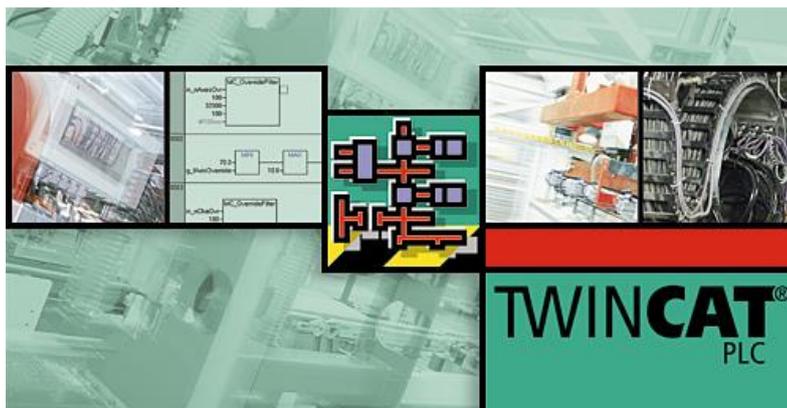


Figura 3.42 - Software TwinCAT PLC Control

Para além do desenvolvimento permite colocar o programa do PLC em modo *Debug* e visualizar o estado das variáveis.

### **3.7.2 Programa implementado**

O *TwinCAT 2 PLC Control* possui na sua interface gráfica uma coluna correspondente à Unidade de Organização de Programas, ou sigla POU (do inglês *Program Organization Unit*) onde são adicionados vários objetos como programas, blocos e funções. Na aba dos *Resources* podem ser definidas as variáveis globais, que permitem ser usadas transversalmente em todos os programas criados.

## MAIN

Um projeto desenvolvido em *TwinCAT*, deve possuir um programa associado no *Task Configuration* como o programa principal, que irá correr ciclicamente, realizando um varrimento pelas linhas de código, Figura 3.43. O tempo de ciclo definido é de 10 ms, que para a aplicação em questão parece ser ajustado visto não existirem requisitos dinâmicos apertados.

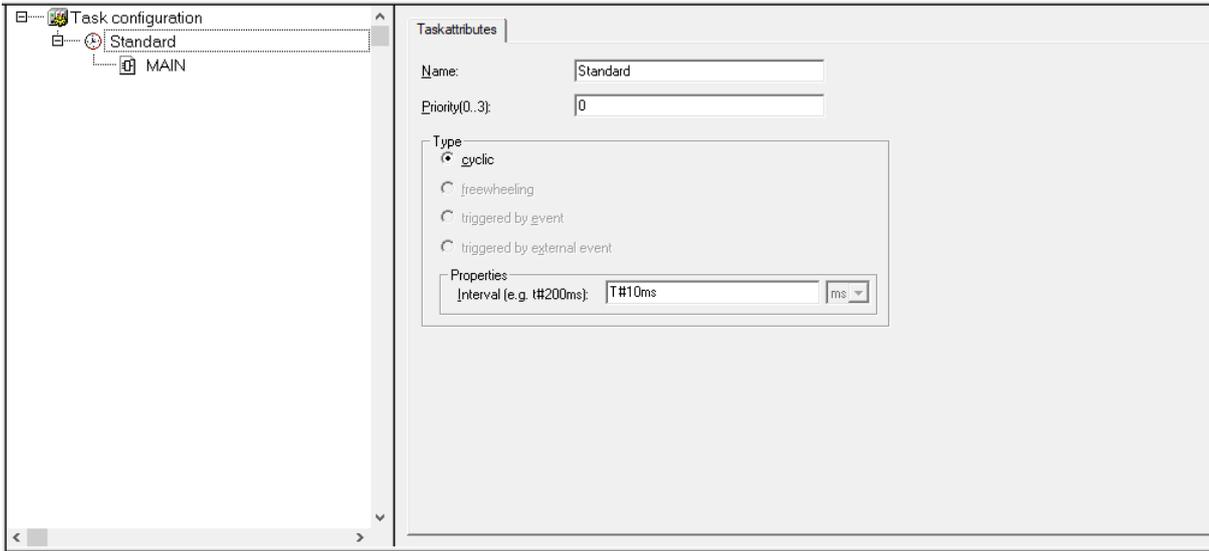


Figura 3.43 - Atribuição do *Task Configuration* e tempo de Ciclo

O nome adotado para o programa principal deste projeto foi “*MAIN*”, que é o nome atribuído por defeito pelo *TwinCAT*. O tipo de linguagem é diagrama de blocos e nele são invocados todos os outros programas que deverão correr em síncrono com o *MAIN* a cada varrimento do PLC. Para isso, é adicionado um bloco em cada linha de código correspondente a cada subprograma com os respetivos nomes.

### ***Escolha\_Modo\_Manual\_Automatico***

Este subprograma possui poucas linhas de código e apenas tem o objetivo de definir, consoante as ordens que o sistema recebe, o funcionamento automático. Se o sistema se encontrar em funcionamento manual, então não deve ser permitido que este seja colocado em modo automático. Se houvesse essa permissão, caso um operador tentasse ativar o funcionamento automático, a meio de um tratamento manual, o sistema não teria capacidade retomar o tratamento exatamente na mesma etapa. Assim, antes de colocar em modo automático deve finalizar o tratamento em manual.

O início do tratamento é dado com o funcionamento da Bomba de Duplo Diafragma, que realiza a trasfega. O fim do tratamento acontece quando o TM é completamente esvaziado e toda a solução tratada foi filtrada. Nestas duas condições, uma variável booleana, *Tratamento\_decorrer*, toma o valor lógico 1 quando a Bomba\_DD é ligada, ou seja, o início do tratamento. Quando o tanque está vazio então a variável referida toma o valor lógico 0. O final de um tratamento pode ser forçado, através de uma ordem manual e que também afetará o valor lógico do variável *tratamento\_decorrer*.

Uma variável *Modo\_Manual\_button* representa o estado da botoneira de Funcionamento Automático/Manual (do quadro P1). Quando o seu valor é TRUE, então significa que o operador pretende colocar o sistema em modo manual, e o oposto se for FALSE. Só é permitido colocar o sistema em modo automático apenas se não estiver a decorrer nenhum tratamento.

### ***Parametros\_Bombas\_e\_Motores***

Neste Subprograma estão associados todos os sinais analógicos associados a motores e bombas do sistema. As variáveis que estão alocadas às cartas analógicas são do tipo WORD e têm uma gama de -32 767 a 32 767 (total de  $2^{16} = 65\,535$  bits). Estes valores são posteriormente convertidos em unidades de engenharia. Assim existem variáveis do tipo WORD que estão relacionadas diretamente com a leitura das cartas e variáveis do tipo REAL que são conversão direta das anteriores.

Existem duas condições de funcionamento que definem as condições limites de funcionamento das bombas Peristálticas. Quando a pressão for maior que 4.5 bar em simultâneo com a velocidade inferior a 227 rpm, então é definido o fim de funcionamento das bombas peristálticas. A velocidade de rotação 227 rpm foi a velocidade que se definiu empiricamente como indicador colmatação dos Filtros Prensa.

### ***Parametros\_Grupos\_hidraulicos***

Aqui estão representadas as variáveis correspondentes à pressão de cada um dos grupos hidráulicos. Tal como no subprograma ***Parametros\_Bombas\_e\_Motores***, existe conversão das variáveis para unidades de engenharia. Existem uma condição para cada grupo hidráulico que analisa a pressão medida e ativa uma variável booleana quando é atingida a pressão de funcionamento necessária. Esta variável será lida em outros subprogramas, por questões de segurança, para garantir que o processo de filtração apenas ocorre se os grupos hidráulicos estiverem à pressão correta, ou por outras palavras, se os filtros prensa se encontrarem devidamente fechados e pressionados pelo cilindro.

### ***Parametros\_Tanques***

Neste subprograma estão presentes parâmetros relacionados com as variáveis analógicas lidas nos tanques, nomeadamente os níveis do TR e do TM, e a %SS e o pH do TM. Essas variáveis devem então ser convertidas para unidades engenharia para facilitar a sua leitura.

A partir dos valores medidos, mais precisamente dos níveis dos tanques, são ativadas variáveis booleanas que indicam condições limites tais como: tanque cheio, tanque vazio, derrames, etc. As variáveis booleanas serão usadas noutros subprogramas como condições (ou transições de etapas) ou para gerar alarmes.

### ***Bombas\_e\_Motores***

Todas saídas digitais quer para contactores, quer para os conversores de frequência, são escritas neste subprograma. Existem variáveis globais que são escritas em outros subprogramas e que neste subprograma ativam as variáveis alocadas às bombas e motores, desde que sejam respeitadas todas as condições impostas e específicas a cada atuador.

Quando existe uma paragem de emergência, todas as saídas vão a zero, não sendo permitido o funcionamento de nenhum atuador, independentemente da ordem das variáveis internas. O disparo de um disjuntor é visto como uma avaria e apenas por questões de segurança, as saídas dos contactores vão a zero.

Foram implementadas condições de paragem de bombas (ou impedimento de funcionamento) para o caso de existirem derrames de tanques ou de válvulas manuais presentes a montante ou a jusante das bombas que estejam fechadas.

As bombas peristálticas apresentam um funcionamento mais específico pois irão depender do estado dos Filtros Prensa, particularmente dos grupos hidráulicos. Foram implementadas condições de funcionamento para as bombas peristálticas relacionadas com os filtros prensa

(pressão de funcionamento, disjuntores dos motores das bombas hidráulicas ou paragem de emergência dos Filtros Prensa).

### ***Escolha funcionamento\_BP\_FP***

Foram definidos 8 casos de funcionamento que envolvem diferentes configurações de funcionamento de BP1, BP2, V14, V15, V16, FP1 e FP2. Neste subprograma foi implementado toda a lógica relacionada com os casos de funcionamento. Aqui são atribuídas as configurações às válvulas automáticas consoante o caso validado.

Por outro lado, cada caso tem condições de funcionamento impostas tal como a abertura de uma válvula manual, ou estado de um dos filtros prensa. Um caso previamente validado que deixou de ter condições de funcionamento válidas, passa a não ser validado, apenas se o tratamento automático estiver parado.

### ***Funcionamento\_Modo\_Manual***

O subprograma ***Funcionamento\_Modo\_Manual*** envolve todas as ordens de comando para o funcionamento manual do sistema. As ordens de comando podem ser dadas a partir das botoneiras presentes nos diferentes painéis de comando, ou a partir da HMI e que terão o objetivo de arrancar ou parar os atuadores.

Neste Subprograma serão mudados os estados das variáveis internas respeitantes ao funcionamento manual e que serão lidas no subprograma ***Bombas\_e\_Motores***, Porém, devem ser consideradas condições impostas que necessitam ser cumpridas para permitir a ativação das variáveis internas. A condição transversal reside no sistema estar em modo manual.

### ***Ordem\_de\_Tratamento***

Neste subprograma é implementado, em Texto Estruturado (ST), o Grafcet G11, que tal como já foi indicado irá analisar as condições de funcionamento em automático e irá dar início ao tratamento, ou ao retratamento automático.

Neste subprograma estão implementados os timers, que são especificados no G11, e que temporizam as agitações para medição posterior dos sólidos suspensos. Se houver uma paragem de emergência, é dado RESET a esses timers.

A paragem forçada do tratamento, irá forçar o Grafcet G11 à etapa inicial, ou seja, Etapa 1. Nessa situação, o sistema irá aguardar novas ordens e se se verificarem novamente as condições necessárias para o funcionamento automático, este é iniciado.

### ***Macro\_Etapa\_M1***

O subprograma *Macro\_Etapa\_M1* diz respeito à implementação do grafcet M1 em texto estruturado. Portanto, estando relacionado com a trasfega, o sistema tem que calcular o volume inicial de soluto no TM e esse cálculo foi implementado neste subprograma.

Mais uma vez está presente a condição de paragem do tratamento forçada pelo operador, mas que para este Grafcet, força todas as etapas a serem desativadas.

### ***Macro\_Etapa\_M2***

Para além de ser implementado o Grafcet M2 são implementados os Grafcets M3 e M4, que são Macro-Etapas contidas na Macro-Etapa M2. Os timers que são usados na Macro-Etapa M2, são também implementados no subprograma bem como a expressão que faz a primeira aproximação ao volume de Soda Cáustica a adicionar.

A paragem do tratamento forçada para além desativar todas as etapas do grafcet M2, M3 e M4, também desativa as saídas para o agitador do TM e para o agitador do recipiente do Floculante.

### ***Nivel\_de\_Quimicos***

Para o sistema implementado, não existe qualquer sensor ou detetor que permita saber o estado dos recipientes dos químicos. Deste modo, concebeu-se uma solução que permite estimar o volume de químicos para cada recipiente. Para a estimativa do volume, foi considerado o caudal para cada bomba de químicos e foi multiplicado pelo tempo de funcionamento para se obter o volume bombeado para o TM. No entanto, quando são repostos os químicos nos recipientes, é necessário indicar ao sistema qual o novo volume de cada um deles e confirmar periodicamente o volume estimado. A implementação de *timers* que contam o tempo de funcionamento de cada bomba doseadora de químicos, permitem fazer o cálculo do volume que foi enviado para o TM. Será de relembrar que este valor é uma estimativa e o caudal das bombas doseadores pode apresentar pequenas flutuações. Consequência disso, o sistema poderá estimar valores um pouco díspares da realidade. Para atenuar as consequências desse efeito, foi implementada uma reserva para o nível de químicos, que poderá compensar eventuais desvios da estimativa. Essa reserva gera um alarme e não permite prosseguir com o tratamento automático se o nível estimado for abaixo do limite mínimo de segurança.

### ***Processo\_de\_Filtragem***

Os Grafcets G21, G22, G23, G24 e G25 foram implementados neste subprograma em Texto Estruturado. Toda a lógica das condições de funcionamento das bombas peristálticas e do estado do Filtros Prensa cheio (ou colmatado) foram também aqui implementados. Essas condições

irão depender do modo validado (ou selecionado) pelo operador e do modo funcionamento do sistema.

### ***TA\_C\_e\_SIDVA***

Sempre que são totalizados pelo caudalímetro 2,5 dm<sup>3</sup> de água descarregada para o SIDVA, este envia um impulso para o autómato. O volume total descarregado é obtido somando os impulsos (através de um contador virtual), e multiplicando essa soma pelo valor de volume/impulso (2.5dm<sup>3</sup>/impulso).

Quando são recebidos impulsos pelo caudalímetro e a válvula à saída do TA\_C (V17) se encontra fechada, então significa que está a haver escoamento pelo DropLine, que é indicação de derrame do TA\_C. Para essa condição, este Subprograma gera um alarme. Já na condição limite, quando o nível se encontra no limite inferior a bóia de nível deteta essa condição e fecha a válvula V17, no caso de ter sido dada a ordem de descarga.

### ***Tanque\_1m\_3***

Apesar do Tanque de 1m<sup>3</sup> não pertencer ao tratamento, é controlado pelo novo sistema. Neste subprograma é analisado o feedback das bóias de nível (superior e inferior) e o nível do Tanque de Retenção. A bomba presente neste tanque, só entre em marcha quando a bóia de nível superior envia um sinal ao autómato. Por outro lado, o Tanque de Retenção não pode estar cheio, por forma a não provocar um derrame do mesmo. Se o TR estiver cheio, a bomba do Tanque de 1m<sup>3</sup> nunca poderá funcionar. Caso a bóia superior detete que o tanque está cheio, há probabilidade de ocorrência de derrame e será gerado um alarme na HMI.

## **3.8 Supervisionamento**

### **3.8.1 Software de SCADA**

O Indusoft *Web Studio*<sup>®</sup> é um *software* da *Schneider* constituído por um conjunto de ferramentas de automação para o desenvolvimento de HMI's, sistemas SCADA e soluções embutidas de instrumentação. Permite criar janelas onde é possível ter uma visualização gráfica das variáveis, gerar alarmes, gerar relatórios entre muitas outras funcionalidades importantes para a monitorização de processos. Aliado ao *VBScript (Visual Basic Script Language)*, permite criar linhas de código e com isto potencializar e flexibilizar a aplicação gráfica de monitorização.



Figura 3.44 - Software Indusoft WebStudio, Schneider

### 3.8.2 IX Developer

O *IX Developer* é um *software* para o desenvolvimento de interfaces gráficas homem-máquina, especificamente para as consolas da Beijer. É um programa bastante intuitivo e que possui uma vasta biblioteca de objetos que permite criar interfaces “amigáveis”. Este software permite também criar janelas, gerar alarmes, relatórios, gráficos etc.



Figura 3.45 - Software IX Developer, Beijer

### 3.8.3 HMI local

O CX5020 possui a capacidade de executar o *Indusoft* em simultâneo com o *TwinCAT 2 runtime*. Desta forma gera-se uma imagem da HMI que é exibida no CP2916-0000, via DVI-D. O painel possuindo a funcionalidade de *touchscreen*, permite enviar ordens ao autómato, através de uma ligação USB.

O projeto desenvolvido em *Indusoft* possui vários ecrãs, alarmes, registos de atividade e linhas de código em *VBScript* que irão ser desde já abordados.

### Organização dos ecrãs

O primeiro ecrã que é exibido quando é iniciado o projeto é o ecrã de boas vindas, Figura 3.46, apresentando um *render* de um modelo 3D da EPTARi, e permite realizar as seguintes operações:

- Fechar a Aplicação;
- Criar Novo Utilizador,
- Fazer Log On;
- Iniciar a monitorização do tratamento.



Figura 3.46 - Ecrã de boas vindas, HMI local

Dando início à monitorização do tratamento (botão Iniciar), é logo de seguida direcionado para o ecrã principal, Figura 3.47. Neste ecrã é possível ter uma visão geral do tratamento, onde são apresentados todos os recipientes, bombas, agitadores, filtros prensa e válvulas com leitura de feedback por parte do autómato. Para além de apresentar a informação geral acerca do tratamento, a partir deste ecrã é possível aceder a outros ecrãs com informação mais específica, ao clicar sobre cada elemento.

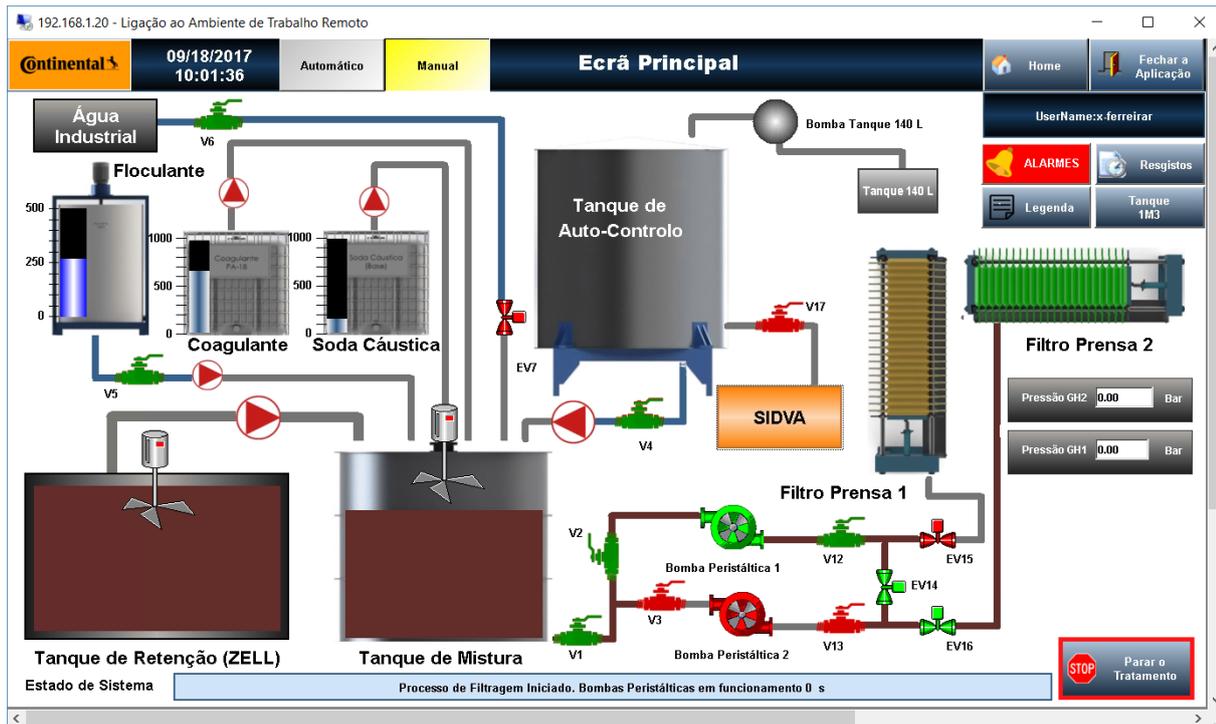


Figura 3.47 - Ecrã Principal de Tratamento, HMI local

Tanto o Tanque de Retenção, como o Tanque de Mistura possuem sensores que realizam a leitura dos seus níveis e esses valores são representados através de barras de gráficos que preenchem os respetivos tanques. Já os níveis dos recipientes de Floculante, Coagulante e Soda Cáustica são estimados, porém são representados por barras de gráfico mais estreitas localizadas sobre os recipientes.

Para as bombas e válvulas, foi aplicado o mesmo código de cores:

- Vermelho – Válvula fechada ou bomba parada;
- Verde – Válvula aberta ou bomba em funcionamento;

As próprias tubagens apresentam mudanças de cor se nelas estiverem a circular fluídos. Quanto aos filtros prensa, estes apresentam um código de cores particular:

- Amarelo – Filtro Prensa pronto para funcionamento;
- Verde – Filtro Prensa em funcionamento (a filtrar água pré-tratada);
- Vermelho (Intermitente) – Filtro Prensa Colmatado (em espera para manutenção).

Além de se poder aceder a ecrãs com informação mais específica, relativa a cada elemento presente no ecrã principal, é possível aceder aos ecrãs de Alarmes, Registos (Históricos de Eventos), Legendas e ao ecrã do tanque de 1m<sup>3</sup>.

Um dos ecrãs ao qual se pode aceder é o ecrã do Tanque de Mistura, Figura 3.48, onde é representado o próprio TM com o respetivo Agitador e alguma informação mais específica de alguns parâmetros.

Se o sistema se encontrar em modo manual, é possível dar a ordem de arranque ou paragem do agitador e inclusive selecionar uma de entre as 3 velocidades de funcionamento (baixa, média ou alta). Em simultâneo, é exibida a velocidade de rotação do agitador e facilmente perceber se este se encontra na velocidade pretendida (feedback do conversor).

Existem mais 3 parâmetros que são mostrados neste ecrã e que estão a ser medidos em tempo real: pH, Sólidos Suspensos e Nível do Tanque. Para fins de controlo manual, é exibido um parâmetro denominado de “Nível de Enchimento Máximo”. Este é um valor calculado pelo autómato em função da %SS medida em tempo real e a percentagem de sólidos suspensos pretendidos no final da trasfega (aproximadamente 3,5%). Se a %SS tiver abaixo de 3,5% então o valor exibido será o valor da capacidade máxima do tanque. Se for acima, irá calcular um nível máximo recomendado para o enchimento do tanque (abaixo da sua capacidade máxima), de modo a conter uma margem para diluição com água industrial ou água do tanque de Auto-Controlo, para que no fim se obtenha uma %SS próxima de 3,5%.



Figura 3.48 - Ecrã do Tanque de Mistura, HMI local

Se no Ecrã principal for selecionado o Recipiente do Coagulante, é exibido o ecrã da Figura 3.49. Tal como o sistema prévio, o sistema atual não possui leitura direta dos níveis dos químicos, no entanto, faz um cálculo do volume adicionado através do caudal das bombas e do seu tempo de funcionamento. O autómato nestas condições consegue fazer uma estimativa do

que sai dos recipientes, mas não consegue prever o que entra. Para isso, no ecrã da figura 4.50 existe uma *label* para fazer calibração do nível através da leitura nos respetivos recipientes.

Durante o Tratamento no modo manual, um pouco à luz do que existia no sistema prévio, podem ser adicionados de cada vez 47 L (dose mais comum) ou 5 L de Coagulante (quando é necessário ajustar a dose). Para facilitar o processo existe uma caixa de texto onde é exibido o valor de Coagulante adicionado durante o tratamento.

Ainda neste ecrã, é exibido num gráfico o volume de coagulante adicionado e pH *vs* tempo, permitindo ver a evolução destes dois parâmetros durante o tratamento.

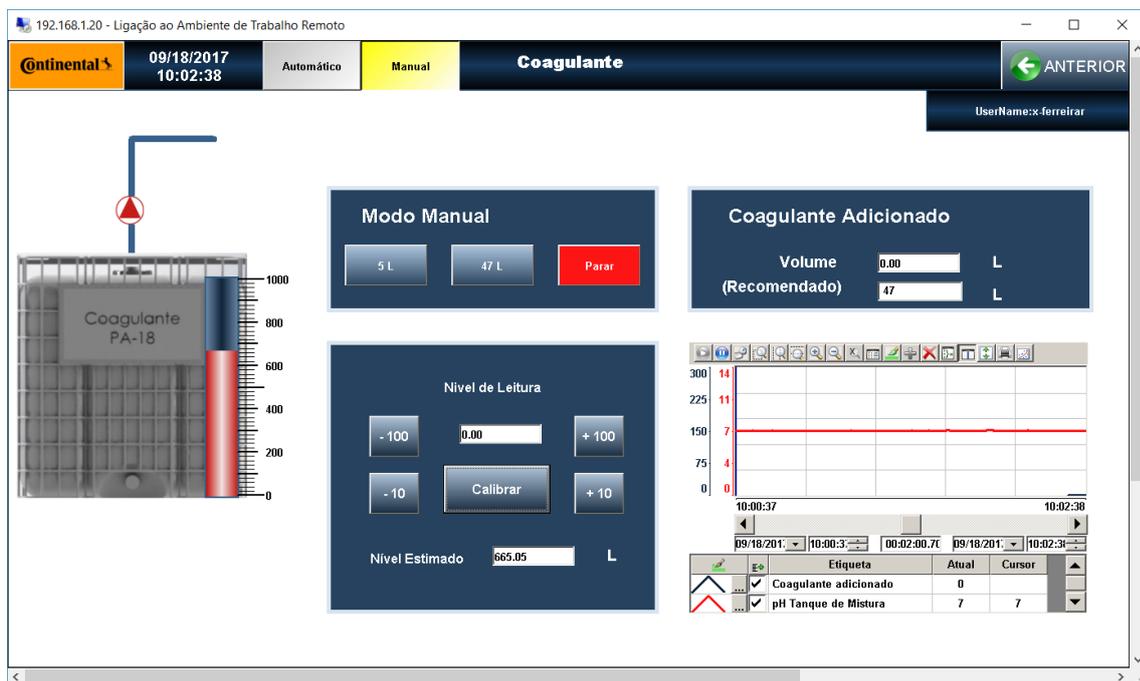


Figura 3.49 - Ecrã do Recipiente do Coagulante, HMI Local

Na Figura 3.50 é apresentado o ecrã do Recipiente do Floculante, também acedido a partir do ecrã principal. Como já referido a solução de floculante é preparada manualmente e o volume total é 500L. No ecrã da Figura 3.50, é possível calibrar a leitura do nível deste recipiente, 500 L quando é preparada a solução, ou outro valor caso o valor estimado esteja incorreto.

Tanto a bomba como o agitador podem ser ligados/desligados no modo manual neste ecrã. Aqui não é exibido o valor de Ph visto que a adição de floculante não altera o seu valor.

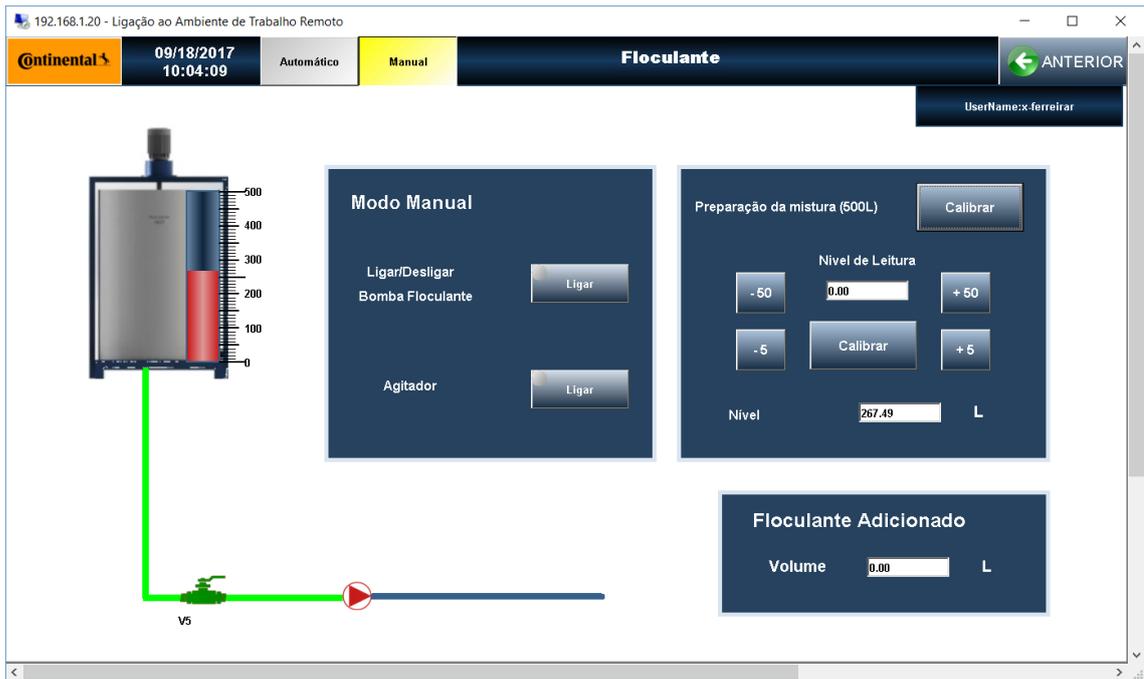


Figura 3.50 - Recipiente de Floculante, HMI Local

No ecrã da Figura 3.51, Sistema do Coletor das Bombas Peristálticas, é possível monitorizar parâmetros relacionados com o coletor e bombas peristálticas, nomeadamente o estado das válvulas do coletor, a velocidade e a pressão de funcionamento de cada bomba peristáltica.

Se o sistema se encontrar em modo manual, é possível dar ordens de comando para as electroválvulas do coletor.

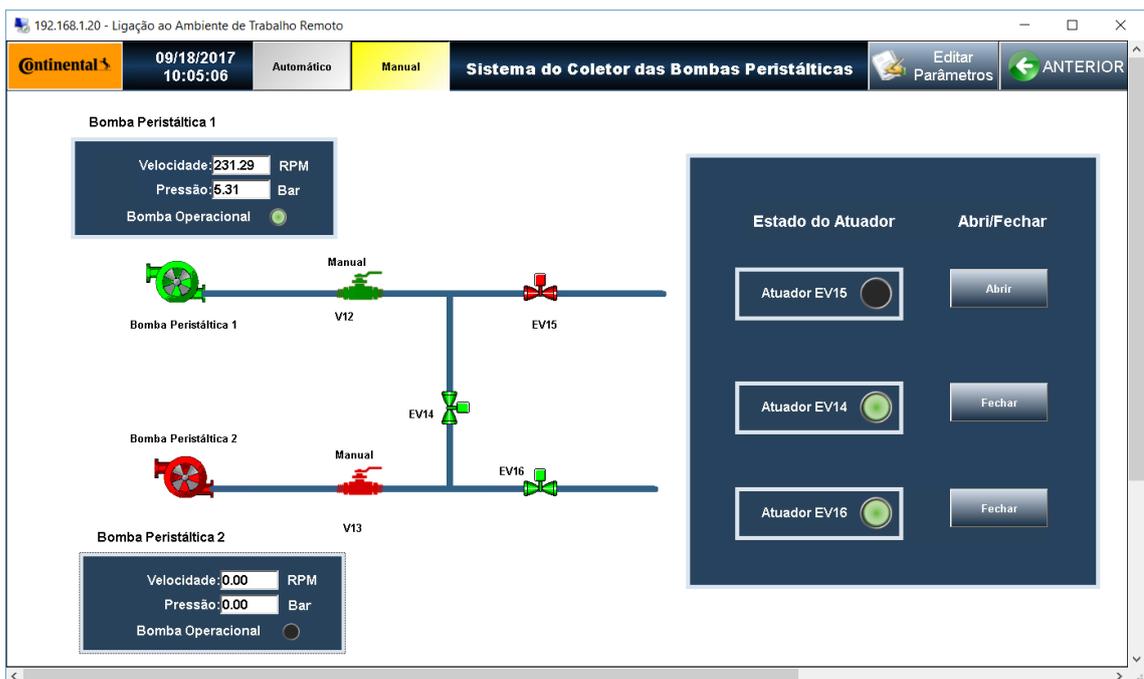


Figura 3.51 - Sistema do Coletor das Bombas Peristálticas, HMI Local

Se for selecionado o botão “Editar Parâmetros” é exibido o ecrã da Figura 3.52: Editar Tipo de Funcionamento de FP’s. Como foi referido no ponto 3.4.1 foram estipulados 8 casos de funcionamento entre as Bombas Peristálticas e os Filtros Prensa e são apresentados neste ecrã. Aqui é possível selecionar o modo de funcionamento pretendido. Os casos disponíveis têm um retângulo azul enquanto que os indisponíveis têm um retângulo vermelho. Os elementos que representam as bombas peristálticas (Círculo) e os filtros prensa (retângulo) que se encontrarem indisponíveis para o caso de funcionamento pretendido também ficam a vermelho. Se o Operador tentar selecionar um caso de funcionamento que não esteja disponível, será exibida de imediato uma janela com uma mensagem a dizer que esse modo de funcionamento se encontra indisponível e qual a razão (bomba peristáltica em avaria, conversor em alarme, grupo hidráulico do filtro prensa indisponível, válvula manual do coletor fechada, etc.).

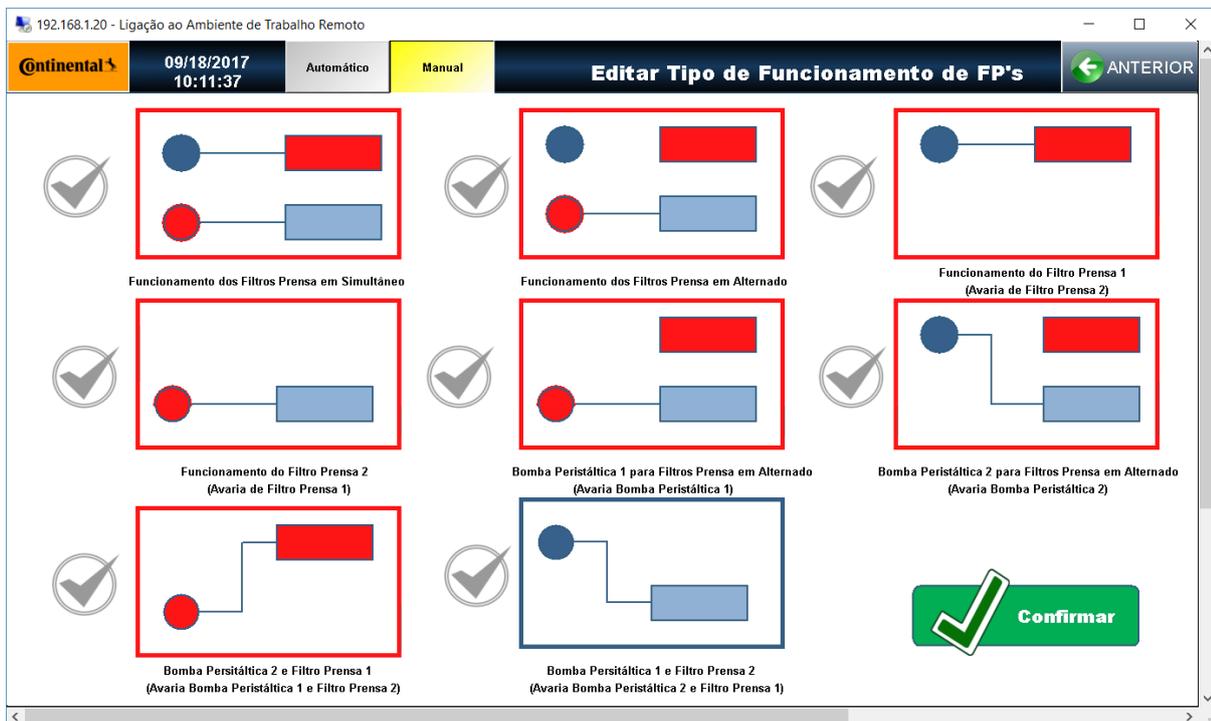


Figura 3.52 - Editar Tipo de Funcionamento do FP's, HMI Local

No ecrã da Água Industrial, Figura 3.53, é possível abrir ou fechar a válvula de água Industrial (V7 – Válvula Automática)



Figura 3.53 – Água Industrial, HMI Local

Os alarmes são exibidos no ecrã da Figura 3.54 e que poderão ser disjuntores que dispararam, conversores em alarmes, encravamento de válvulas com atuador elétrico, derrames de tanques, válvulas manuais fechadas, falha de químicos ou colmatção dos filtros prensa.

Neste ecrã podem ser visualizados os alarmes online ou histórico de alarmes: quando aconteceram, com que utilizador, quem os reconheceu e quem os regularizou.

Usuário	Hora de ativação	Hora de normalização	Hora de reconhecimento	Mensagem
x.ferreirar	09/18/2017 09:07:48		09/18/2017 10:16:19	Ocorrência de Derrame do Tanque de retenção
zmanuel	09/18/2017 09:07:48			Alarme do Conversor de Frequência de BP2
zmanuel	09/18/2017 09:07:48			O Filtro Prensa 2 está colmatado . Proceder à limpeza
zmanuel	09/18/2017 09:07:45			O Disjuntor da Bomba Peristáltica 2 Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor da Bomba Peristáltica 1 Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor da Bomba do de 140L Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor da Bomba do Tanque Auto-Controlo Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor da Bomba do Tanque de 1M3 Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor da Bomba de Soda Cáustica Disparou
x.ferreirar	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 10:11:30		O Disjuntor do Grupo Hidráulico 2 Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor do Grupo Hidráulico 1 Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor da Bomba do Floculante Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor da Bomba do Coagulante Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor do Agitador do Tanque de Retenção Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor do Agitador do Tanque de Mistura Disparou
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Disjuntor do Agitador do Floculante Disparou
x.ferreirar	09/18/2017 09:07:45		09/18/2017 10:16:22	"O recipiente de soda cáustica tem apenas 300 L"
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		"O recipiente de coagulante tem apenas 300 L"
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		"Volume Crítico de Floculante"
zmanuel	09/18/2017 09:07:45	09/18/2017 09:07:48		O Tanque de Auto Controlo está vazio
zmanuel	09/18/2017 09:07:44	09/18/2017 09:07:48		A válvula à saída do Tanque do Floculante está Fechada (V5)
zmanuel	09/18/2017 09:07:44	09/18/2017 09:07:48		Válvula de Água Industrial Fechada (V6)
x.ferreirar	09/18/2017 09:07:44		09/18/2017 10:16:24	Válvula à Saída da Bomba Peristáltica 2 Fechada (V13)
zmanuel	09/18/2017 09:07:44	09/18/2017 09:07:48		Válvula à Saída da Bomba Peristáltica 1 Fechada (V12)
x.ferreirar	09/18/2017 09:07:44		09/18/2017 10:16:26	Válvula à Entrada da Bomba Peristáltica 2 Fechada (V3)
zmanuel	09/18/2017 09:07:44	09/18/2017 09:07:48		Válvula à Entrada da Bomba Peristáltica 1 Fechada (V2)
zmanuel	09/18/2017 09:07:44	09/18/2017 09:07:48		Válvula à Saída do Tanque de Mistura Fechada (V1)

Figura 3.54 - Alarmes, HMI Local

## VBScript

A ferramenta disponibilizada pelo *Indusoft* – *VBScript*, permite escrever código respeitante à lógica que existe nas ordens de comando da HMI. Isto permite simplificar o algoritmo de controlo, nomeadamente linhas de código e variáveis do programa, que poderão ser implementadas no *Indusoft*.

O *VBScript* pode ser implementado em botões com ordem de comando ou em ecrãs. Na Figura 3.55 está representado um exemplo de *VBScript* para uma ordem de comando que consiste na validação do caso 4 de funcionamento das bombas peristálticas. A linguagem de programação é precisamente *Visual Basic*, e neste exemplo só valida a o caso de funcionamento 4 apenas se a V1, V3 e V13 estiverem abertas, se os disjuntores magneto térmicos de BP2 e GH2 estiverem ON e se o conversor de BP2 não estiver em alarme. Caso contrário, irá exibir mensagens através do comando “*\$ShowMessageBox(\$Ext())*”, que indicam os elementos que estão indisponíveis para o caso 4 de funcionamento.

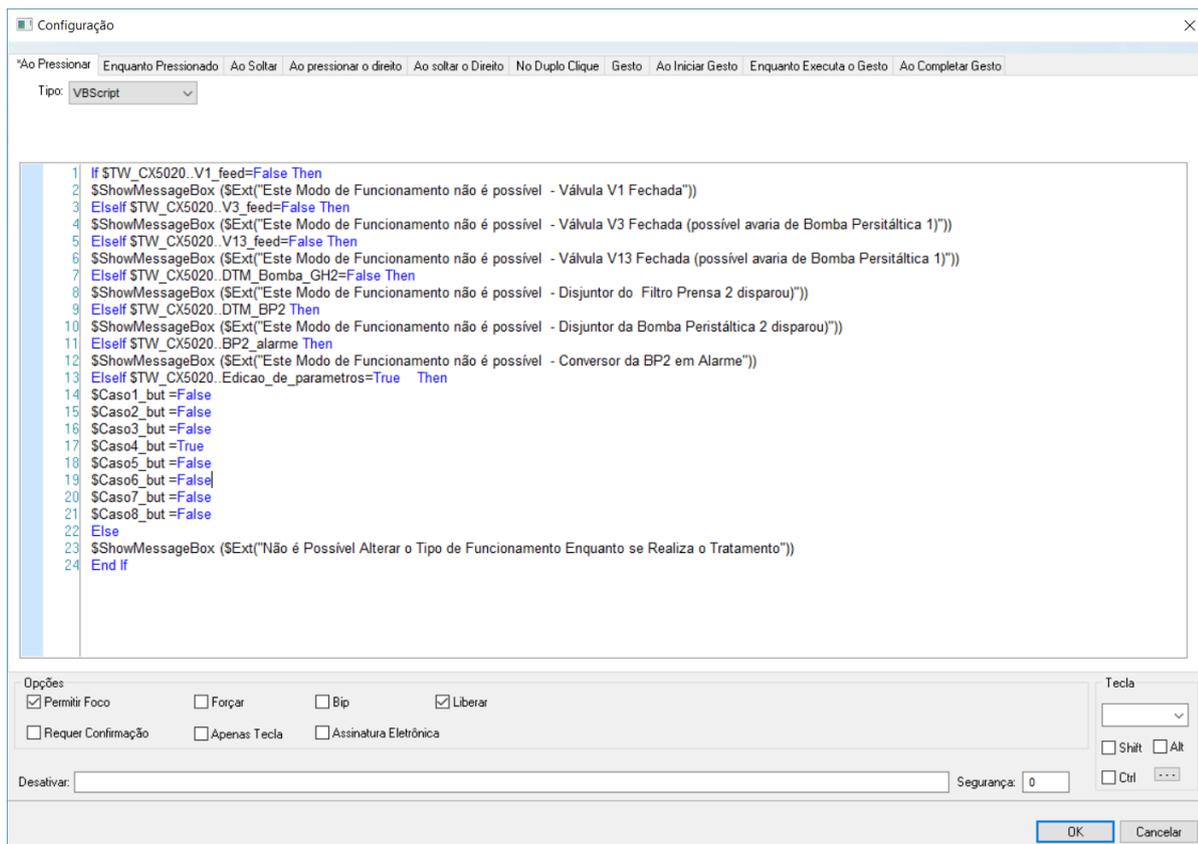


Figura 3.55 - Programação em VBScript, Seleção do caso 4 de funcionamento das bombas peristálticas

Existe um Script para cada ecrã, onde serão realizados varrimentos periódicos pelas linhas de código enquanto o respetivo ecrã estiver aberto. Já o Script Global está constatemente a realizar varrimentos qualquer que seja o ecrã aberto.

Na Figura 3.56 está representado um excerto de código do *Script Global das Telas*. Da linha 21 à 38 foram implementadas linhas de código respeitantes à escolha do modo de funcionamento manual ou automático. Nas linhas 22/23 e nas linhas 25/26 foram implementadas, respetivamente, as lógicas de transição ascendente e descendente do estado do botão do modo manual (**\$R\_Modo\_Manual\_indu** e **\$F\_Modo\_Manual\_indu**). Consoante o estado do sistema e a deteção de transição ascendente ou descendente do botão de escolha do modo de funcionamento do sistema serão abertos os ecrãs para colocar a password de validação ou mensagem de impedimento de mudança do modo de funcionamento (**\$Open()**).

```

9 Sub Graphics_OnStart()
10 SR_Modo_Manual_indu_M=False
11 SR_Modo_Manual_indu =False
12
13 SF_Modo_Manual_indu_M=False
14 SF_Modo_Manual_indu =False
15
16 End Sub
17
18 'Este procedimento é executado continuamente enquanto o módulo gráfico está rodando.
19 Sub Graphics_WhileRunning()
20
21 '-----Funcionamento do Sistema em Modo Manual/Automático-----
22 SR_Modo_Manual_indu=STW_CX5020.Modo_Manual_button And Not SR_Modo_Manual_indu_M
23 SR_Modo_Manual_indu_M=STW_CX5020.Modo_Manual_button
24
25 SF_Modo_Manual_indu=Not STW_CX5020.Modo_Manual_button And Not SF_Modo_Manual_indu_M
26 SF_Modo_Manual_indu_M=Not STW_CX5020.Modo_Manual_button
27
28
29 If SR_Modo_Manual_indu And STW_CX5020.Modo_Manual_button And Not STW_CX5020.Modo_Manual Then
30 $Open("Password")
31 End If
32 If Not STW_CX5020.Modo_Manual And SR_Modo_Manual_indu And STW_CX5020.Escolha_Modo_Manual_Automatico.Tratamento_decorrer Then
33 $Open("Mensagem Modo Manual")
34 End If
35 If STW_CX5020.Modo_Manual And SF_Modo_Manual_indu And STW_CX5020.Escolha_Modo_Manual_Automatico.Tratamento_decorrer Then
36 $Open("Mensagem Modo Manual")
37 End If
38
39 '-----Mensagem de Alarmes dos Volumes de Químicos-----
40 If STW_CX5020.Nivel_de_Quimicos.Volume_atual_Coagulante=0 Then
41 $Caogul_vazio=True
42 Else
43 $Caogul_vazio=False
44 End If
45
46 If STW_CX5020.Nivel_de_Quimicos.Volume_atual_Eletrólito=0 Then

```

Figura 3.56 - *Script Global das Telas*

### **Sistema de Segurança**

Determinadas ações na HMI local são críticas e que se forem dadas por pessoas não autorizadas pode dar origem a erros no tratamento (principalmente no modo manual). Para contornar esta situação, o indusoft possui um sistema de segurança que permite definir grupos de utilizadores com diferentes níveis de segurança de 0 a 255. O nível 0 será o grupo de utilizadores com menos permissões enquanto com o nível 255 será o grupo de utilizadores que possui todas as permissões.

Quando um utilizador pretende fazer *Log In*, é exibida a janela de autenticação da Figura 3.57, onde introduz o nome de utilizador e a palavra chave.

Todas as Ordens de comando necessitam de ter um utilizador autenticado no sistema de segurança. Determinadas ações necessitam de confirmação com a password do utilizador, tais como a calibração dos níveis de químicos, a descarga do SIDVA, etc.

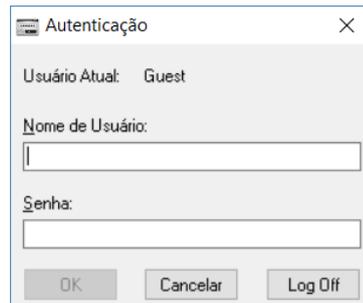


Figura 3.57 - Janela de Autenticação de Utilizador, HMI Local

Todas as ordens de comando necessitam de ter um utilizador autenticado no sistema de segurança. Determinadas ações necessitam de confirmação com a password do utilizador, tais como a calibração dos níveis de químicos, a descarga do SIDVA, etc. Na Figura 3.58 são apresentadas as linhas de código para o botão de adição de 5 L de Coagulante no modo manual. Na parte inferior da janela existem algumas opções que dizem respeito ao sistema de segurança:

- **Requer Confirmação** – sempre que o botão for premido é necessário confirmar a ação através de uma janela de diálogo.
- **Assinatura Eletrónica** – Para que a ação seja validada pelo sistema é necessário o utilizador reintroduzir a palavra passe.
- **Segurança** – Define o nível de segurança mínimo do grupo ao qual utilizador pertence para que o *Indusoft* execute as linhas de código associadas ao botão.

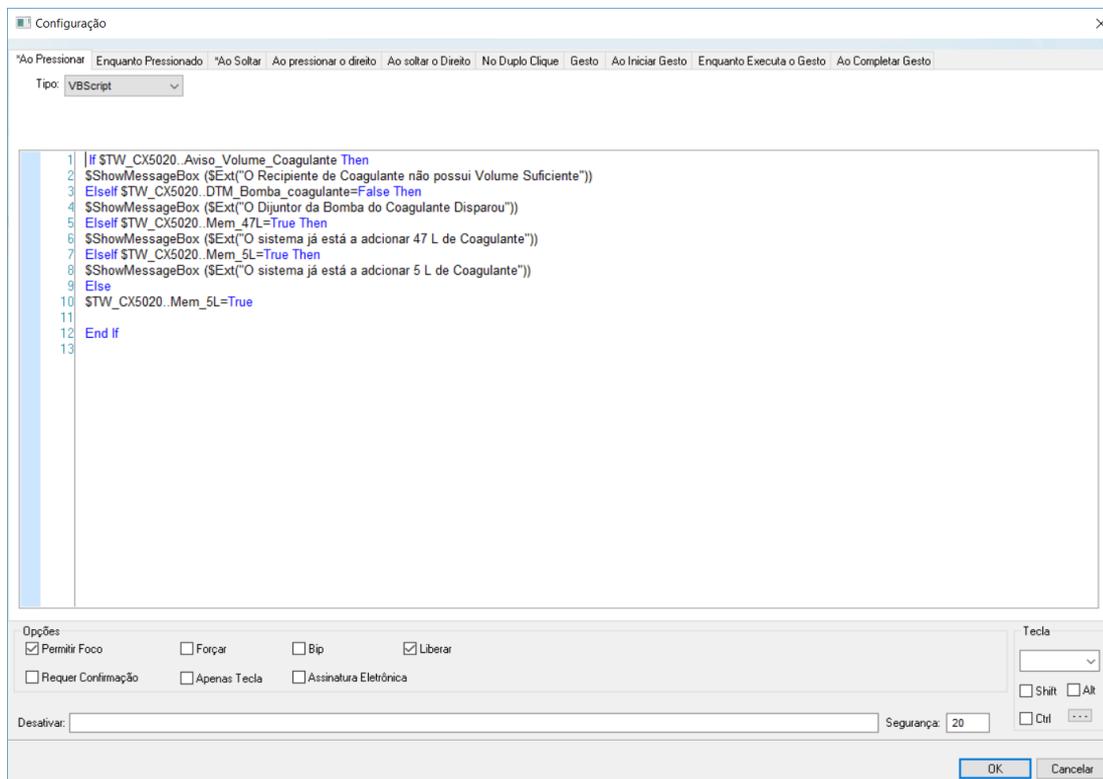


Figura 3.58 - Código para o comando de adição de 5 L de Coagulante, HMI Local

### 3.8.4 HMI remota – ZELL

A consola da *Beijer* não possui compatibilidade com o *Indusoft*, e, portanto, todo o projeto que foi desenvolvido para essa aplicação não pode ser aqui implementado, sendo necessário desenvolver uma segunda aplicação de monitorização para o local da zona de recolha de efluentes. Apesar de possuir uma biblioteca com objetos diferentes, o *IX developer* oferece ferramentas semelhantes ao *Indusoft*.

O principal objetivo nesta HMI foi manter os elementos de monitorização (sinalizadores, caixas de texto, botões) e layouts dos ecrãs, relativamente à HMI desenvolvida em *Indusoft*.

Na Figura 3.59, é apresentado ecrã principal para a HMI remota (Beijer X2pro12). Como é possível concluir, este ecrã possui o mesmo layout que o ecrã principal da HMI local, porém os objetos apresentam uma forma um pouco distinta. Em grande parte, é possível monitorizar as mesmas variáveis e são exibidas as mesmas informações, no entanto, alguns ecrãs foram restringidos (adição de químicos, escolha do modo de funcionamento, etc.).

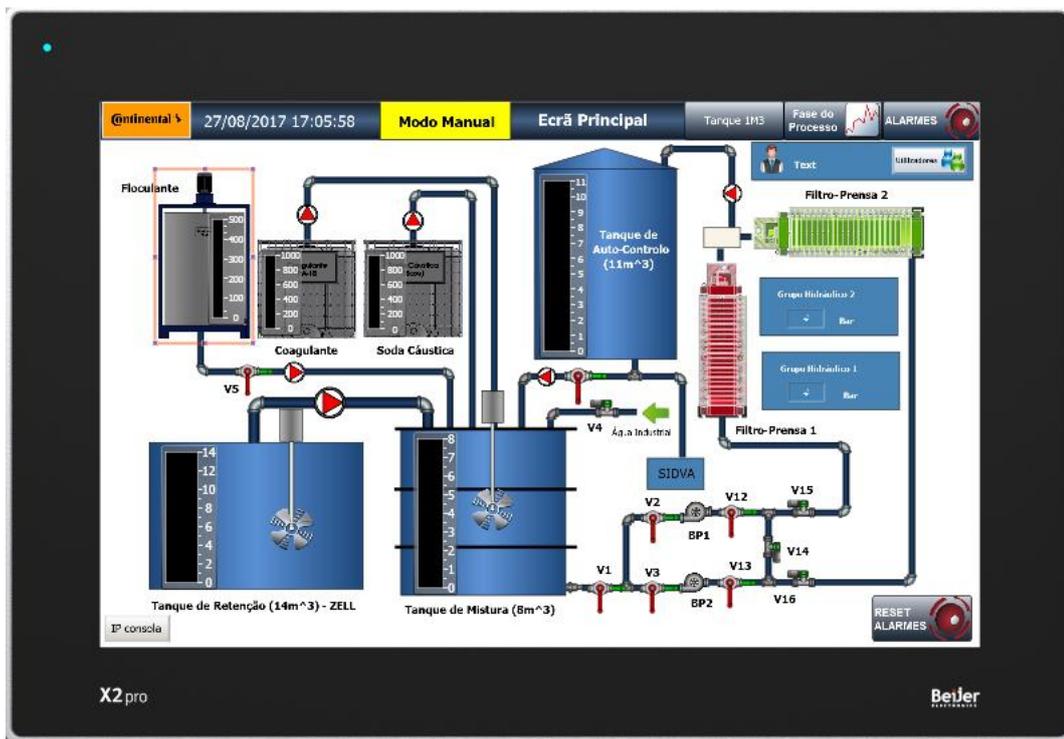


Figura 3.59 - Ecrã Principal, HMI remota

O ecrã do tanque de Mistura, Figura 3.60, permite apresentar um ecrã que possui as mesmas informações que são apresentadas para o ecrã equivalente na HMI remota, porém sem a possibilidade de ligar o agitador e variar a sua velocidade. Ou seja, definiu-se por questões de segurança que agitadores e bombas não deverão ser comandados à distância.

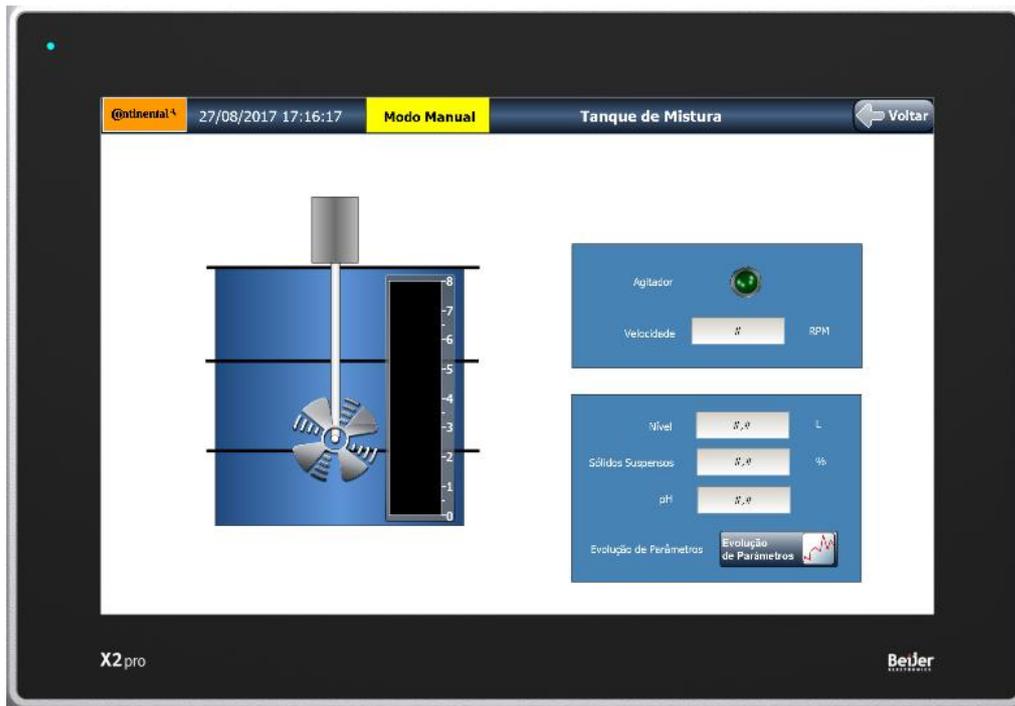


Figura 3.60 - Ecrã do Tanque de Mistura, HMI remota

## 4 Implementação e Testes

### 4.1 Mudança de Layout

Uma das primeiras etapas da implementação do novo sistema foi a mudança de Layout de acordo com o subcapítulo 3.3. A primeira alteração consistiu na mudança do Tanque de Auto-Controlo para o exterior do edifício, Figura 4.1.



Figura 4.1 - Relocalização do Tanque de Auto-Controlo

Numa fase posterior, foram feitas as alterações no interior do edifício, nomeadamente a translação do Tanque de Mistura, da escada, dos reservatórios de químicos, a rotação do Filtro Prensa e a inclusão do filtro prensa inativo. Na Figura 4.2 são apresentados o Layout prévio e o Layout atual. Nessa figura é possível ver que foi instalado o P1, que controla agora todos os equipamentos da EPTARi.



Figura 4.2 - Mudança de Layout no interior do Edifício (Antes e Depois)

Este novo *layout* sob o ponto de vista de operação foi melhorado, onde foram facilitados determinados acessos e melhoradas zonas de operação/manutenção.

#### 4.2 Execução das tubagens

O material aplicado nas novas tubagens foi o aço INOX AISI 316. Face à probabilidade de acumulação de resíduos e matéria sólida que podem dar origem a congestionamentos das tubagens, foi dada preferência a ligações flangeadas em vez de ligações soldadas ou roscadas nas curvas, Figura 4.3. Com este tipo de ligação, a manutenção das tubagens torna-se facilitado

em caso de entupimento, pois é possível desmontar as tubagens em várias secções e proceder à sua limpeza.



Figura 4.3 - Pequeno troço das tubagens - Curvas Flangeadas

O percurso de todas as tubagens teve que ser redesenhado, porém foram mantidos os seus diâmetros por não existirem problemas associados a este parâmetro nos tratamentos prévios.

#### *Válvulas Automáticas*

Na Figura 4.4 é apresentado uma válvula de borboleta TTV com funcionamento automático, graças ao atuador Belimo SR230A nela acoplado. Juntamente com o atuador, encontra-se instalado o fim de curso Belimo S2A que permite detetar as posições máximas dessa válvula. Esta está referenciada como válvula V7 que faz o controlo da entrada de água industrial para o Tanque de Mistura.



Figura 4.4 - Válvula Borboleta TTV (V7) + Atuador Belimo SR230-A + Fim de Curso Belimo S2A

### ***Válvulas Manuais com Fim de Curso***

Nas válvulas manuais, cuja a abertura poderia comprometer a integridade do sistema, foram instalados os fins de curso mecânicos TTV. Na Figura 4.5 são apresentadas as válvulas V2 e V3 que se encontram à entrada das Bombas Peristálticas 1 e 2.



Figura 4.5 - Válvulas de Borboleta TTV + Fins de Curso Mecânicos TTV

### ***Coletor das Bombas Peristálticas***

O coletor que já foi referido no subcapítulo 3.4.1, é apresentado na Figura 4.6.



Figura 4.6 - Coletor das Bombas Peristálticas

Os transdutores de pressão foram instalados à entrada do coletor, medindo a pressão de saída de cada uma das bombas peristálticas enviando o sinal analógico para os conversores de frequência.

### 4.3 Instalações elétricas

As instalações prévias encontravam-se um pouco degradadas e para além disso, devido à mudança de Layout, foi necessário estabelecer novos caminhos de cabos, Figura 4.7. Foram usadas esteiras de varão em Aço Galvanizado por Imersão a Quente, que oferecem resistência a ambientes corrosivos e húmidos.



Figura 4.7 - Instalações elétricas da EPTARi

### 4.4 Instalação dos sensores no Tanque de Mistura

No Tanque de Mistura foram instalados 3 sensores: Radar de Nível – Endress+Hauser FMR10, sensor de PH – Hanna Instruments pH500211/D e sensor de sólidos suspensos – SOLITAX, ver Figura 4.8. Tiveram que ser criados suportes para fixar os diferentes sensores e os suportes do sensor de pH e do sensor de SS possuem altura regulável, de modo a ter a possibilidade de escolher o ponto de medição mais conveniente dentro do Tanque de Mistura.

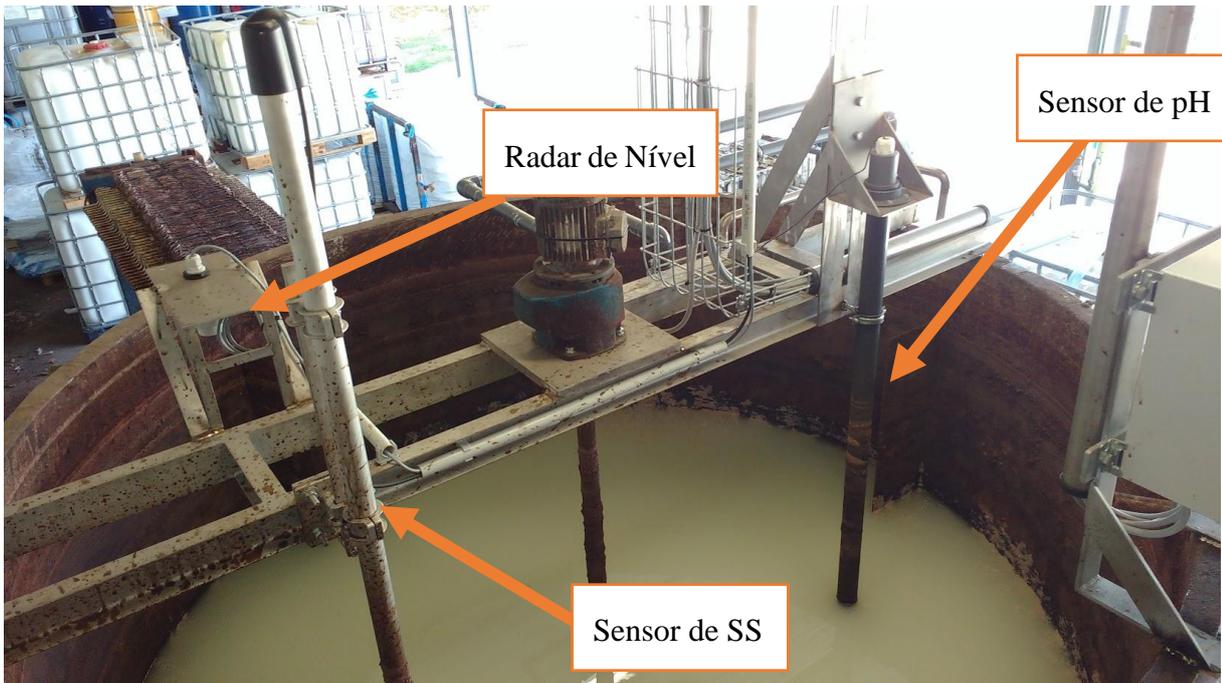


Figura 4.8 - Sensores instalados no Tanque de Mistura

Uma das principais dificuldades do posicionamento dos sensores no Tanque de Mistura foi minimizar a interferência das pás do agitador nas suas medições. O sensor que teve maior dificuldade foi o FMR10 pois o fabricante recomenda que não sejam colocados agitadores no campo de visão deste radar. Em contrapartida o sensor não deverá ser instalado a uma distância da parede do tanque inferior a  $1/6$  do seu diâmetro. Face às dimensões do tanque, tal não era possível de ser obtido, havendo uma tentativa de colocar o radar num ponto onde houvesse o mínimo de interferência do agitador, porém que não ficasse muito próximo da parede do Tanque. Na Figura 4.9, é apresentado um gráfico com a evolução do valor do nível medido no radar, do pH e da %SS com tempo decorrido e com o agitador ligado. Como é possível concluir a partir da análise desse gráfico, o agitador não produziu qualquer tipo de interferência ou ruído nas medições de qualquer um dos 3 sensores.

Quanto aos sensores de pH e %SS, ajustou-se a sua altura para um ponto intermédio entre o topo e a base do tanque, devido à não homogeneização perfeita da mistura e à variação de valores ao longo da sua altura. Ou seja, o objetivo será que os valores medidos por estes sensores, apresentem um valor médio representativo de todo o volume do tanque.

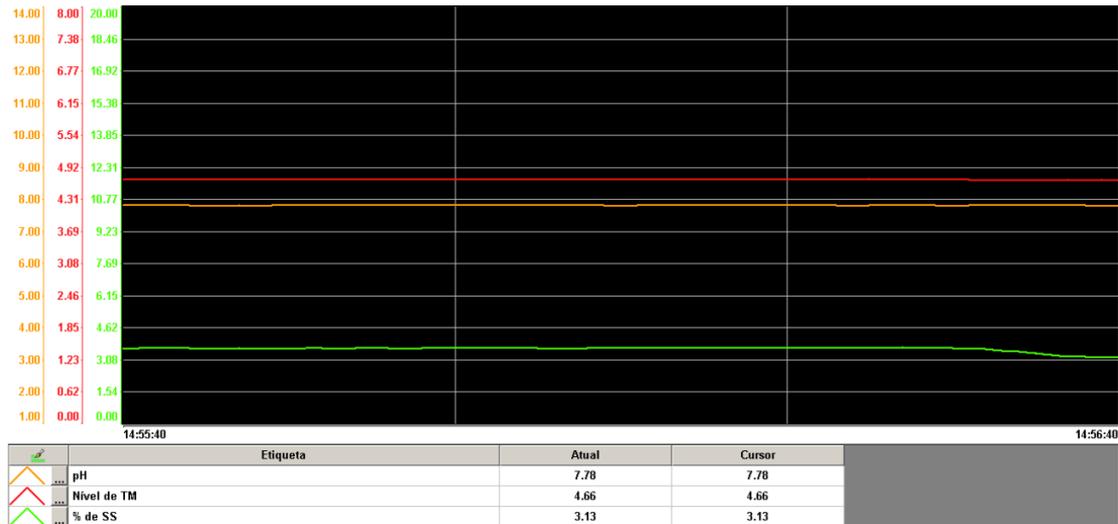


Figura 4.9 - Evolução do nível, pH e da %SS do Tanque de Mistura com o Agitador ligado

#### 4.5 Funcionamento das Bombas Peristálticas

Na Figura 4.10, é exibida a ligação entre as bombas e o coletor, bem como a sua disposição.



Figura 4.10 - Bombas Peristálticas + Coletor

As bombas peristálticas no início de ciclo funcionam à velocidade máxima até que a pressão chegue ao valor desejado. Como foi já referido anteriormente, a pressão à saída destas

bombas é controlada em malha fechada. O Set-point definido é 5 bar e os parâmetros do controlador PID (integrado nos conversores de frequência) são:

- Ganho proporcional: 1
- Tempo integrativo: 10
- Tempo derivativo: 0

Estes parâmetros foram baseados no sistema prévio e a evolução da pressão e da velocidade de uma das bombas é apresentada na Figura 4.11. Verifica-se que a pressão é mantida em torno dos 5 bar, porém com alguma oscilação. Esta oscilação poderia ser atenuada alterando os parâmetros do controlador, porém isto levaria a que o motor acoplado à bomba funcionasse com oscilações de velocidade mais acentuadas. Como não existe nenhum requisito para o valor do erro da pressão, deu-se prioridade a que a bomba funcionasse com menos oscilações prolongando a sua vida.

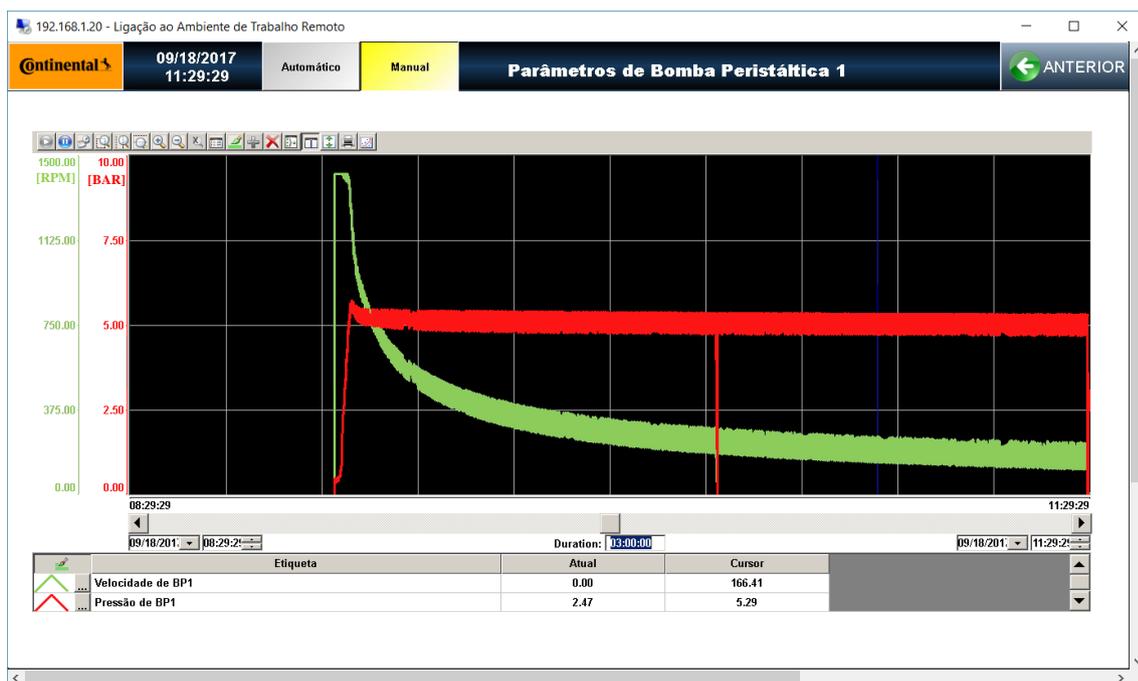


Figura 4.11 - Evolução da Pressão e da Velocidade da Bomba Peristáltica 1 durante um ciclo de funcionamento

Por análise da figura 4.11, um ciclo de funcionamento da bomba dura cerca de 2 horas e meia. No início de ciclo, quando o FP está limpo a bomba funciona à velocidade máxima (1420 rpm) e vai diminuindo a sua velocidade à medida que as lamelas são compactadas. Quando a velocidade permanece abaixo de 227 rpm, significa que o filtro prensa está colmatado, a bomba é desligada e a pressão desce até 0 bar.

## 4.6 Resultados

O novo sistema cumpriu os objetivos 1, 2, 3 e 5 (definidos no subcapítulo 3.1), porém o objetivo nº 4 não foi cumprido por atraso de fornecimento do quadro P5 (Quadro Elétrico do Filtro Prensa), e o objetivo nº6 não foi cumprido por falta de um ponto de acesso de rede na EPTARi. Quanto aos requisitos, foram cumpridos os seguintes: nº 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11. O requisito nº 1 não foi cumprido pela mesma razão do objetivo nº4, pois faltavam os feedbacks dos grupos hidráulicos no autómato. O requisito nº 8 não foi cumprido porque os transdutores de pressão ainda não foram instalados nos grupos hidráulicos.

O novo sistema permitiu continuar os tratamentos na EPTARi em modo manual, apesar de alguns objetivos e requisitos não terem sido cumpridos. Houve uma melhoria na obtenção das lamas secas no final do tratamento (lamas mais compactadas e com menor percentagem de água) pois as variáveis em jogo puderam ser controladas com maior precisão, nomeadamente o pH da água. Apesar do sistema se encontrar em funcionamento manual, este encontra-se preparado para funcionar em automático de momento em que sejam instalados os equipamentos em falta.

O operador agora pode realizar todo o tratamento e monitorizar todas as variáveis do processo (pH, %SS, níveis dos tanques, estado das válvulas) num único painel, possível, em parte, devido a uma nova arquitetura geral

A implementação de novos sensores também permitiu satisfazer determinadas condições de segurança. Exemplo disso é a leitura do nível do Tanque de Mistura que permitiu que fossem evitados derrames durante a trasfega. Também podem ser dados como exemplo os fins de curso das válvulas. Se uma válvula que se encontre a montante ou a jusante de uma bomba, quando é fechada o sistema não permite o funcionamento dessa bomba (ou interrompe o seu funcionamento caso esteja ligada) gerando um alarme na HMI. Assim, quer as bombas quer as tubagens encontram-se protegidas indiretamente por estes fins de curso.

O segundo Filtro Prensa não foi ativado por atraso do fornecedor dos filtros. No entanto, sistema ficou preparado para num futuro próximo funcionar com os dois filtros prensa, graças ao coletor que permite flexibilizar o funcionamento entre as bombas peristálticas e os filtros prensa.

A implementação da HMI para monitorização remota não foi concluída por falta de ligação de física. No entanto, o painel já se encontra instalado e com o programa descarregado pronto a operar quando essa ligação estiver concluída.

#### **4.7 Dificuldades encontradas**

De uma forma geral a tarefa de implementação foi bastante desafiante visto que não havia possibilidade de realizar uma paragem total da EPTARi durante um período superior a 2 dias tendo em conta a produção contínua de águas residuais. Foi necessário fazer um planeamento inteligente e conveniente que permitisse executar as obras necessárias para o novo sistema em paralelo com a operação normal. Face a esta condicionante, como havia uma grande prioridade para colocar o sistema em funcionamento, determinados testes e resultados tiveram que ser suprimidos, o que poderiam ter resultado numa otimização do sistema.

Particularizando, a principal dificuldade encontrada foi o cálculo preciso dos volumes adicionados de químicos a partir do tempo de funcionamento das bombas. Na admissão das bombas pode haver bolsas de ar que interferem no caudal das mesmas, causando flutuações desse valor. Para atenuar este efeito foram instaladas válvulas de retenção nas mangueiras de pesca, para que o químico fique retido e evite a entrada de ar.

A acumulação de resíduos sólidos nas tubagens trouxe problemas principalmente a nível dos transdutores de pressão na admissão do coletor. Apesar destes terem sido instalados na vertical, foi detetada a formação de um tampão de matéria sólida que interferiu na medição e que não é detetável pelo sistema. A medição de um valor de pressão abaixo do valor da pressão real, pode dar origem a que a bomba funcione com uma pressão acima do pretendido e comprometer a integridade da instalação.

Os efluentes que eram recolhidos no Tanque de Retenção variavam em concentração e composição de solutos. Isto trazia problemas a nível do tratamento pois os diferentes solutos têm diferentes graus de reatividade com os químicos usados no tratamento. As doses que eram especificadas no procedimento poderiam por vezes não ser suficientes para que o tratamento fosse efetivo. Isto obrigou a repensar o algoritmo de controlo e torna-lo um pouco mais flexível e tolerante a estes possíveis desvios.

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

### 5.1 Conclusões

O desenvolvimento desta dissertação permitiu aplicar conhecimentos de diversas áreas da Engenharia num ambiente industrial e empresarial.

Foi necessário fazer um estudo ao processo de tratamento químico envolvido, averiguando quais as etapas do processo, as variáveis a controlar e as condições de funcionamento de modo a desenvolver um algoritmo capaz de controlar esse processo. Em simultâneo, foi analisado o sistema semi-automático prévio que continha atuadores e sensores que puderam ser reutilizados no novo sistema implementado. No entanto, foi feita uma consulta ao mercado para aquisição de novos sensores e atuadores que fossem adequados à aplicação em questão e apresentassem fiabilidade a um preço competitivo.

Foi elaborado um novo quadro elétrico de comando e potência, juntamente com os diferentes painéis de comando. Este quadro contém um painel onde é exibido uma aplicação desenvolvida em *Indusoft*. Com a inclusão do novo quadro elétrico principal de maiores dimensões e do novo Filtro Prensa, foi necessário redefinir o *layout* e que no final permitiu que as zonas de operação e manutenção fossem melhoradas.

As instalações elétricas e as tubagens tiveram que ser substituídas, não só por causa da redefinição do *layout*, mas também devido ao seu estado de degradação.

Para ajudar a elaboração do algoritmo de controlo, foram elaborados *Graficets* com base no procedimento pré-estabelecido pela C-ITA. Esse algoritmo foi implementado num autómato *Beckhoff* e simultaneamente foi desenvolvida uma aplicação em *Indusoft* que permitiu ter toda a informação importante ao tratamento num único ecrã. A par desta aplicação, foi desenvolvida outra HMI em *IX developer* para uma consola Beijer. Essa HMI tinha como objetivo monitorizar o tratamento à distância.

A adição de sensores permitiu monitorizar uma maior quantidade de variáveis, principalmente parâmetros que devem ser monitorizados durante o tratamento, tais como: %SS e pH. Ainda

permitem evitar determinados acidentes e avarias tais como derrames, bombas em funcionamento com válvulas fechadas, etc.

De uma forma geral, o sistema implementado correspondeu aos requisitos inicialmente definidos e permitiu explorar a programação de autómatos, conversores de frequência e desenvolver uma HMI colocando em prática os conhecimentos adquiridos na formação académica. Apenas ficou em falta a conclusão da implementação do funcionamento automático por falta de equipamentos e do quadro P5 cujos os sinais necessitam de ser lidos pelo autómato e que não foram fornecidos em tempo útil.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Decorrente de todo o projeto desenvolvido no âmbito da automatização da EPTARi, principalmente na fase de implementação, conclui-se que poderiam haver algumas alterações que resultariam num melhor funcionamento do novo sistema.

A existência de sensores de nível precisos ou de balanças nos reservatórios de químicos (coagulante, soda cáustica e floculante) permitiriam que as doses e os níveis fossem quantificados de uma forma mais precisa e fiável.

Por questões de segurança poderiam ser adicionados pressostatos às saídas das bombas peristálticas (entrada do coletor) como redundância da leitura de pressão. Caso haja a falha da leitura de um transdutor de pressão, o controlador do conversor de frequência não terá feedback correto podendo aumentar a pressão até a um valor acima do que a instalação permite. Nessa situação o pressostato enviaria um sinal ao autómato, caso a pressão de funcionamento ultrapassasse um valor pré-definido, desligando de imediato a bomba e gerando um alarme de avaria.

Uma melhoria que teria custos muito elevados, mas que permitia que a velocidade de tratamento fosse superior, seria implementar a limpeza automática dos filtros prensa. Quando os filtros estivessem colmatados o sistema daria a ordem para iniciar a limpeza, não havendo necessidade de esperar por um operador para realizar essa operação.

Atualmente os ACS550 comunicam por I/O onde são trocados sinais como a velocidade, alarmes, start, stop, etc. No entanto se o variador entrar em modo de alarme, o autómato não consegue reconhecer qual o tipo de avaria que deu origem a esse alarme. Para tornar isso possível, poderiam ser adicionados os módulos RECA-01 aos conversores da ABB, tornando possível a comunicação por EtherCAT com o autómato. Esta melhoria permitiria ter todas as informações dos conversores na HMI e flexibilizar a comunicação e funcionamento. Uma

arquitetura que podia ser adotada está representada Figura 5.1, onde é criado um barramento com os conversores que comunicaria com o autómato.

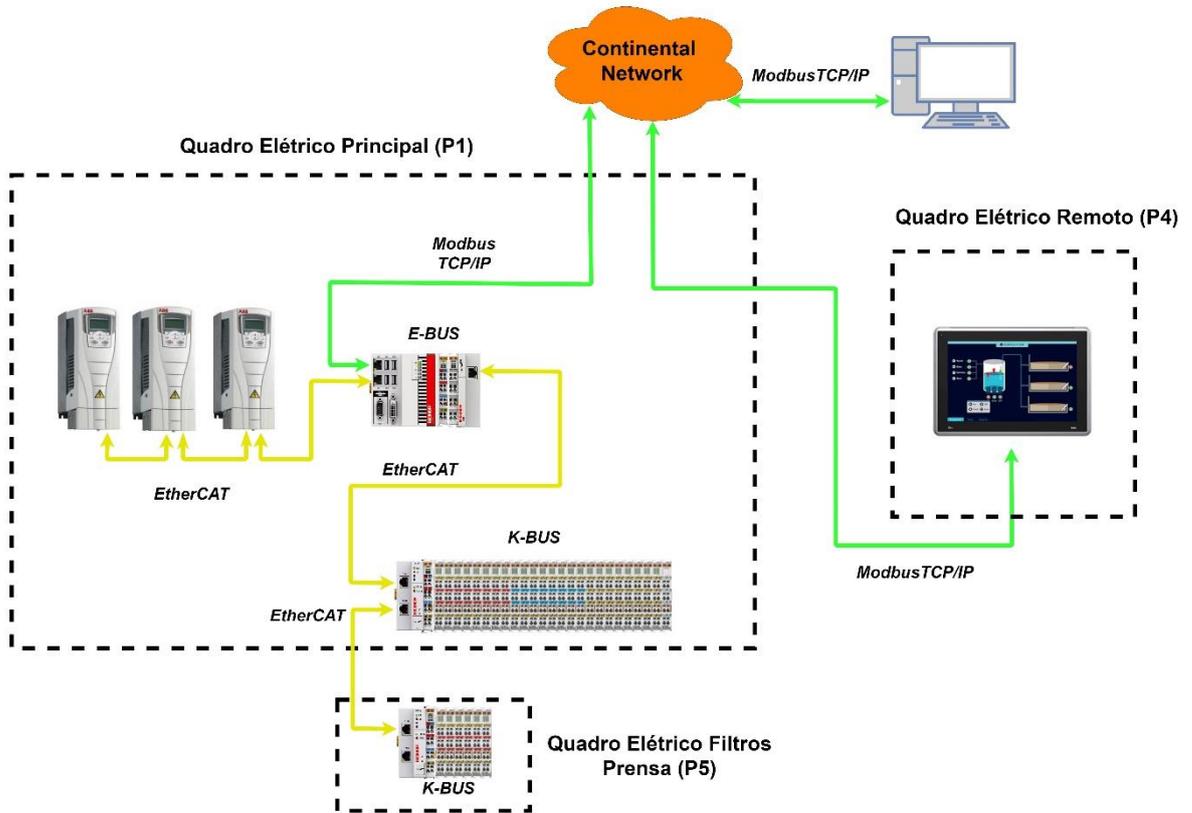


Figura 5.1 - Arquitetura de comunicação com os Conversores de Frequência a comunicar por EtherCAT com autómato



## **Referências Bibliográficas**

- Europeia, U. (1991). Diretiva 91/271/CEE Do Conselho de 21 de Maio de 1991 relativa ao tratamento de águas residuais urbanas. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*.
- Frank P. Incropera, D. P. (2006). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons.
- Martins, A. I. (2013). *Projeto de Otimização de uma Estação de Pré-Tratamento de Águas Residuais Industriais*. Porto: Dissertação de Mestrado, FEUP, Departamento de Engenharia do Ambiente.
- Miquel Sànchez, U. C. (1996). DAI-DEPUR: an integrated and distributed architecture for wastewater treatment plants supervision.
- Munson, Y. O. (2009, 6ª edição). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. United States of America: Don Fowley.
- Schaffner. (2012). Sine wave filter solutions for motor drive applications. Luterbach, Schweiz. Obtido de Schaffner shaping electrical power.



## ANEXO A: Cálculo do Caudal de Saída do Tanque de Auto-Controlo

Para o cálculo do caudal máximo que o TA-C poderá debitar, será aplicada a equação da Energia com perdas (Munson, 2009, 6ª edição)

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho_{H2O} \cdot v_1^2 + \rho_{H2O} \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho_{H2O} \cdot v_2^2 + \rho_{H2O} \cdot g \cdot h_2 + p_{locais} + p_{linha}$$

Equação A.1 - Equação da Energia para Escoamentos Uniformes, (Munson, 2009, 6ª edição)

$p_x$  – Pressão do fluído no ponto x (Pa);

$\rho_{H2O}$  – Massa volúmica da água (1000 kg/m<sup>3</sup>);

$v_x$  – Velocidade do fluído no ponto x (m/s);

$h_x$  – Cota do ponto x (m);

$g$  – Aceleração da gravidade da Terra (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$p_{locais}$  – Perdas de carga locais (Pa);

$p_{linha}$  – Perdas de carga em linha (Pa);

Os pontos  $x = 1$  ou  $x = 2$  estão assinalados no desenho representativo do TA-C na Figura A.1

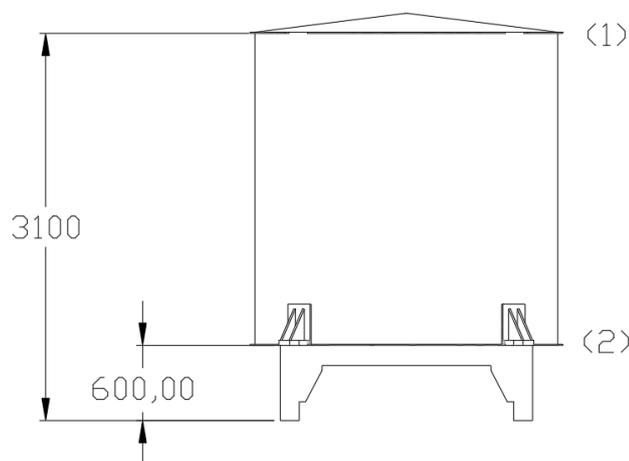


Figura A.1 - Desenho representativo do Tanque do Auto-Controlo

O percurso de tubagem que une o TA-C ao caudalímetro é bastante reduzido e pode ser desprezado para o cálculo das perdas e assim  $p_{\text{linha}} = 0$  Pa. As perdas de carga locais são consideradas à saída do tanque:

$$p_{\text{local}} = K_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot v_2^2$$

Equação A.2 - Equação das Perdas Locais, (Munson, 2009, 6ª edição)

$K_L$  – Fator de perda local à saída do tanque;

Pressupondo que a cota de saída do tanque é  $h_2 = 0.6$  m, que a água no topo está parada ( $v_1 = 0$  m/s) e à pressão atmosférica ( $p_1 = 0$  Pa (rel)), tal como à saída do tanque ( $p_2 = 0$  Pa (rel)), a Equação A.1 fica reduzida a:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)}{1 + K_L}} \text{ (m/s)}$$

Finalmente sabendo que a equação do caudal numa tubagem é dada por (Munson, 2009, 6ª edição):

$$Q_x = \frac{\pi}{4} \cdot d_x^2 \cdot v_x \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Equação A.3 - Caudal numa tubagem, (Munson, 2009, 6ª edição)

$Q_x$  – Caudal no ponto 2;

$d_x$  – Diâmetro da tubagem no ponto 2 (m);

No ponto 2 o diâmetro da saída coincide com o da tubagem, e desse modo a equação final é dada por:

$$Q_2 = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)}{1 + K_L}}$$

Equação A.4 - Equação do Caudal à saída do Tanque de Auto-Controlo

O fator de perda local para uma saída de tanque com as arestas vivas é  $K_L = 0,5$ . Já a cota do ponto 1 é  $h_1 = 0.6$  m, no ponto 2  $h_2 = 3.1$  m e o diâmetro de uma tubagem DN 50 é  $d_2 = 0,05$ m. Aplicando a substituição de valores obtém-se o valor do caudal à saída do TA-C:

$$Q_2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,05^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot (3,1 - 0,6)}{1 + 0,5}} = 1,12 \times \frac{10^{-2} \text{m}^3}{\text{s}} = 672 \text{ dm}^3/\text{min}$$

## ANEXO B: Cartas e Módulos Beckhoff

### EK1110

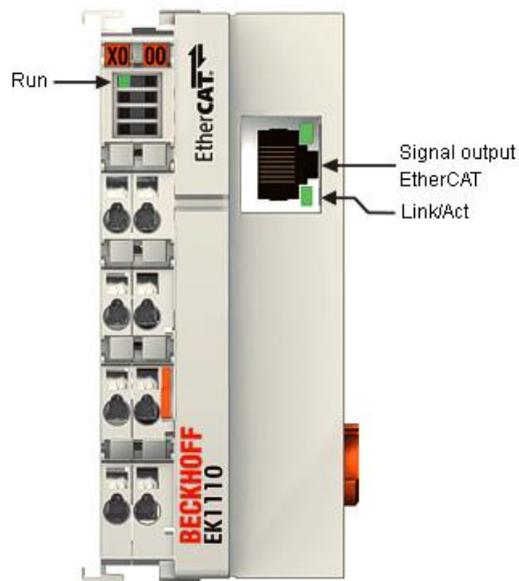


Figura B.1 - Extensão EtherCAT Beckhoff EK1110

### BK1120

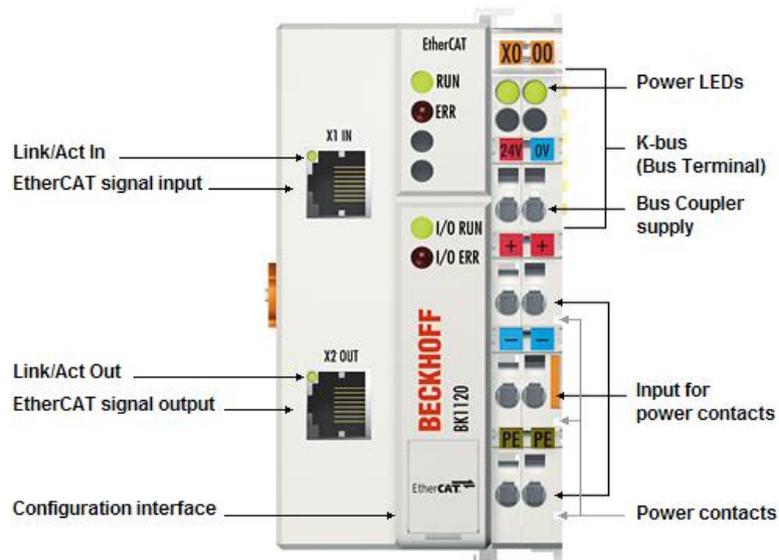


Figura B.2 - EtherCAT Bus Coupler Beckhoff BK1120

Tabela B.1 - Características do Bus Coupler Beckhoff BK1120

Características	
Número de Terminais do Barramento (Cartas e módulos)	255 (K-BUS)
Interface para o Barramento	2 x RJ45
Tensão de Alimentação	24 V DC
Distância entre Estações	100 m
Temperatura de Funcionamento	-25 ... + 60 °C

**KL1404**

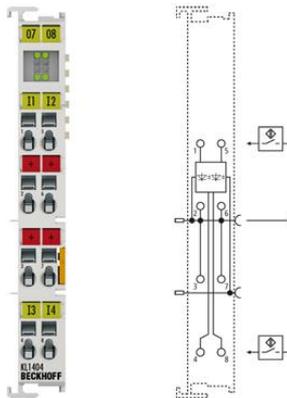


Figura B.3 - Carta de Entradas Digitais Beckhoff KL1404

Tabela B.2 - Características da Carta de Entradas Digitais Beckhoff KL1404

Características	
Número de saídas digitais	4
Tensão de Alimentação	24 VDC
Tensão do sinal “0”	-3...5VDC
Tensão do sinal “1”	11 ... 30 VDC
Número de pinos +24 V	4

**KL2404**

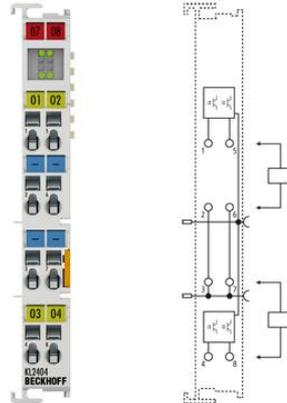


Figura B.4 - Carta de Saídas Digitais Beckhoff KL2404

Tabela B.3 - Características da Carta de Saídas Digitais Beckhoff KL2404

Características	
Número de saídas digitais	4
Tensão de Alimentação	24 VDC
Corrente máxima de saída	0,5 A
Tensão do sinal “1”	11 ... 30 VDC
Número de pinos 0 V	4

**KL3054**

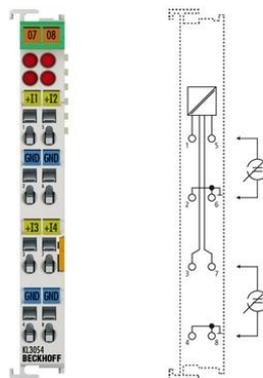


Figura B.5 - Carta de Entradas Analógicas Beckhoff KL3054

Tabela B.4 - Características da Carta de Entradas Analógicas Beckhoff KL3054

Características	
Número de Entradas Analógicas	4
Corrente do sinal de entrada	4...20mA
Resolução	12 bit
Erro de Medição	< ±0.3 %
Tecnologia	<i>Single-ended</i>
Número de pinos Ground	4

**KL3454**

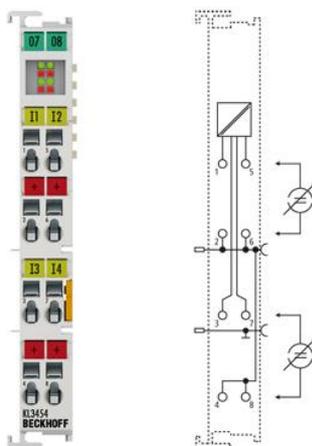


Figura B.6 - Carta de Entradas Analógicas Beckhoff KL3454

Tabela B.5 - Características da Carta de Entradas Analógicas Beckhoff KL3454

Características	
Número de Entradas Analógicas	4
Corrente do sinal de entrada	4...20mA
Resolução	12 bit
Erro de Medição	< ±0.3 %
Tecnologia	<i>Single-ended</i>
Número de pinos 24 V	4

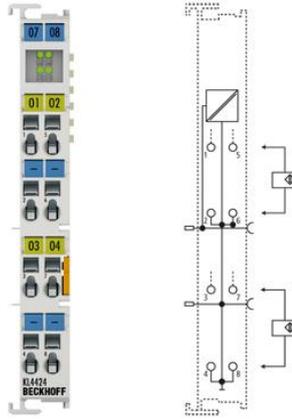
**KL4424**

Figura B.7 - Carta de Saídas Analógicas Beckhoff KL4424

Tabela B.6 - Características da Carta de Saídas Analógicas Bekchoff KL4424

Características	
Número de Saídas Analógicas	4
Corrente do sinal de entrada	4...20 mA
Resolução	12 bit
Erro de Sinal de Saída	$< \pm 0.3 \%$
Tecnologia	<i>Single-ended</i>
Número de pinos 0V	4



## ANEXO C: Expressão para o Cálculo de V(i) – Volume Máximo do Tanque de Mistura para diluição (%SS>3,5)

A %SS é uma concentração mássica dos sólidos diluídos na solução:

$$\%SS = \frac{m_{ss}}{V} \times 100\% \leftrightarrow m_{ss} = \%SS \times \frac{V}{100\%}$$

Equação C.1 - Equação da Percentagem do Sólidos Suspensos

$m_{ss}$  – Massa de sólidos suspensos;

V – Volume Total da Solução;

Durante uma diluição de uma solução a massa de sólidos permanece constante:

$$m_{ss} (i) = m_{ss} (f) \leftrightarrow \%SS (i) \times V(i) = \%SS (f) \times V(f)$$

$m_{ss} (i)$  – Massa de sólidos inicial;

$m_{ss} (f)$  – Massa de sólidos final;

%SS (i) – Percentagem de Sólidos Suspensos Inicial;

%SS (f) – Percentagem de Sólidos Suspensos Final;

V(i) – Volume da solução inicial;

V(f) – Volume da solução final;

O volume final e a %SS final são fixos e correspondem ao volume máximo do TM e a 3,5 % que é o valor pretendido para realizar o tratamento. A %SS inicial corresponde ao valor medido pelo sensor e o volume inicial será o valor a calcular:

$$V(i) = \frac{\%SS (f) \times V(f)}{\%SS (i)}$$

Equação C.2 - Equação para o cálculo do volume de enchimento máximo antes de diluição



## **ANEXO D: Dimensionamento do Sistema de Refrigeração do Quadro P1**

Os elementos dentro do quadro que dissipam calor estão representados na Tabela D.1. Na segunda coluna da tabela está representada a respetiva potência máxima dissipada.

Tabela D.1 - Potências dissipadas para cada elemento elétrico presente no interior do quadro P1

Equipamento	Potência Máxima Dissipada (W)
ACS550–U1–088A-2 (conversor)	127
FN 5040 – 4.5 – 82 (Filtro SineWave)	65
FN 5040 – 8 – 82 (Filtro SineWave)	80
TRIO – PS – 2G/1AC/24DC/20 (Fonte de Alimentação)	36,8
3RV2011 – xxxxx (Disjuntor Magneto térmico)	7
3RT2015 – xxxxx (Contactores)	0,4
40.52.9.024.0000 (Relés)	1,2
CX5020 – 1121 (Autómato)	12,5

Fazendo uma breve análise aos valores apresentados na tabela é possível concluir que a potência dissipada pelos contactores e pelos relés é desprezável face às potências dissipadas pelos restantes equipamentos.

Se fosse considerado um fator de simultaneidade igual 1, considerando 3 conversores de frequência, 1 filtro de 4,5 A, 2 filtros de 8 A, 1 Fonte de Alimentação, 10 Disjuntores Magneto-Térmicos e 1 Autómato a Potência Dissipada Total é:

$$P_{diss} = 3 \times 127 \text{ W} + 1 \times 65 \text{ W} + 2 \times 80 \text{ W} + 10 \times 7 \text{ W} + 12,5 \text{ W} = 725,3 \text{ W}$$

Porém, esta condição de funcionamento nunca irá acontecer, pois nunca irá haver um funcionamento simultâneo de todos os equipamentos presentes na EPTARi. Para o dimensionamento do sistema de refrigeração deve-se encontrar a condição de funcionamento real que maximiza a potência dissipada. O autómato e a fonte de alimentação estão em constante funcionamento dissipando, sensivelmente, a mesma potência durante o funcionamento do quadro. A condição de funcionamento que gera mais calor é durante o funcionamento das bombas peristálticas, que podem funcionar em simultâneo. Deste modo estão 2 conversores, 2 filtros e 2 Disjuntores a gerar calor em simultâneo:

$$P_{diss} = 2 \times 127 W + 2 \times 80 W + 10 \times 7 W + 12,5 W = 477,3 W$$

Este é o valor da potência real máxima que pode ser gerada dentro do quadro durante o tratamento na EPTARi. Na Figura D. 1 é apresentada uma representação das trocas caloríficas do quadro com o meio envolvente. O quadro principal é composto por duas caixas modulares de 800 mm x 1200 mm x 500 mm. A  $P_{diss}$ , tal como referido é a potência calorífica gerada dentro do quadro e  $P_{CN}$  a potência que o quadro transfere por convecção natural nas suas superfícies. Na lateral direita do quadro foi instalado um Permutador de Calor que aumenta a convecção interna do quadro promovendo a condução de calor para o exterior, quer pela superfície do quadro quer pelo permutador e a potência calorífica que ele dissipa é  $P_{TROCADOR}$ .

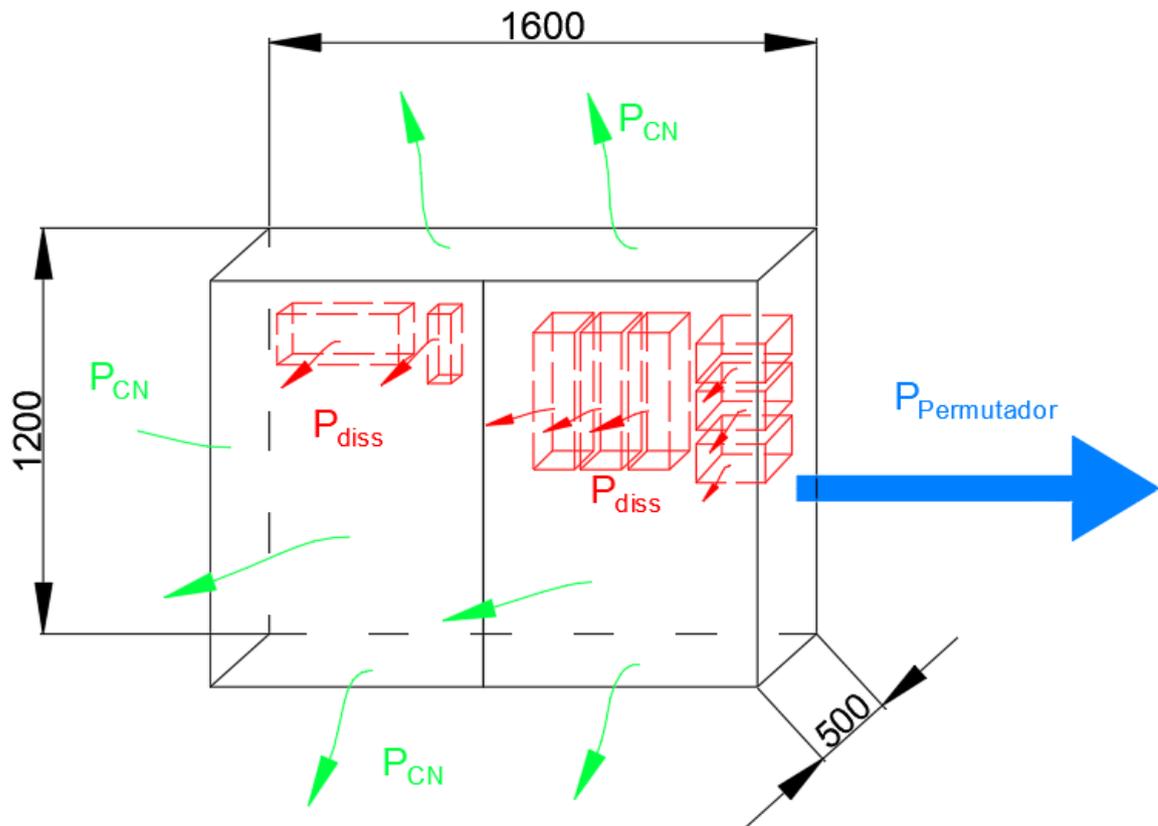


Figura D. 1 - Potências Caloríficas trocadas no Quadro P1

Fazendo um equilíbrio térmico ao volume de controlo limitado pelas paredes do caixa do quadro elétrico obtém-se:

$$P_{diss} = P_{Permutador} + P_{CN}$$

$$P_{Permutador} = P_{diss} - P_{CN}$$

A potência calorífica que é transferida para o meio ambiente por convecção natural, na verdade é uma soma de três efeitos: convecção forçada no interior do quadro, condução na parede do quadro e convecção natural no exterior do quadro. Por análise resistências térmicas, (Frank P. Incropera, 2006), obtém-se o modelo da Figura D.2

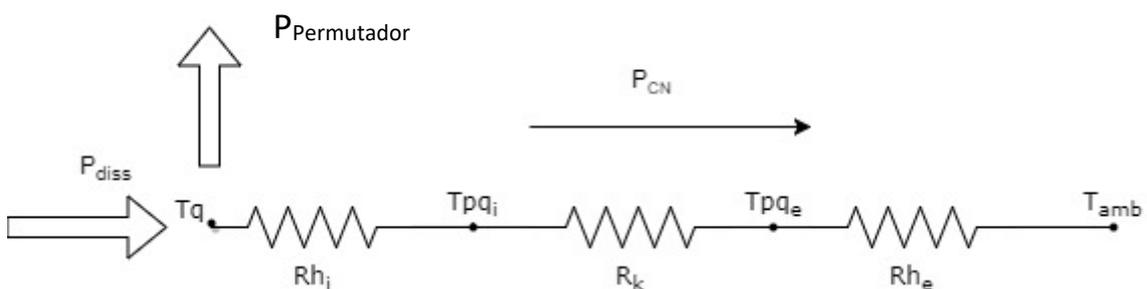


Figura D.2 - Esquema da Análise por Resistências Térmicas das transferências de calor no quadro P1

$T_q$  – Temperatura do interior do quadro;

$T_{pqi}$  – Temperatura da parede no interior do quadro;

$T_{pqe}$  – Temperatura da parede no exterior do quadro;

$T_{amb}$  – Temperatura ambiente (exterior do quadro);

$R_{hi}$  – Resistência térmica devido à convecção interna no quadro;

$R_k$  – Resistência térmica devido à condução na parede quadro;

$R_{he}$  – Resistência térmica devido à convecção externa ao quadro;

As Resistências térmicas referidas acima são calculadas do seguinte modo:

$$R_{hi} = \frac{1}{h_i \cdot A_{quadro}}$$

$h_i$  – Coeficiente de Convecção no interior do quadro;

$A_{quadro}$  – Área efetiva de Superfície do quadro que troca calor com o exterior;

$$R_k = \frac{e_{quadro}}{k_{aço} \cdot A_{quadro}}$$

$e_{quadro}$  – Espessura da parede do quadro;

$k_{aço}$  – Coeficiente de condutividade do aço (material da caixa do quadro);

$$R_{he} = \frac{1}{h_e \cdot A_{quadro}}$$

$h_e$  – Coeficiente de Convecção no exterior do quadro;

Uma vez que as resistências se encontram em série, a resistência equivalente é a soma de cada uma das resistências térmicas:

$$R_{eq} = \frac{1}{h_i \cdot A_{quadro}} + \frac{e_{quadro}}{k_{aço} \cdot A_{quadro}} + \frac{1}{h_e \cdot A_{quadro}}$$

A potência calorífica perdida pela superfície do quadro é calculada pela lei de Ohm aplicada à transferência de calor:

$$P_{CN} = \frac{1}{R_{eq}} \cdot (T_q - T_{amb}) = \frac{1}{\frac{1}{A_{quadro}} \cdot \left( \frac{1}{h_i} + \frac{e_{quadro}}{k_{aço}} + \frac{1}{h_e} \right)} \cdot (T_q - T_{amb})$$

A  $A_{quadro}$  é a soma das áreas das superfícies que trocam calor com o exterior. Estas superfícies incluem as portas, o topo, o fundo e a lateral esquerda:

$$A_{quadro} = (2 \times 1200mm \times 800mm + 2 \times 1600mm \times 500mm + 1200mm \times 500mm) \\ \times 10^{-6} \frac{m^2}{mm^2} = 4,12 m^2$$

Os permutadores de calor são caracterizados pela potência calorífica por unidade de Temperatura:

$$P_{Permutador} = p_{permutador} \cdot (T_q - T_{amb})$$

$p_{TROCADOR}$  - Potência calorífica por unidade de Temperatura;

Aplicando a substituição e isolando o termo  $p_{TROCADOR}$  obtém a expressão final:

$$p_{Permutador} \cdot (T_q - T_{amb}) = P_{diss} - \frac{A_{quadro}}{\left( \frac{1}{h_i} + \frac{e_{quadro}}{k_{aço}} + \frac{1}{h_e} \right)} \cdot (T_q - T_{amb})$$

$$p_{Permutador} = \frac{P_{diss}}{(T_q - T_{amb})} - \frac{A_{quadro}}{\left( \frac{1}{h_i} + \frac{e_{quadro}}{k_{aço}} + \frac{1}{h_e} \right)}$$

Equação D.3 - Expressão para o cálculo da potência calorífica específica do permutador de calor

Os conversores de frequência devem funcionar a uma temperatura inferior a  $40^{\circ}C$ , que irá corresponder a  $T_q$ . Para a temperatura ambiente, foram realizadas medições em vários dias em vários momentos do dia e a temperatura máxima registada foi  $T_{amb} = 33^{\circ}C$ .

Na tabela estão os valores para as restantes variáveis:

Tabela D.2 - Valores para o cálculo da potência calorífica específica do permutador

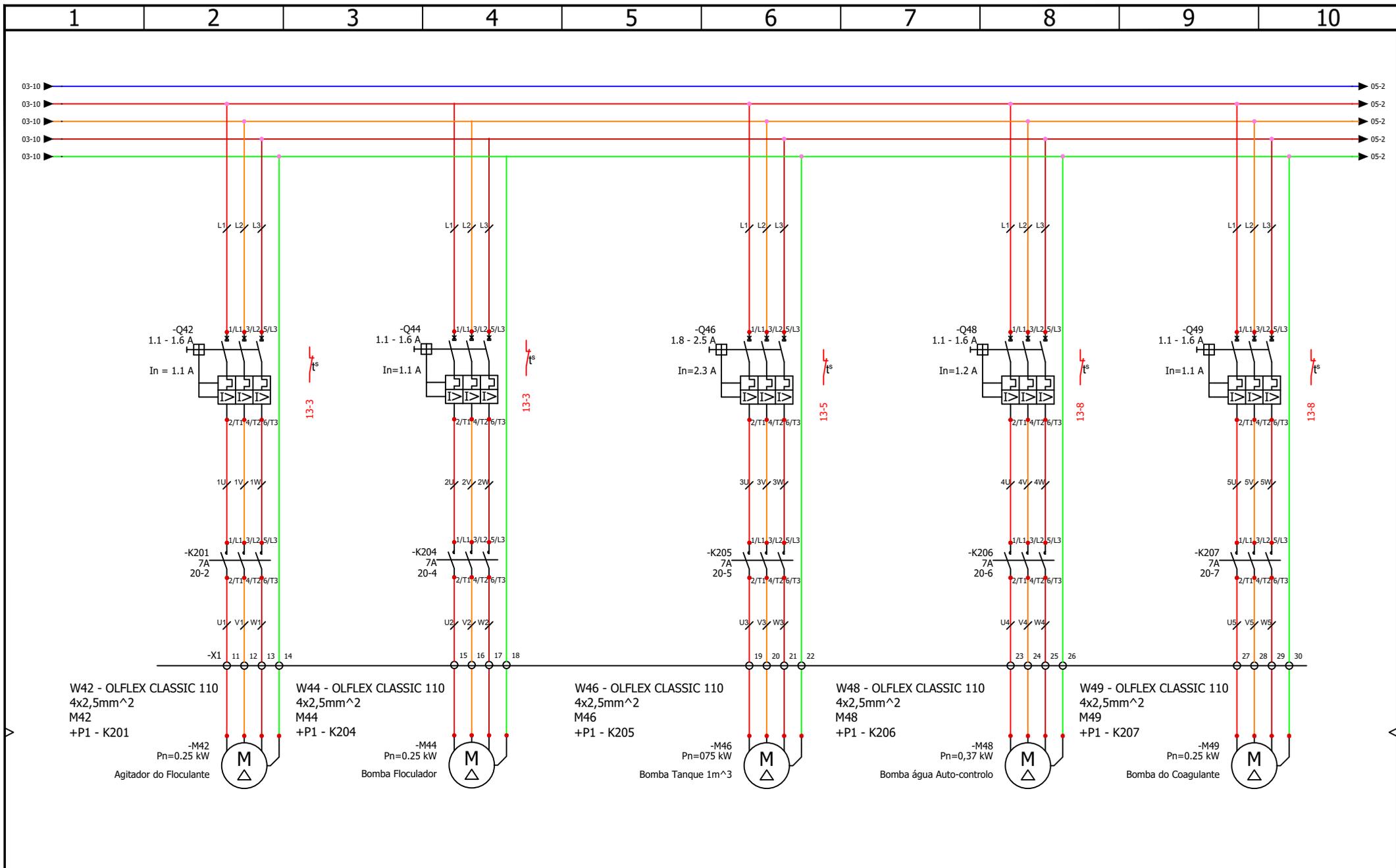
$h_1$	15	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
$h_2$	10	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$

$e_{quadro}$	1,5E-03	$m$
$k_{aço}$	50	$\frac{W}{m \cdot K}$
$R_{eq}$	4,05E-02	$\frac{K}{W}$
$P_{CN}$	173	$W$
$P_{Permutador}$	304	$W$
$p_{Permutador}$	43	$\frac{W}{K}$

Segundo análise térmica do quadro, verificou-se que se necessita de um permutador de calor de 43  $W/K$ .

## ***ANEXO E: Esquema Elétrico Quadro P1***



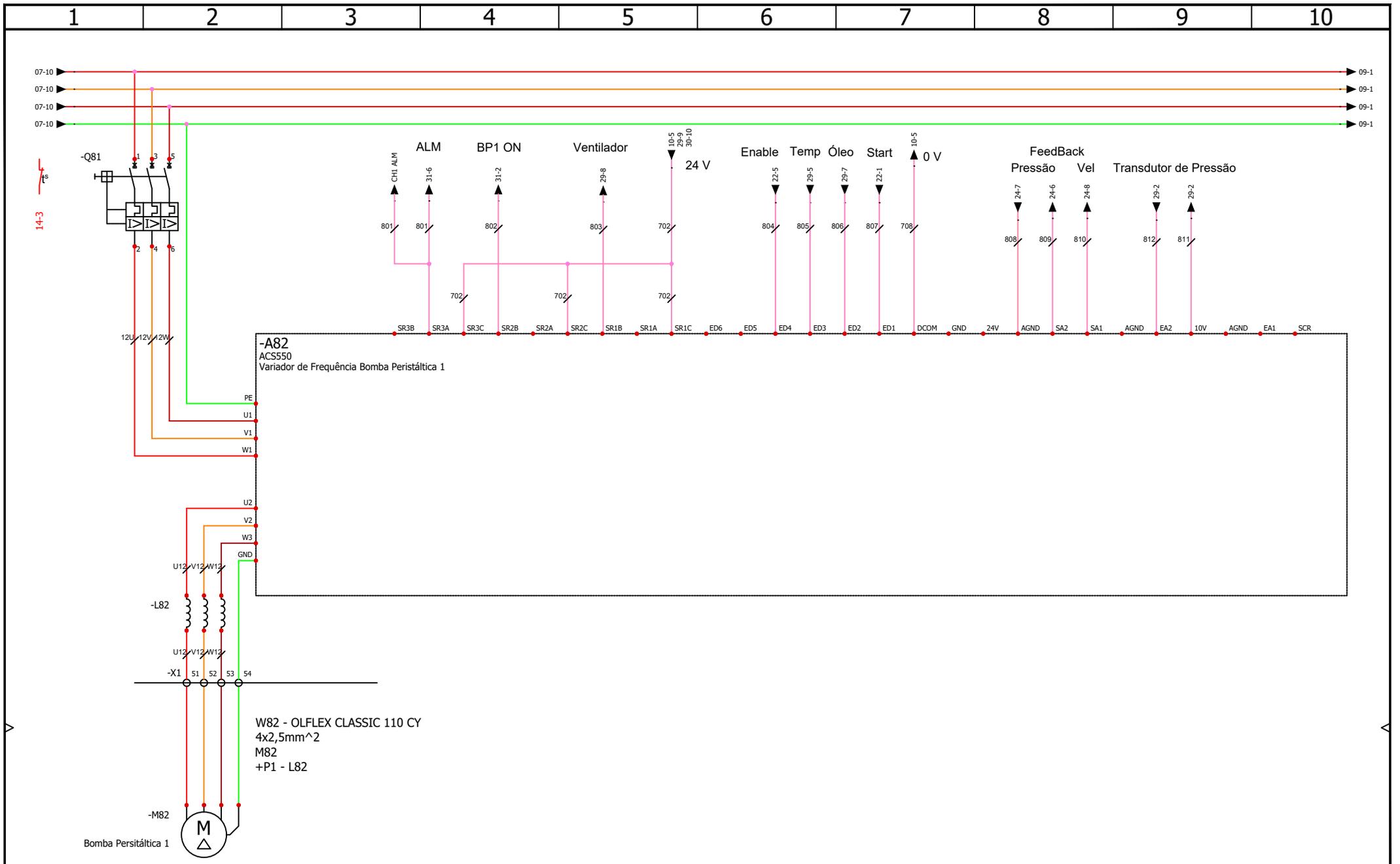


## Bombas e Motores

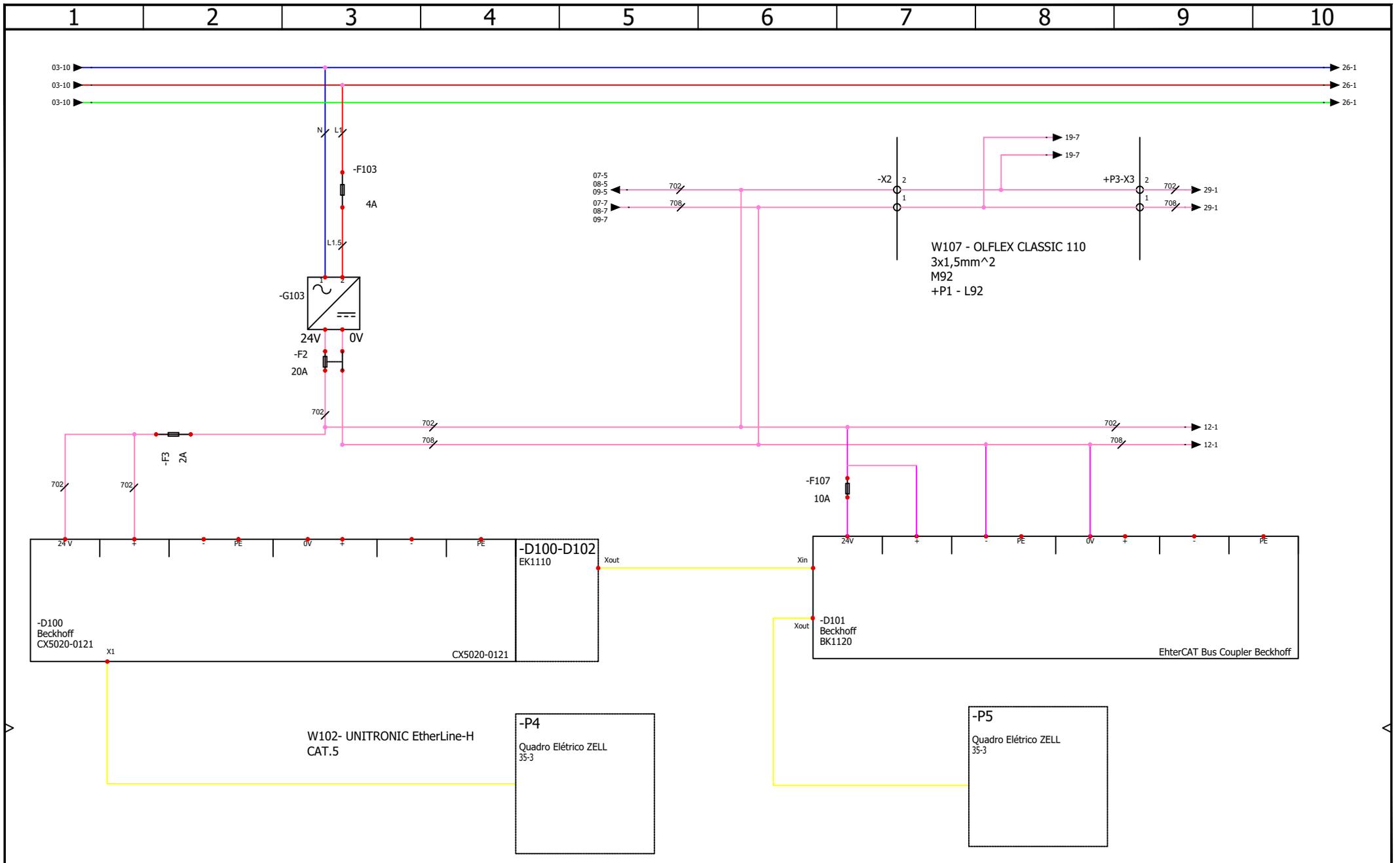
CONTRACT:

LOCATION: +P1

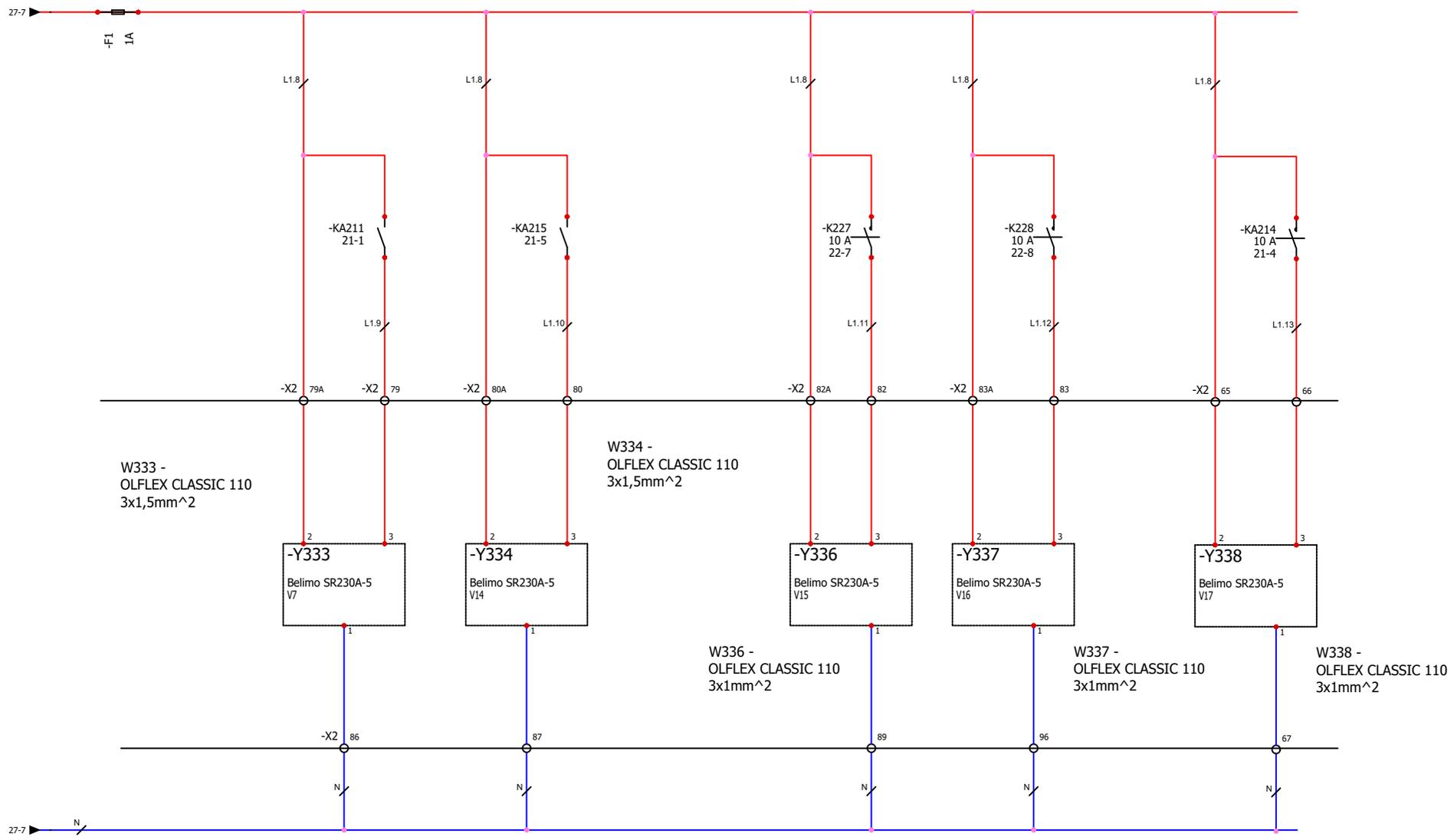
2	30/07/2017	Ricardo Ferreira	Tela Final	REVISION <b>0</b>
1	07/06/2017	José Silva	Execução do Quadro	
0	03/03/2017	Ricardo Ferreira	Criação do Desenho	
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME <b>04</b>
Ricardo Ferreira			Continental - I.T.A.	



CONTRACT:		LOCATION: +P1		2		30/07/2017	Ricardo Ferreira	Tela Final	REVISION
				1		07/06/2017	José Silva	Execução do Quadro	0
				0		03/03/2017	Ricardo Ferreira	Criação do Desenho	
				REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME	
		Ricardo Ferreira		Continental - I.T.A.				08	



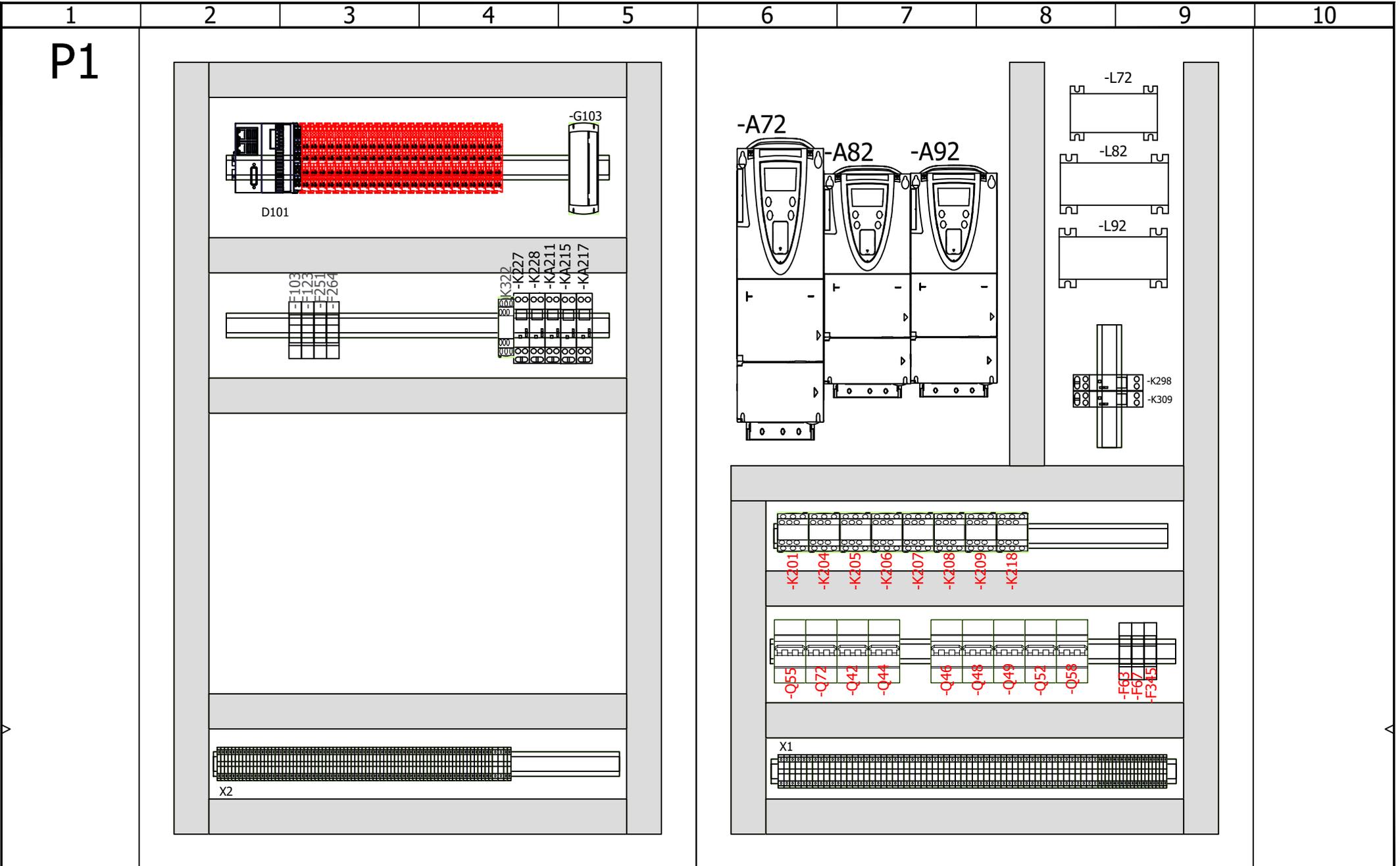
CONTRACT:		LOCATION: +P1		Autómato		2	30/07/2017	Ricardo Ferreira	Tela Final	REVISION 0
						1	07/06/2017	José Silva	Execução do Quadro	
						0	03/03/2017	Ricardo Ferreira	Criação do Desenho	
						REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME 10
Ricardo Ferreira				Continental - I.T.A.						



# EletroVálvulas

2	30/07/2017	Ricardo Ferreira	Tela Final	REVISION <b>0</b>
1	07/06/2017	José Silva	Execução do Quadro	
0	03/03/2017	Ricardo Ferreira	Criação do Desenho	
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME <b>33</b>
Ricardo Ferreira			Continental - I.T.A.	

CONTRACT: LOCATION: +P1



P1 Interior

CONTRACT:	LOCATION: +P1	2	30/07/2017	Ricardo Ferreira	Tela Final	REVISION 0
		1	07/06/2017	José Silva	Execução do Quadro	
		0	03/03/2017	Ricardo Ferreira	Criação do Desenho	SCHEME 36
		REV.	DATE	NAME	CHANGES	
		Ricardo Ferreira			Continental - I.T.A.	



***ANEXO F: Procedimento de Tratamento Químico da EPTARi***



Tipo Processo: Gestão  
Processo: Ambiente & Segurança  
Categoria: Procedimento  
Atividade/Fase:

Autor:  
Doc:  
Emissão: 01  
Válido a partir de:

## PS.049- Tratamento Águas Residuais

### Objetivo

Definir o procedimento para tratamento das águas residuais de forma a minimizar a contaminação dos lençóis freáticos e cursos de água, e cumprir os requisitos legais.

### Siglas

SIDVA – Sistema Integrado Despoluição do Vale do Ave

QAS – Qualidade, Ambiente e Segurança

VMA – Valor Máximo Admissível

### Procedimento e Responsabilidades

#### Preparação do Floculante:

- Encher o tanque de Floculante até meio com água. Colocar o agitador em marcha.
- Dissolver 1000 g de **FlocAS/23 (ou Magnafloc)** em 500 L de água (até encher o tanque). A adição do floculante deve ser feita em quantidades muito pequenas para que não haja formação de grumos.

#### Notas Iniciais:

- O efluente não pode ter uma percentagem de sólidos superior a 3,5 %. Caso isso aconteça, é necessário usar mais coagulante em proporção. (Esta anomalia leva a um tratamento ineficiente e parâmetros da água filtrada fora dos estabelecidos).

- Se a % de sólidos for igual ou inferior a 3,5 %, utilizar 47 L de Coagulante.

- Se a % de sólidos for superior a 3,5 % calcular a dose de coagulante necessária através do seguinte cálculo:

$$\text{Dose de Coagulante (L)} = \frac{\% \text{ sólidos medida} * 47 \text{ L}}{3,5 \%}$$

Tipo Processo: Gestão  
Processo: Ambiente & Segurança  
Categoria: Procedimento  
Atividade/Fase:

Autor:  
Doc:  
Emissão: 01  
Válido a partir de:

### PS.049- Tratamento Águas Residuais

#### Tratamento:

1. Medir a percentagem de sólidos do efluente no Tanque de Retenção (Fossa).
2. Fechar a Válvula 5 (**V5**) que liga o tanque de mistura às bombas. Consultar Esquema da EPTARI.
3. Bombear efluente do tanque de retenção para o tanque de mistura até completar o volume de tratamento (topo dos anteparos).
4. Em caso de Retratamento, bombear água do tanque de Auto-Controlo. (este passo apenas se realiza se necessário e em caso de tratamento).
5. Ligar o agitador e colocar na velocidade rápida (70 Hz).
6. Quando o tanque de mistura estiver cheio (zona dos anteparos), deixar agitar cerca de 1 a 2 minutos.
7. Medir a % de sólidos no Tanque de Mistura. Registrar na Folha de Tratamentos.
8. Medir o pH e registar na Folha de Tratamentos.
9. Abrir a Válvula 1 (**V1**) (Consultar esquema da EPTARI). Adicionar 47 L de COAGULANTE sempre em agitação rápida (70 Hz) (Pressionar uma vez o botão "47 L Coagulante" e esperar 5 minutos aproximadamente - a luz do botão pára quando atingir os 47 L). Em tratamentos extraordinários, utilizar 5 L de coagulante de cada vez até atingir o volume pretendido. Apontar na Folha de Tratamentos a quantidade total de coagulante colocado.
10. Deixar agitar durante cerca de 2 minutos.
11. Medir o pH e apontar na Folha de Tratamentos. Para o coagulante ter eficiência o pH tem que ser 7, a introdução do coagulante baixa-o para 4-5, portanto tem que se acertar o pH com Base- Soda Caústica.

#### **Método de Acerto de pH com Base.**

- Verificar se a Válvula 4 (**V4**) está aberta (Consultar esquema da EPTARI). Para **subir o valor de pH**, adicionar 10 L de Base (Soda) (pressionar o botão 10 L uma vez, a luz do botão ligar-se-á e a bomba pára automaticamente atingindo os 10 L). Medir o pH e, se necessário, adicionar 1 L de Base (pressionar o botão 1 L, neste botão a luz vai ficar intermitente e pára quando atingir 1 L – pressionar as vezes necessárias até atingir o pH 7). Apontar na Folha de Tratamentos a quantidade total de Base colocada.

12. Após o acerto do pH, deixar em agitação na velocidade rápida (70 Hz) durante cerca de 3 minutos.

Tipo Processo: Gestão  
Processo: Ambiente & Segurança  
Categoria: Procedimento  
Atividade/Fase:

Autor:  
Doc:  
Emissão: 01  
Válido a partir de:

## PS.049- Tratamento Águas Residuais

13. Baixar a velocidade de agitação para a velocidade intermédia (42 Hz).
14. Adicionar o FLOCULANTE, **200 L**, carregar no botão do floculante e parar quando atingir a quantidade necessária. (Após este passo deve verificar-se a presença de flocos bem diferenciados).
15. Após a adição do FLOCULANTE, deixar em agitação na velocidade intermédia (42 Hz) durante cerca de 5 minutos.
16. Reduzir a velocidade de agitação para a velocidade lenta (15 Hz) e deixar em agitação durante cerca de 5 minutos.
17. Desligar a agitação e deixar repousar e decantar durante 20 minutos. Após os 20 minutos, deve verificar-se uma camada de água límpida à superfície.
18. Abrir a Válvula 5 (**V5**) que liga o tanque de mistura às bombas. Consultar esquema da EPTARI.
19. Fechar a Válvula 8 de purga do filtro-prensa (**V8**); abrir a Válvula 7 de alimentação da bomba ao filtro-prensa (**V7**);
20. Desimpedir a área em redor do filtro-prensa.
21. Iniciar o ciclo da bomba hidráulica do filtro-prensa (em modo automático). **GARANTIR QUE ESTÁ EM MODO AUTOMÁTICO.**
22. Iniciar a bomba de alimentação do efluente ao filtro-prensa para começar o processo de filtração, carregando no **botão verde**.
23. No início do processo de filtragem, informar o Controlador da Qualidade para proceder à recolha da amostra de água, num gobelé, para este proceder à sua análise conforme plano de controlo <PC.013>; os resultados devem ser registados no impresso modelo <RQ.042>.
24. As águas residuais são encaminhadas para o tanque de autocontrolo.
25. Se algum dos parâmetros analisados estiver fora dos valores máximos admissíveis, o Controlador da Qualidade informa que deverá ser efetuado o retratamento da água, sendo posteriormente feitos novos ensaios laboratoriais.
26. Se os parâmetros analisados estiverem dentro dos valores máximos admissíveis a água, que se encontra no tanque de auto controlo, é dada autorização pelo Controlador da Qualidade de descarrega para o SIDVA.
27. Qualquer anomalia detetada no tratamento deve ser descrita no impresso modelo 09.QA.
28. As lamas provenientes do tratamento deverão ser colocadas em big-bags devidamente identificados.

Tipo Processo: Gestão  
 Processo: Ambiente & Segurança  
 Categoria: Procedimento  
 Atividade/Fase:

Autor:  
 Doc:  
 Emissão: 01  
 Válido a partir de:

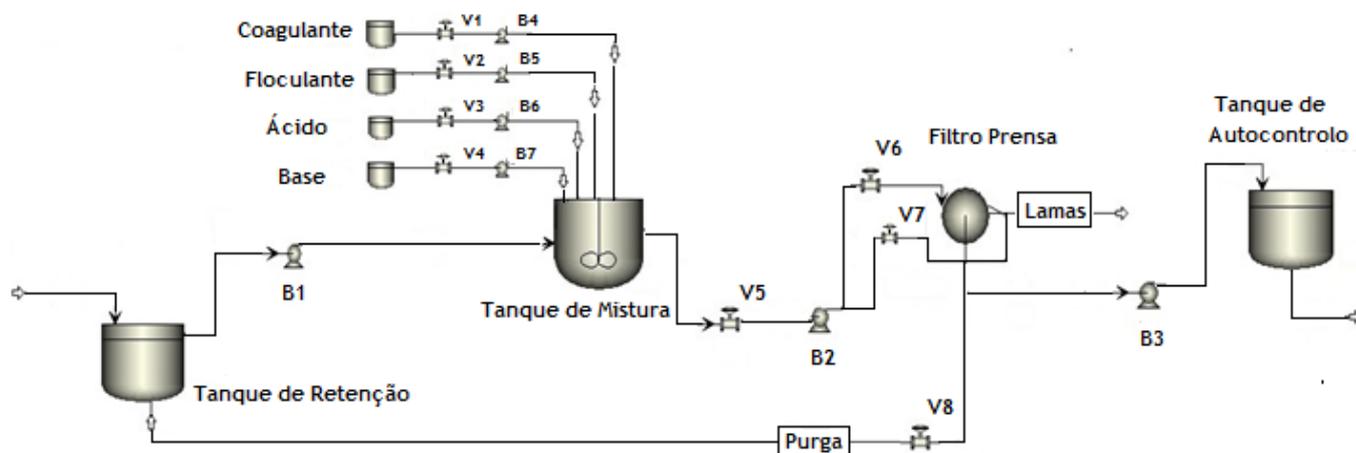
## PS.049- Tratamento Águas Residuais

29. As águas de lavagem dos filtros da prensa devem ser recolhidas para o tanque tampão.
30. A descarga de água fora dos valores admissíveis só pode ser efetuada com autorização da Dir. QAS a quem cabe notificar o mais rapidamente possível o gestor do SIDVA.

Tabela 1: Valores Máximos Admissíveis de Parâmetros Característicos de Águas Residuais Industriais para descarga no SIDVA

Parâmetro	Expressão dos Resultados	VMA (1) (Apêndice 1, Reg. SIDVA)
pH	escala Sorensen	5,5 – 9,5
CQO	mg/L O <sub>2</sub>	2000

### Esquema da EPTARI



	Data	Responsável
Tomei conhecimento		
Tomei conhecimento		
Tomei conhecimento		
Tomei conhecimento		