

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* IBIRITÉ
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Gabriel Brandão Barcelos

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES AUTÔNOMA

Ibirité - MG
2023

GABRIEL BRANDÃO BARCELOS

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES AUTÔNOMA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Ibirité* para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Henrique Barbosa de Carvalho Tavares

Ibirité - MG
2023

B242e Barcelos, Gabriel Brandão.

Estação de tratamento de efluentes autônoma / Gabriel Brandão Barcelos. – Ibité, MG, 2023.

97 p. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Henrique Barbosa de Carvalho Tavares.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, *Campus* Ibité, Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, 2023.

1. Resíduos industriais 2. Automação industrial. 3. Redução de resíduos 4. Águas residuais – Purificação. I. Tavares, Thiago Henrique Barbosa de Carvalho. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ibité. III. Título.

CDD 628.54


Catálogo: Viviane Barbosa Andrade - Bibliotecária - CRB-6/2819

Gabriel Brandão Barcelos


ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES AUTÔNOMA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Ibirité* para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.


Aprovado em: 04/ 12/ 2023 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 THIAGO HENRIQUE BARBOSA DE CARVALHO TA
Data: 08/01/2024 15:34:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Thiago Henrique Barbosa de Carvalho Tavares - IFMG (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 ARTHUR REIS LARA MIRANDA
Data: 08/01/2024 11:38:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Me. Arthur Reis Lara Miranda - Grupor GEOPAR

Documento assinado digitalmente
 IVAN REINALDO MENEGHINI
Data: 08/01/2024 15:41:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ivan Reinaldo Meneghini - IFMG

Documento assinado digitalmente
 CARLOS DIAS DA SILVA JUNIOR
Data: 08/01/2024 20:12:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Carlos Dias da Silva Júnior - IFMG

Dedico esta monografia aos meus amados pais, maiores incentivadores e fontes inesgotáveis de apoio, amor e compreensão.

“Ouço falarem que o esforço vence o talento, gosto desse argumento. Eu nunca quis ser melhor que ninguém, apenas tive o comprometimento.”

Major RD

RESUMO

Com o surgimento das fábricas a partir da primeira revolução industrial, a poluição gerada por elas em inúmeras esferas tornou-se um problema enorme. Portanto, a mitigação deste problema tornou-se necessária para um meio ambiente mais saudável. As reservas hídricas sofriam com os descartes de forma incorreta antes de soluções serem desenvolvidas para acabar com este problema. A Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) veio a calhar como uma solução encontrada pelas empresas, com foco no tratamento correto do efluente gerado por elas mesmas. Este trabalho, por sua vez, visa desenvolver um projeto de automação de uma Estação de Tratamento de Efluentes com foco na programação dos dispositivos, Controlador Lógico Programável (CLP) e Interface Homem-Máquina (IHM) utilizados para obtenção do objetivo. A empresa responsável pela estrutura apresentou uma solução por meio da automação de um problema relacionado à capacidade de tratamento. Desta forma, esse trabalho é a apresentação da solução proposta.

Palavras-chave: Resíduos industriais. Automação industrial. Redução de resíduos. Águas residuais.

ABSTRACT

With the emergence of factories following the first industrial revolution, the pollution generated by them in countless spheres became a huge problem. Therefore, mitigating this problem has become necessary for a healthier environment. Water reserves suffered from incorrect disposal before solutions were developed to end this problem. The Effluent Treatment Station (ETE) came in handy as a solution found by companies, focusing on the correct treatment of the effluent generated by themselves. This work, in turn, aims to develop an automation project for this Effluent Treatment Station with a focus on programming the devices, Programmable Logic Controller (PLC) and Human-Machine Interface (HMI) used to achieve the objective. The company responsible for the structure presented a solution through automation of a problem related to treatment capacity. Therefore, this work is the presentation of the proposed solution.

Keywords: Industrial waste. Industrial automation. Waste reduction. Residual waters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Controle de malha aberta.	17
Figura 2 – Controle de malha fechada.	18
Figura 3 – ETE.	28
Figura 4 – Diagrama da ETE.	28
Figura 5 – Filtro-prensa.	29
Figura 6 – Etapas da ETE.	29
Figura 7 – Fluxograma Etapa 1.	30
Figura 8 – Reação WD41P.	31
Figura 9 – Painel de elétrico/comando.	32
Figura 10 – Fita de pH.	33
Figura 11 – Fluxograma etapa 2.	34
Figura 12 – Fluxograma etapa 3.	35
Figura 13 – Fluxograma etapa 4.	35
Figura 14 – Ilustração do sistema de integração.	36
Figura 15 – Válvula de diafragma parker.	37
Figura 16 – Visão em corte da válvula de diafragma.	38
Figura 17 – Válvula esférica	38
Figura 18 – Visão em corte da válvula esférica	39
Figura 19 – Comparação do obturador pleno e reduzida	39
Figura 20 – Atuador pneumático MTI Brasil	39
Figura 21 – Simbologia Válvula solenoide 3/2.	40
Figura 22 – Montagem do conjunto.	40
Figura 23 – Agitador.	40
Figura 24 – Bomba Dosadora.	41
Figura 25 – MotoBomba.	42
Figura 26 – Filtro de areia.	42
Figura 27 – Válvula do filtro de areia.	43
Figura 28 – Engenharia reversa da válvula.	44
Figura 29 – Sensor LE501 - M12.	44
Figura 30 – Sensor LE502 - 1 - M12.	45
Figura 31 – <i>reed switch</i>	45
Figura 32 – Conjunto sensor de pH.	46
Figura 33 – Painel elétrico/comando principal.	47
Figura 34 – Painel elétrico/comando secundário.	47
Figura 35 – Disjuntor.	48
Figura 36 – Fonte de Alimentação.	49
Figura 37 – Fusível.	49
Figura 38 – Contator.	50

Figura 39 – Relé de Interface.	50
Figura 40 – CLP.	51
Figura 41 – IHM.	52
Figura 42 – Página carregamento inicial.	56
Figura 43 – Página de senha de acesso.	56
Figura 44 – Página principal.	57
Figura 45 – Página manual.	58
Figura 46 – Página manual 2.	58
Figura 47 – Página de Higienização do filtro de areia.	59
Figura 48 – Página do filtro de areia.	59
Figura 49 – Página de controle de acesso 2.	60
Figura 50 – Página de configuração.	60
Figura 51 – Página de configuração.	61
Figura 52 – Página de configuração.	61
Figura 53 – Página de configuração.	62
Figura 54 – Página principal alterada em modo automática.	62
Figura 55 – Página de automática.	63
Figura 56 – Página de automática 2.	63
Figura 57 – Página de Emergência.	64
Figura 58 – Máquina de estados.	65
Figura 59 – Árvore CLP.	66
Figura 60 – NVLs.	67
Figura 61 – Endereçamentos.	68
Figura 62 – Máquina de estados do programa.	69
Figura 63 – Fluxograma da POU PCL_PRG.	69
Figura 64 – POUs manuais e automáticas.	70
Figura 65 – Fluxograma da POU SELECIONA_PAGINA.	71
Figura 66 – Fluxograma da POU TANQUE_ENCH1.	72
Figura 67 – Fluxograma da POU TANQUE_CIRCULACAO.	74
Figura 68 – Fluxograma da POU PRENSA_ENCHI2_FILTRO.	75
Figura 69 – Fluxograma do caminho do modo autônomo.	76
Figura 70 – Teste de bancada.	77
Figura 71 – Erro de login.	80
Figura 72 – Página Home.	81
Figura 73 – Página de configuração.	83
Figura 74 – Página home.	84
Figura 75 – Página automática.	85
Figura 76 – Diagrama Elétrico do Painel Principal 1/4.	91
Figura 77 – Diagrama Elétrico do Painel Principal 2/4.	92

Figura 78 – Diagrama Elétrico do Painel Principal 3/4.	93
Figura 79 – Diagrama Elétrico do Painel Principal 4/4.	94
Figura 80 – Diagrama Elétrico do Painel Secundário 1/2	95
Figura 81 – Diagrama Elétrico do Painel Secundário 2/2	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de componentes e estruturas	27
Tabela 2 – Tabela de componentes do painel principal.	48
Tabela 3 – Tabela de componentes do painel secundário.	48
Tabela 4 – Tabela dos componentes	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
CLP	Controlador Lógico Progrmável
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
IHM	Interface Homem-Máquina
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
IOT	Internet das Coisas
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
IA	Inteligência Artificial
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
APP	Aplicativo
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
I/O	<i>Input/Output</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UI/UX	<i>User Interface/ User Experience</i>
POU	<i>Program Organization Units</i>
NVL	<i>Network Variable List</i>
PTE	<i>Plant treatment Effluent</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Degradação do meio ambiente e reservas hídricas	14
1.2	Mitigação do problema	15
1.3	Automação	17
1.4	Objetivos	18
1.4.1	<i>Objetivo geral</i>	18
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.5	Justificativa	19
1.6	Organização do trabalho	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Introdução	20
2.2	Estações de tratamento automatizadas	20
2.3	Automação e sua diversidade	22
3	CONTEXTUALIZAÇÃO	26
3.1	ETE	26
3.2	Estrutura e processos da ETE	26
3.2.1	<i>Equipamentos e estruturas</i>	26
3.2.2	<i>Processos</i>	28
3.3	Funcionamento manual	31
4	METODOLOGIA	36
4.1	Componentes usados	36
4.1.1	<i>Não integrados</i>	37
4.1.2	<i>Integrados</i>	46
4.2	Desenvolvimento	52
4.2.1	<i>Implementação</i>	53
4.2.2	<i>Codesys</i>	54
4.2.3	<i>Programa</i>	55
5	RESULTADOS	77
6	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	86

Referências Gerais	88
APÊNDICE A – DIAGRAMA ELÉTRICO DO PAINEL PRINCIPAL	91
APÊNDICE B – DIAGRAMA ELÉTRICO DO PAINEL SECUNDÁRIO	95

1 INTRODUÇÃO

1.1 Degradação do meio ambiente e reservas hídricas

Segundo Castanho (2008), a primeira revolução industrial teve sua origem na Inglaterra por volta de 1780. É inegável o entendimento de sua importância para a evolução da sociedade, porém, ela foi responsável por diversas mudanças naquela época, desde estruturas familiares até o meio ambiente. A partir dela, houve não apenas o surgimento de máquinas, mas sim a produção fabril através de fábricas, como diz Lima e Neto (2017).

A entidade "Fábrica" é um fator muito importante no contexto da poluição, já que existe o entendimento de que nesta época iniciou-se uma grande mudança no planeta. Para Poot e Estrela (2017), a partir da metade do século XX, a humanidade começou a perceber os impactos negativos da poluição, seja ela em qual aspecto do planeta for.

A indústria gera vários focos de poluentes, independentemente do seu ramo de produção. Antes dos primeiros acordos e legislações impostos, é possível listar facilmente possíveis ações poluentes por parte delas.

O fato do desconhecimento do ser humano sobre os impactos que seriam causados ajudou a alimentar todo o processo de poluição em massa até o século XX. Apenas dois séculos separam o início da desenfreada degradação do meio ambiente e o retorno do mal feito perceptível pelo ser humano.

Para Luz (2010), as atividades industriais desencadeiam diversos problemas ao meio ambiente, onde, por vezes, o ser humano, através da indústria, tende a poluir rios, mares e lagos com efluentes poluídos. Na grande maioria dos casos, o meio ambiente não consegue processar tais impurezas naturalmente, e, juntamente com isso, o próprio ser humano acaba necessitando de água de qualidade potável.

Por mais que a superfície do planeta Terra conte com a maior porção de si contemplada por águas, vale ressaltar que uma parte ínfima delas é passível de ser consumida pelo ser humano.

No Brasil, segundo Nazo e Mukai (2010), existe decreto do governo brasileiro nº 50.877, de 29/06/1961, que definia um parâmetro para considerar um ambiente aquático poluído, a saber:

“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas, que possam importar em prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações e ainda comprometer sua utilização para fins agrícolas, industriais, comerciais e, principalmente, a existência normal da fauna aquática”.

Para Cubas (2009), a poluição da água pode ser acarretada de duas formas: resíduos orgânicos e inorgânicos. Dentre os dois tipos de resíduos poluentes citados, as indústrias geram os inorgânicos. De acordo com Oliveira e Henkes (2013), um resíduo orgânico é em sua maioria

fruto de animais, vegetais e esgoto doméstico, sendo eles biodegradáveis. Isso significa que o resíduo é destruído por microrganismos, mas tais microrganismos, para realizar o processo, necessitam de uma grande quantidade de oxigênio, consumindo boa parte existente na água e afetando a sobrevivência de outros organismos aquáticos. Já os resíduos chamados de inorgânicos são gerados pelas indústrias e não se decompõem naturalmente, necessitando de tratamento físico-químico. O resíduo inorgânico é capaz de prejudicar, matar e intoxicar a fauna e flora atingida.

A raça humana é sempre diversa e surpreende em vários pontos e aspectos. Juntamente com esse período de degradação do planeta, alguns indivíduos provavelmente já entendiam a necessidade de procurar formas alternativas para diminuir o estrago que estava sendo causado.

De acordo com Morita (2010), em 1740, efluentes, isto é, um resíduo que advém de atividades humanas, seriam submetidos ao primeiro tratamento físico-químico descrito na história. Até o início do século XX, várias patentes relacionadas ao assunto foram registradas.

1.2 Mitigação do problema

Com a evolução da sociedade, foram criadas infraestruturas com várias finalidades para suportar as demandas modernas. Durante muito tempo, empresas e indivíduos depositavam seus resíduos diretamente em rios e lagos próximos às suas localizações. No entanto, com a criação dessas infraestruturas, órgãos fiscalizadores e empresas responsáveis surgiram, fazendo cumprir decretos e legislações criadas para frear a degradação do meio ambiente.

Uma dessas estruturas possibilita o escoamento de fluidos residenciais e industriais: o esgotamento sanitário. Para fazer uso de tal estrutura com o intuito de eliminar seus efluentes, a fábrica deve estar de acordo com as exigências dos órgãos, empresas envolvidos e órgãos públicos. Um desses órgãos brasileiros é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que dispõe de um documento chamado "Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário", o qual emprega normas para a disposição desses efluentes.

Segundo NBR (1987), NBR9800, item 2.2 efluentes industriais são considerados:

“ Despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial.”

Tais efluentes segundo o item 4.3 da norma, cita que:

“proveniente de diferentes áreas de processamento ou em conjunto devem, a critério dos órgãos controlador e operador, ser submetidos a tratamento específico, devendo-se atingir, após este, para cada área de processamento ou no conjunto, os valores recomendados em 4.2.”.

O item 4.2 aponta que, na tabela referida no documento, existem valores limites dos parâmetros básicos a serem seguidos pelos efluentes líquidos industriais no momento de seu lançamento no esgotamento público. Além disso, em seus subitens, há informações de que os limites podem ser alterados pelo órgão controlador e outros parâmetros de análise também podem ser sugeridos.

O subitem 4.2.3 descreve um importante passo a ser seguido pelas indústrias, veja:

4.2.3 "Efluentes líquidos industriais altamente tóxicos devem ser, a critério dos órgãos controlador e operador, submetidos a tratamento específico, devendo-se atingir, após este, os valores recomendados em ”..

O trecho do item 4.2.3 da norma enfatiza o seguinte argumento: "ser submetidos a tratamento específico".

Com a obrigação de dispor de mecanismos de tratamento específico para os seus efluentes produzidos, as fábricas viram-se obrigadas a ter uma estrutura que pudesse cumprir esse objetivo.

Um desses mecanismos desenvolvidos pela indústria para efetuar o tratamento dos efluentes é a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Segundo TCHOBANOGLOUS (2003), a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) é tratada como uma localidade onde ocorrem processos físicos, químicos ou biológicos, podendo ocorrer os três sequencialmente. Dessa forma, a ideia é garantir a segurança e a eficiência na descontaminação dos efluentes.

Um tratamento físico e químico é interconectado de forma que, na citação, ambos denominam o tratamento físico-químico. O tratamento relaciona os processos físicos, como tratamento de águas residuárias, com a aplicação de fenômenos naturais físicos: resfriamento, floculação, decantação, filtração e outros. Já o tratamento químico provém de processos que utilizam-se de produtos químicos ou de reações e interações químicas, sendo eles: correção de pH, precipitação, oxidação, redução, coagulação e outros, de acordo com Nunes (2001).

Para Siegle *et al.* (2012), ao estruturar uma estação de tratamento de efluentes, o primeiro passo é entender todas as características do fluido tratado, baseando-se também nas informações como as legislações e órgãos reguladores.

Com o advento de todo o empenho de governos e órgãos responsáveis por monitorar e fiscalizar tais processos industriais, entende-se que hoje há uma conscientização por parte de todos de que o meio ambiente, principalmente os recursos hídricos, são limitados e necessitam de cuidado e respeito.

1.3 Automação

Todos seguimentos dentro da industria sofreram mudanças e atualizações ao longo de todas as revoluções industriais. Em tempos atuais o mundo atravessa a quarta revolução industrial, ou também comumente chamada de indústria 4.0. A automação no ramo industrial começou a se expandir no período da terceira revolução industrial, com a introdução de transistores e a diminuição dos componentes eletrônicos como sensores.

Conforme Silveira e Lima (2003), a automação pode ser definida como o conjunto de informações e técnicas que, em conjunto, transformam todo e qualquer processo e serviço manual em autônomo, visando preservar e substituir o esforço humano.

automação pode ser definida como o aglomerado de informações e técnicas que em conjunto transformam todo e qualquer processo manual em autonomo.

Para Costa *et al.* 2003, os motivos de uma automação dentro de uma industria ocorrem por que:

“ Quando uma indústria decide por automatizar suas funções, ela procura alcançar certos objetivos, que constituem os benefícios oferecidos por essa modernização do processo de produção. A qualidade, ou seja, fabricação em faixas de tolerância a erros mais estreitas, utilizando um controle de qualidade eficiente. A segurança, a flexibilidade e o aumento de produtividade em relação a disposição humana.”

Comumente ligado à automação dentro da indústria, vemos associar quase sempre a ele o termo controle. No contexto acima, controle, segundo Dorf (1998), é definido como uma interconexão de componentes formando uma configuração de sistema que produzirá uma resposta desejada ao sistema. O sistema de controle pode ser definido como de malha aberta ou malha fechada.

Dorf (1998) diz que "Um sistema de controle a malha aberta utiliza um dispositivo de atuação para controlar diretamente o processo sem usar retroação. Já um sistema de controle de malha fechada utiliza uma medida adicional da saída para comparar a medida real com a resposta desejada."

Figura 1 – Controle de malha aberta.

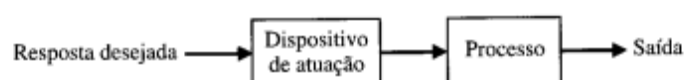
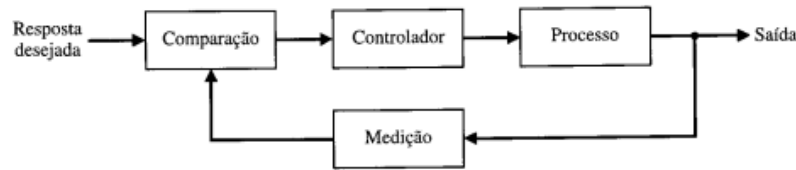


Figura 2 – Controle de malha fechada.



Fonte:(DORF, 1998).

O trabalho aqui disposto faz uso de uma automação com sistemas de controle de malha fechada, que consiste na ideia real de monitorar todo o processo efetuado pela automação. Em conjunto com isso, é importante enfatizar que a apresentação terá seu foco maior no desenvolvimento do programa de controle do processo, trazendo assim uma explicação mais sucinta sobre o conjunto restante do processo.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo geral*

O projeto aqui estabelecido visa automatizar uma estação de tratamento de efluentes atualmente manual, resultando em um aumento da capacidade de tratamento dos fluidos gerados pela empresa.

1.4.2 *Objetivos específicos*

Com o intuito de cumprir com o objetivo geral proposto, foram traçados os seguintes objetivos específicos para o projeto:

- Controle de nível dos tanques: Controlar o nível por meio de sensores boias dos tanques que circular o fluido.
- Controle da motobomba: Controlar o acionamento da motobomba através do CLP.
- Controle e manipulação do pH: Acontecerá através do tratamento dos dados do sensor de pH e a determinação de como será utilizado os produtos químicos nesta fase do processo.
- Acionamento do filtro-prensa: O controle da mesma acontecerá por meio de algumas válvulas solenoides que farão com que seja possível seu acionamento.
- Controle de válvulas direcionais: As válvulas direcionais farão o direcionamento do fluido a partir dos tanques .
- Controle de válvula específica: Válvula multidirecional de controle específico para modos do filtro de areia.

- Controle, processamento e programação dos controladores: Aqui é o estudo, entendimento e aplicação dos conhecimentos adquiridos para a criação da rotina de controle que será efetuada pelo controlador.
- Montagem, programação e supervisionamento da IHM: Gerar um programa de acompanhamento do processo em tempo real com todas as variáveis.

1.5 Justificativa

O ciclo de tratamento de uma ETE industrial demanda um colaborador em momentos muito específicos do processo. Isso muitas vezes acaba gerando custos adicionais para a empresa, uma vez que, em parte do ciclo completo de tratamento, o colaborador fica muito tempo ocioso à espera da finalização do processo.

No período em que a ETE foi instalada para o tratamento dos efluentes da empresa, o volume de fluidos escoantes era bem menor em comparação ao que se tornou atualmente. A quantidade manual tratada é de cerca de 800 litros/dia por batelada. Para suportar a nova capacidade de fluidos gerados, haviam dois caminhos a serem escolhidos para a solução do problema: uma expansão para uma maior quantidade de tratamento de fluidos por ciclo ou o aumento de tratamentos diários.

Para um projeto de expansão, o local situado da ETE não comportaria o espaço físico necessário para os equipamentos. Desta forma, foi escolhida a segunda opção. Um aumento de tratamentos diários em modo de operação manual geraria um custo fixo de colaboradores em 3 turnos, muito alto, ressaltando a circunstância do tempo obsoleto de todos. Desta maneira, a implementação de um processo autônomo torna-se viável a partir de uma análise de custo de construção e custos fixos, tornando este trabalho realidade. Desta forma alcançando o novo volume mínimo desejado de tratamento de 3000 litros/dias necessários.

1.6 Organização do trabalho

A apresentação da solução está dividida em quatro partes. A primeira delas foi o entendimento da demanda de trabalho encaminhada da diretoria da empresa.

A segunda se deu pelo estudo do processo já implementado da ETE. Para isso foi feito um acompanhamento de alguns dias de processo, para entender o ciclo a ser percorrido pelo fluido e a influência do operador neste processo. Assim pode ser constatado os pontos em que necessitaria haver substituição de componentes, troca e inserção de outros.

A terceira foi estudar os componentes que substituiriam os atuais para tornar o funcionamento do processo autônomo. Isso inclui o CLP e IHM utilizados.

A quarta se deu pela estruturação geral do programa, programação e montagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Para o público não pertencente à área da indústria e tecnologia, a palavra automação começou a ganhar um sentido de pertencimento verdadeiro na última década. Isso se deu pela expansão da internet, que causou um impacto no cotidiano da massa. Mas a verdade é que o uso da automação na indústria vem desde o século passado. Segundo Rosario (2012), a automação se introduziu na indústria na parte de máquinas em meados dos anos 50, em processos que necessitavam de controle e monitoramento pneumático e elétrico. Um exemplo foram as máquinas de comandos numéricos.

Desta forma, entende-se que o uso atual da automação, com os avanços tecnológicos, se tornou mais viável financeiramente, necessário e útil, não só nas indústrias. A aplicação deste trabalho usou técnicas, inovações e automação para tornar um processo de tratamento de efluentes autônomo e mais produtivo. .

2.2 Estações de tratamento automatizadas

O processo de automação de uma estação de tratamento de efluentes não é único a este trabalho e nem será o primeiro no mercado. O autor Neto e Areco (2012), por exemplo, usou a seu favor a automação para tornar processos de tratamento de água de poços artesanais mais confiáveis e dinâmicos. Ele fez um mapeamento do processo que haveria de ser feito no tratamento da água e utilizou equipamentos para gerenciamento e automação dos mesmos. O processo foi dividido em duas etapas: Cloração e Correção do pH da água. Em ambas, foram usados dois dispositivos de controle e autonomia: Bomba dosadora e Controlador de pH. O controlador de pH consiste em uma junção de uma ponta de prova, que, adicionada ao fluido, realiza o sensoriamento por meio eletrônico, transmitindo as informações para o controlador que trata os dados e aponta o valor correto do pH. Já a bomba dosadora consiste em um atuador que, após receber um comando, efetua a injeção de fluidos químicos no fluido tratado. Isso acontece a partir de um mecanismo semelhante a um diafragma.

Silva (2017) trouxe em seu trabalho uma estruturação mais robusta de automação, com mais conceitos e tecnologias integradas. Em seu caso, uma estação de tratamento de água purificada já existia em uma indústria farmacêutica, onde foi feita a adequação. O processo, neste caso, era dividido em 5 partes: Dosagem de cloro, Deionizador, Osmose Reversa, Radiação UV e Armazenamento e reciclagem. Unindo todas elas, foi feita a utilização de CLP para o processamento de tomada de decisões lógicas no processo; IHM para visualização e monitoramento do processo; Uma rede de comunicação industrial para integração dos componentes, sendo utilizado o protocolo *Modbus TCP/IP*; *Inputs* como periférico de leitura de pH e botões; *Outputs* com válvulas e bombas.

Como um dos benefícios oferecidos pela automação da estação, segundo o próprio Silva (2017), com apenas essas implementações conseguiu-se diminuir o número de horas extras dos operadores, economizar insumos e diminuir desperdício de matéria-prima (água).

Ainda continuando em processos de automação de estações de tratamento, Rogerio e Ferraz (2014) desenvolveu um trabalho de estudo sobre uma implementação complexa e mais bem estruturada do que a supracitada. Esta consistiu em uma automação de uma estação de tratamento de efluentes voltada a uma parte da população da cidade de Bertiooga. Neste caso, em exclusivo, a automação se tornou a única solução viável que alcançaria com êxito os objetivos estimados. Por se tratar de um processo muito grande, a inserção de trabalhadores seria algo custoso e oneroso, fazendo-se necessária a utilização de elementos que tornaram o processo autônomo. Válvulas de controle de fluxo, sensores de monitoramento, atuadores, dentre outros equipamentos, fizeram parte do desenvolvimento deste sistema de automação, que por sua vez, comportava um servidor responsável por armazenar todos os dados do processo que ficavam salvos por até 5 anos. Um dado importante a ser citado que exemplifica a dimensão física do processo é que pelo menos 1.250 variáveis do processo foram monitoradas, das 1.900 existentes. Também contando com um processo de telemetria para transcrição dos dados.

A automação dentro do contexto industrial trata-se de um meio ágil, seguro e confiável para a obtenção de objetivos. Com o advento da tecnologia crescendo exponencialmente, equipamentos tornam-se ultrapassados com poucos anos de uso, dando lugar a outros com funcionalidades ainda mais eficazes e diversificadas. Fritz (2017), em seu projeto, em vez de automatizar uma estação de tratamento, propôs algumas melhorias na automação já existente. A premissa de melhoria usada por ele foi a de tornar o processo ainda mais autônomo para evitar falhas humanas. Em uma das melhorias feitas, na implementação anterior de automação do processo da ETE, um operador ainda era responsável diariamente por alterar o posicionamento de válvulas para eliminar o excesso de lodo para o tanque digestor aeróbio de lodo, de forma manual. Com a melhoria a partir da adequação de um CLP utilizando a linguagem *Ladder* em conjunto com uma válvula controladora de fluxo autônoma, o processo citado como responsabilidade do operador passa a ser feito de uma forma automática e muito mais eficiente. Este controle é feito a partir da integração dos componentes e um programa dedicado ao posicionamento da válvula de acordo com parâmetros pré-estabelecidos.

Utilizando a mesma justificativa de Fritz (2017), Mello (2018) inseriu automação em uma estação de tratamento de água de uma empresa de papel, onde o processo era manual desde a década de 50. Neste ramo, a utilização do recurso hídrico em seu processo de produção é muito importante. A falha humana na operação do tratamento gera problemas graves ao funcionamento como um todo da empresa, desde a linha de processos gerais até os finais. Um exemplo é a parada do maquinário por falta de abastecimento de água. Utilizando sensores de nível ultrassônicos, sensor de nível boia, atuador elétrico de válvulas, válvulas de controle e mais, o projeto conseguiu estruturar um Sistema Digital de Controle a Distância – (SDCD). A SDCD teve o intuito de

possibilitar o controle do processo em dias não úteis de trabalho. A ênfase maior de Mello (2018) em sua conclusão foi a parte financeira do projeto. Em seu cálculo, fica comprovado que com menos de 10 meses de funcionamento, o sistema autônomo custeava seu valor investido, isso porque o valor de permanência de todos os funcionários na ETA era extremamente alto.

Aragão *et al.* (2022) demonstra em seu trabalho um projeto completo de captação e armazenamento de água bruta, tratamento químico e armazenamento do fluido tratado e distribuição. A estrutura da automação em si segue os mesmos parâmetros dos outros trabalhos antes citados, utilizando CLP, IHM, rede de comunicação *Modbus*, válvulas de controle de fluxo autônoma e outros equipamentos já citados. Em geral, quando estabelecido um caminho para o desenvolvimento de uma aplicação como essa, em resumo, projetos póstumos e do mesmo período levam bastante semelhanças entre si. Isso acontece porque o princípio de funcionamento segue os mesmos parâmetros.

Um exemplo de como a automação, ao longo dos anos, se tornou viável financeiramente e democrática, são os projetos embarcados que utilizam dispositivos de menor porte e custo para automatizar, controlar e supervisionar processos. O projeto de Melo *et al.* (2022) consiste no desenvolvimento de um protótipo de uma estação de tratamento, onde o volume do tanque é monitorado por um sensor ultrassônico de baixo custo, que, por sua vez, é controlado por um microcontrolador Arduino. Nesse protótipo, foram usados dois recipientes que simulam os tanques, integrando o processo via ESP8266 para acesso remoto, caracterizando assim um projeto *IOT*.

Nobre (2018) parte da mesma ideia que o autor anterior utilizou para comprovar que a utilização de componentes de baixo custo para automação, conseguem entregar resultados satisfatórios, a ponto, de alguns casos deixarem de utilizar componentes industriais robustos para utilizá-los. Nobre (2018) desenvolveu uma prova de conceito para um sistema de automação de estação de tratamento de esgotos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Em seu trabalho, o mesmo decidiu introduzir o conceito de *IOT*, implementando um servidor web programado em *Node.js* aportando-se a parte de hardware em um microcontrolador ESP32 para interface de comunicação com os equipamentos já existentes na ETE. Também assim como alguns autores anteriores, o trabalho utilizou a rede de comunicação *Modbus* para interfaceamento dos equipamentos. E com a intenção de analisar os dados da ETE, utilizou-se um banco de dados não-relacional para armazenamento dos dados. O trabalho foi constituído com a justificativa de entregar um sistema de monitoramento do nível da Calha *Parshall* e do monitoramento e atuação dos aeradores.

2.3 Automação e sua diversidade

Os projetos citados anteriormente evidenciam qual é a dimensão da importância da automação para processos robustos, repetitivos e de grandes dimensões. Atualmente, a automação

ultrapassou as barreiras sociais e universos que antes se pensava serem inatingíveis. Isso ocorre visto que agora são afetados diretamente, e não mais indiretamente como antes.

Automações residenciais, *Chatbots*, Cirurgias robóticas, Carros autônomos, inteligência artificial, todas essas áreas se beneficiaram ou são derivadas diretamente da automação clássica. Diante disso, como este trabalho se estrutura nela, nada mais justo do que trazer uma revisão de projetos autônomos atuais fora do processo fabril/maquinário da indústria.

Assim como o exemplo de alguns processos de automação de estações de tratamento que são considerados fora do processo fabril/maquinário, podem ser encontrados exemplos bem atuais de automação de processos em setores que não são considerados "Chão de Fábrica". Aires *et al.* (2019) apresenta um estudo de pesquisa bibliográfica sobre inteligência artificial e suas técnicas que podem ser usadas e já estão sendo aplicadas no campo da gestão de estoque industrial. O estudo aborda técnicas como *Deep Learning*, *Machine Learning* e Redes Neurais, e também fornece um referencial de aplicação dessas técnicas em uma indústria de logística. A aplicação prática foi realizada pela empresa DHL (Dalsey, Hillblom & Lynn), que utilizou um algoritmo de previsão com base nos dados coletados pela plataforma de streaming *YouTube* para antecipar a intenção de compra do público em relação a um determinado produto. Isso permitiu que eles organizassem e dimensionassem adequadamente sua frota com antecedência.

Outro exemplo de um setor de automação que está experimentando um crescimento significativo e uma proximidade notável com o público em geral é a Domótica, mais conhecida como automação residencial. Comercialmente, a área da domótica possui muitos dispositivos desenvolvidos por empresas e setores dedicados a esse campo. A Alexa é um bom exemplo, uma assistente virtual integrada com IA voltada para automação residencial. Além disso, existem diversos trabalhos voltados para esse setor que utilizam dispositivos teoricamente desenvolvidos para a indústria ou sistemas embarcados.

O autor Doering e Carmo (2020) fez um trabalho em forma de estudo que traz um pouco desta área de prototipagem de dispositivos industriais voltados à Domótica. Ele aponta como é possível o desenvolvimento de projetos abordando conceitos de IA, um termo que está muito em alta depois do *ChatGPT* ser lançado, um chatbot baseado em rede generativa. Ele também aponta o conceito de *IOT* para esse tipo de projeto, juntamente com os protocolos de comunicação que dão vida a ele, como o *Zigbee*, *Wi-Fi* e *LoRa*.

O autor Cardozo e Ferreira (2023) traz um trabalho muito semelhante ao anterior, porém, abordando diretamente os dispositivos de hardware usados para o desenvolvimento e seus conceitos gerais. Ele apresenta a ideia de microcontrolador com Arduino e sua funcionalidade em um projeto desse porte. Aponta um protocolo de comunicação específico usado nos projetos, *Wi-Fi*, e suas normas internacionais de trabalho. Ele trouxe uma solução de conexão à internet para o Arduino, com o módulo Wi-Fi ESP8266, contextualizando uma possível implementação de um servidor no projeto. E, por fim, o aplicativo Blynk que pode ser usado para controle e monitoramento do processo via smartphone.

O autor Cunha (2018) faz algo parecido com os dois autores anteriores, porém, de forma mais ampla e incisiva. Ele traz em seu trabalho de pesquisa bibliográfica os temas de inteligência artificial, *IOT* e Domótica inteligente. No desenvolvimento da proposta de residência inteligente, foram abrangidos as ferramentas possíveis de utilização, sensores de forma bem completa, como: sensores de temperatura; de potência elétrica; magnéticos; químicos; de movimento; de som; luz, entre outras categorias. Os atuadores com possíveis utilizações, como, eletroímãs, pneumáticos, fechaduras com bobinas e outros. Também os controladores e placas integradas que poderiam ser usadas, uma delas é a brasileira FreeDuino.

Rocha e Anhesine (2020) desenvolveu um sistema integrado caracterizado como sistema embarcado de controle e monitoramento residencial. O projeto foi desenvolvido com o intuito de controlar, por meio de comandos de voz, via wireless, as lâmpadas da casa. Além disso, o sistema monitora a residência por meio de sensores de incêndio e vazamento de gás. Tudo isso é realizado usando um microcontrolador ESP8266 configurado como um servidor web para receber e processar comandos a partir do smartphone. Segundo o próprio Rocha e Anhesine (2020), quando o usuário realiza um acionamento por comando de voz, o smartphone envia uma requisição para o servidor, que, por sua vez, processa as informações e atualiza sua página web, notificando o usuário por meio da tela do smartphone se a requisição foi bem-sucedida e se há algum risco de incêndio ou vazamento de gás em sua residência. Para monitorar a presença de gás em um ambiente, foi utilizado o sensor MQ-2, juntamente com o sensor KY-026 para a detecção de chamas.

Santos e Junior (2019) foi capaz de desenvolver um sistema um pouco mais complexo, porém, abordando a premissa de automação de baixo custo com dispositivos de prototipagem. Em geral, o intuito dele foi controlar o acionamento de cargas espalhadas pela casa, utilizando uma rede de comunicação Wi-Fi para controle, assim como os outros, via smartphone. Foi automatizado um ambiente com 56m² de área, com um total de 5 cômodos, sendo sala, cozinha, banheiro e 2 quartos. Usando um ESP32 como microcontrolador para receber e processar as informações, Santos e Junior (2019) criou para a sala de estar um controle da lâmpada de LED e monitoramento de presença na porta de entrada, com alarme sonoro e alerta no supervisório. Na cozinha, banheiro e quartos, foi feito apenas o controle da lâmpada de iluminação de LED. Por fim, na parte externa, o controle da lâmpada de iluminação em LED por meio de um sensor de luminosidade e acionamento do portão elétrico.

O trabalho acima citado trouxe a ideia de que o controle de muitas variáveis e processos residenciais era possível, assim como na indústria. Assim, Silva e Miranda (2018) desenvolveu uma prova de conceito que simulava um ambiente virtual de um recinto onde foram planejadas várias automações de acordo com a demanda de cada processo.

Com a apresentação de tais trabalhos, é claramente visível que a Domótica está presente como um ramo da automação fora do processo fabril/maquinário. Além disso, é perceptível a utilização de técnicas de IA nos processos de automação residencial, porém, essa não é de

longe a única área onde elas são aplicadas. Com as aplicações que serão citadas a seguir, pode-se compreender o motivo da disseminação do uso de IA em diversas áreas do cotidiano das pessoas, uma vez que ela possui um grande poder de análise e interpretação de dados.

Parreiras *et al.* (2022) apresenta uma implementação de IA aplicada em um processo administrativo de um órgão público. A iniciativa foi desenvolvida visando sua aplicação em prol da Defensoria Pública do Estado do Rio de Janeiro. Denominada CICIAR (Caixa de Intimação com Inteligência Artificial), esta IA foi criada com o intuito de auxiliar defensores públicos a tratar e priorizar o atendimento das intimações recebidas por uma plataforma digital do órgão. O CICIAR categoriza as intimações sem ter acesso ao conteúdo por elas portadas, facilitando e automatizando tal processo, trazendo uma dinâmica ágil para o planejamento do órgão. A complexidade apresentada pelo departamento responsável por essas análises manuais dos documentos era na casa de aproximadamente 107.000 intimações por mês. O processo de IA implementado, automatizado utilizando as técnicas de Processamento de Linguagem Natural (NLP) e *Deep Learning*, recebeu inúmeras respostas positivas e hoje é usado em mais de 200 órgãos.

Aplicada agora na área da saúde, Braga *et al.* (2019) traz em seu trabalho uma análise de um conjunto de projetos no campo da medicina que utilizaram IA, a fim de tornar procedimentos e diagnósticos muito mais precisos e confiáveis. Um dos projetos analisados no artigo foi na área de cardiologia. Um estudo realizado por vários doutores, incluindo Zellweger M. J., utilizando a técnica de *Machine Learning* no algoritmo Basel-MPA, mostrou ser possível distinguir pacientes que portavam ou não angiografia documentada de doença arterial coronariana. Esse desenvolvimento economizou um enorme investimento em ferramentas utilizadas para diagnósticos, que poderiam ser altamente invasivas, mesmo em pacientes com pouquíssimo risco de doenças arteriais.

Já Stamboroski *et al.* (2019) desenvolveu um protótipo de sistema embarcado utilizando IA. O sistema foi projetado para reconhecer um rosto por meio de reconhecimento facial. O trabalho utiliza a linguagem *Python* para desenvolver um programa que, a partir de um periférico de captura de imagem como uma *webcam*, transfere a imagem para um *hardware*, que fará a análise das imagens. Essa premissa é amplamente difundida hoje em vários setores da sociedade, com empresas desenvolvendo fechaduras residenciais com liberação facial, sistemas de monitoramento de fugitivos pela polícia, controle de ponto em empresas e várias outras utilizações.

Com a revisão destes autores, é fácil entender como a automação está cada vez mais associada como uma ferramenta versátil, barata, eficaz e confiável. Além disso, eles mostraram que a automação hoje rompe fronteiras antes imagináveis e consegue trazer conforto, segurança e confiabilidade para todos os ramos da sociedade.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1 ETE

A empresa responsável pelo o projeto de implementação da ETE autônoma atende pelo nome de GEOSOL. Esta empresa foi fundada no ano de 1953 pelo então Engenheiro Civil e de Minas Victor Dequech, com o propósito de prestar serviços de sondagem em minas de carvão mineral no sul do Brasil. Algumas décadas depois, bem consolidada no mercado, a GEOSOL se expande de forma considerável após muitas companhias importantes começarem a terceirizar seus serviços de sondagem. Esse crescimento não parou por aí, e hoje a GEOSOL é considerada o maior player no mercado de geologia e sondagem no Brasil.

Assim como qualquer empresa de grande porte, a GEOSOL é estruturada por setores, sendo um deles na sede, a Oficina de manutenção. Esta oficina é responsável por aportar o maquinário usado na frente de serviço da empresa, executar manutenções preventivas, preditivas e inspeções de rotina. Vale salientar que o local de trabalho em campo dessas máquinas é ambiente de mina, então a inserção delas nesses locais expõe as mesmas a materiais como minério. Denomina-se o nome de Sondas Perfuratrizes às máquinas responsáveis pela operação. Ao adentrar à oficina, esses equipamentos passam por um setor de lavagem antes de seguir para os devidos processos estabelecidos a elas. O setor de lavagem, em seu lavatório, retira as partículas de minério, combustíveis, lamas, diversos tipos de solos, lubrificantes e outros agentes fixados a ela. Associado à água utilizada, são utilizados produtos químicos para a remoção dos itens citados anteriormente. Assim como visto ao longo deste trabalho, existem normas para o descarte deste efluente industrial contaminado gerado pela empresa, e por isso ela conta com uma ETE.

3.2 Estrutura e processos da ETE

A figura 3 mostra uma visão geral da ETE instalada, sendo possível também pela figura 4 visualizar seu diagrama de funcionamento. Com elas é possível situar-se em questão da implementação física do processo.

3.2.1 Equipamentos e estruturas

Antes de destrinchar o funcionamento da ETE é de suma importância entender quais são os principais equipamentos e estruturas que fazem parte do processo e suas funções. Veja na Tabela 1, os itens que compõem a montagem da ETE.

Os itens citados na tabela 1 em conjunto são responsáveis por dar vida ao processo de tratamento do efluente contaminado. Dentro de um processo tão específico quanto a ETE, existem alguns equipamentos não muito usuais e rotineiros, como o filtro prensa, veja na figura 5.

Tabela 1 – Tabela de componentes e estruturas

Principais equipamentos e estruturas	
Item	Descrição
Tanque Subterrâneo 1	Local destinado ao armazenamento do efluente que vem direto do lavador.
Motobomba Água/Óleo	Faz a transferência do fluido do tanque subterrâneo 1 para a caixa receptora de água e óleo.
Caixa Receptora	Armazena o fluido caracterizado por água e óleo.
Caixa separadora de Óleo	Faz a separação entre água e o óleo.
Válvulas direcionais manuais	Faz o controle e o direcionamento do fluido.
Motobomba 1	Transfere o fluido do tanque subterrâneo 1 para o tanque de enchimento 1; Transfere o fluido do tanque de enchimento 1 para os tanques de circulação 1 e 2.
Tanque e enchimento 1	Armazena o fluido para o tratamento químico.
Tanques de circulação	Armazenam o fluido para o funcionamento do Filtro prensa.
Filtro prensa	Efetua a separação por meio físico, as partículas suspensa do fluido.
Tanque de areia	Responsável por gerar o contato do fluido com carvão, e gerar passagem para o tanque de enchimento 2.
Tanque de enchimento 2	Armazena o fluido para o tratamento do filtro de areia.
Motobomba tanque de areia	Responsável por fazer a circulação do fluido entre o filtro de areia e o tanque de enchimento 2.
Filtro de areia de piscina	Responsável por efetuar tratamento físico ao fluido.
Válvula do filtro de areia	Responsável por alterar os modos de operação do filtro de areia.

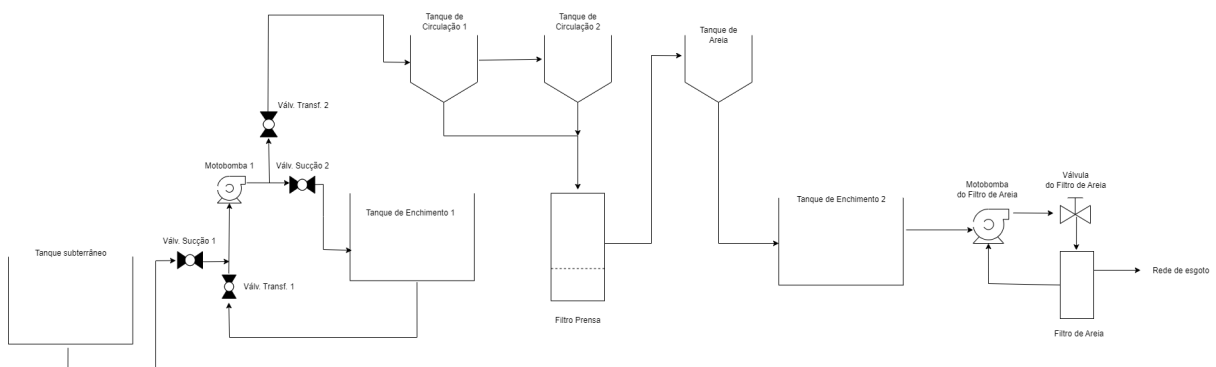
Fonte: Própria Autoria

Figura 3 – ETE.



Fonte: Própria Autoria

Figura 4 – Diagrama da ETE.



Fonte: Própria Autoria

3.2.2 Processos

O ciclo de tratamento estruturado pela equipe responsável por ter projetado a ETE em sua construção é disposto por bateladas. Segundo Matos, (2003) conforme Aziz e Mujjtaba (2002), Boqué e Smilde (1999), Cho e Kim (2003):

“um processo de produção em batelada consiste basicamente no carregamento de equipamentos padronizados, com quantidade das matérias-primas pré-definidas usando uma sequência específica.”

Diante da projeção da ETE, como um todo ela está dividida em 4 etapas, Veja na Figura 6.

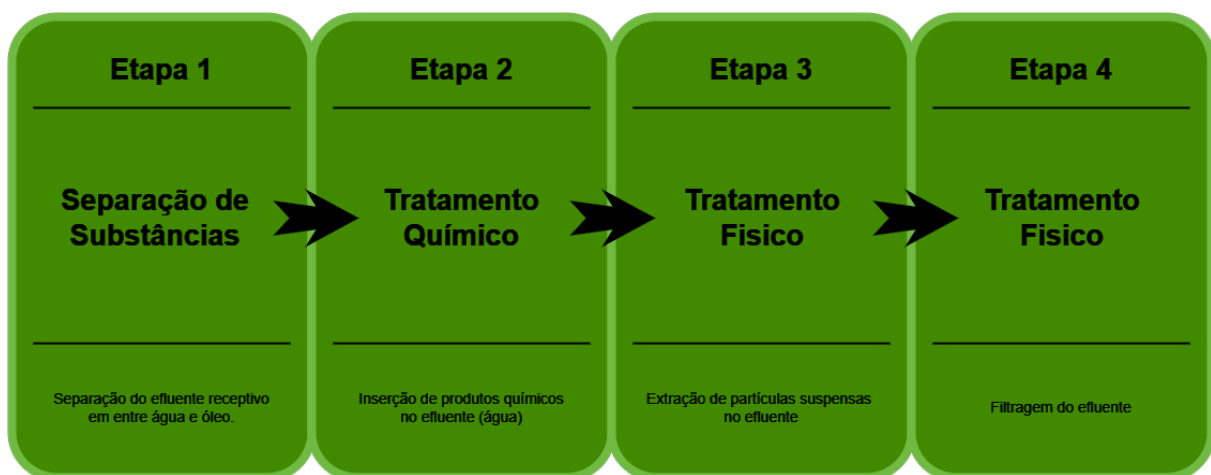
No entanto, a automação não abrangerá a primeira etapa de separação de substâncias, pois na sua construção, optou-se por automatizá-la. Ainda assim, é importante descrever o processo

Figura 5 – Filtro-prensa.



Fonte: Própria Autoria

Figura 6 – Etapas da ETE.



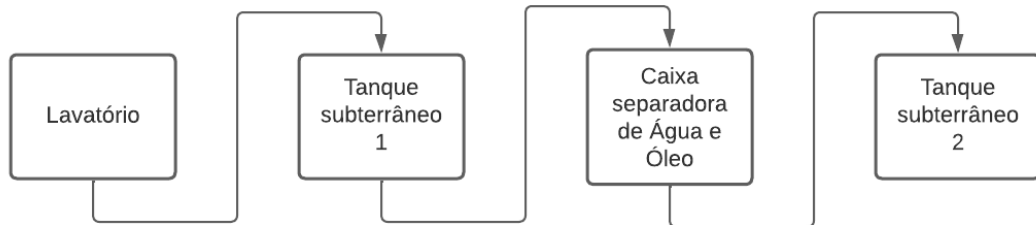
Fonte: Própria Autoria

como um todo para um melhor entendimento.

O processo completo de tratamento do efluente é definido da seguinte forma: o fluido ou efluente que sai do lavatório segue até sua primeira parada, o tanque subterrâneo 1. Este tanque subterrâneo conta com um sensor de nível que, quando acionado, ativa uma bomba, que transporta o fluido para a Caixa receptora de água e óleo. Após esse processo, o fluido é direcionado por meio da gravidade para a Caixa separadora de óleo, onde ocorre a separação entre a água e o óleo dentro do fluido. Neste caso, o fluido contaminado (água) segue para o tanque subterrâneo 2. Todos esses passos realizados pelo fluido fazem parte da primeira etapa do processo global.

Veja na ilustração 7 o fluxograma da etapa 1.

Figura 7 – Fluxograma Etapa 1.



Fonte: Própria Autoria

As três etapas explicadas a seguir completarão o ciclo restante de tratamento do efluente na ETE. O tanque subterrâneo 2 comporta o fluido vindo da etapa anterior, que por sua vez, por meio de uma bomba, é direcionado até o tanque de enchimento 1. Este tanque é responsável por armazenar o fluido enquanto ele passa pelo processo de tratamento químico. O tratamento é realizado utilizando três substâncias químicas sequencialmente.

A inserção dos dois primeiros produtos não é baseada na quantidade, mas sim em um ponto de controle. Eles são usados para regular o pH do fluido, e enquanto o pH não atinge o valor desejado, pequenas doses dos produtos são adicionadas. A título de curiosidade, os produtos são o *WDH61*, o *Cloreto férrico* e o *WD41P*. Dos três produtos, apenas o *WD41P* tem sua quantidade limitada a *1000 ml* por tratamento. Sua função principal é causar a floculação das partículas, separando os sólidos dos líquidos. Veja um exemplo em menor escala na figura 8.

Tendo seguido todas as aplicações dos produtos químicos separadamente, porém, de forma sequencial, utiliza-se a injeção de ar em alta pressão por um período de 10 minutos para concluir o tratamento. Essa sequência de passos encerra a etapa 2 do processo geral.

Com o fluido ainda no tanque de enchimento 1, transfere-se o mesmo para os tanques de circulação 1 e 2, utilizando a mesma bomba que o transferiu do tanque subterrâneo 2 para o tanque de enchimento 1. Os tanques de circulação são responsáveis por armazenar o fluido para iniciar o processo de funcionamento do filtro-prensa. O filtro-prensa realiza a sucção do fluido que está nos tanques de circulação com o objetivo de realizar a separação física das partículas suspensas no fluido. Essa separação ocorre porque tais partículas aderem às suas placas, enquanto o fluido consegue passar por elas. Ao fazer isso, o fluido, com ajuda da prensa, é transferido para o tanque de areia, concluindo a etapa 3 do processo global.

A etapa 4 consiste nos seguintes passos. O tanque de areia, apesar do nome, comporta apenas carvão, que entra em contato com o fluido. Este tanque tem a função de servir apenas como passagem para o fluido, que, por gravidade, ao passar por ele, é transferido para o tanque

Figura 8 – Reação WD41P.



Fonte: Própria Autoria

de enchimento 2. Este último tanque é responsável por armazenar o fluido enquanto ele é filtrado pelo filtro de areia de piscina. Para a filtragem ocorrer, é necessário que a bomba do filtro de areia succione o fluido, direcionando-o para dentro do filtro. Ao passar pelo filtro, ocorre o tratamento físico, e o fluido retorna para o tanque de enchimento 2 novamente. Após o processo transcorrer pelo tempo estimado, o fluido conclui seu ciclo e é direcionado pela válvula do filtro de areia para ser drenado na rede de esgoto.

3.3 Funcionamento manual

Para que todo o processo exemplificado acima ocorra com êxito, é necessário um operador treinado e específico para esta função. Isso ocorre porque o acionamento de todos os equipamentos que tornam possível o funcionamento completo do processo ocorre de forma manual, por meio de um painel elétrico/comando, diretamente nos equipamentos ou em periféricos que geram sua atuação. O operador fica responsável apenas pelas etapas 2, 3 e 4 do processo, já que a etapa 1, como citada acima, é automatizada. A etapa 2 do processo é onde ocorre a maior interação do operador, já que ele tem que realizar várias tarefas sequenciais.

Iniciando esta etapa, para que o fluido saia do tanque subterrâneo 2 e vá para o tanque de enchimento 1, o operador precisa primeiro liberar a passagem do fluido no caminho por meio de duas válvulas manuais de sucção e, no painel de elétrico/comando, representado na figura 9, ativar a chave para ligar a motobomba 1.

Nesta explicação, todos os passos realizados dentro de cada etapa serão subdivididos em

subetapas, a fim de facilitar o entendimento do leitor ao longo do trabalho. Sendo assim, o passo explicado anteriormente é caracterizado como subetapa 2.1.

Figura 9 – Painel de elétrico/comando.



Fonte: Própria Autoria

A fim de cumprir esta subetapa, o operador executa a tarefa de monitorar o nível de fluido no tanque de enchimento 1. Quando o fluido atinge um nível aceitável para seguir com as subetapas seguintes, o operador, por meio do painel elétrico/comando, desliga a motobomba 1 e interrompe a passagem do fluido ao fechar as duas válvulas de sucção, cumprindo a subetapa 2.1.

A inserção dos produtos químicos no fluido contido no tanque de enchimento 1 é realizada de forma manual pelo operador. Ele é responsável por preparar cada substância que será adicionada e, com a ajuda de um medidor de pH manual, verifica o ponto de controle definido do fluido após a adição de cada produto. O primeiro produto é adicionado em várias pequenas quantidades, e durante esses intervalos, o pH é verificado por meio de um dispositivo chamado 'fita de pH'. Esse dispositivo é composto por um estojo que contém materiais semelhantes a fitas, que mudam de cor ao entrar em contato com o fluido. A cor na fita deve ser comparada com o guia de cores fornecido no estojo, permitindo a verificação visual do valor, conforme ilustrado na figura 10.

O segundo produto é adicionado da mesma maneira que o anterior. Quanto ao terceiro produto, o operador, após prepará-lo, adiciona a quantidade necessária e ativa a mistura por meio de uma válvula manual, introduzindo ar pressurizado. Após o tempo determinado, o operador fecha a válvula, finalizando a etapa 2 e a sub etapa 2.2. Veja o fluxograma na figura 11.

O início da etapa 3 consiste na subetapa 3.1, que envolve a transferência do fluido do tanque de enchimento 1 para os tanques de circulação. O responsável deve liberar a passagem do fluido por meio das duas válvulas de transferência manuais e ligar a motobomba 1. Enquanto a transferência de fluido ocorre, ainda é tarefa do operador controlar o volume do fluido no

Figura 10 – Fita de pH.



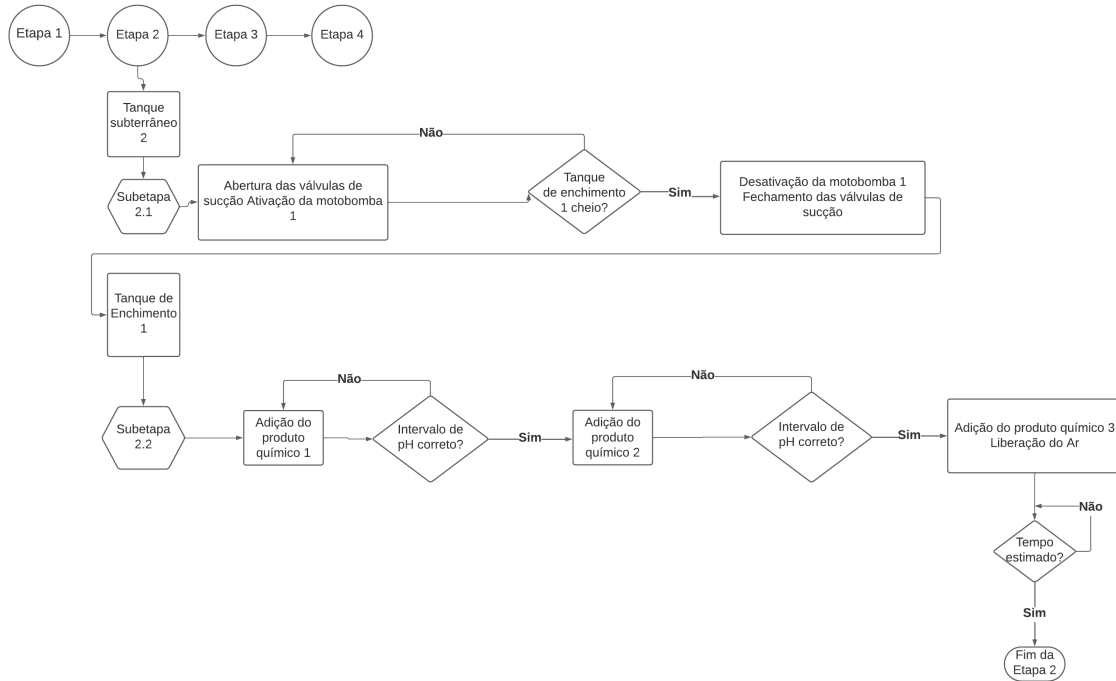
Fonte: Site Lamas Brew Shop

tanque de enchimento 1 para evitar que a motobomba trabalhe no vácuo. Isso ocorre porque a soma dos volumes dos tanques de circulação ultrapassa o volume do tanque de enchimento 1, impossibilitando o transbordamento de qualquer um deles. Assim que o fluido atinge o volume mínimo determinado pelo operador no tanque de enchimento 1, o operador desliga a motobomba 1 por meio do painel de comando e fecha as válvulas manuais de transição, encerrando a subetapa 3.1.

Para realizar a subetapa 3.2, que é responsável por ativar o filtro prensa, o operador precisa liberar as duas válvulas manuais de controle na própria prensa, permitindo o fluxo de ar comprimido para iniciar a bomba do filtro prensa. Após ativar o filtro prensa, o fluido passa pelo tanque de areia e segue para o tanque de enchimento 2. Enquanto isso, o operador monitora o fluxo de fluido dos tanques de circulação até a bomba do filtro prensa. Isso é feito para evitar que a bomba do filtro prensa trabalhe no vácuo, e o operador fecha as válvulas de ar comprimido assim que o fluido escoar completamente. Desta forma, a etapa 3 da ETE é concluída, observe o fluxograma na figura 12.

O escoamento completo do fluido dos tanques de circulação significa que o tanque de enchimento 2 está com todo o fluido do sistema, permitindo o início da etapa 4. Na subetapa 4.1 para filtrar o fluido, o operador se dirige até a válvula do filtro de areia, altera sua posição para a configuração de filtragem e liga a chave da motobomba do filtro de areia no painel de elétrico/controlado. Após um determinado tempo de filtragem estabelecido pelo operador, ele muda o modo de filtragem para drenagem na válvula, liberando o fluido para a rede de esgoto. Enquanto observa o tanque de enchimento 2 durante o escoamento do fluido, o operador desliga a motobomba do filtro de areia assim que ele atinge o nível mínimo para um funcionamento

Figura 11 – Fluxograma etapa 2.

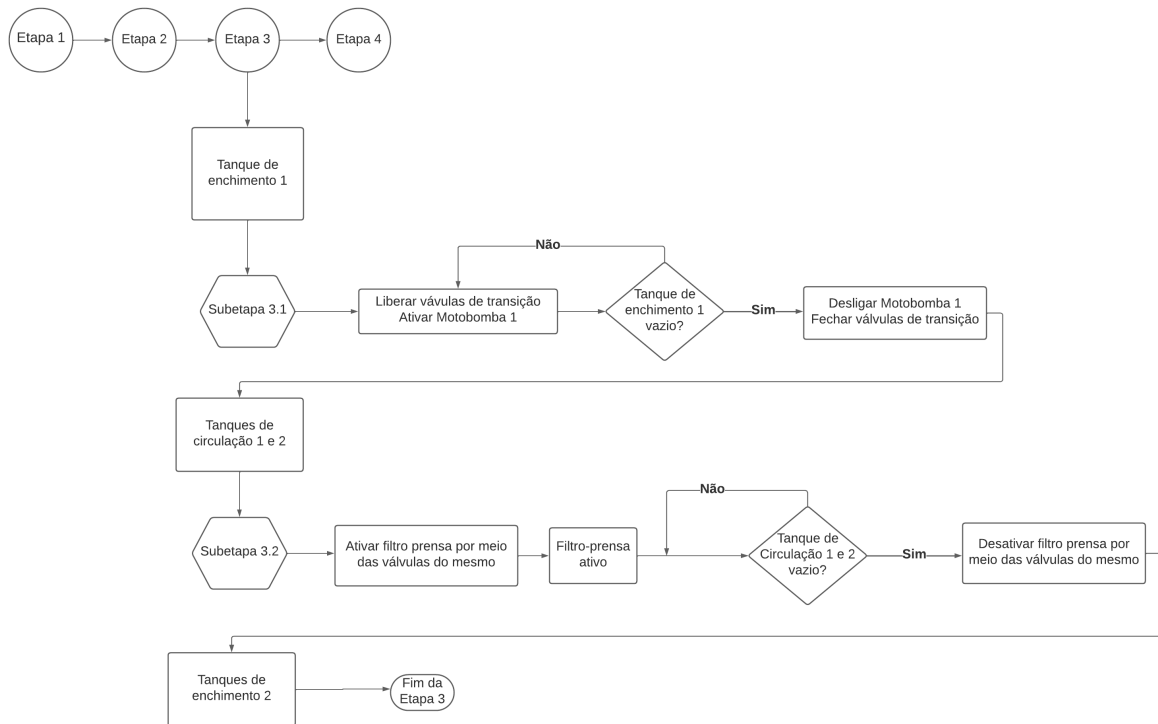


Fonte: Própria Autoria

seguro da bomba, finalizando completamente o processo. Veja na figura 13 o processo.

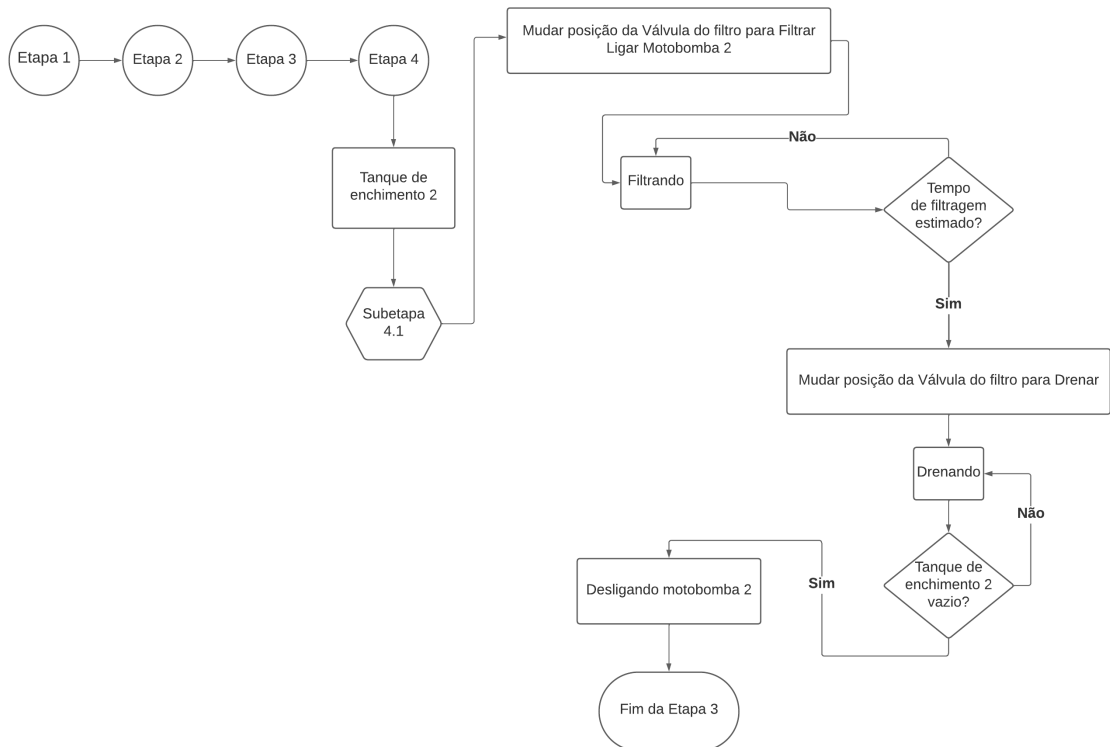
Com o processo de tratamento da ETE explicado, incluindo seu funcionamento e os equipamentos e estruturas envolvidos, é possível descrever a metodologia utilizada para cumprir o objetivo de automação do projeto.

Figura 12 – Fluxograma etapa 3.



Fonte: Própria Autoria

Figura 13 – Fluxograma etapa 4.



Fonte: Própria Autoria

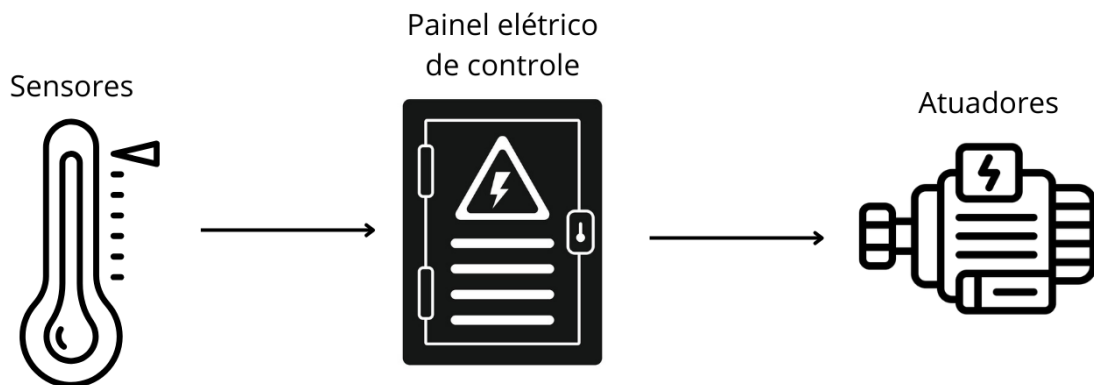
4 METODOLOGIA

Tendo no capítulo de contextualização demonstrado o funcionamento do processo da ETE, seus componentes manuais e as tarefas onde o operador necessita atuar, o capítulo atual demonstrará a metodologia usada para transformar o funcionamento manual da estação em autônomo.

A metodologia usada para atingir os objetivos propostos neste trabalho, consiste em substituir todos os componentes necessários para o funcionamento do processo manual, por um conjunto de dispositivos de atuações e monitoramentos automáticos integrados de forma conjunta, controlados por um componente lógico de processamento, programado para efetuar o monitoramento e implementação das ações antes feitas pelo operador.

Assim a figura 14 exemplifica o modo de integração de todos os componentes do sistema. Visto que o fluxo de funcionamento parte da captura de dados de monitoramento por meio de sensores, que repassam todos os dados para um controlador, que por sua vez interpreta e efetua comandos a seus atuadores.

Figura 14 – Ilustração do sistema de integração.



Fonte: Própria Autoria

4.1 Componentes usados

Assim como foi feito no capítulo anterior, antes de trazer como ocorrerá a implementação da ETE autônoma, é de suma importância o entendimento de cada componente e equipamento usado. Desta forma, este módulo apresentará os principais componentes que serão usados e seus respectivos funcionamentos e características. O projeto consiste dentre a esses equipamentos e componentes usados, uma parte que será montada e trabalhará dentro do painel elétrico/controlado,

e outra parte não. Desta forma, os componentes foram classificados no projeto como integrados ao painel e não integrados.

4.1.1 Não integrados

Os equipamentos não integrados, não terão suas respectivas montagens feitas dentro do painel elétrico de controle, mas sim em seus postos de trabalhos específicos do projeto. É válido lembrar que mesmo estes componentes não fazendo parte do painel, eles serão integrados para trabalhar de forma conjunta.

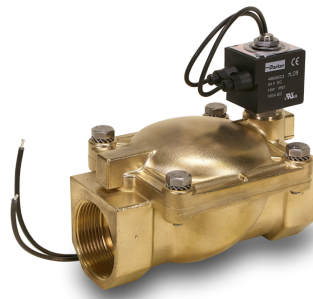
Válvulas convencionais

De acordo com Oliveira (1999), uma válvula pode ser definida como componente cuja finalidade é provocar uma obstrução em uma tubulação com o intuito de controlar o fluxo ali dentro deslocado. Comumente chamadas também de válvulas controladoras de fluxo, tais, tem por estrutura de construção, corpo e atuador. Sua classificação e denominação em geral é definida pelo modelo de corpo à qual a mesma atende, sendo este corpo responsável pelo modo de atuação da mesma, podendo ser linear ou rotativo, segundo Oliveira (1999),.

Neste projeto serão utilizadas 4 tipos de válvulas, porém, neste tópico serão abordadas apenas 3 tipos, a válvula de deslocamento linear de diafragma, de deslocamento rotativo esférica e válvula solenoide.

A válvula de controle tipo diafragma adquirida, foi o modelo da empresa Parker, veja na figura 15, sendo sua atuação feita por meio de uma solenoide de bobina 24Vcc. Por sua vez, as válvulas solenoides são elementos eletromecânicos, onde seu deslocamento é causado pelo campo magnético gerado pela bobina, segundo Silva e Lago (2002) . O modelo utilizado que é responsável pelo acionamento do tipo diafragma, já vem incorporada a mesma de fábrica.

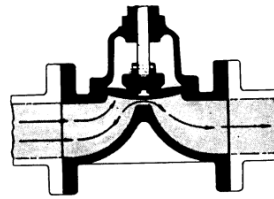
Figura 15 – Válvula de diafragma parker.



Fonte: Site Parker

Para Oliveira (1999), o modelo diafragma consiste em sua construção com um encosto sobre o qual um diafragma móvel preso entre o corpo e o castelo, desloca para provocar o fechamento da válvula, veja na ilustração 16.

Figura 16 – Visão em corte da válvula de diafragma.



Fonte:(OLIVEIRA, 1999)

O modelo de válvula rotativa esférica adquirida foi a tripartida $\frac{3}{4}$ de passagem plena da MTI Brasil, veja na figura 17.

Figura 17 – Válvula esférica .



Fonte: Site MTI Brasil

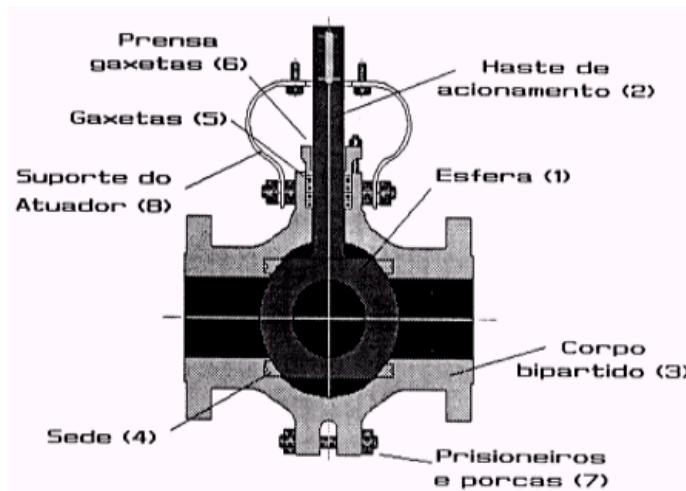
A nomenclatura tripartida refere-se ao tipo de montagem da mesma. Contando este modelo com seu obturador esférico vazado, podendo configurar passagem plena, como a usada, ou parcial de um fluido, segundo Oliveira (1999).

Veja na figura 18 a visão em corte do modelo, e na Figura 19 a comparação entre o obturador esférico pleno e o esférico reduzido.

Toda válvula necessita de um tipo de atuador para cumprir com a sua finalidade. Os modelos instalados na versão atual da ETE, possuem um atuador manual, na qual necessita do operador para acioná-las. Por efeito de segurança no processo da ETE, toda vez em que o sistema for desenergizado ou ocorrer uma falha no sistema de pressurização, foi optado por todas as válvulas permaneçam fechadas. Desta forma, o atuador escolhido para a válvula esférica foi o pneumático de simples ação com retorno por mola linha AT da MTI Brasil, veja na figura 20.

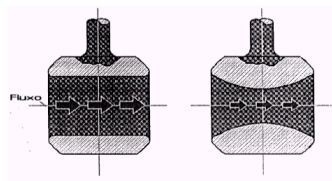
Este modelo tem por execução de trabalho, ao receber a injeção de ar comprimido a compressão da mola pelo êmbolo, que por sua vez, movimenta o obturador da válvula. O controle da injeção de ar comprimido para o funcionamento perfeito do atuador ocorre por meio de uma válvula solenoide 3/2 da MTI Brasil, figura 21. Veja na figura 22 a fotografia da representação do conjunto, válvula esférica + Atuador pneumático + Válvula solenoide.

Figura 18 – Visão em corte da válvula esférica .



Fonte: (OLIVEIRA, 1999)

Figura 19 – Comparação do obturador pleno e reduzida .



Fonte: (OLIVEIRA, 1999)

Figura 20 – Atuador pneumático MTI Brasil .



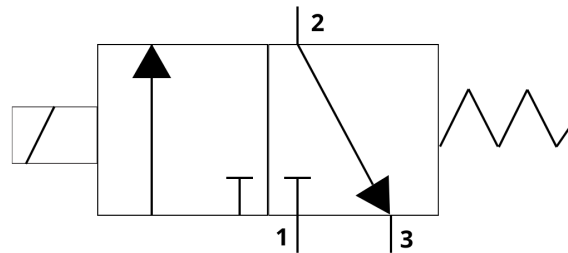
Fonte: Site MTI Brasil

Agitador

O agitador no processo da ETE nada mais é que o conjunto de um motor e uma pá acoplada a seu eixo. Para Franchi (2018), o motor elétrico é um equipamento que transforma energia elétrica em energia mecânica e cinética, seja esta energia alternada ou contínua. Transferida a energia a ele e após a transformação, o dispositivo inicia o movimento do eixo, um componente pertencente a sua montagem. Perante a isso, o uso da rotação do eixo do motor tem como barreira apenas a imaginação, podendo ser usada de diferentes formas, respeitando seus limites.

O motor escolhido para constituir o agitador é o modelo trifásico W22 IR3 Premium

Figura 21 – Simbologia Válvula solenoide 3/2.



Fonte: Fonte: Própria autoria

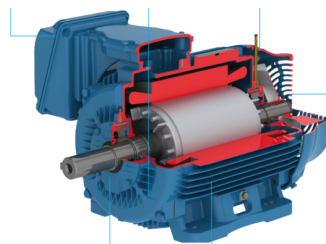
Figura 22 – Montagem do conjunto.



Fonte: Site MTI

da empresa WEG, veja na figura 23. Os motores trifásicos, são os mais usados hoje dentro da indústria, e é o que será aqui usado. Este modelo é definido como motor assíncrono de rotor tipo gaiola de esquilo, com 0,33 cv de 4 polos.

Figura 23 – Agitador.



Fonte: Catálogo WEG

Bomba dosadora

A bomba dosadora é um equipamento utilizado para bombear um fluido em quantidades controladas de um local ao outro. O funcionamento da bomba dosadora ocorre da seguinte forma, a membrana dosadora é pressionada na cabeça dosadora, esta pressão causada pela membrana na cabeça faz com que a válvula de sucção feche permitindo o fluido percorrer através da válvula de pressão e entrar na cabeça dosadora. Esse processo gera uma baixa pressão no cabeçote

dosador, então a válvula de pressão fecha e o fluido percorre pela válvula de sucção e entra no cabeçote dosador. Todos esses passos configuram um ciclo de funcionamento da bomba. O modelo escolhido para a ETE foi o BETA BT4b da ProMinent, veja na figura 24.

Figura 24 – Bomba Dosadora.



Fonte: Catálogo ProMinent

Este modelo conta com a capacidade de 4 bar de contrapressão, com a dosagem de até 12,30 l/h de fluido líquido. Ela disponibiliza um controle de dosagem decimal, um seletor de controle, e um divisor/multiplicador de pulsos. O controle externo deste modelo é feito a partir do fechamento de conexões do cabo externo disponibilizado em conjunto com o equipamento. A sua alimentação do componente é bivolt.

Motobomba

Nas instalações manuais da ETE, existem 4 motobombas, porém, apenas duas terão seus acionamentos automatizados, já que as outras duas fazem parte da etapa 1 do processo geral. O termo motobomba é a junção de dois equipamentos, motor e bomba, que unidos executam uma função desejada.

Máquinas denominadas geratrizes, na qual efetuam o trabalho de deslocar o fluido, é uma definição de quando se referem a uma bomba. Podendo também ser ressignificado como dispositivo que faz a sucção de um fluido que não tem energia suficiente para se deslocar, através de um rotor que o impulsiona para o reservatório desejado. O conjunto motobomba é formado pelo motor, que transfere sua energia hidráulica para a bomba que transforma isso em energia cinética ou de pressão para exercer seu trabalho citado a cima.

Apenas uma das duas motobombas do sistema de ETE será substituída, a do filtro de areia. Tal equipamento em sua aplicação é responsável por deslocar o fluido desejado. O modelo escolhido para o projeto foi a Motobomba $\frac{3}{4}$ cv Fluvia da empresa Astral Pool, ilustrada na figura 25.

O equipamento tem como alimentação uma tensão de 220Vac monofásico, consumindo 3,3A, com a vazão na sucção de $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ e de descarga de $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Figura 25 – MotoBomba.



Fonte: Catálogo Astral Pool

Filtro de areia

O filtro de areia é um componente comumente usado em instalações de piscinas para efetuar o tratamento físico da água. Porém, este equipamento pode ser instalado em ETEs de pequeno porte, por cumprir uma funcionalidade necessitada no processo em geral, a eliminação de partículas sedimentares no fluido. O filtro é constituído além da sua montagem por uma porção de areia especial. Esta areia é a responsável por efetuar a retenção das partículas suspensas no líquido bombeado do tanque pela motobomba até ela. O modelo escolhido para a ETE autônoma foi o filtro CANTABRIC 500MM de saída lateral da empresa Astral Pool, veja na figura 26.

Figura 26 – Filtro de areia.



Fonte: Catálogo Astral Pool

O modelo conta com uma saída lateral para acoplamento da válvula seletora de fluxo, diferentemente dos filtros convencionais que contam com a saída no topo. Além disso ele dispõe de uma vazão de $9m^3/h$ e uma carga de areia equivalente a 100kg.

Válvula do filtro de areia

Assim como citado no tópico de válvulas convencionais, este é o modelo que lá não foi exemplificado. Isto ocorreu porque não tratasse de um modelo convencional, nem de válvulas indústrias, e nem de válvulas para filtros. Este modelo contém uma estrutura de montagem que

possibilita o posicionamento de funcionamento do filtro em 6 posições diferentes, isto que dizer que ela é capaz de direcionar o fluido para 6 caminhos diferentes dentro do filtro. As posições da válvula são: Filtrar; Enxaguar; Recircular; Retrolavar; Drenar; Fechar. O que a torna diferente é que o seu funcionamento é feito de modo autônomo, algo que a torna quase única dentro do ramo de válvulas de filtro de piscina. O modelo escolhido foi System VRAC Basic 1 da marca Astral Pool, veja na figura 27. O qual conta com uma pressão máxima de trabalho de 3.5 bar, IP 65, potência máxima de 35W e com alimentação bivolt.

Figura 27 – Válvula do filtro de areia.



Fonte: Catálogo Astral Pool

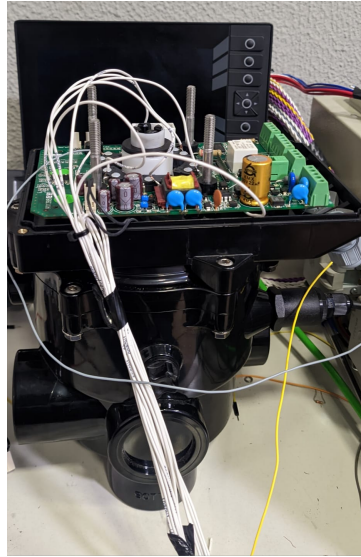
Ao adquiri-la, era sabido que a mesma possuía a capacidade de atender a demanda desejada, porém, o modo de operação para que esta válvula foi desenvolvida, consiste no seu uso aplicado a piscina e não ao objetivo da ETE. Assim houve a necessidade de adequar a mesma ao objetivo desejado. Como a interação com a empresa desenvolvedora se obteve falha, a forma encontrada para alcançar o objetivo foi aplicar o conceito de engenharia reversa com o intuito de adequá-la ao desejo atual. Durante o processo de inspeção entendeu-se que construção original da válvula conta com uma placa eletrônica com microcontrolador programado instalado de fábrica, e 6 chaves de posição. Além desta placa, a bordo a válvula conta com um motor com uma caixa de redução para fazer a mudança de posições autônomas da válvula, e um sistema de marcação de posição utilizado em conjunto com as chaves.

Como a projeção da ETE autônoma conta com um sistema de controle e monitoramento efetuado por um CLP, existia a possibilidade de ser feito a leitura das chaves de posição e controle do motor equipado na válvula, e assim foi feito.

Utilizando as próprias trilhas de cobre da placa, foi feita integração das chaves de posições através de fio de $0,25\text{mm}^2$ de seção transversal, veja na figura 28. Já no motor, foi identificado o seu conector a placa, e a partir da identificação a elaboração de um conector externo para conexão com o CLP, da mesma forma foi feita com as chaves.

Desta forma, o resultado da engenharia reversa sobre a válvula, foi um dispositivo que

Figura 28 – Engenharia reversa da válvula.



Fonte: Própria autoria

cumpra o objetivo desejado com um maior controle do que ele veio de fábrica.

Sensor de nível boia

Para Brito (2017), o sensor é um elemento que está em contato direto com a variável que pretende ser medida, gerando uma grandeza que será enviada para um dispositivo interpretador, também podendo ser chamado de elemento primário. Neste caso o sensor utilizado é caracterizado de nível, a qual sua função é monitorar o nível de um fluido.

O sensor de nível obtém inúmeras variações, sendo uma das mais comuns o modelo boia, onde o seu funcionamento ocorre pela flutuação da boia no fluido monitorado, podendo ser um dispositivo de monitoramento vertical ou horizontal. A medida que o fluido obtém sua variação, a boia do sensor acompanha o mesmo, gerando um grandeza que pode ser traduzida em comunicação analógica ou digital. Os sensores de nível modelo boia escolhidos para o projeto, foram os, LE501 – M12 e LE502 – 1 – M12, de comunicação digital, da EICOS. Os modelos são semelhantes, veja nas figuras 29 e figura 30, sendo a única diferença entre os dois a quantidades de pontos de detecção de nível do fluido.

Figura 29 – Sensor LE501 - M12.



Fonte: Site da Eicos

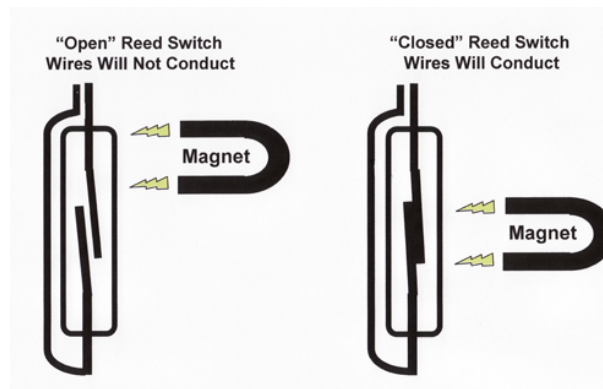
Figura 30 – Sensor LE502 - 1 - M12.



Fonte: Site da Eicos

Os sensores contam com uma haste de 500mm, conexão M12, IP66 e tensão de alimentação 24Vcc.

O funcionamento destes dispositivos advém da técnica *reed switch*, veja na figura 31. Tal modo de monitoramento consiste em um dispositivo eletromecânico que contém um interruptor de lâmina selado dentro de um tubo de vidro preenchido com um gás específico. Este dispositivo ao entrar em contato com um campo magnético fecha um circuito a ele conectado com o encontro das lâminas que antes estava separada. O conector do sensor utilizado é composto por um canal de alimentação e o outro de retorno, ou seja, quando a boia atinge o final do seu curso ela dispõe um campo magnético ao *reed switch* que por sua vez fecha o circuito e a tensão é conduzida até a conexão de retorno.

Figura 31 – *reed switch*.

Fonte: Site Chicago sensor

Sensor de pH

Como citado no tópico a cima, do que se compreende como sensor, este modelo também fica em contato direto com o fluido. O conjunto de equipamento que será utilizado para fazer o acompanhamento autônomo do pH do fluido da ETE, é o sistema de medição e controle *Compact PHEI* com Sonda da ProMinet, veja na figura 32.

Este conjunto acompanha um controlador Dulcometer Compact e um eletrodo de medição de pH. A medição neste caso necessita de um conjunto de equipamentos, pois, juntamente ao

Figura 32 – Conjunto sensor de pH.



Fonte: Catálogo da ProMinent

sensor de pH (eletrodo), existe a necessidade de um controlador para receber os dados, interpretar, transformá-los e transmiti-los a um controlador externo em forma de dados analógicos ou disponibilizar em seu *display*.

O sensor de pH em si consiste basicamente em um bulbo sensível que contém um produto químico em seu interior juntamente a dois eletrodos. Na estrutura do bulbo existe também um fio interno conectado a um voltímetro. Tal mecanismo de sensoriamento é considerado potenciométrico, onde a diferença de potencial elétrico é produzida entre os dois eletrodos em uma célula galvanizada. Os eletrodos internos são chamados de referência e indicador, e a diferença de potencial deles é causada ao entrar em contato com uma amostra líquida, sendo ela resultado da atividade da espécie iônica de interesse, segundo Amaral *et al.* (2023).

4.1.2 Integrados

Todos os componentes que serão citados a frente, fazem parte da montagem dos painéis elétricos que estão descritos no apêndice A e apêndice B, com seus diagramas. O primeiro painel elétrico/comando é considerado o principal, figura 33, isso porque o segundo painel, figura 34, receberá comandos do CLP adicionado no primeiro painel.

Os dimensionamentos dos componentes usados nos painéis elétricos serão descritos em suas explicações. As tabelas 2 e 3 contam com a relação de componentes usados em cada um, já que em ambos os painéis existem componentes repetidos.

Disjuntor

O disjuntor é um dispositivo de proteção eletromecânico de ação termomagnética utilizado em circuitos, tanto industriais como residenciais, segundo Dantas e Minotti (2021). Eles têm como função interromper o fornecimento de energia ao sistema caso haja uma sobrecarga de corrente, e também são tipicamente utilizados como manobras de cargas. A família definida para o projeto foi a Easy9 da companhia Schneider, veja um exemplar na figura 35.

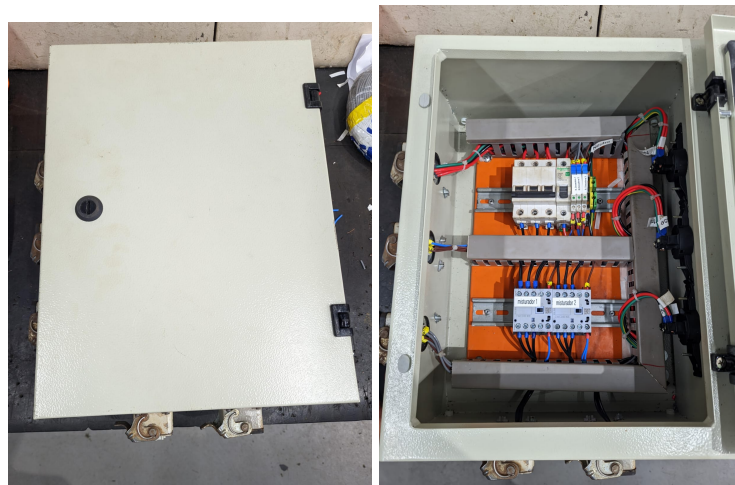
O painel principal conta com o modelo C16 de 16A bipolar de curva C. Já o painel secundário conta com 2 modelos, o C10 10A monopolar de Curva C e o modelo C16 de 16A

Figura 33 – Painel elétrico/comando principal.



Fonte: Própria Autoria

Figura 34 – Painel elétrico/comando secundário.



Fonte: Própria Autoria

tripolar de Curva C.

Fonte de alimentação

Uma fonte de alimentação chaveada é caracterizada como um dispositivo eletrônico projetado para fornecer energia elétrica em uma forma desejada para alimentar outros dispositivos. No caso do projeto da ETE, a fonte foi utilizada com o intuito de fornecer energia de corrente contínua 24VCC para componentes do painel, como CLP e IHM. O modelo escolhido foi a Proeco da empresa Weidmuller, veja na figura 36.

Ele conta com alimentação bivolt, IP20, e fornece por meio de 2 saídas, 10A a 24Vcc.

Tabela 2 – Tabela de componentes do painel principal.

Painel principal	
Itens	Quantidade
Disj. Bipolar	1
Fonte de Ali.	1
Fusíveis	2
Contatores	2
CLP	1
IHM	1
Bornes	14
Relés	2
Bot. Retroluminado	1
Bot. Emergência	1

Fonte: Própria Autoria

Tabela 3 – Tabela de componentes do painel secundário.

Painel secundário	
Itens	Quantidade
Disj. Tripolar	1
Disj. Monopolar	1
Relés	3
Contatores	2

Fonte: Própria Autoria

Figura 35 – Disjuntor.



Fonte: Site Schneider

Fusível

Além do dispositivo de proteção para o painel principal, o disjuntor, optou-se por usar também o fusível. Fusível nada mais é do que um dispositivo de proteção contra sobre carga no circuito. O modelo utilizado tem sua sobrecarga limite de 10A e é construído em vidro, veja na figura 37.

Figura 36 – Fonte de Alimentação.



Fonte: Site Dimensional

Figura 37 – Fusível.



Fonte: Site Dimensional

Contator

De acordo com Savoldi (2013), a IEC em sua norma 60947-1 caracteriza um contator como um dispositivo mecânico de comutação com apenas um estado de repouso. Ele é bem conhecido pela sua versatilidade de estabelecer, conduzir e interromper uma corrente em condições de operação, de formas que não sejam manuais. Em linhas gerais ele funciona como um liga/desliga a partir de comandos externos de energização da sua bobina, acionando equipamentos de potência a ele ligado, um exemplo são os motores. Assim como inúmeros componentes do mundo da elétrica, o contator dispõe de muitas variações, porém, o foco aqui não é demonstrá-las. O modelo aqui utilizado é o mini contator CWC016 10E da empresa WEG, veja na figura 38.

Tratasse de um modelo tripolar, com uma corrente máxima de 16A, com acionamento da bobina 24VCC e um contato auxiliar.

Relés

Os relés, figura 39, são dispositivos semelhantes aos contadores citados anteriormente, porém, com construção e aplicações um pouco diferentes. Ele é considerado muitas vezes como uma chave liga/desliga por conta em sua montagem com um contato que alterna de posição ao

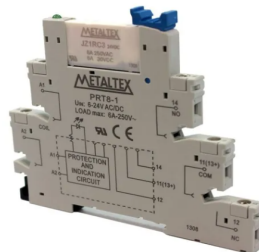
Figura 38 – Contator.



Fonte: Catálogo WEG

energizar a sua bobina interna. Os dois relés do painel principal trabalharão em conjunto afim de alternar o sentido de rotação do motor da válvula do filtro de areia, já que o mesmo antes de alterar sua posição necessita de um grau desaperto. Já no painel secundário, a função deles será ativar o funcionamento das bombas dosadoras. O modelo escolhido é de corrente continua 24VCC.

Figura 39 – Relé de Interface.



Fonte: Site da Metaltex

Controlador Lógico Programável - CLP

No século passado, o controle de uma planta de equipamentos com lógicas de acionamentos, necessariamente eram feitas a partir de um conjunto numeroso de relés em conjunto. Estes equipamentos juntos representavam uma lógica de acionamentos, porém, eram custosos e exigiam muita manutenção por conta dos seus constantes problemas por desgastes físicos. A partir desses problemas, surgiu a solução de um dispositivo para a substituição destes painéis, denominado CLP. Para Costa *et al.* (2003), os CLP pode ser denominado como dispositivo eletrônico-digital que armazena instruções de funções dedicadas, por exemplo, contagem, operações aritméticas, lógicas de comandos e muito mais. Ele se destaca por acabar sendo um componente versátil, onde, as lógicas de comandos podem ser trocas com facilidade, podendo o mesmo ser reutilizado

em vários processos. Silveira e Lima (2003) acredita que um CLP pode ser definido também como um microcomputador industrial utilizado para executar funções de controle.

Fritz (2017) cita que, inúmeras são as vantagens do CLP ao quadro de relés, menor consumo de energia, facilidade para reprogramação e reutilização, denominação de menor espaço para instalação, integração com outras tecnologias e muitos outros pontos.

O funcionamento do CLP consiste em um ciclo de máquinas que nada mais é que um ciclo completo de tarefas que se repetem constantemente, de acordo com especificação do mesmo. A definição simples do funcionamento do CLP, pode ser descrita como a leitura e interpretação de suas entradas a partir dos sensores, para processamento e comando de suas saídas a partir de seus atuadores. Já a sua definição complexa necessita ser analisada desde o seu ligamento. Ao ligar o dispositivo, existe um programa instalado em sua raiz, que faz a verificação dos módulos e a existência de algum programa instalado. Caso haja algum programa inserido no dispositivo pelo usuário, ele efetua o processo de iniciação com a intenção de cumprir a instruções ali definidas. Com o programa rodando, o equipamento segue o ciclo de tarefas citados a cima. Esse ciclo consiste nas leituras das entradas, armazenamentos dos dados de entradas em memórias, comparações desses valores com os set points, e atualização das saídas de acordo com a comparação anterior.

A IEC através de uma norma, padronizou alguns tipos de linguagem de programação para o uso nos CLPs, um exemplo mundialmente usado nestes dispositivos e a linguagem *Ladder*. Essa padronização facilita a utilização de um programa em diversos dispositivos de marcas diferentes.

O modelo escolhido para utilização foi o CR711S da fabricante IFM, veja na figura 40.

Figura 40 – CLP.



Fonte: Site da IFM

Ele conta com 60 *IOs* internamente podendo ser configuradas, redes de comunicação industrial, alimentação de 8 – 32Vcc e processador de 32-bits *TriCore infineon AURIX*. No entanto, no projeto atual o dispositivo será usado apenas como *Hub de IOs*, isso porque a IHM que será utilizada executa as mesmas funções que um CLP e ainda tem o fator interativo, porém, contando apenas com 2 *IOs*, que são insuficientes a quantia necessária para o projeto.

Interface Homem-Máquina - IHM

A IHM é o dispositivo que mais se destaca no projeto da automação, isso porque é o equipamento que conterà o programa responsável por ditar o modo de funcionamento da ETE e será responsável por tornar visível os itens de controle e acionamento aos visualizadores.

Para Rocha *et al.* (2021), conforme Intelligence (2019), a IHM pode ser considerada como um visor auxiliador de comunicação de um processo ou máquina para o operador, com intuito de facilitar a tarefa de controle e monitoramento do mesmo. O dispositivo consegue auxiliar a comunicação entre ambos, transformando os dados recebidos de um controlador, por meio de protocolos de comunicação, em variáveis visuais melhor entendíveis. Um exemplo é o sinal de um sensor de controle analógico de nível transformado em uma variável de 0 a 100% do fluido no tanque monitorado. Além da visualização, alguns modelos servem como receptores de ações por meio de telas *touchscreen* e botões, onde tais são configurados de acordo com as suas necessidades. O modelo utilizado no projeto é a CR1077 da fabricante IFM, veja na figura 41.

Figura 41 – IHM.



Fonte: Site da IFM

Ela conta com uma tela TFT LCD de 7", IP65, com alimentação de 8 a 32Vcc e o processador plataforma ARM *quad core* de 64 bits com 1.2GHz com GPU.

Neste projeto a IHM trabalhou em conjunto com o CLP para o monitoramento e controle do sistema. A interação entre eles ocorreu através da rede de comunicação industrial *Ethernet*, utilizando o protocolo UDP.

4.2 Desenvolvimento

Todo o capítulo a seguir demonstrará os passos necessários para efetuar a automação da ETE. A ênfase principal do trabalho trata-se da parte do programa desenvolvido para o processo. Desta forma, todas as etapas necessárias para o desenvolvimento da aplicação serão abordadas, sendo a automação física tratada de forma mais sucinta e o programa com mais detalhes.

4.2.1 Implementação

Para que todo o detalhamento do processo faça sentido, é necessário entender a substituição de cada item do processo manual e sua função dentro do programa de controle da ETE. No capítulo de contextualização, o processo da ETE foi definido em etapas, justamente para visualizar as funções do operador e dos componentes instalados que efetuavam o trabalho manual. Neste tópico, serão abordadas as sub etapas do processo, demonstrando os postos de trabalho dos componentes e equipamentos autônomos citados no sub capítulo de componentes usados que farão a ETE se tornar autônoma.

Vale lembrar que o processo é dividido em 4 etapas, sendo a primeira não incluída no escopo de automação, já que a mesma está automatizada. O início do processo que será automatizado consiste na etapa 2, sendo iniciado na subetapa 2.1. Para que a transição do fluido dos tanques ocorra de forma autônoma, as válvulas controladoras de fluxo manuais serão substituídas pelo conjunto válvula esférica + atuador pneumático + válvula solenoide. Essa substituição possibilitará, por meio do programa, a liberação de ar pressurizado que a válvula solenoide controla, o que, por sua vez, faz com que o atuador pneumático atue na válvula esférica mudando sua posição, liberando o fluxo de fluido.

Já o acionamento da motobomba 1 ocorrerá também por um comando do programa, onde o botão de acionamento manual será substituído pelo contator referente à bomba. Ao receber o comando do programa, a bobina do contator inicia o funcionamento eletromecânico do equipamento, permitindo a passagem de tensão para ativar a bomba. O monitoramento do nível do tanque de enchimento 1 será atribuído ao sensor de nível tipo boia, LE502 – 1 – M12 descrito na figura 30. Por contar com duas boias em suas extremidades, este sensor fará o monitoramento dos valores mínimos e máximos do fluido dentro do tanque monitorado por ele. Quando o fluido atinge qualquer fim de curso das duas boias do sensor, ele retorna o sinal para o controlador. No caso da sub etapa 2.1, quando a boia do nível máximo chega ao seu fim de curso, o sinal é enviado ao controlador, que, da mesma forma como aciona as válvulas e a bomba, encerrará o funcionamento das mesmas.

A sub etapa final da etapa 2 é definida pela subetapa 2.2. A inserção dos produtos químicos antes feita pelo operador agora ocorrerá de forma autônoma pelas bombas dosadoras. A ligação do ar pressurizado para a mistura do fluido e os produtos químicos é substituída pelo mecanismo do agitador 1. O agitador cumpre sua função a partir do acionamento do seu respectivo contator ao receber o comando do programa, que libera tensão para seu acionamento. No caso das bombas dosadoras, a sua ativação acontece a partir da comutação de seus respectivos relés, que se comutam ao receber o sinal do programa.

O sensor de pH ficará responsável por enviar o sinal de controle do pH para o controlador. Quando o pH atinge o set point desejado, o programa efetuará o próximo passo programado. É importante ressaltar que o produto químico adicionado pela terceira bomba dosadora precisa estar

pronto para aplicação assim que a mesma é ativada. Antes, o operador realizava sua preparação manual, mas agora isso é feito pelo agitador 2. Este agitador faz a mistura do produto químico em seu tanque de armazenamento até que o mesmo seja inserido pela bomba dosadora no tanque de enchimento 1, onde sua ativação é feita pelo contator que recebe o comando do programa.

A transferência do fluido para os tanques de circulação, caracterizada como a subetapa 3.1, ocorre utilizando os mesmos mecanismos da subetapa 2.1, onde as válvulas de sucção manuais foram substituídas pelo conjunto de válvulas autônomas. Nesta etapa, as válvulas de transferência também são substituídas pelo conjunto autônomo. A motobomba 1, que também é utilizada nesta sub etapa, é ativada por meio do sinal que seu contator recebe. O desarme para que a mesma não trabalhe no vácuo é agora monitorado pelo mesmo sensor de nível tipo boia que controla o volume máximo do tanque de enchimento 1. Assim que o mesmo atinge o volume mínimo, ele envia o sinal para o controlador, e o programa interpreta e desarma a motobomba 1.

A subetapa 3.2 tem a tarefa de liberar o fluxo do ar por válvulas manuais feitas pelo operador, que foram substituídas por acionamentos feitos pelo programa das válvulas de diafragma. O controle das mesmas funciona a partir do recebimento do sinal do programa pela válvula solenoide incorporada nelas, que é responsável por ativá-las e desativá-las. Os sensores de nível tipo boia LE501 – M12, figura 29, são responsáveis por enviar o sinal ao controlador de que o fluido está em seu nível mais baixo nos tanques de circulação, evitando que o filtro-prensa trabalhe no vácuo.

Na última etapa, a etapa 4, o conjunto motobomba 2 + filtro de areia + válvula do filtro será substituído pelo novo conjunto. Na subetapa 4.1, a mudança da posição da válvula do filtro será feita pelo próprio sinal do programa, assim como o acionamento da bomba por meio do contator correspondente.

Com a substituição dos componentes descritos acima, o funcionamento da ETE em conjunto com o programa formam o sistema definido pela figura 14, atingindo o objetivo de automação da ETE. A integração dos componentes sensores, programa e atuadores equivale ao monitoramento, script das etapas do processo e funções efetuadas pelo operador em todo o processo.

4.2.2 Codesys

Todos os CLPs ou IHMs necessitam de um *software* que torne possível a programação dos mesmos, e geralmente cada fabricante disponibiliza o seu próprio. Mas ainda assim, existem alguns outros fabricantes que optam por tornar compatíveis os seus dispositivos com softwares já existentes no mercado. A IFM, fabricante dos CLPs e IHMs utilizados no projeto, optou por trabalhar desta forma, utilizando o *software* Codesys.

Considerado como um ambiente de desenvolvimento, o Codesys foi criado pela empresa alemã 3S-Smart Software Solutions GmbH com base especialmente na norma IEC 61131-

3 de 1993. Segundo Souza e Pereira (2015), esta norma foi desenvolvida com o intuito de estabelecer um padrão global de programação dos CLPs. Nesta norma, existem 5 tipos de linguagem de programação estabelecidas, a lista de instruções e texto estruturado, consideradas textuais, e as outras consideradas gráficas, o diagrama ladder, diagrama de blocos de funções e o sequenciamento gráfico de funções.

O software, além de suportar todas as linguagens de programação estabelecidas na norma, torna possível o desenvolvimento do *front-end* da IHM e a simulação do processo, não tornando necessária a implementação física para os testes

Para o desenvolvimento do código, o software Codesys precisa ser instalado em um computador. A partir deste passo, como se trata de um software gratuito e utilizado por alguns fabricantes, existe a necessidade de configuração do mesmo para os dispositivos que serão utilizados. A IHM tornou compatível o CLP com a versão 3.5 SP11 do Codesys, enquanto para a IHM a versão compatível é 3.5 SP16, deixando também as instruções de configuração dos mesmos para cada dispositivo no site.

4.2.3 Programa

O modo de funcionamento do programa desenvolvido para a ETE baseou-se em dois pilares: autonomia e controle. A implementação do projeto não trata-se apenas de um sistema de supervisão, mas sim de um programa que dará suporte a várias necessidades identificadas no processo. Desta forma, a construção do mesmo se deu pela existência de dois modos de funcionamento, um automático e o outro manual. A necessidade de um modo manual foi observada a partir do ponto em que fosse necessário efetuar algum teste de verificação no processo, já que os itens que substituirão os antigos funcionam apenas de forma a serem controlados por comandos eletrônicos e não manuais. Já o modo automático funciona de forma que não haja a necessidade de interferência humana para o processo efetuar um ciclo completo, atingindo o objetivo de automação do processo.

IHM e seu UX

Neste tópico, será abordado todo o sistema de navegação utilizado na automação da ETE com a IHM, incluindo todas as abas, páginas e possibilidades existentes. Isso permitirá, em seguida, detalhar a lógica de programação por trás desse processo para o seu funcionamento.

Na energização do painel elétrico/controlado, ocorre o despertar da IHM com sua lógica de rotinas pré-programadas, contando também com a UI/UX do processo, responsável por desempenhar a parte gráfica. A primeira página que o usuário encontrará ao observar a IHM após sua inicialização é a figura 42.

Ela tem um tempo curto de aparição, pois serve apenas como tela de carregamento inicial, dando lugar à página seguinte. Na figura 43, por sua vez, é encontrada a página pós o

Figura 42 – Página carregamento inicial.



Fonte: Própria Autoria

carregamento. O intuito da mesma é disponibilizar uma barreira de acesso e segurança contra usuários indesejados. Contando com um sistema de *login* interno do Codesys, ela libera o acesso após o usuário e a senha serem inseridos de forma correta.

Figura 43 – Página de senha de acesso.



Fonte: Própria Autoria

Feito isso, é possível acessar a página principal, figura 44, também caracterizada como página *Home* do sistema. A partir dela, é possível ter acesso a algumas informações cruciais do processo da ETE e a todas as outras páginas funcionais do sistema.

Os elementos que compõem esta página foram desmembrados em pequenas seções para melhor entendimento. Os itens 1 e 2 são responsáveis por transmitir a hora e data exatas do local de implementação, sendo implementados em quase todas as outras páginas. O item 3 caracteriza uma barra lateral, onde estão descritas todas as páginas disponíveis no programa para navegação e os botões respectivos para sua seleção.

Antes de descrever a função do item 4, é importante destacar como é o modo de funcionamento autônomo do processo. Ele começa automaticamente a partir do horário configurado como

Figura 44 – Página principal.



Fonte: Própria Autoria

ideal para o mesmo. Semelhante a um despertador de *smartphone*, assim que o horário configurado corresponde ao horário atual, o modo de funcionamento autônomo se inicia. Desta forma, o item 4 é responsável por mostrar quais são os horários configurados para o funcionamento do processo automático. Além disso, incrementando as informações sobre o modo autônomo, o item 5 descreve quantas operações das totais configuradas foram feitas no dia.

O status de funcionamento do compressor de ar é descrito no item 6. O sinaleiro fica na cor vermelha intensa quando o componente está desligado, enquanto o verde intenso significa que o componente está ligado. Essa lógica foi implementada em todo o programa para descrever o status dos equipamentos utilizados.

O item 7 compõe a construção de sinalização do modo de funcionamento em que o programa se encontra. O sinaleiro que está em cor azul clara intensa demonstra a qual funcionamento o sistema obedecerá, que no caso da imagem está no modo manual. O item 8 é um atalho para a página de configuração, responsável por disponibilizar a configuração do modo de funcionamento do processo. Por fim, o item 9 demonstra em qual posição se situa a direção da válvula do filtro de areia. Essas posições, além das 6 citadas na explicação do equipamento, contam além delas com os status "procurando" e "não definida".

Todas as páginas que pertencem ao modo manual estão dispostas no item 3. Isso acontece porque existe um intertravamento dos modos de controles manuais quando o programa está em funcionamento autônomo. Isto ocorre como uma medida de segurança adicional. Diante dessa informação, serão descritas todas as páginas manuais disponibilizadas, para depois exemplificar o modo de troca de funcionamento do processo e suas respectivas páginas.

Clicando no botão referente à página manual, figura 45, descrita no item 3 da página principal, o usuário será direcionado para a página que comporta o controle de alguns componentes do ciclo manual completo de tratamento da ETE.

Nela é possível observar as abas de controle de válvulas, bombas dosadoras, misturadores,

Figura 45 – Página manual.



Fonte: Própria Autoria

valor do pH, nível do tanque e o acionamento da motobomba 1. Devido ao fato de a IHM possuir pequenas dimensões de tela, foi necessária a divisão do controle e monitoramento dos componentes do ciclo completo da ETE em duas páginas. Desta forma, se for observada na barra lateral direita da página, ainda é possível navegar para a página inicial, página manual 2 e ativar a motobomba 1 pelo botão físico.

Ao se dirigir para a página manual 2, figura 46, é possível observar o restante dos componentes de controle e monitoramento do processo.

Figura 46 – Página manual 2.



Fonte: Própria Autoria

Nela há o controle de acionamento da válvula da prensa, o monitoramento do nível dos sensores do tanque de circulação, do tanque de enchimento 2, da motobomba do filtro de areia, da posição da válvula do filtro e, por fim, o controle da posição da válvula do filtro. A barra lateral direita nesta página contempla as navegações para as páginas inicial e manual 1, e acionamento da motobomba do filtro. O intuito inicial era o condicionamento de todo o processo completo da ETE em apenas uma página, infelizmente não sendo possível. Desta forma, as duas páginas são

responsáveis por conter todos os controles e monitoramentos completo do processo.

Decidido voltar para a tela inicial, figura 44, é ainda possível acessar pela barra lateral as páginas de configuração, higienização do filtro de areia e filtro de areia.

Acessando a página de higienização do filtro de areia, figura 47, é possível ter acesso total ao controle necessário dos componentes para efetuar o processo de higienização do filtro. Essa página foi desenvolvida porque tal higienização só pode ocorrer de forma manual.

Figura 47 – Página de Higienização do filtro de areia.



Fonte: Própria Autoria

Já acessando a página do filtro, figura 48, o usuário terá acesso completo a todas as posições disponíveis da válvula do filtro de areia, caso seja necessário fazer testes de funcionamento.

Figura 48 – Página do filtro de areia.

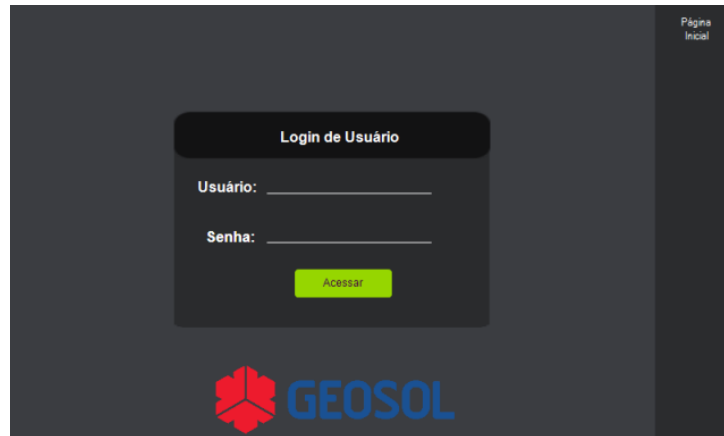


Fonte: Própria Autoria

Como descrito no início deste tópico, todas as páginas descritas anteriormente na barra lateral da página principal só estão disponíveis no modo manual. Para a mudança do funcionamento do programa para o modo automático, é necessário acessar o modo de configuração da página principal, figura 44, ou clicar no item 8 da mesma página. Fazendo isso, o programa

direciona para mais uma página de controle de acesso, figura 49. Ela foi inserida com o intuito de que mesmo que o programa esteja em execução, usuários indesejados não consigam alterar os modos de funcionamento do programa.

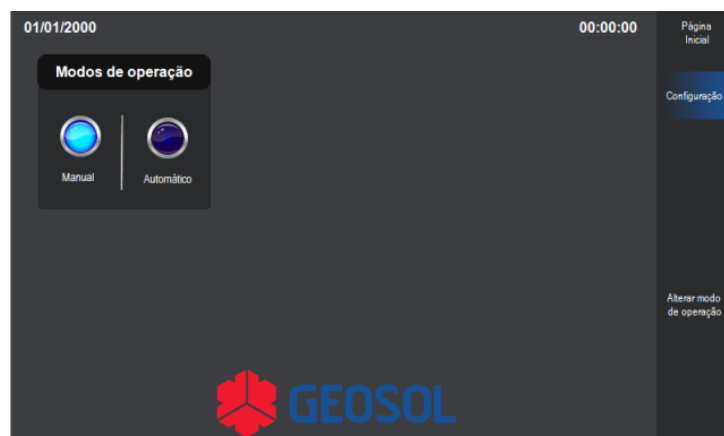
Figura 49 – Página de controle de acesso 2.



Fonte: Própria Autoria

Inserindo os dados de forma correta, é possível acessar a página de controle do modo de operação, figura 50.

Figura 50 – Página de configuração.



Fonte: Própria Autoria

Na página, existe a aba de modos de operação indicando o modo manual, e na barra lateral direita, é possível visualizar o indicador de alteração do modo de operação e de retorno à página inicial. Ao pressionar o botão referente a essa alteração do modo de operação, surgem duas abas, a de quantidade de operações em 24 horas e o ajuste de horário, figura 51.

Essa ação altera o código do programa, mudando o modo de funcionamento do mesmo. Isso é perceptível na aba dos modos de operação, onde o sinaleiro indicado como aceso refere-se ao modo automático. Mesmo ao alterar o modo para automático, é necessário inserir na caixa a quantidade correta de operações, sendo originalmente limitada a 4 por dia. Após a seleção,

Figura 51 – Página de configuração.



Fonte: Própria Autoria

proporcional à quantidade de operações por dia, surgem caixas para configurar o horário, figura 52.

Figura 52 – Página de configuração.



Fonte: Própria Autoria

Após configurar os horários e salvar, figura 53, aparecerá um pop-up confirmando os horários ou alertando para há não possibilidade, já que existe um intervalo mínimo de tempo entre as operações.

Feito este processo, o programa já está habilitado para funcionar de forma autônoma.

Retornando à página inicial, figura 54, é possível observar algumas mudanças nos itens relacionados ao modo autônomo. O item 4 demonstra todos os horários configurados para o início do processo de operação da ETE. O item 5, por sua vez, mostra quantas operações já aconteceram no dia. O modo de operação referente ao item 7 não é mais demonstrado como manual, mas sim como automático. A barra lateral, item 3, em comparação com ela mesma no modo manual, mostra apenas as páginas automático e configuração.

Figura 53 – Página de configuração.



Fonte: Própria Autoria

Figura 54 – Página principal alterada em modo automática.



Fonte: Própria Autoria

O sistema automático funciona da seguinte forma: toda vez que o horário configurado é compatível com o horário atual, a página principal muda automaticamente para o modo automático, figura 55. Desta forma, não é mais possível alternar entre as páginas de forma manual, porque o processo se iniciou.

Na página automático 1, é possível observar o mesmo acontecimento da divisão dos monitoramentos que ocorre no modo manual, e a justificativa considera-se a mesma. É possível observar o acionamento das válvulas, motobomba 1, nível do tanque de enchimento 1, misturadores, bombas dosadoras e nível de pH. Assim que o processo automático completar todos os acionamentos referentes à página 1, ele muda automaticamente para a página automática 2, Figura 56.

Tal página torna possível o monitoramento dos acionamentos das válvulas da prensa, dos sensores de nível dos tanques de circulação, do tanque de enchimento 2, da motobomba do filtro e da posição da válvula do filtro. Se observado com cautela, é perceptível que existe na barra

Figura 55 – Página de automática.



Fonte: Própria Autoria

Figura 56 – Página de automática 2.



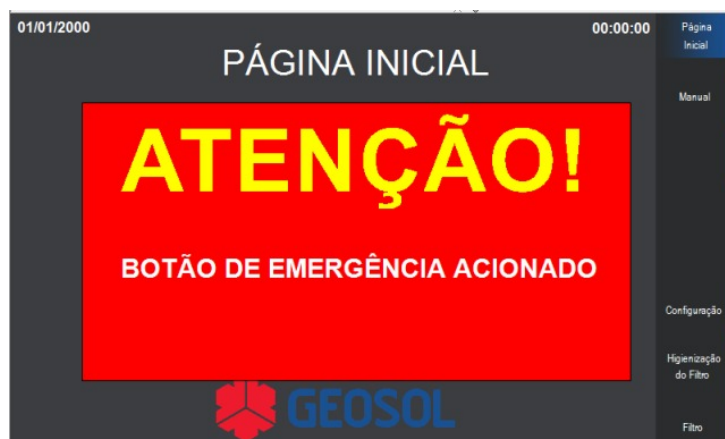
Fonte: Própria Autoria

lateral, tanto da página automática 1 quanto da 2, o enunciado 'encerrar'. Ele é responsável por indicar o botão que deve ser pressionado caso haja o desejo de mudança do processo automático para o manual no meio da operação. É importante lembrar que esta ação fará a parada de todos os componentes do processo, e a alternância e o reset do programa para o modo manual, sendo necessário, caso desejado, reconfigurar tudo novamente.

É importante salientar também que o projeto físico do painel elétrico/controlador conta com um botão de emergência e outro de rearme. Tais dispositivos são relacionados à questão de segurança do processo de automação. Toda vez que o botão de emergência for pressionado, o programa para todos os equipamentos. Caso esteja no modo autônomo, o sistema volta para o modo manual. Além disso, o programa emite um pop-up de alerta na página inicial, como mostrado na figura 57. Para que o sistema retorne ao funcionamento normal, o usuário precisa desarmar o botão de emergência e clicar no botão de rearme.

O processo de navegação, controle e monitoramento da ETE se comporta da forma citada

Figura 57 – Página de Emergência.



Fonte: Própria Autoria

acima. Agora pode ser entendido como é possível o funcionamento automático e manual do sistema. No próximo tópico, toda a lógica de programação por trás deste processo da IHM será detalhada.

Lógica da programação

Este tópico terá como função detalhar o modo de integração do CLP e da IHM, que formam um conjunto de equipamentos responsável por armazenar e processar a lógica de funcionamento do sistema, bem como a própria lógica utilizada para estruturar o funcionamento do processo.

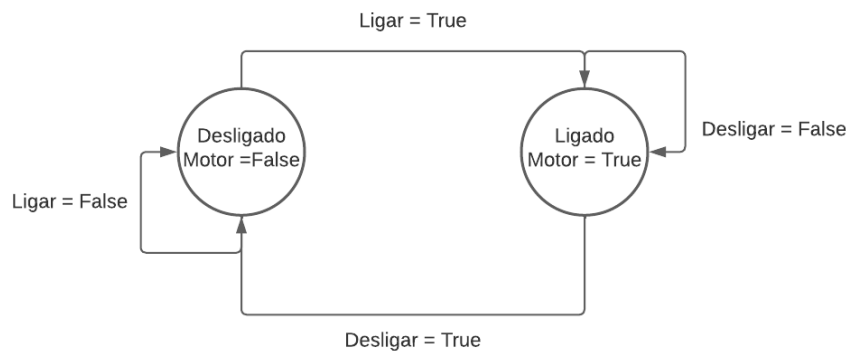
Como observado em um trecho no início do capítulo de metodologia, o Codesys suporta todas as cinco linguagens de programação estabelecidas pela norma da IEC. A escolha para o projeto foi o Texto Estruturado (ST). De acordo com Souza e Pereira (2015), trata-se de uma linguagem, como o próprio nome sugere, baseada em texto. Ela se assemelha a linguagens como C, contendo instruções de laços de repetição: FOR, WHILE e REPEAT, bem como instruções condicionais: IF, THEN, ELSE e CASE OF.

Com ela, é possível utilizar muitas técnicas de programação, incluindo a de máquinas de estados, utilizada na estruturação do código. Basicamente, esta técnica consiste em modelar o comportamento de um sistema com um conjunto finito de estados e transições, sendo comumente usada na indústria para o controle de processos sequenciais, como pode ser observado na figura 58.

O processo de desenvolvimento do algoritmo se inicia na configuração das portas I/O do CLP. Isso é necessário porque o dispositivo da IFM conta com a modulação das portas, onde elas são configuradas por meio de *software*. Ao abrir e criar um template de desenvolvimento no Codesys para o CLP, você encontrará a árvore de hierarquia do programa, como pode ser observado na figura 59.

É importante observar que nesta árvore existe um objeto denominado POU. Ele é respon-

Figura 58 – Máquina de estados.



Fonte: Própria Autoria

sável por integrar programas, funções e blocos, sendo sua denominação na língua portuguesa como Unidades de Organização de Programas. Dentro do Codesys é possível particionar o programa em várias POU's, porém, a PLC_PRG é a mais importante, já que ela é quem deve aportar todas as POU's desenvolvidas pelo programador, para compilação.

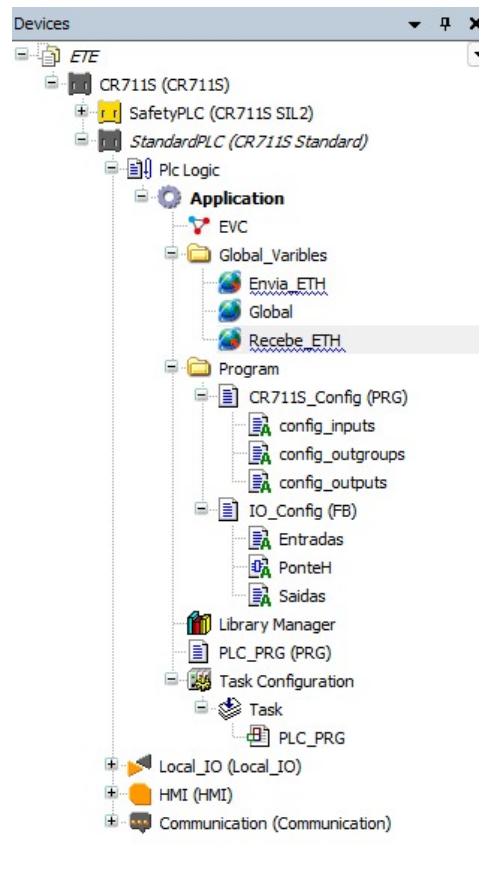
A configuração das portas é realizada pela POU CR711s_Config, que inclui outros 3 objetos. Estes objetos são: "config_inputs", "config_outgroups" e "config_outputs". Das 3, apenas 2 delas precisam ser configuradas, a "config_inputs" e a "config_outputs". Como o próprio nome sugere, é nessas POU's que são feitas as configurações das I/Os desejadas. A IFM disponibiliza um documento que descreve como realizar essa configuração. A figura 61 descreve quais equipamentos foram considerados como entradas e suas respectivas portas, e faz o mesmo para as saídas.

Após a configuração, o próximo passo é criar um objeto chamado *Network Variable List*. Esse objeto é responsável por estabelecer a comunicação UDP entre o CLP e a IHM, criando um canal de transmissão de dados. Essa etapa é necessária para que as variáveis possam ser endereçadas para a porta desejada.

Todos os elementos sensores encaminham seus dados para o CLP. Portanto, suas informações devem ser transmitidas à IHM para compilação. Dessa forma, a NVL que os comporta deve ser do tipo '*Sender*'. Por outro lado, os atuadores têm suas informações enviadas pela IHM para o CLP, indicando as ações que devem executar. Portanto, assumem o tipo '*Receiver*' na NVL, conforme ilustrado na figura 60.

A NVL '*Sender*', tanto na IHM quanto no CLP, recebe o nome '*Envia_ETH*', enquanto a '*Receiver*' é denominada '*Recebe_ETH*', como ilustrado na figura 59. Com a configuração desses objetos criados, já é possível endereçar as variáveis relacionadas às portas. Isso é feito na POU IO_Config, onde existem os objetos '*Entradas*' e '*Saídas*'. Os endereçamentos são realizados

Figura 59 – Árvore CLP.



Fonte: Própria Autoria

com base nos nomes dos objetos, como demonstrado na figura 61.

Como o CLP foi utilizado apenas como um extensor de I/Os, a POU PLC_PRG não precisa ser configurada, já que ela vem organizada com as POUs que foram alteradas. Essas configurações habilitam o CLP para sua função no sistema e interação com o código da IHM.

Assim como no CLP, a IHM dispõe de um template referente a ela para o desenvolvimento do código. A configuração para habilitação do seu funcionamento integrado com o CLP é bem simples, basta desenvolver, assim como nele, os objetos NVL para o transporte de dados.

O desenvolvimento da lógica do processo se baseou nos pilares descritos no modo de funcionamento do programa, sendo eles manual e automático. Para que o mesmo transitasse entre os modos, era necessário a criação de uma condicional e um caminho dentro da interface gráfica do sistema. Outra condicional importante para o processo que acontece de forma a ter importância maior a essa transição, é o modo de emergência.

A criação da lógica do programa se estruturou em diversas máquinas de estados que, juntas, se integram em uma única máquina de estados principal, conforme ilustrado na figura 62.

Como a POU PLC_PRG armazena todas as outras POUs responsáveis por completar

Figura 60 – NVLs.

```

1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR_GLOBAL
3   pHAtual:REAL:=0;
4   SensorDePressaoDeAr:WORD;
5   SensorMaxTqEnchl: BOOL:=FALSE;
6   SensorMinTqEnchl: BOOL:=FALSE;
7   SensorMinTqCircul:BOOL;
8   SensorMinTqCircu2:BOOL;
9   SensorMaxTqEnch2: BOOL:= FALSE;
10  SensorMinTqEnch2: BOOL:= FALSE;
11  //EmergenciaAccionada:BOOL;
12  BotaoEmergencial: BOOL;
13  BotaoEmergencia2: BOOL;
14  Rearme:BOOL;
15
16  // Chave de posição Valvulas
17  PosiFiltragem: BOOL;
18  PosiEnxague: BOOL;
19  PosiRecirculagem: BOOL;
20  PosiLavagem: BOOL;
21  PosiFechada: BOOL;
22  PosiEsvaziada: BOOL;
23  FimDeCursoValvula: BOOL;
24
25 END_VAR

```

```

5 {attribute 'qualified_only'}
6 VAR_GLOBAL
7
8
9 (*----- OUTPUTS -----*)
10 Misturador1:BOOL:=FALSE;
11 Misturador2:BOOL:=FALSE;
12 Misturador3:BOOL:=FALSE;
13 CompressorDeAr:BOOL:=FALSE;
14 MisturadorDoTanquePrincipal:BOOL:=FALSE;
15 BombaDosadora1:BOOL:=FALSE;
16 BombaDosadora2:BOOL:=FALSE;
17 BombaDosadora3:BOOL:=FALSE;
18 ValvulaPrensa1:BOOL:=FALSE;
19 ValvulaPrensa2:BOOL:=FALSE;
20 ValvulaSuc1TqEnchl:BOOL:= FALSE;
21 ValvulaSuc2TqEnchl:BOOL:= FALSE;
22 ValvulaTran1TqEnchl: BOOL:= FALSE;
23 ValvulaTran2TqEnchl: BOOL:= FALSE;
24 BombaTqEnchDireci:BOOL:=FALSE;
25 ValvulaArAgitacao:BOOL:=FALSE;
26 BombaFiltroAreia:BOOL:=FALSE;
27 SinaleiroAzul:BOOL:=FALSE;
28
29 FlagEmergencia:BYTE:=0;
30
31
32 Valvula_Motor0: BOOL:=FALSE;
33 Valvula_Motor1: BOOL:=FALSE;
34
35
36 END_VAR

```

Fonte: Própria Autoria

o código, criar uma máquina de estados com maior hierarquia dentro da mesma possibilita o desenvolvimento de ambas as condicionais principais do código. Desta forma, ela é a POU portadora da máquina de estado principal e secundária. No fluxograma disposto na figura 63, é possível entendê-las.

Ao iniciar a IHM, a primeira estrutura que o programa obedece é a máquina de estados principal. Ela é responsável por garantir que os comandos do botão de emergência sejam efetuados e que as outras máquinas de estados só possam ser executadas caso ela esteja cumprindo as normas de segurança. A decisão inicial do código é questionar em qual valor a *flag* da máquina de estados principal se encontra. Originalmente, esta variável foi configurada para iniciar como zero, prevendo que o sistema não se inicie em modo de emergência. Os comandos que estão dentro do estado equivalente ao valor zero da *flag*, após a inicialização, verificam se o botão de emergência está acionado, pois, caso ele esteja acionado e não cumpra a expectativa, a lógica altera o valor da *flag* da máquina para 1 (um), direcionando o fluxo do programa para o modo de segurança. Caso contrário, a próxima decisão do programa é questionar em qual modo booleano a *flag* da máquina de estado do modo de operação está: "TRUE" ou "FALSE".

Na importância das máquinas de estados suportadas por esse programa, a de modo de operação se caracteriza como sendo a secundária, pois ela é a responsável pela transição entre os modos manual e automático do programa. Por declaração inicial, esta variável é configurada como "FALSE" para que, ao iniciar o programa pela primeira vez, esteja no modo manual por questões de segurança.

Figura 61 – Endereçamentos.

```

IO_Config.Entradas x | CR711S | PLC_PRG | StandardPLC | CR711S_Config.config_outputs
2
3 //Sensor de pH
4
5 LIN_TRAFO0 (
6   IN:= IN0100.VAR_OUT.uiValueAnalogue, //0100
7   IN_MIN:= 4000,
8   IN_MAX:= 20000,
9   OUT_MIN:= 0,
0   OUT_MAX:= 12,
1   OUT=> ,
2   ERROR=> );
3
4 Envia_ETH.pHAtual:= LIN_TRAFO0.OUT;
5
6
7 //Entradas Digitais
8 Envia_ETH.SensorMaxTqEnchl:= IN0101.VAR_OUT.xValueDigital;
9 Envia_ETH.SensorMinTqEnchl:= IN0102.VAR_OUT.xValueDigital;
0 Envia_ETH.SensorMinTqCircul:= IN0103.VAR_OUT.xValueDigital;
1 Envia_ETH.SensorMinTqCircu2:= IN0203.VAR_OUT.xValueDigital;
2 Envia_ETH.SensorMaxTqEnch2:= IN0201.VAR_OUT.xValueDigital;
3 Envia_ETH.SensorMinTqEnch2:= IN0202.VAR_OUT.xValueDigital;
4 Envia_ETH.BotaoEmergencia1:=IN0400.VAR_OUT.xValueDigital;
5 Envia_ETH.BotaoEmergencia2:=IN0600.VAR_OUT.xValueDigital;
6 Envia_ETH.Rearme:=IN0601.VAR_OUT.xValueDigital;
7
8
9 Envia_ETH.PosiFiltragem:=NOT IN0000.VAR_OUT.xValueDigital; // Filtragem
0 Envia_ETH.PosiEnxague:=NOT IN0001.VAR_OUT.xValueDigital; // Enxague
1 Envia_ETH.PosiRecirculagem:=NOT IN0002.VAR_OUT.xValueDigital; // Recirculapão
2 Envia_ETH.PosiLavagem:=NOT IN0003.VAR_OUT.xValueDigital; // Lavagem
3 Envia_ETH.PosiFechada:=NOT IN0500.VAR_OUT.xValueDigital; // Fechada
4 Envia_ETH.PosiEsvaziada:=NOT IN0501.VAR_OUT.xValueDigital; // Esvaziado
5 Envia_ETH.FimDeCursoValvula:=NOT IN0502.VAR_OUT.xValueDigital; // Fim de curso da valvula
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
IO_Config.Saídas x | Recebe_ETH | IO_Config.Entradas | CR711S | PLC_PRG | StandardPLC | CR
1
2 //Saídas digitais
3 (*A conversão é necessaria porque a variavel VALUE é UINT e a saída é BOOL*)
4 CASE Recebe_ETH.FlagEmergencia OF
5   0:
6     OUT0000.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.BombaDosadora1);
7     OUT0001.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.ValvulaSuc1TqEnchl);
8     OUT0002.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.BombaDosadora2);
9     OUT0003.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.ValvulaSuc2TqEnchl);
10    OUT0004.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.BombaDosadora3);
11    OUT0005.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.ValvulaTran1TqEnchl);
12    OUT0006.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.Misturador1); // Misturador principal
13    OUT0007.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.ValvulaTran2TqEnchl);
14    OUT0008.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.Misturador2); // Misturador produto quimico
15    OUT0100.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.Misturador3); // inutilizado
16    OUT0101.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.ValvulaRegitacao);
17    OUT0102.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.BombaTqEnchE1Direci);
18    OUT0103.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.ValvulaFrensal1);
19    OUT0104.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.BombaFiltroAria);
20    OUT0105.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.ValvulaFrensa2);
21    OUT0107.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.CompressorDeAr);
22    OUT0200.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.Sina1e1roAzul);
23    OUT0206.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.Valvula_Motor0);
24    OUT0207.VAR_IN.uiValue:=BOOL_TO_UINT(Recebe_ETH.Valvula_Motor1);
25
26   1:
27     OUT0000.VAR_IN.uiValue:=0;
28     OUT0001.VAR_IN.uiValue:=0;
29     OUT0002.VAR_IN.uiValue:=0;
30     OUT0003.VAR_IN.uiValue:=0;
31     OUT0004.VAR_IN.uiValue:=0;
32     OUT0005.VAR_IN.uiValue:=0;
33     OUT0006.VAR_IN.uiValue:=0;

```

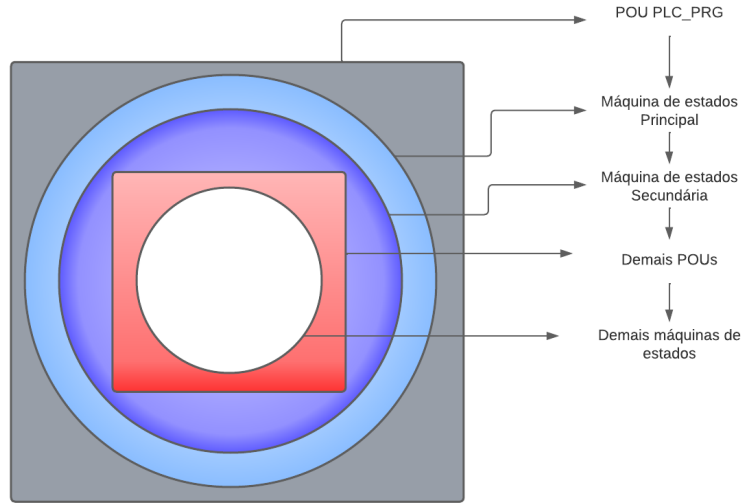
Fonte: Própria Autoria

A máquina de estados principal foi projetada para funcionar com três caminhos possíveis: o caminho de início do programa seguro, onde a *flag* dela se inicia como 0, passa pela condição do botão de emergência, que, por não estar pressionado, mantém o valor, e assume o modo falso do modo de operação, referente ao modo manual; o caminho de modo inseguro, onde a *flag* da máquina se inicia como 0 (zero) e, ao passar pela condição do botão de emergência, por estar pressionado, se torna 1 (um) e entra em modo de segurança; o caminho de modo seguro/inseguro, quando o programa começa em modo seguro e, após a ativação do programa, se torna inseguro devido a uma condição insegura no processo, quando o botão de emergência é pressionado.

O último modo assume a situação de insegurança esperada dentro de um processo, no qual ele opera suas funções até que uma condição insegura o leve ao modo de emergência.

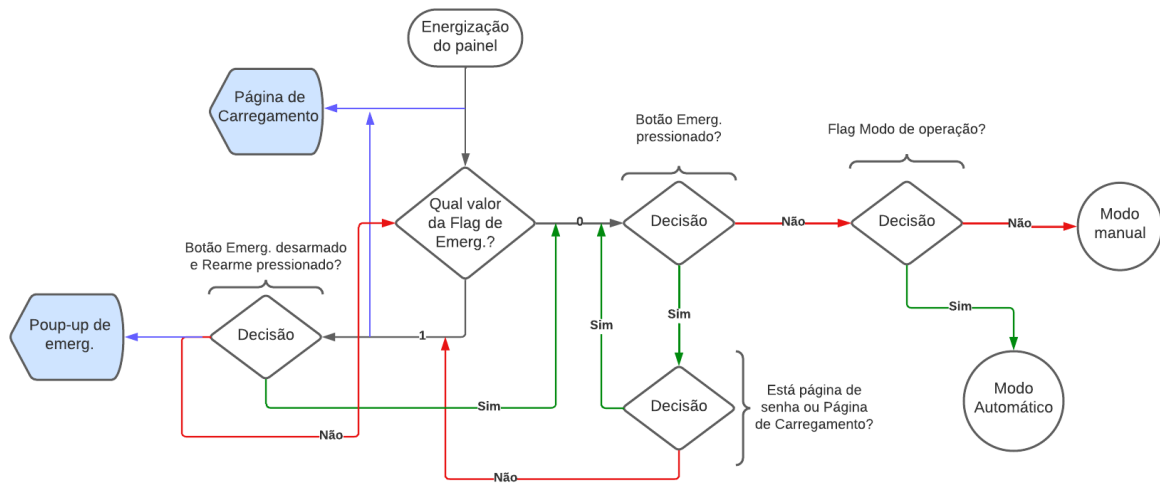
Todas as outras máquinas de estados obedecem hierarquicamente ao modo de emergência

Figura 62 – Máquina de estados do programa.



Fonte: Própria Autoria

Figura 63 – Fluxograma da POU PCL_PRG.



Fonte: Própria Autoria

e aos modos de operação, onde cada um dos modos habilita o funcionamento delas. Os acionamentos manuais feitos pelo programa não necessitam de comandos específicos, já que os elementos de controle dispostos pela IHM em forma gráfica já alteram o estado das saídas diretamente. Portanto, as POUs habilitadas por ele precisam operar nos dois modos, como mostrado na figura 64, manual e automático, são elas:

- SELECIONA_PAGINA: Esta POU contém a máquina de estados referente à figura 65, que dá um exemplo do seu funcionamento. A lógica por trás desta máquina de estados é

Figura 64 – POU's manuais e automáticas.

```

30
31   IniciaTemporizador:=TRUE;
32   IF TemporizadorDeDelay.Q THEN
33     CASE Envia_ETH.FlagEmergencia OF // Maquina de estado principal
34       0:
35         IF Recebe_ETH.BotaoEmergencial AND Recebe_ETH.BotaoEmergencia2 THEN // Emergencia
36           IF Global.ModoDeOperacao THEN // Automatico
37
38             VARIABLES_INVISIBLE ();
39             Gatilhos ();
40             PosicaoValvula ();
41             SELECIONA_PAGINA ();
42             CONFIG_HOURS ();
43             VERIFICATION_HOURS ();
44             TANQUE_ENCHI ();
45             TANQUE_CIRCULACAO ();
46             PRENSA_ENCHI2_FILTRO ();
47             CONTROLE_BRILHO ();
48             TELA_MENU ();
49             CONTROLE_USB ();
50
51         ELSE // Manual
52             VARIABLES_INVISIBLE ();
53             Gatilhos ();
54             PosicaoValvula ();
55             SELECIONA_PAGINA ();
56             CONFIG_HOURS ();
57             MODO_MANUAL ();
58             CONTROLE_BRILHO ();
59             TELA_MENU ();
60             CONTROLE_USB ();

```

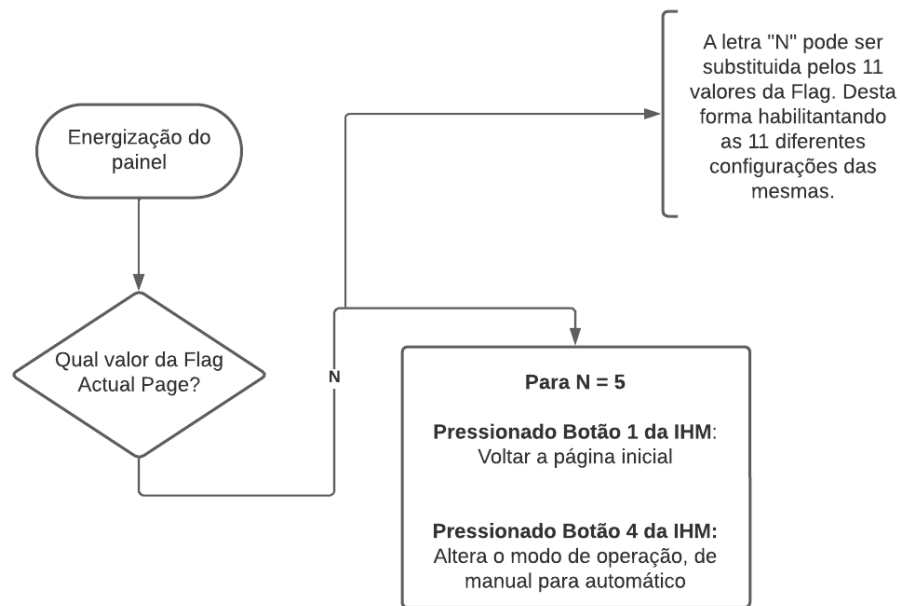
Fonte: Própria Autoria

habilitar as funções dos botões que podem ser usados em cada página a partir dos valores da *flag* responsável. Um exemplo de estados desta máquina é o 5. Ele tem em seu *script* a função de verificação dos botões da IHM pressionados, pegando a borda de subida deles para efetuar funções na página de configuração. Caso o 4º botão de cima para baixo da IHM seja pressionado, o código libera a alteração do modo manual para autônomo ou vice-versa. Lembrando que o modo autônomo só é salvo caso os horários sejam configurados de forma correta; se o indivíduo apenas alterar o modo de operação para autônomo e pressionar o botão referente à página inicial, o modo retornará ao manual.

- CONFIG_HOUR: Esta é a POU responsável pela lógica por trás das variáveis referentes à configuração do modo automático e dos horários configurados para o início do modo autônomo. Ela inclui uma máquina de estados onde a *flag* referente a ela é a quantidade de operações em 24 horas. De acordo com a quantidade escolhida, a máquina executa o estado referente à liberação das variáveis necessárias para o modo.

Por exemplo, caso a quantidade de operações seja definida como 2, a máquina irá assumir o estado 2. Nesse estado, com o auxílio da função de *pop-up* de telas do Codesys, ocorre a liberação de dois dos 4 campos responsáveis por armazenar os horários na página de configuração, conforme mostrado na figura 52. Após o usuário inserir os valores e armazená-los clicando no botão "Salvar", os horários são convertidos em minutos e armazenados em variáveis de comparação. Caso a diferença entre os dois horários seja menor que o tempo

Figura 65 – Fluxograma da POU SELECIONA_PAGINA.



Fonte: Própria Autoria

estipulado pelo usuário configurador, o indivíduo é advertido a respeitar a condição. Se os horários respeitarem essa condição, o programa salva esses horários em variáveis que serão comparadas na POU do modo automático, chamada "VERIFICATION_HOURS". O mais importante, a *flag* que representa a máquina de estado secundária muda seu valor para "TRUE", alterando o curso do fluxograma da figura 63, colocando o sistema no modo autônomo.

- PosicaoValvula: Esta POU contém a lógica de controle por trás do funcionamento da válvula do filtro de areia. Devido ao controle ser realizado pelo CLP, foi necessário desenvolver um código específico. Nele, é utilizada a função chamada "Sentido_do_Motor" da pasta de *Function Block* que se localiza na árvore hierárquica da IHM para ativar o motor da válvula. A partir disso, o programa verifica as posições da válvula através das chaves de posição e determina a posição correta de acordo com o input recebido.
- MODO_MANUAL: Ela contém o código de animação das barras de gráficos responsáveis por simular o enchimento do nível dos tanques no modo manual.
- VARIABLES_INVISIBLE: Ela é responsável pelas alterações das cores dos sinaleiros nas páginas da IHM, configurando as variáveis que controlam essas alterações.

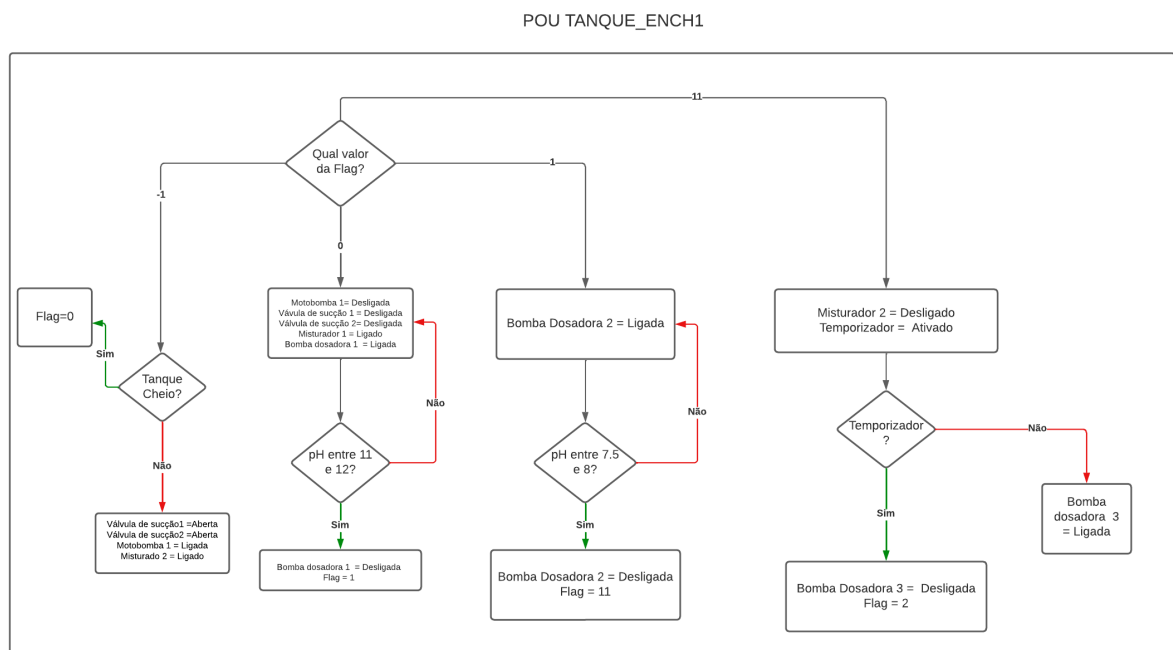
As demais POU's são de configurações do dispositivo IHM, como brilho, entrada USB e tela.

O modo autônomo integra, além das POU's citadas no modo manual, as POU's referentes à lógica de funcionamento do ciclo completo do processo da ETE automática e à verificação do horário responsável por iniciar o processo. A POU VERIFICATION_HOURS contém uma máquina de estados que usa a mesma *flag* da CONFIG_HOURS para definir quais variáveis devem ser comparadas com o horário atualizado para mudar a variável do programa que inicia o processo automático.

O ciclo completo autônomo do processo da ETE foi dividido em 3 POU's, porém, juntas formando apenas uma única máquina de estados. A POU TANQUE_ENCH1 comporta 4 dos 7 estados totais do ciclo, a TANQUE_CIRCULACAO comporta 1 estado e a PRENSA_ENCHI2_FILTRO comporta os 2 estados restantes.

O fluxograma da POU TANQUE_ENCH1 pode ser observado na figura 66. A partir dele, é possível compreender a lógica utilizada.

Figura 66 – Fluxograma da POU TANQUE_ENCH1.



Fonte: Própria Autoria

Observando o fluxograma, é possível ver que, quando a variável referente à ativação do programa encontra-se como "TRUE", é processado o primeiro estado da máquina, que assume o valor -1. Este verifica se o sensor de nível do tanque de enchimento 1 indica seu nível máximo. Caso não indique, ele efetua a abertura das válvulas de sucção, liga a motobomba 1 e o misturador 2. Este conjunto de tarefas acontece com o intuito de cumprir a subetapa 2.1. Assim que o sensor indica o nível máximo do tanque, a flag da máquina de estados é alterada para o próximo valor, pois a sub tarefa foi finalizada.

Enquanto ela se mantém neste novo valor, a motobomba 1 é desligada, as válvulas de sucção são fechadas e a bomba dosadora 1 é ligada, além do misturador 1 ser ligado, a fim de dar início à subetapa 2.2. Enquanto o valor do pH não entra no intervalo descrito no código, a bomba dosadora 1 permanece ativada. Quando o intervalo de pH é atingido, a bomba dosadora 1 é desligada, e a *flag* da máquina de estados muda mais uma vez de valor.

No estado atual da máquina, a bomba dosadora 2 é ativada e segue o mesmo *script* da anterior. Caso não atinja o intervalo de pH estipulado, ela permanece ativa. Ao atingir o intervalo, a bomba dosadora 2 é desativada, e a *flag* da máquina de estados assume o próximo valor.

Nesta ocasião, o misturador 2 é desativado, e a 3ª bomba dosadora é mantida ligada durante o tempo estipulado por um temporizador, já que ela injetará no fluido uma quantidade específica de produto químico. Tendo o tempo esgotado, a *flag* da máquina de estados se altera, cumprindo o último estado da POU TANQUE_ENCH1, finalizando a subetapa 2.2 do processo e assumindo o valor referente ao estado da máquina da POU TANQUE_CIRCULAÇÃO. A POU TANQUE_ENCH1 é organizada em uma lógica que cumpra a etapa 2 do ciclo da ETE.

Uma parte da etapa 3 é descrita pelo estado desenvolvido na POU TANQUE_CIRCULAÇÃO, tendo seu fluxograma exposto na figura 67.

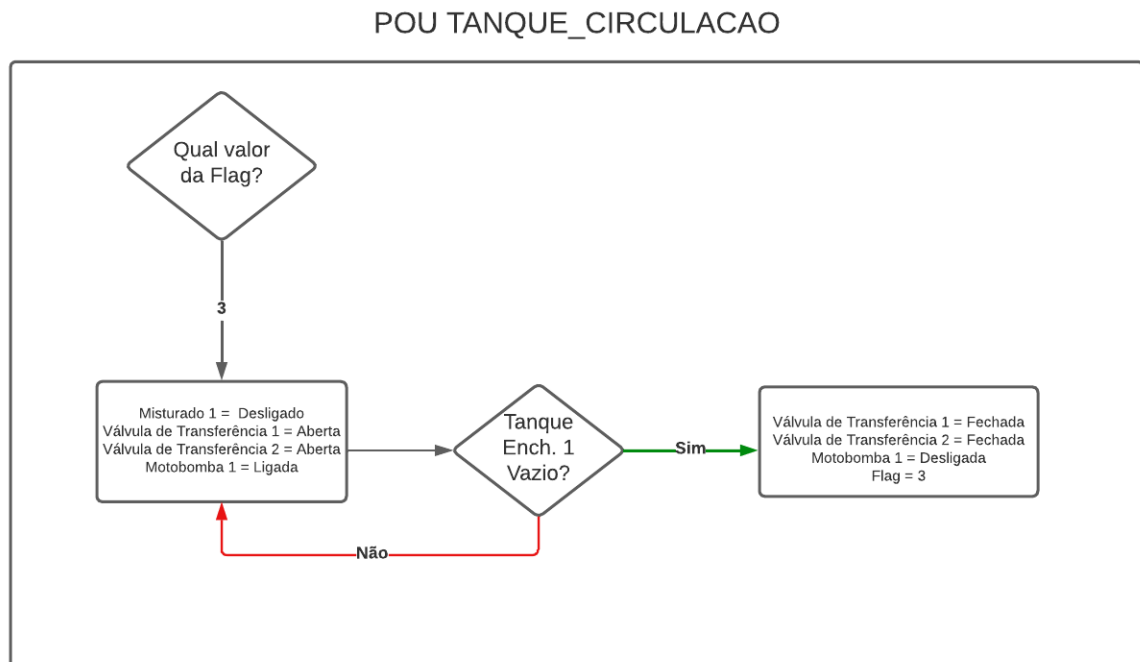
O estado desta POU desliga a bomba dosadora 3, desliga o misturador 1, abre as duas válvulas de transferência e liga a motobomba 1 até que o sensor de nível mínimo do tanque de enchimento 1 indique "FALSE". Quando o sensor tem a indicação desejada por meio de sua variável, o programa desliga a motobomba 1, fecha suas válvulas de transferência a partir do sinal digital e altera a *flag* da máquina de estados para o próximo valor. A POU TANQUE_CIRCULAÇÃO cumpre a subetapa 3.1, portanto, o algoritmo do 5º estado faz com que a POU PRENSA_ENCHI2_FILTRO assuma a sub *etapa* 3.2 e a etapa 4, finalizando o processo.

O 6º estado da máquina na POU PRENSA_ENCHI2_FILTRO é referente à subetapa 3.2. Na figura 68, é possível observar a máquina de estados desta POU.

Recebidos os sinais dos sensores de nível dos tanques de circulação, indicando que há fluido neles, o programa inicia um temporizador que, ao ser finalizado, abre as duas válvulas referentes à prensa, para ligá-la. Enquanto os sensores não indicam a falta de fluido, o programa mantém as válvulas abertas. No entanto, assim que os sensores de níveis indicam que não há mais fluido nos tanques de circulação, as válvulas são fechadas, e a *flag* da máquina de estados assume seu último valor. Dessa forma, o tanque de enchimento 2 armazena todo o fluido do processo, aguardando as tarefas a serem executadas pelo filtro de areia.

O último estado pelo qual o processo autônomo da ETE percorre dentro de sua máquina de estados é aquele que representa o último valor da *flag* mencionada, cumprindo a etapa 4 do ciclo autônomo. A lógica dentro deste estado é posicionar a válvula do filtro de areia em suas posições e executar suas tarefas. Para isso, foi desenvolvida outra máquina de estado interna responsável pelo processo autônomo.

Figura 67 – Fluxograma da POU TANQUE_CIRCULACAO.



Fonte: Própria Autoria

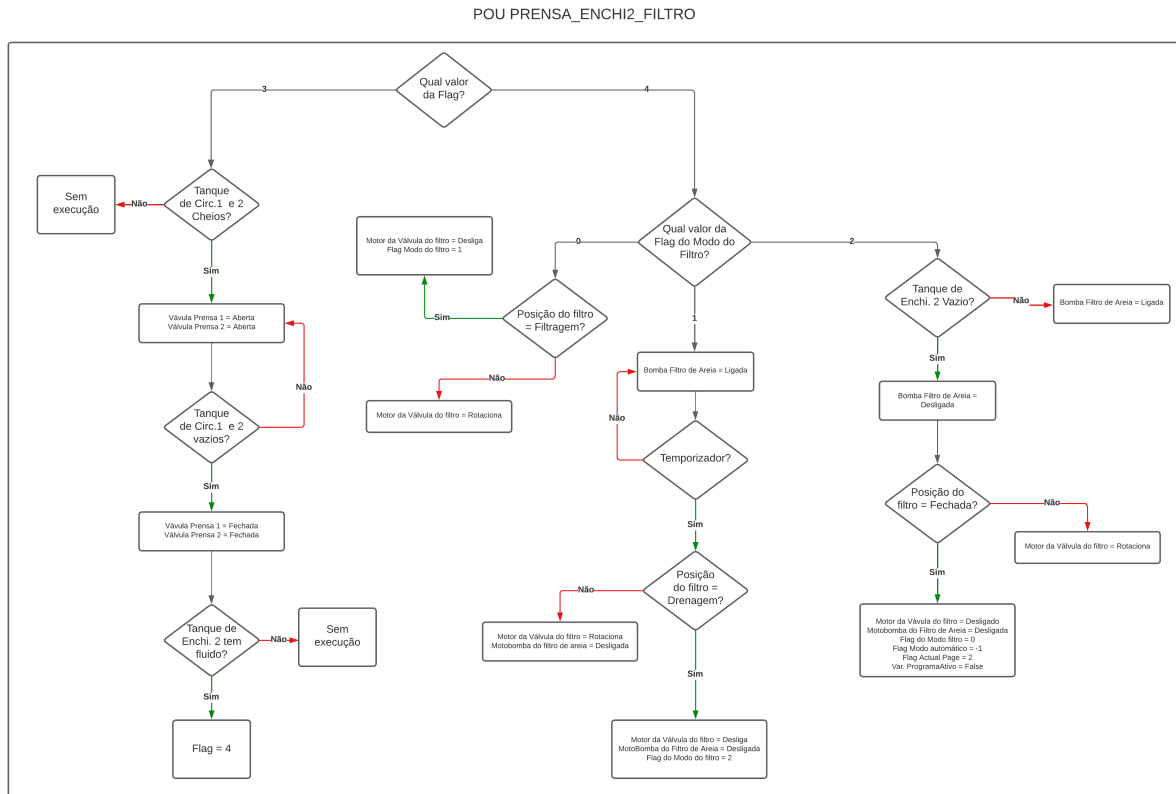
Essa máquina contém apenas 3 estados. No primeiro estado, que a sua *flag* assume, ocorre a verificação da posição em que a válvula está. Não estando na posição desejada, o motor da válvula gira até encontrá-la, onde desliga o motor e muda o estado da *flag* desta máquina.

Ao assumir o segundo valor da *flag*, a posição de filtragem da bomba é encontrada, e então a motobomba do filtro é ligada, iniciando o processo de filtragem. Paralelamente a isso, um temporizador é iniciado com a intenção de desativar a filtragem assim que o tempo proposto for alcançado.

Com o temporizador finalizado, a motobomba é desligada e novamente o motor do filtro gira em busca de sua nova posição, a drenagem. Ao encontrá-la, novamente a motobomba do filtro é ligada, e a *flag* recebe o seu último valor referente ao último estado.

Como a drenagem é a tarefa de eliminação de todo o fluido de algum recipiente, a tarefa principal deste último estado é, ao receber o valor "FALSE" do sensor de nível mínimo do tanque de enchimento 2, desligar a motobomba do filtro para que ela não trabalhe no vácuo. Tendo recebido tal estado, a motobomba é desligada, e uma nova posição da válvula é configurada como desejada, a posição fechada. Então, assim como nas outras ocasiões, o motor gira até encontrar

Figura 68 – Fluxograma da POU PRENSA_ENCHI2_FILTRO.



Fonte: Própria Autoria

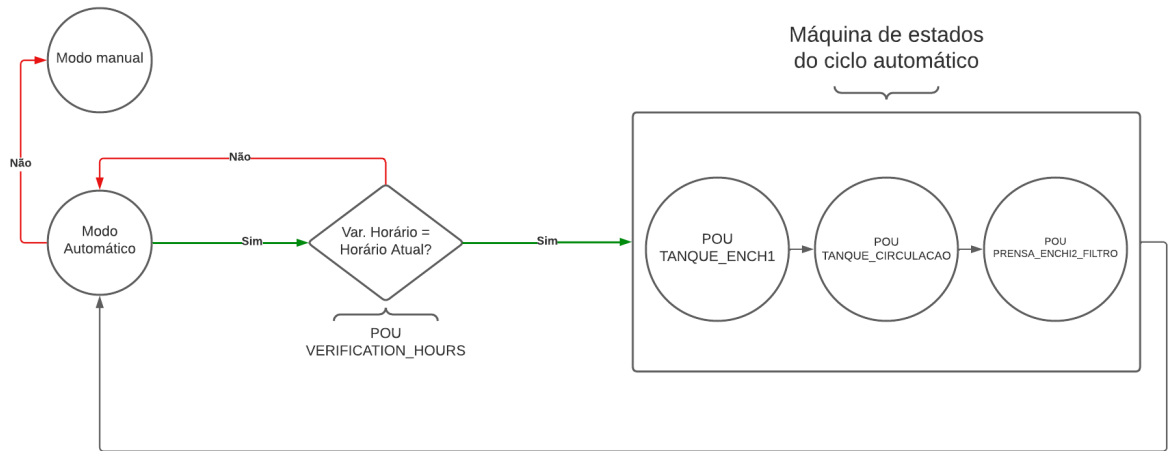
tal posição.

Após ser encontrada, um temporizador de transição é iniciado. Quando o valor do temporizador é atingido, a *flag* referente à máquina de estado do ciclo completo assume seu valor inicial, e a variável responsável por assumir o valor booleano que indica que o processo automático deve acontecer assume o valor "FALSE", encerrando o processo autônomo. Dessa maneira, todos os estados referentes à máquina de estados do ciclo autônomo completo da ETE são finalizados.

Assim, o caminho percorrido pela lógica de programação quando o modo do processo é autônomo está descrito na figura 69.

Perante ao detalhamento da lógica de programação do projeto, caso desejado, a obtenção de fato das linhas de códigos deve ser feita diretamente com a empresa portadora do projeto. Visto que, o desenvolvimento do mesmo agrega-se aos direitos autorais da mesma.

Figura 69 – Fluxograma do caminho do modo autônomo.

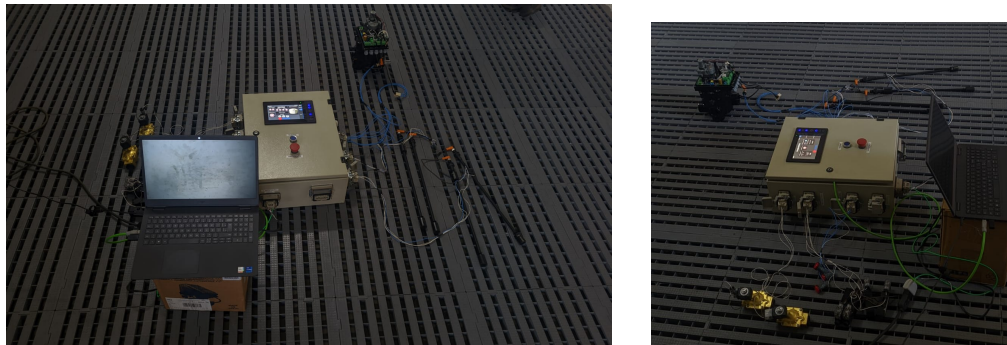


Fonte: Própria Autoria

5 RESULTADOS

A validação do programa e da interface gráfica desenvolvida para a automação da ETE aconteceu a partir da metodologia de teste de bancada, ilustrado na figura 70. O mesmo foi estruturado a partir do painel elétrico/comando principal, onde a IHM e o CLP estão localizados.

Figura 70 – Teste de bancada.



Fonte: Própria Autoria

Para a sua realização, foram utilizados alguns dos componentes que fazem parte da implementação física da automação da ETE. Todos eles foram dispostos em um ambiente que pudesse ser controlado e monitorado para a confirmação do funcionamento ideal do programa. Reiterando que o mesmo tem como objetivo disponibilizar o funcionamento automático da ETE, onde a visualização dos componentes controlados por ele deve obedecer ao *script* desenvolvido. Além de disponibilizar o controle manual dos componentes. A partir disso, o teste de bancada tem a finalidade de validar o processo em pequena escala de forma controlada.

O processo, de forma geral, tem como objetivo controlar os itens dispostos na tabela 4, porém, alguns deles foram substituídos por componentes que, em um teste de bancada, equivalem ao seu funcionamento para validação. Isso ocorre porque a viabilidade dos componentes substituídos em um teste de bancada é baixa.

Dos itens citados na tabela 4, o conjunto válvula esférica + atuador pneumático + válvula solenoide foi substituído no teste apenas pelas válvulas solenoides. Isso ocorreu com a prerrogativa de que a constatação do sinal de chegada nas válvulas solenoides 24VCC, por meio do LED da mesma, pode ser considerada como o acionamento do conjunto como um todo. Isso porque, ao receber o sinal do controlador, a válvula solenoide libera o ar para o atuador, que por sua vez exerce o trabalho de abrir a válvula esférica por completo, liberando o fluido do sistema.

Os sensores de níveis, por sua vez, foram os modelos cotados para o projeto, tanto os sensores de níveis dos tanques de circulação quanto os dos tanques de enchimento.

As motobombas, devido às suas dimensões, não foram utilizadas. A conferência do funcionamento do programa em relação a elas ocorreu por meio do acionamento dos seus respectivos contadores. Isso ocorreu porque o contator usado por elas possui um dispositivo de identificação de comutação. Dessa forma, foi possível observar o seu funcionamento em relação

Tabela 4 – Tabela dos componentes

Componentes	
Itens	Informações
Conjunto Válv. Solenoide + Atuador pneul. + Válv. Esferica	Conjunto que caracteriza as válvulas de sucção e transferência.
Motobombas	Referente a motobomba 1 e motobomba do filtro de areia.
Sensor de pH	Componente de monitoramento do pH.
Sensores de nível	Engloba todos os sensores dos tanques circulação e enchimento.
Bombas dosadoras	Responsáveis por injeção dos produtos no fluido.
Misturadores	Referente ao misturador do tanque principal e do tanque de armazenamento do produto químico.
Válvula de diafragma	Responsável pelo controle do filtro prensa
Válvula do filtro de areia	Responsável pelo controle do filtro de areia

Fonte: Própria Aatoria

ao seu acionamento, já que ao ser comutado, o contator indica que está ocorrendo a passagem de tensão para alimentação e acionamento da carga.

As bombas dosadoras tiveram sua implementação também substituída. Elas foram trocadas por sinaleiros 24 Vcc. A justificativa se dá pelo fato de que o acionamento delas é feito por meio de um relé de interface que comuta fechando o contato e habilitando seu funcionamento. Esse mecanismo do relé pode ser substituído pelos sinaleiros, onde a comutação do relé e o acionamento das bombas equivalem ao acender do sinaleiro quando recebe o sinal 24Vcc do controlador.

Os misturadores seguiram o mesmo caminho das motobombas. Como o acionamento deles acontece por meio dos contadores, os mesmos foram utilizados como equivalentes.

O sensor de pH dos componentes da automação é o que em um teste de bancada não é possível de ser implementado. O ambiente necessário para o funcionamento do mesmo se torna inviável de replicar, pois necessitaria de conhecimentos fora da alçada do ramo de automação para manipulação de uma porção de fluido teste para variar seu pH. Assim, a equivalência do componente foi feita a partir do próprio software. Como existe a possibilidade de controle do programa ao mesmo tempo da IHM pelo software instalado no computador, foi gerado no próprio software um scroll que simulava a variação de leitura do pH, dessa forma, podendo validar a conferência do programa ao set point desejado.

As válvulas de diafragma responsáveis por ativar o filtro-prensa foram utilizadas de forma real, assim como os sensores de nível, o que permitiu monitorar sua ativação de forma prática.

A válvula do filtro de areia, devido à sua peculiaridade de ser controlada pelo próprio

controlador do sistema após um processo de engenharia reversa, teve sua implementação física no teste de bancada. Devido à sua importância significativa, ela foi inspecionada de forma mais minuciosa.

A conexão de todos esses componentes com o painel elétrico/comando foi feita por meio de tomadas industriais KAP, seguindo o devido diagrama elétrico do painel. O painel auxiliar do projeto não foi utilizado no teste de bancada, uma vez que os componentes do mesmo foram validados sem a sua necessidade.

Tais periféricos tornam possível a realização do teste de bancada para o projeto. O objetivo específico do teste foi verificar o modo de segurança, as barreiras de segurança de *login* de acesso, o modo de configuração de modo de operação, e o modo manual e automático.

A primeira tarefa efetuada no teste foi alimentar o painel elétrico com o botão de emergência pressionado e não pressionado. Essas duas condições de configuração colocam em teste os caminhos de modo seguro e modo inseguro que foram citados no funcionamento do programa. Ao energizar o painel com o botão de emergência pressionado, o programa fica retido na página de carregamento, como mostrado na figura 42. Essa ação é esperada, já que o *script* desenvolvido impede o acesso ao sistema em modo de inicialização insegura. Ao desacionar o botão de emergência e pressionar o botão de rearme, o programa dá acesso à página de *login*.

Cumprindo este teste, foi feita a desenergização do painel e, em seguida, a energização do mesmo com o botão de emergência desacionado. Essa ação cumpre o objetivo esperado, onde o programa, após mostrar a página de carregamento, permite o acesso à página de *login*. Este teste valida o caminho desejado e programado para o programa percorrer em modo seguro.

A segunda tarefa do teste foi validar a página de *login* do programa. Essa tarefa consistia em inserir um *login* e senha incorretos e corretos com o intuito de inspecionar o resultado da ação. Ao inserir o *login* e senha incorretos, a barreira funcionou de forma que impossibilitou o acesso ao usuário, como ilustrado na figura 71, agindo conforme a programação feita, como esperado.

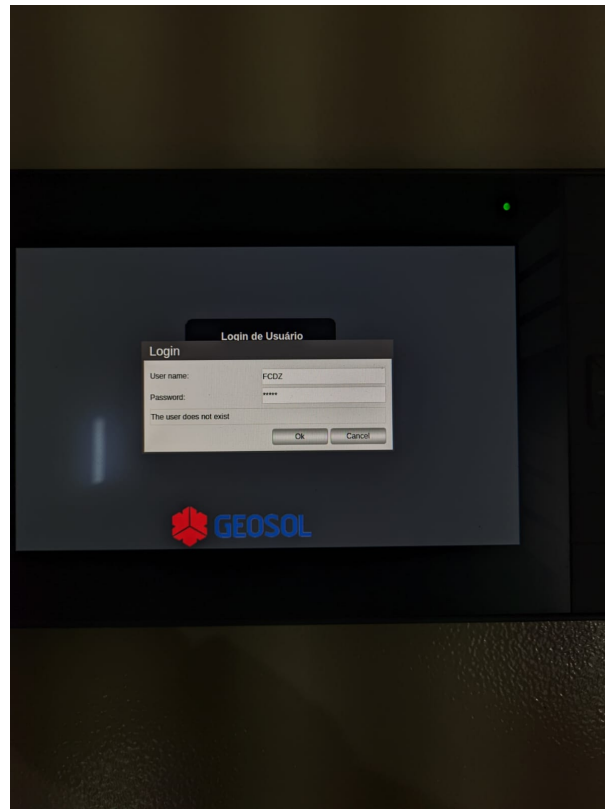
Inserindo o *login* e senha corretos, o programa permite o acesso à página inicial. O teste comprova que o caminho que deveria ser seguido pelo programa está ocorrendo de forma correta.

Após a conclusão desses dois testes e estando na página inicial do programa, foi possível verificar algumas configurações desejadas. A data e a hora do programa estavam de acordo com a data e hora local, e o modo de operação estava configurado como manual, conforme o padrão, como mostrado na figura 72.

Nesta página, também foi possível verificar a função de acesso às páginas por meio dos botões físicos, que cumpriram as ações desejadas de forma correta. Através deles, foi possível acessar as páginas de modo manual, configuração, filtro e higienização do filtro.

Nas páginas de filtro e higienização do filtro, foi possível testar os endereçamentos

Figura 71 – Erro de login.



Fonte: Própria Autoria

corretos dos objetos de comando da válvula do filtro de areia. Todas as ações propostas pelos objetos foram executadas corretamente, com a válvula se deslocando para as posições desejadas. Também foi possível verificar o acionamento da motobomba referente ao filtro de areia. Ao acionar o botão de acionamento da motobomba e analisar o contator correspondente a ela, foi possível detectar a sua posição de comutação que habilita a passagem de tensão.

A página manual contém parte dos itens do ciclo completo de processo da ETE. Nela, foi realizada a verificação dos itens de forma manual. O acionamento das válvulas de sucção e transferência foi verificado, atingindo o objetivo desejado, onde a cada acionamento por meio dos botões virtuais respectivos das válvulas solenoides correspondentes, o LED indicativo de comutação da bobina acendia. No caso da motobomba 1, o acionamento correto foi verificado pelo contator e pela IHM. Ao pressionar o botão destinado a ela, o sinaleiro da IHM que indica o funcionamento da motobomba acendia em verde, e o contator comutava, o que podia ser observado pelo seu indicador.

O valor do pH, por sua vez, foi demonstrado pela leitura a partir do scroll mencionado anteriormente. Com ele, foi possível observar os marcadores de valor respondendo de acordo com o programado.

As bombas dosadoras, substituídas por LEDs, foram verificadas de forma semelhante às válvulas. O endereçamento, estando correto, permitia que ao pressionar o botão virtual, cada

Figura 72 – Página Home.



Fonte: Própria Autoria

sinaleiro referente à sua bomba dosadora fosse ativado, demonstrando a eficácia do programa.

Os misturadores tiveram suas verificações feitas da mesma forma que a motobomba. Ao acionar os botões virtuais, a ativação deles foi inspecionada de acordo com o posicionamento do contator, que indicava a comutação dos mesmos.

O nível do tanque de enchimento 1 foi testado de forma física. No modo manual, o tanque de enchimento tem seu nível controlado após as válvulas de sucção estarem abertas e a motobomba 1 estar ligada. Com essa configuração, a verificação correta da leitura ocorreu com a mudança de estado do sensor de forma forçada. No caso do nível mínimo, foi realizado o deslocamento manual da boia até o final de sua haste, o que gerou a indicação de nível mínimo do tanque na IHM. Da mesma forma, foi feito no nível máximo, o que resultou na indicação no gráfico de barras de forma correta. Essas ações manuais visaram simular o sensor em seu ambiente de trabalho no tanque.

A ação necessária para verificar os itens restantes do ciclo completo da ETE na página manual 2 faz com que haja uma verificação da correta ação do botão físico da IHM na troca de página. Como esperado, ele cumpriu a função desejada e permitiu a troca de página. A página manual 2 tornou possível o teste das válvulas de diafragma da prensa, do sensor de nível dos tanques de circulação e do tanque de enchimento 2, da motobomba do filtro e das posições da válvula do filtro de areia.

Ao acionar os botões virtuais das válvulas da prensa, ambas foram ativadas separadamente,

demonstrando o correto endereçamento do programa. O teste dos sensores de nível foi realizado de forma semelhante ao anterior, obtendo os resultados desejados. Vale ressaltar que os sensores de nível dos tanques de circulação ativaram os sinaleiros respectivos a eles.

A motobomba do filtro de areia foi testada da mesma forma que a motobomba 1, com a verificação do contator de forma idêntica, cumprindo as expectativas. O marcador de posição da válvula do filtro de areia seguiu o que foi programado, visto que no teste dos modos manuais, quando não estava na posição desejada, emitia a informação de "procurando", e quando chegava à posição desejada, emitia a informação da "posição encontrada."

A validação de muitos dos itens descritos ocorreu de maneira semelhante, porque, da perspectiva da IHM, eles funcionam de forma parecida. No entanto, isso demonstra que todos os componentes trabalham de acordo com o script do programa desenvolvido. Dessa forma, o teste do modo manual da ETE atingiu o objetivo desejado de monitoramento e controle dos componentes implementados.

Ao finalizar o teste do modo manual, o modo automático foi testado. Para isso, a partir da página inicial, navegou-se para a página de configuração. No entanto, como há uma página de controle de acesso, houve um teste de verificação de login e senha da mesma maneira que na primeira página de controle, e o programa correspondeu de forma idêntica, cumprindo a sua função desejada.

Como parte do teste do modo automático, foi agendado um horário de funcionamento do ciclo autônomo. Vale ressaltar que esta ação validou todo o processo desenvolvido para atingir esse objetivo, que ocorreu de acordo com o esperado. A alteração do modo ao pressionar o botão referente à troca, a inserção de processos em 24 horas, a disponibilização das caixas de horários e a indicação de horário salvo ocorreram de forma correta, demonstrando o funcionamento adequado dos passos da página de configuração.

Na figura 74, é possível ver que no teste foi configurado apenas um horário de funcionamento em 24 horas, às 17:12 horas.

Ao retornar à página inicial, a figura 74 demonstra que, na aba de programação atual, como proposto, é possível visualizar o horário de início do processo automático e o total de operações no dia, indicando quantas foram realizadas. Na aba de modo de operação, é possível verificar o indicativo de que o processo está em modo automático. Todas essas alterações validam cada passo proposto na implementação do programa. Ainda no canto superior direito, pode-se observar que o processo autônomo deverá ser executado em alguns segundos, uma vez que o horário agendado é 17:12 horas e o horário atual é 17:11:16 horas.

Conforme esperado, quando o horário atual se torna equivalente ao horário agendado, a página do programa troca automaticamente para a página do processo automático, iniciando-o. Essa verificação pode ser feita a partir do horário no canto superior direito da figura 75.

De forma síncrona à troca de páginas, o processo autônomo do ciclo da ETE se inicia. Os

Figura 73 – Página de configuração.



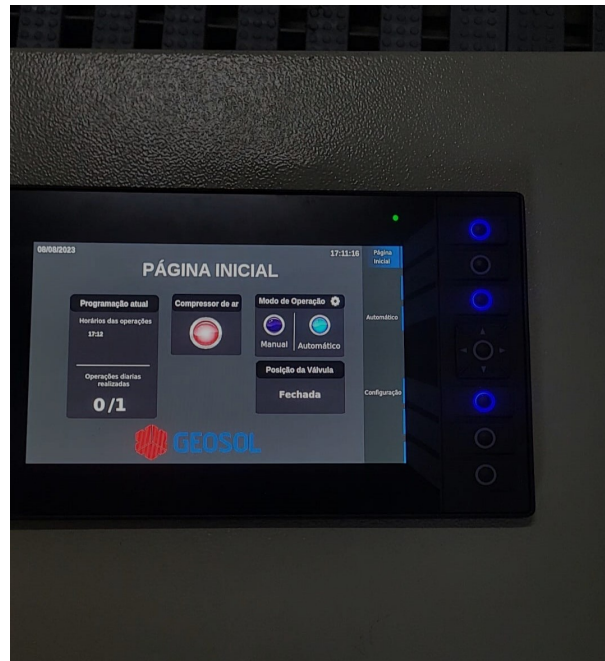
Fonte: Própria Autoria

acionamentos e leituras feitos pelo programa de forma autônoma foram monitorados durante todo o ciclo de tratamento do fluido da ETE. O programa cumpriu de forma correta todas as instruções que constituem o ciclo. A verificação de todos os componentes ocorreu de forma semelhante ao modo manual, visto que a diferença é que os acionamentos acontecem de forma automática e não manual. A partir da verificação, foi possível entender que todos os endereçamentos das portas foram configurados corretamente, e os componentes responderam ao estímulo causado de forma ideal. Cada etapa e subetapa do ciclo foi respeitada de acordo com o que o *script* demandava, cumprindo assim o objetivo geral do trabalho de tornar a ETE automatizada e autônoma.

O teste de bancada foi utilizado como ferramenta para adquirir e analisar os resultados entregues pelo programa desenvolvido e os componentes estipulados para a finalização do projeto. O desenvolvimento geral, se analisado nas entrelinhas, respeitava o objetivo do projeto em um mundo ideal. Testes adicionais, como o utilizado para a validação do processo, colocam o projeto à prova fora do mundo ideal, com o intuito de analisar seu comportamento.

Os resultados adquiridos a partir deste teste demonstraram que o projeto em geral está apto a ser testado no local real de fato do seu funcionamento. Isso porque, em pequena escala, o programa respeitou todo o *script* desenvolvido e cumpriu os objetivos específicos propostos por este trabalho, mesmo que alguns componentes não puderam ser testados de forma ideal.

Figura 74 – Página home.



Fonte: Própria Autoria

A análise dos resultados pode ser feita comparando os objetivos específicos do trabalho com as ações desenvolvidas pelo programa no teste de bancada.

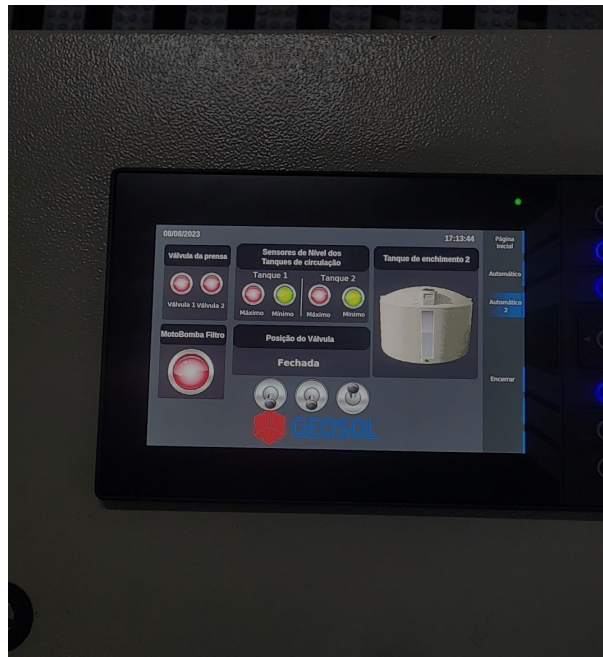
O primeiro objetivo específico que pode ser comparado é o controle do nível dos tanques de armazenamento. Foi proposto e pode ser analisado o seu funcionamento de acordo com os modos manual e automático, onde, demonstrado no teste, ao receberem estímulo, os sensores em conjunto com o programa indicaram o nível dos tanques. Assim, a função básica em relação ao monitoramento do nível foi cumprida com êxito, porém, ruídos e outras situações do trabalho real não puderam ser testados.

O controle da motobomba no teste pôde ser observado tanto manualmente pelo seu acionamento via botões da IHM quanto pelo modo automático, analisando o comportamento do seu respectivo contator.

De forma ideal, o controle e a manipulação do pH não puderam ser analisados corretamente. No teste, ficou subentendido que a manipulação ocorrerá no processo real a partir do funcionamento das bombas dosadoras pela injeção do produto químico ao serem acionadas. E por sua vez, este acionamento foi simulado a partir de sinaleiros que se equivalem ao relé de comutação das bombas. Já o controle do pH definitivamente em relação ao equipamento responsável não pôde ser comprovado, porém, o programa se comportou de forma a entender que, se o equipamento cumprir sua função, a integração ocorrerá perfeitamente.

Partindo da premissa de que, ao liberar o fluxo de ar para o filtro-prensa a partir de suas válvulas, o seu funcionamento se tornou validado, o objetivo específico determinado foi cumprido.

Figura 75 – Página automática.



Fonte: Própria Autoria

Isso porque, no teste, o acionamento tanto manual quanto automático das válvulas aconteceu de forma esperada, podendo ser analisado fisicamente.

O controle direcional do fluido foi inspecionado pela ativação da válvula solenoide, que representa o conjunto responsável pelo controle do fluido. Tanto manual quanto automaticamente, o programa efetuou o controle das válvulas de forma desejada, o que pôde ser verificado pelo LED indicador de comutação da mesma.

A válvula do filtro de areia é caracterizada como a válvula específica do objetivo específico. O controle dela respeitou todos os impulsos dados pelo controlador, e de forma muito precisa, o seu funcionamento efetuou cada comando desejado. A comprovação se deu pelo comportamento da mesma nas páginas de filtro, higienização do filtro, manual 2 e no modo autônomo.

Os últimos dois objetivos específicos foram validados durante todo o teste de bancada. Isso porque tratam da programação e da interface gráfica. Definitivamente, o programa pôde ser analisado de vários ângulos dentro do teste, e tudo o que foi pretendido e caracterizado como objetivo foi cumprido. Toda a parte de UI/UX, a parte gráfica, o *script* de funcionamento manual e automático seguiram como desejado. Este resultado atesta que o programa tem toda a capacidade de ser implementado em seu posto de trabalho real.

Esses resultados corroboram a ideia de que o projeto cumpriu as expectativas tanto no mundo ideal quanto em um teste que se aproxima tanto da implementação real desejada.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Um trabalho de automação do nível desenvolvido neste projeto fornece diversas experiências que, ao serem sintetizadas, desenvolvem um *know-how* ao profissional à frente dele. O projeto, como um todo, também foi capaz de demonstrar que, para o desenvolvimento de automação de qualquer planta ou dispositivo, é necessário o conhecimento da rotina de trabalho do mesmo, independentemente do seu ramo. A automação se destaca exatamente em situações como essas, de versatilidade e fornecimento de solução.

É possível listar alguns pontos muito importantes dentro da execução do projeto e suas conclusões. Por exemplo, a engenharia reversa da válvula do filtro de areia. Este obstáculo foi um agregador de conhecimento profissional. Esta válvula foi adquirida com o intuito de uso por meio de protocolo de comunicação industrial. No entanto, devido à pouca informação sobre seu funcionamento, por ser muito exclusiva, forçou uma tomada de decisão brusca dentro do projeto. Esta decisão foi aplicar a metodologia de engenharia reversa, que, por sua vez, acompanhava o peso de que um mau serviço acarretaria um atraso no cronograma do projeto, gerando custos adicionais. Isso demonstra que projetos no ramo de engenharia acompanham grandes responsabilidades.

A tecnologia disponível para o desenvolvimento do projeto também se destacou como ponto importante. O *software* utilizado para a programação do CLP e da IHM foi crucial para o avanço do projeto, com sua ferramenta de simulação de processo. Isso facilita e torna a ideia de testes físicos muito menos usuais em determinados pontos do projeto. Dessa forma, foi possível levar até o final do desenvolvimento do código o *script* sem necessidade de nenhum teste físico. A abordagem às tarefas de forma correta também demonstrou ao longo do projeto que técnicas de execução tornam metas e prazos mais facilmente alcançáveis. O planejamento é uma peça indispensável em situações como as do projeto.

Apesar de não ter sido implementada na planta real, a automação da ETE teve seu *feedback* satisfatório a ponto de atingir as metas estabelecidas como um todo para o projeto. O teste de bancada foi a metodologia escolhida para validação destes objetivos. Ao analisar os resultados, pode ser observado que o sistema como um todo reagiu como esperado, efetuando os controles sobre os atuadores e sensores utilizados. Os modos de operação foram pontos cruciais do programa para torná-lo versátil, trazendo mais controle sobre a planta, onde o modo automático é o principal deles. Isso porque a condução e funcionamento dele fazem com que a planta, após a programação dos horários diários de *start*, funcione sem a necessidade de nenhum operador. E o modo manual, por sua vez, traz a possibilidade de qualquer colaborador treinado operar a planta, caso necessário.

Isso mostra que dentro da automação, projetos podem ser desenvolvidos, propostos e validados, mesmo que não sejam implementados em seu objetivo final.

A automação da ETE acompanha trabalhos futuros a serem feitos para tornar seu funcio-

namento o mais próximo possível do mundo ideal. O primeiro deles é a sua implementação na planta real de funcionamento, para a execução do trabalho a que foi desenvolvido. Por si só, este trabalho acarretará outros futuros trabalhos de pequenas adequações do processo geral.

A otimização de algumas tarefas dentro do processo da ETE também é considerada como trabalho futuro. O controle remoto do processo via protocolos de comunicação industrial também é factível de implementação no futuro. O aumento da eficiência da planta física também é um dos principais trabalhos a serem executados, mas essa tarefa demandará muitos recursos necessários para seu desenvolvimento, já que terá que passar por uma nova projeção. Isso porque envolve diversas áreas profissionais em um só projeto, incluindo a automação.

Desta forma, o trabalho demonstra que o que foi desenvolvido é apenas uma parte do que ele pode vir a ser.

REFERÊNCIAS GERAIS

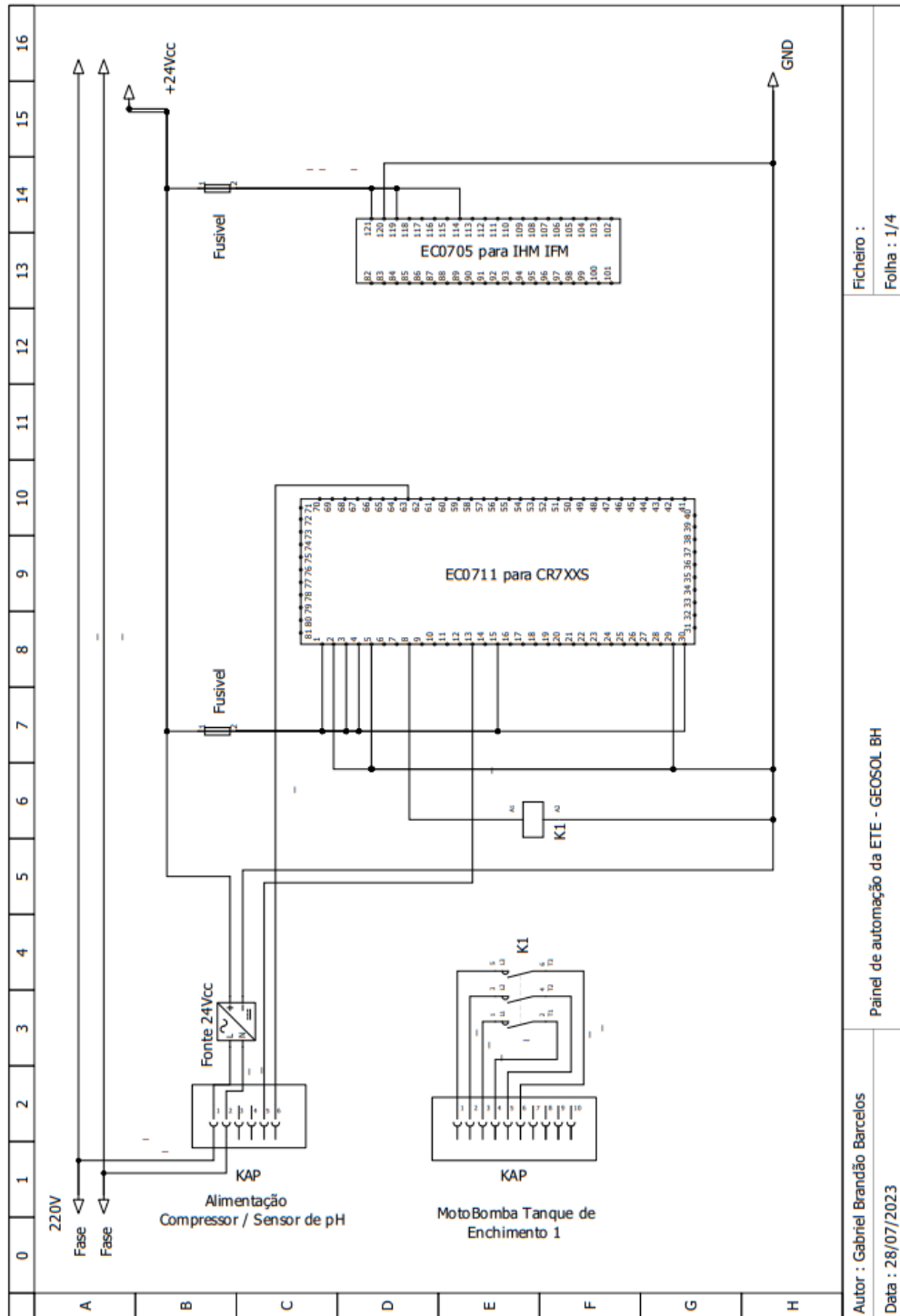
- AIRES, C. S. F.; ALMEIDA, G.; SILVEIRA, S. O. Inteligência artificial na gestão de estoque. **X Fatelog**, p. 1–7, 2019.
- AMARAL, E. M. F. et al. Sensores Eletroquímicos e Biossensores: Seus Princípios Básicos de Funcionamento e Algumas Aplicações: Princípios básicos sobre sensores eletroquímicos e biossensores. **Revista Virtual de Química**, v. 15, n. 3, 2023.
- ARAGÃO, P. H. d. C. et al. Proposta de automação de uma estação de tratamento de água para processos industriais. Universidade Federal de Uberlândia, 2022.
- BRAGA, A. V. et al. Machine learning: O Uso da Inteligência Artificial na Medicina. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 16407–16413, 2019.
- BRITO, F. **Sensores e atuadores**. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2017.
- CARDOZO, L. F.; FERREIRA, A. F. AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM ARDUINO. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 2, p. 622–634, 2023.
- CASTANHO, A. M. Direitos humanos na primeira revolução industrial. **ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498**, v. 4, n. 4, 2008.
- COSTA, I. M.; LISBOA, S. N. D.; SANTOS, T. P. Automação industrial. **Natal: Dca447-Departamento de Engenharia de Computação e Automação-Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, 2003.
- CUBAS, A. V. **Poluição Ambiental**. 3. ed. Santa Catarina: Unisul Virtual, 2009.
- CUNHA, W. Estudo da Inteligência Artificial aplicada em Internet das Coisas, voltada na Automação Residencial. **Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII**, n. 000121, 2018.
- DANTAS, W.; MINOTTI, C. Principais características das curvas de proteção de disjuntores. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 1, n. 1, e210969–e210969, 2021.
- DOERING, T. A.; CARMO, A. F. do. Inteligência Artificial e Internet das Coisas aplicada a Automação Residencial. **ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498**, v. 16, n. 16, 2020.
- FIEDLER, D. R. et al. Automação de uma Estação de Tratamento de Esgoto através de uma rede Zigbee. Florianópolis, SC., 2016.
- FRANCHI, C. M. **Acionamentos elétricos**. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2018.
- FRITZ, R. T. Melhoria da automação dos processos de uma estação de tratamento de esgotos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

- LIMA, E. C. de; OLIVEIRA NETO, C. R. de. Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 17, n. 194, p. 102–113, 2017.
- LUZ, E. M. **Sistema de Tratamento e Abastecimento**. 1. ed. Santa Catarina: Unisul Virtual, 2010.
- MATOS, J. d. L. Implementação de um projeto de melhorias em um processo de reação química em batelada utilizando o método DMAIC, 2003.
- MELLO, R. J. Automação de uma estação de tratamento de água. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2018.
- MELO, J. S. d. et al. Sistema de automação e controle de nível em estação de tratamento de efluentes industriais utilizando plataforma arduino. Recife, 2022.
- MORITA, D. M. **Prevenção e controle da poluição da água e do solo causada por resíduos industriais perigosos**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- NAZO, G. N.; MUKAI, T. O direito ambiental no Brasil: evolução histórica e a relevância do direito internacional do meio ambiente. **Revista de direito administrativo**, v. 223, p. 75–104, 2001.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987. P. 1–3.
- NETO, L. P.; ARECO, L. B. Automação de Tratamento de Água de Poço Artesiano. **IX Simpósio de Excelência de Gestão e Tecnologia. Gestão, Inovação e Tecnologia para a Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, 2012.
- NOBRE, L. R. **Prova de conceito para o sistema de automação da Estação de Tratamento de Esgotos da UFRN**. 2018. B.S. thesis – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 3. ed. Sergipe: Triunfo, 2001.
- OLIVEIRA, A. L. d. L. **Instrumentação, elementos finais de controle**. [S.l.]: Senai, 1999.
- OLIVEIRA, L. A. de; HENKES, J. A. Poluição hídrica: poluição industrial no Rio dos Sinos-RS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 186–221, 2013.
- PARREIRAS, M. et al. Inteligência artificial aplicada para o aumento da produtividade no atendimento de intimações. In: SBC. ANAIS do X Workshop de Computação Aplicada em Governo Eletrônico. [S.l.: s.n.], 2022. P. 180–191.
- POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos avançados**, SciELO Brasil, v. 31, p. 271–283, 2017.
- RIBEIRO, M. A. Automação industrial. **Salvador:[sn]**, 1999.
- RICHARD C. DORF, R. H. B. **Sistemas de Controle Modernos**. Rio de Janeiro: Addison Wesley Longman, Inc, 1998. ISBN 0-201-30864-9.

- ROCHA, S. T. K. et al. Modelo de referência para interface homem máquina no CLP. Joinville, SC, 2021.
- ROCHA, W. S.; ANHESINE, M. W. Automação residencial por comando de voz. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 179–191, 2020.
- ROGERIO, B. L.; FERRAZ, R. C. **Projeto de automação da estação de tratamento de efluentes em Bertioga-São Paulo**. 2014. B.S. thesis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- ROSARIO, J. M. **Automação industrial**. [S.l.]: Editora Baraúna, 2012.
- SANTOS, J. W.; LARA JUNIOR, R. C. d. **Sistema de automatização residencial de baixo custo controlado pelo microcontrolador esp32 e monitorado via smartphone**. 2019. B.S. thesis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- SAVOLDI, J. **Estudo do comportamento de um contator de corrente alternada na presença de afundamento de tensão**. 2013. B.S. thesis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- SIEGLE, T. et al. Otimização de custos operacionais de uma estação de tratamento de efluentes industriais de uma indústria de peças automotivas. Florianópolis, SC., 2012.
- SILVA, C. A.; MIRANDA, V. L. D. Automação residencial com inteligência artificial. **Revista Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade na Engenharia Eletrica**, v. 1, n. 1, p. 48–70, 2018.
- SILVA, F. R. M. d. **Implantação e desenvolvimento de uma rede de automação industrial e sistema SCADA para estação de tratamento de água purificada**. 2017. Diss. (Mestrado) – Brasil.
- SILVA, J. A. F. d.; LAGO, C. L. d. Módulo eletrônico de controle para válvulas solenóides. **Química Nova**, SciELO Brasil, v. 25, p. 842–843, 2002.
- SILVEIRA, L.; LIMA, W. Q. Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial. **Redes para Automação Industrial. Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, p. 16, 2003.
- SOUZA, L. C.; PEREIRA, A. L. S. Estudo e aplicação de linguagens de programação utilizando o software codesys. **Instituto federal de educação, ciência e tecnologia de goiás**, 2015.
- STAMBOROSKI, J. D. S. et al. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NO RECONHECIMENTO FACIAL. **Salão do Conhecimento**, 2019.
- TCHOBANOGLIOUS G., B. F. L. S. H. D. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

APÊNDICE A – DIAGRAMA ELÉTRICO DO PAINEL PRINCIPAL

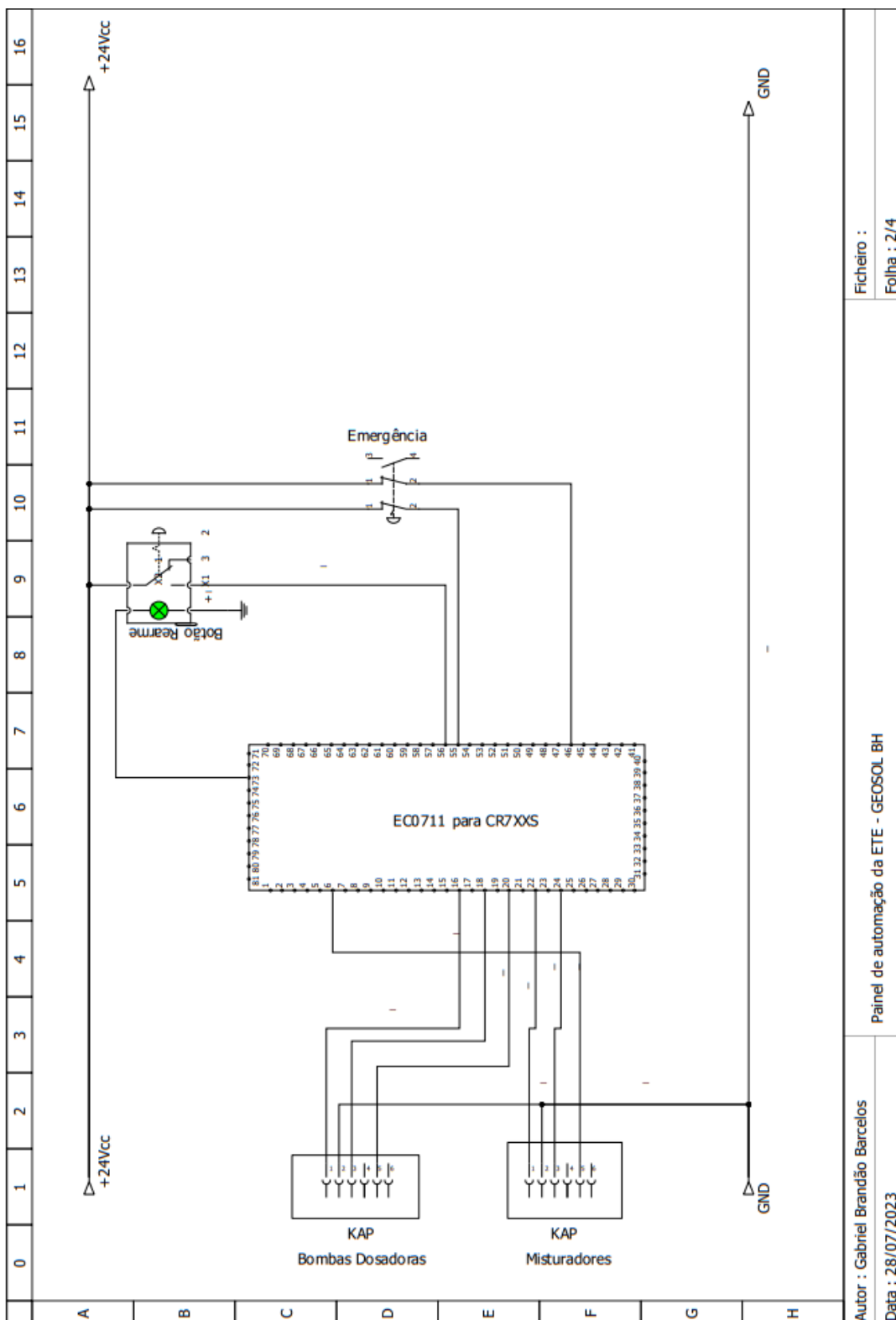
Figura 76 – Diagrama Elétrico do Painel Principal 1/4.



Ficheiro :	
Folha : 1/4	
Painel de automação da ETE - GEOSOL BH	
Autor : Gabriel Brandão Barcelos	
Data : 28/07/2023	

Fonte: Própria Autoria

Figura 77 – Diagrama Elétrico do Painel Principal 2/4.



Autor : Gabriel Brandão Barcelos

Data : 28/07/2023

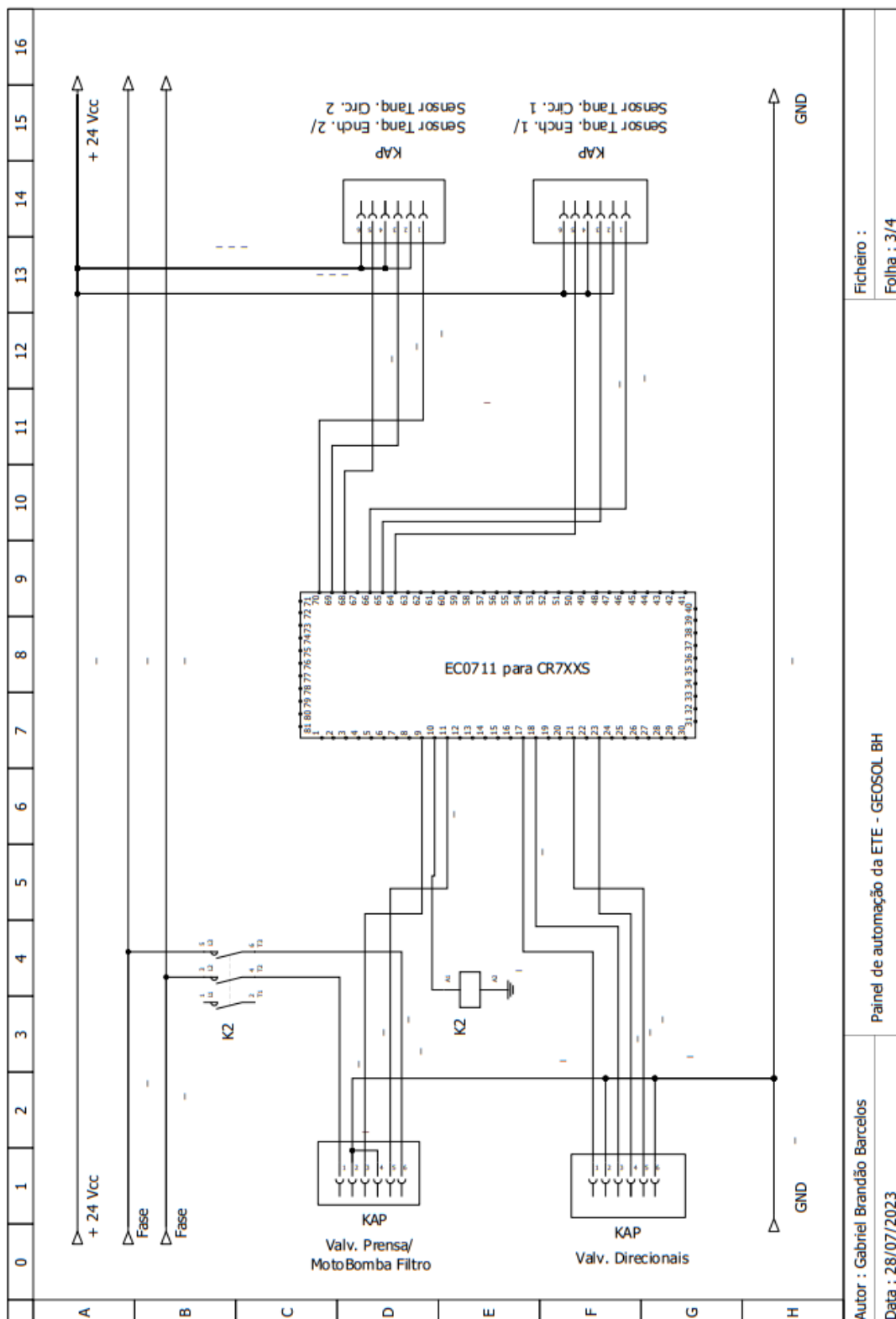
Painel de automação da ETE - GEOSOL BH

Ficheiro :

Folha : 2/4

Fonte: Própria Autoria

Figura 78 – Diagrama Elétrico do Painel Principal 3/4.



Autor : Gabriel Brandão Barcelos

Data : 28/07/2023

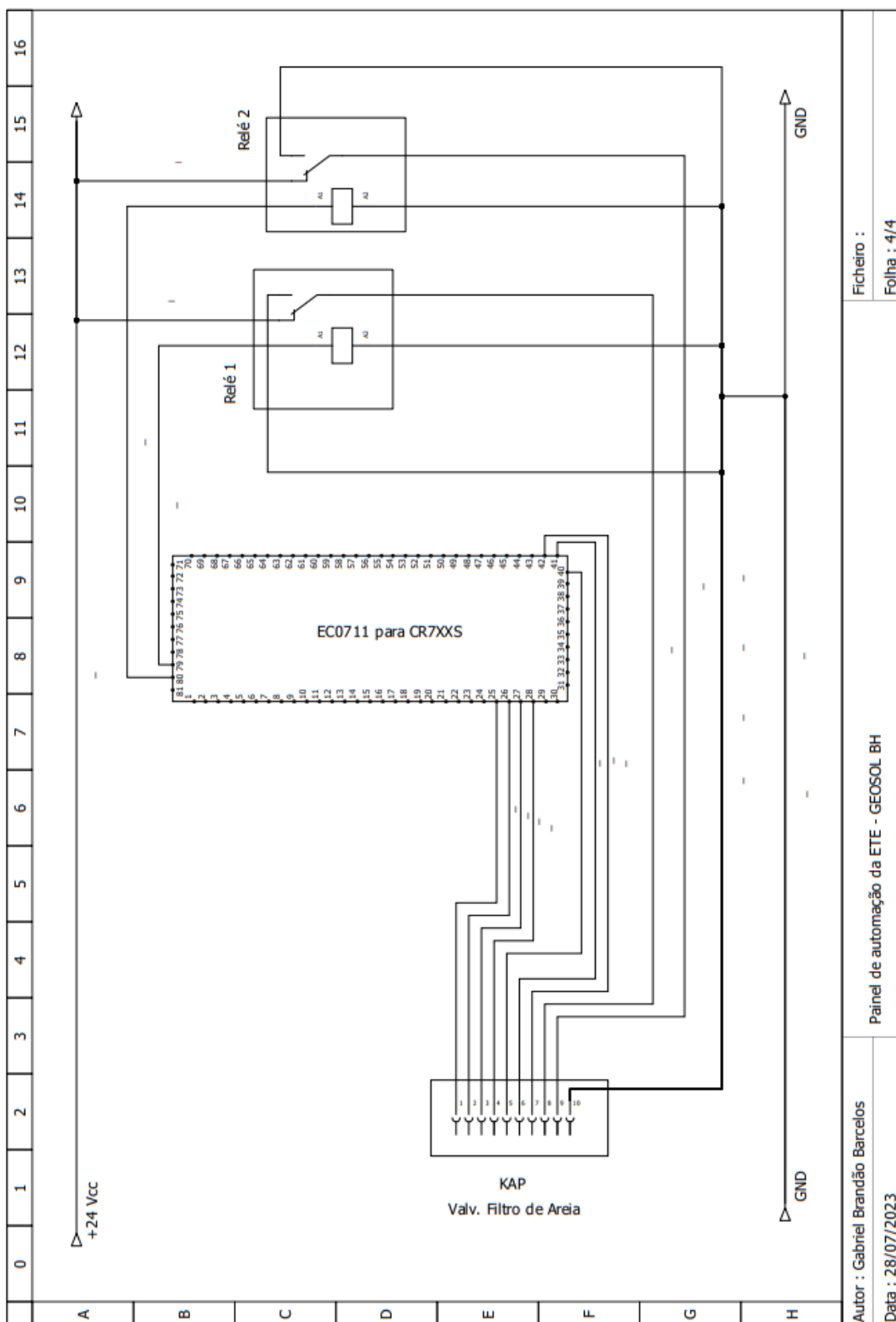
Painel de automação da ETE - GEOSOL BH

Ficheiro :

Folha : 3/4

Fonte: Própria Autoria

Figura 79 – Diagrama Elétrico do PAINEL PRINCIPAL 4/4.

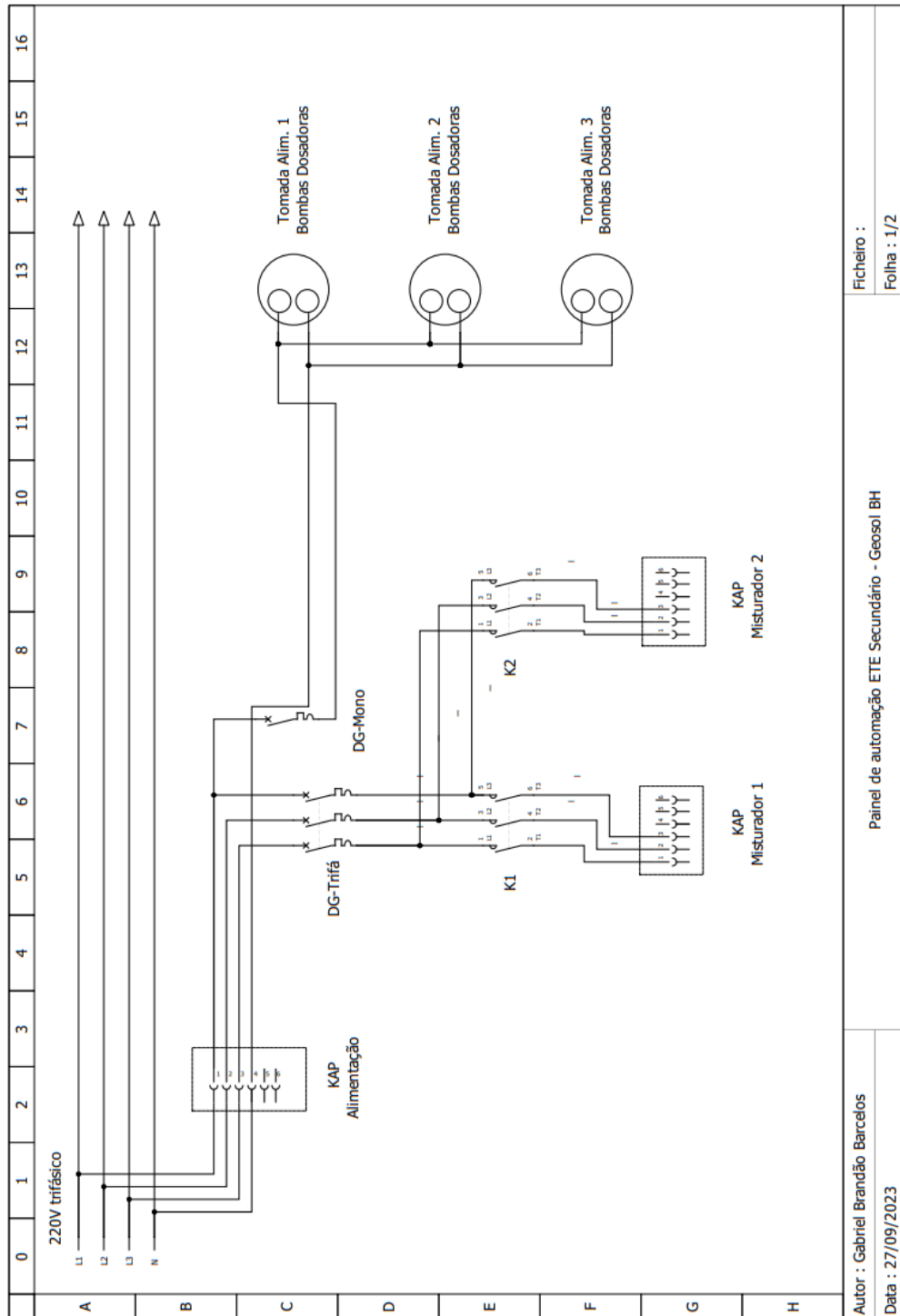


Autor : Gabriel Brandão Barcelos
 Data : 28/07/2023
 Painel de automação da ETE - GEOSOL BH
 Ficheiro :
 Folha : 4/4

Fonte: Própria Autoria

APÊNDICE B – DIAGRAMA ELÉTRICO DO PAINEL SECUNDÁRIO

Figura 80 – Diagrama Elétrico do Painel Secundário 1/2



Autor : Gabriel Brandão Barcelos

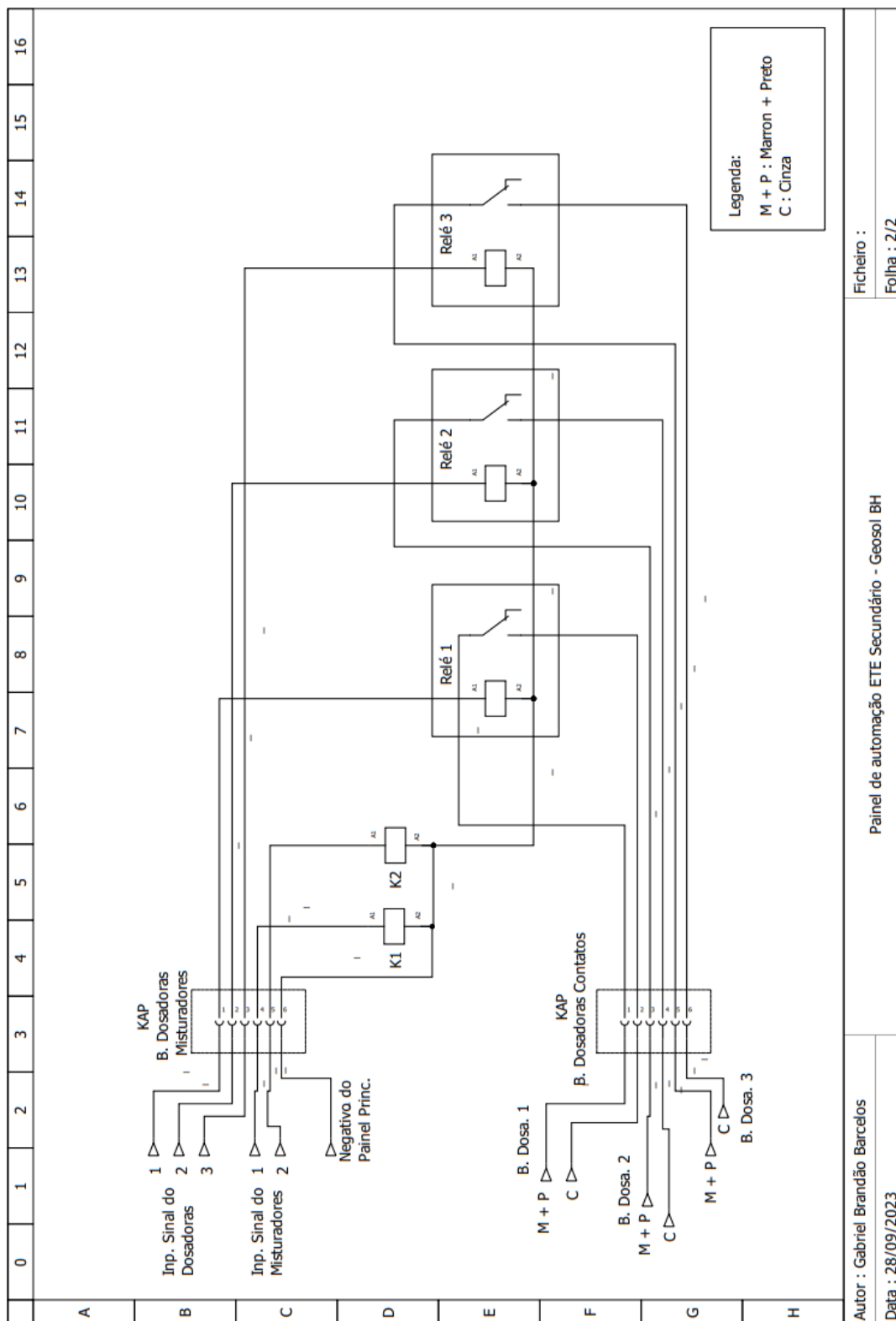
Data : 27/09/2023

Painel de automação ETE Secundário - Geosol BH

Ficheiro :
Folha : 1/2

Fonte: Própria Autoria

Figura 81 – Diagrama Elétrico do Painel Secundário 2/2



Fonte: Própria Autoria