CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Unidade Araxá

VITOR DO NASCIMENTO DE JESUS ALVES

DESENVOLVIMENTO DO CONTROLE E DO SISTEMA SUPERVISÓRIO DE BOMBEAMENTO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

ARAXA- MG

2023

VITOR DO NASCIMENTO DE JESUS ALVES

DESENVOLVIMENTO DO CONTROLE E DO SISTEMA SUPERVISÓRIO DE BOMBEAMENTO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Antunes Oliveira Leite

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ELETROMECÂNICA - AX

ATA Nº 88 / 2023 - DELMAX (11.57.05)

Nº do Protocolo: 23062.060508/2023-32

Araxá-MG, 08 de dezembro de 2023.

Ata de Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Automação Industrial do Aluno Vitor do Nascimento de Jesus Alves

Às dezenove horas do dia sete de dezembro de dois mil e vinte e três, reuniu-se, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG/ Campus Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **DESENVOLVIMENTO DO CONTROLE E DO SISTEMA SUPERVISÓRIO DE BOMBEAMENTO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Dr. Mateus Antunes Oliveira Leite, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, concedeu a palavra ao candidato, **Vitor do Nascimento de Jesus Alves**, para a exposição de seu trabalho. Após a apresentação, seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Ultimada a arguição, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Após a reunião da Comissão Examinadora, o candidato foi considerado: **APROVADO**, obtendo nota final de: 88/100 (**oitenta e oito**). O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. O aluno, abaixo assinado, declara que o trabalho ora identificado é da sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que devidamente identificada a fonte original. Declara ainda, neste âmbito, não violar direitos de terceiros. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou os trabalhos. O Prof. Leandro Resende Mattioli, responsável pela disciplina "Trabalho de Conclusão de Curso II", lavrou a presente ATA, que, após lida e aprovada, será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e pelo candidato.

Araxá, 07 de dezembro de 2023.

Assinado eletronicamente por:
• Presidente e Orientador: Prof. Dr. Mateus Antunes Oliveira Leite
• Membro Titular: Profª. Drª. Fabiana Alves Pereira
• Membro Titular: Prof. Dr. Paulo Azevedo Soave
• Professor da Disciplina TCC 2: Prof. Dr. Leandro Resende Mattioli
• Aluno: Vitor do Nascimento de Jesus Alves

(Assinado digitalmente em 09/12/2023 11:17)
FABIANA ALVES PEREIRA
PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 3281564

(Assinado digitalmente em 11/12/2023 20:33)
LEANDRO RESENDE MATTIOLI
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 2973183

(Assinado digitalmente em 11/12/2023 14:59)
MATEUS ANTUNES OLIVEIRA LEITE
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CAAAX (11.57.01)
Matrícula: 3138470

(Assinado digitalmente em 11/12/2023 08:53)
PAULO AZEVEDO SOAVE
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DFGAX (11.57.03)
Matrícula: 2121221

(Assinado digitalmente em 14/12/2023 16:39)
Vitor do Nascimento de Jesus Alves
DISCENTE
Matrícula: 201714550125

Visualize o documento original em https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp informando seu número: **88**, ano: **2023**, tipo: **ATA**, data de emissão: **08/12/2023** e o código de verificação: **37133a03cc**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por abençoar meus sonhos e me fortalecer em meus caminhos e escolhas. Aos meus pais, pela educação e por serem minhas grandes fontes de inspiração, me ensinando a ter persistência e seguir sempre firme diante das dificuldades que surgem. À minha irma Vanessa, pelo apoio e por sempre estar presente me dando forças. Ao meu amor Priscilla, pelo apoio dado nos dias bons e ruins, depositando confiança durante a minha jornada acadêmica. Ao meu orientador Prof. Dr. Mateus, por aceitar o convite de me orientar diante deste trabalho, e pelos esforços dedicados a mim durante ele. Ao CEFET-MG, por me proporcionar um ensino de qualidade e gratuito. A todos meus amigos dentro e fora do curso, pelo apoio e pelas brincadeiras que tornaram a jornada acadêmica mais dinâmica, divertida e leve.

RESUMO

O tratamento de esgoto é uma medida que garante o bem-estar da população, evitando a proliferação de doenças e contribuindo com a preservação do meio ambiente. A partir do estudo de campo da unidade de tratamento de esgoto da cidade de Sacramento-MG, desenvolveu-se um sistema de simulação de sensoriamento, automatização e controle supervisório dos processos de bombeamento no sistema de tratamento utilizado, que é o de lagoa facultativa. Com isso, busca-se melhorar o funcionamento e eficiência por meio do controle automático de bombeamento para as lagoas facultativas, simulando o monitoramento do processo em tempo real, de forma a reduzir custos com mão de obra e deslocamento, além de preservar os equipamentos (bombas) utilizadas no processo. A metodologia deste trabalho foi dividida em pesquisa bibliográfica, para definir o planejamento do projeto por meio de referências teóricas, seguido pelo estudo de caso em que se buscou um maior detalhamento do processo além da inserção de ideias para aprimorar o sistema de controle e monitoramento proposto. Com os resultados obtidos, desenvolveu-se o programa de controle de nível desejado, implementou-se a comunicação entre os *softwares* de controle e interface homem máquina, criou-se a interface como proposto anteriormente, realizou-se um levantamento de custo de implementação do sistema de controles utilizando Controle On Off com histerese e controle proporcional integral derivativo (PID) e comparou-se os mesmos em eficiência de controle e custo-benefício.

Palavras-chave: Controle. Comunicação. Interface. Bombeamento. Nível.

ABSTRACT

Sewage treatment is a measure that guarantees the well-being of the population, preventing the spread of diseases and contributing to environmental preservation. Based on the study of the sewage treatment unit in the city of Sacramento-MG, a simulation system was developed for sensing, automation, and supervisory control of pumping processes in the treatment system used, which is the facultative lagoon system. This seeks to improve the operation and efficiency through automatic pumping control for facultative lagoons, simulating real-time process monitoring, to reduce labor and transportation costs, as well as preserve the equipment (pumps) used in the process. The methodology of this work was divided into bibliographic research, to define the project planning through theoretical references, followed by the case study in which a greater detailing of the process was sought, in addition to the insertion of ideas to improve the proposed control and monitoring system. The desired level control program was developed, communication between the control software and human machine interface was implemented, the interface was developed as previously proposed, a cost survey of the implementation of the control system using On Off control with hysteresis and proportional integral derivative control (PID) was carried out, and the same were compared in terms of control efficiency and cost-benefit.

Keywords: Control. Communication. Interface. Pumping. Level.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Gráfico do atendimento da população brasileira em serviços de tratamento de esgoto sanitário 12
Figura 2-Técnica do método de tratamento lagoas facultativas. 17
Figura 4-Foto da vista aérea das lagoas facultativas da estação de tratamento de esgoto (ETE) de Sacramento-MG. 18
Figura 5-Diagrama de Blocos Controle ON/OFF 20
Figura 6- Comportamento Controle ON/OFF 21
Figura 7- Diagrama de blocos de um controlador PID 22
Figura 8-Comportamento do ganho proporcional em um controlador P 22
Figura 9-Comportamento do tempo integral em um controlador PI 23
Figura 10- Comportamento do tempo derivativo em um controlador PD. 23
Figura 11- Diagrama básico do CLP 25
Figura 12- Exemplo de programa em linguagem Ladder 26
Figura 13- Blocos de Controle Alarmes de Nível Baixo e Nível Alto 32
Figura 14- Blocos de Controle utilizados Controle ON/OFF 33
Figura 15- Resposta do Sistema pelo Método de Sensibilidade Limite 34
Figura 16- Resposta Sistema Desenvolvido ao método de Sensibilidade Limite 37
Figura 17-Blocos de Controle Utilizados Controle PID 38
Figura 18- Bloco de Controle Principal Ladder(Codesys) 39
Figura 19-Blocos de Controle Alarmes. 39
Figura 20- Driver OPC de Entradas e Saídas Analógicas e Digitais no Elipse E3. 40
Figura 20- Comunicação via Elipse E3 40
Figura 22- Comunicação Via Codesys 41
Figura 23- Esquemático criado parar desenvolvimento da Tela Principal do IHM. 42
Figura 24- Elementos Gráficos Elipse inseridos juntamente a Tela Principal. 42
Figura 25-Comunicação Bidirecional Botões 43
Figura 26-Comunicação Bidirecional Displays 43
Figura 27-Comunicação Unidirecionais Painéis 43
Figura 28- Comunicação Preenchimento Vertical Variável Tanque 44
Figura 29- Comunicação Preenchimento Unidirecional Booleana para cores operação. 44
Figura 30- Tela Menu 45
Figura 31- Associação para exibição Data e Hora 45

Figura 32- Associação para botões principais de abertura da tela Principal 45
Figura 33-Banco de dados Alarmes 46
Figura 34- Servidor de Alarmes Elipse E3 conectado ao banco de dados Access 46
Figura 35- Conexão de Alarmes com Servidor 46
Figura 36- Cadastro de Alarmes 47
Figura 37- Tela Principal de Controle de Nível 47
Figura 38- Eixos e Conexões Criadas para Gráfico Nível 48
Figura 39- Eixos e Conexões Criadas para Gráfico Saída Bombas 48
Figura 40-Tela de Análise de Bombas e Nível no Tempo. 48
Figura 41- Gráfico controle ON/OFF com histerese. 51
Figura 42-Gráfico Controle PID 52

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO 11
2- REFERENCIAL TEÓRICO 15
2.1- Método de tratamento e características da estação: 15
2.2- Métodos de Controle 19
2.3- Controlador Lógico Programável 24
2.4- Linguagem de Programação 25
2.5- Software de Controle Utilizado 26
2.6- Sistema Supervisório 27
2.7- *Software* SCADA utilizado. 29
3- MATERIAIS E MÉTODOS 31
3.1- Desenvolvimento do Sistema de Controle. 31
3.1.1- Controle Manual 32
3.1.2- Controle ON/OFF com histerese. 32
3.1.3- Controle PID. 33
3.2 - Comunicação OPC entre Codesys e Elipse E3 34
3.3- Desenvolvimento das telas do painel IHM. 35
3.4- Elaboração do Orçamento 36
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES 37
4.1- Parâmetros PID e Bloco de Controle 37
4.2- Conexão Elipse E3 e Codesys 39
4.3- Desenvolvimento Telas IHM 41
4.4- Orçamento inicial de implementação. 49
4.5- Análise de controles desenvolvidos 50
5- CONCLUSÕES 53
REFERÊNCIAS 54

1- INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto é uma medida de saneamento básico que tem como objetivo acelerar o processo de purificação da água antes de ser devolvida ao meio ambiente ou reutilizada. Portanto, para diminuir ao máximo o impacto ambiental causado pela produção de esgotos provenientes de residências, comércios e indústrias deve-se adotar o processo de saneamento para tratamento dos esgotos diminuindo a carga de matéria orgânica na água, podendo ser devolvida em melhores condições aos rios (MANUAL DE SANEAMENTO, 1998).

A preocupação com a qualidade da água consumida e a destinação do esgoto foi aumentando no decorrer da história da humanidade, com a evolução dos conhecimentos em relação aos efeitos danosos que a ausência de cuidados com estas estruturas, poderiam causar ao Homem e ao meio ambiente (FERREIRA & SILVA DUARTE, 2017).

O Brasil está em uma posição intermediária em um ranking mundial de oferta de água e esgoto tratados. Segundo dados da Unicef e da OMS (Organização Mundial da Saúde), a oferta de água potável atinge 86% da população, 85ª posição em um ranking de 137 países. O esgoto tratado chega a 49% dos brasileiros, colocando o Brasil na 76ª posição entre 129 regiões listadas (CUCOLO, 2023).

Em relação à coleta de esgoto, quase 30% dos domicílios brasileiros ainda não têm saneamento adequado segundo a Síntese de Indicadores Sociais 2013 (IBGE). Segundo dados do Instituto Trata Brasil, em volume gerado, apenas 38% do esgoto no país é tratado. O resto é devolvido à natureza sem o devido tratamento.

Na Figura 1 pode-se visualizar um gráfico que demonstra melhor a situação acima citada. É possível identificar altos níveis de não tratamento de esgoto e de não coleta, no qual muitas vezes é dispensado no meio ambiente de forma inadequada, como em rios, sendo absorvido pelos solos e gerando diversos impactos negativos no ambiente, sendo fatores potencializadores de aumento de doenças.

Figura 1-Gráfico do atendimento da população brasileira em serviços de tratamento de esgoto sanitário

Fonte: (GLOBO, 2022)

Milhares de litros de esgoto doméstico e industrial são produzidos diariamente em todas as cidades do Brasil. Para um menor dano ao meio ambiente, são realizados processos de tratamento no esgoto, o que visa gerar menor impacto e fazer com que a água devolvida a rios e lagos não altere ou danifique a fauna e flora do meio ambiente, evitando prejuízos ambientais causados pelo esgoto bruto. Assim empresas de saneamento e indústria com materiais a serem tratados antes de serem devolvidos a rios e lagos buscam fazê-lo de forma mais econômica e com a maior eficácia possível, empregando tratamentos químicos, construindo sistemas cada vez mais sustentáveis e eficazes.

A partir dos dados acima, é possível identificar que o campo de tratamento e esgotamento sanitário precisa ser avançado no país. Existem diversos métodos de tratamento que podem ser aplicados, eles variam em tipo (biológicos, físicos ou químicos) e são escolhidos pela sua aplicabilidade, nível de investimento e quantidade de geração de esgoto de cada região ou município.

Os processos químicos, como o próprio nome indica, utilizam produtos químicos, como coagulantes, neutralizadores de pH e agentes de floculação, para retirar poluentes do esgoto por meio de reações químicas. Alguns exemplos de processos químicos são cloração,

oxidação por ozônio, precipitação de metais tóxicos e troca iônica. Os processos físicos são destinados a remover partículas sólidas do esgoto por meio de separações físicas. Alguns exemplos são gradeamento, sedimentação, flotação e filtração por areia ou por membranas. Os processos biológicos, por sua vez, usam agentes biológicos, como bactérias e algas, para degradar ou eliminar a matéria orgânica do esgoto. Eles podem ser subdivididos em duas categorias: aeróbio ou anaeróbio (NEOWATER Eficiência Hídrica, 2022).

Por meio dos processos acima foram desenvolvidos métodos de tratamento que podem envolver diferentes tipos de processos ou integrá-los para melhor perfomance. Estão descritos abaixo os principais métodos de tratamento de esgoto utilizados:

> Lodo ativado - É um tratamento biológico utilizado nas estações de maior capacidade de tratamento. O processo convencional tem como objetivo a remoção da matéria orgânica com uma eficiência de aproximadamente 90% e consiste em duas fases: líquida e sólida. Após o processo de degradação da matéria orgânica nos tanques de aeração e do processo de sedimentação que ocorre nos decantadores secundários, o efluente clarificado é devolvido ao meio ambiente.
>
> Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) – É um reator fechado. O tratamento biológico ocorre por processo anaeróbio. A decomposição da matéria orgânica é feita por microorganismos presentes num manto de lodo, o esgoto sai da parte de baixo do reator e passa pela camada de lodo que atua como um filtro. A eficiência atinge de 65% a 75% e, por isso, é necessário um tratamento complementar que pode ser feito através da lagoa facultativa.
>
> Lagoa facultativa – Tem de 1,5 a 3 metros de profundidade. O termo "facultativo" refere-se à mistura de condições aeróbias e anaeróbias (com e sem oxigenação). Em lagoas facultativas, as condições aeróbias são mantidas nas camadas superiores das águas, enquanto as condições anaeróbias predominam em camadas próximas ao fundo da lagoa.
>
> Lagoa anaeróbia – Neste caso, as lagoas são profundas, entre 3 e 5 metros, para reduzir a penetração de luz nas camadas inferiores. Além disso, é lançada uma grande carga de matéria orgânica, para que o oxigênio consumido seja várias vezes maior que o produzido.
>
> Lagoa aerada – O processo necessita de oxigênio e a profundidade das lagoas varia de 2,5 a 4,0 metros. Os aeradores servem para garantir oxigênio no meio e manter os sólidos bem separados do líquido (em suspensão). A qualidade do esgoto que vem da lagoa aerada não é adequada para lançamento direto, pelo fato de conter uma grande quantidade de sólidos. Por isso, são geralmente seguidas por lagoas de decantação para remoção dos sólidos.
>
> Baias e valas de infiltração – Trata-se de um tratamento complementar que consiste na passagem do esgoto por um filtro instalado no solo, formado por pedregulho e areia.

> Flotação – É um processo físico-químico, no qual uma substância coagulante ajuda na formação de flocos. Com isso, as partículas ficam mais concentradas e fáceis de serem removidas. Para ajudar no tratamento, a água é pressurizada, formando bolhas que atraem as partículas, fazendo com que elas flutuem na superfície. O lodo formado é removido e enviado para disposição final. Adaptado de (SABESP, 2023).

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), é o orgão responsável pelo tratamento de água e esgoto no município de Sacramento-MG. O SAAE é uma autarquia municipal criada em 1967 pela lei nº51 e sancionada pelo então Prefeito José Sebastião de Almeida que vem trabalhando dentro de um segmento de sublime importância coletiva: o saneamento básico. A história nos mostra que foram várias as dificuldades iniciais diante da escassez de recursos do Município, pois seria necessária a construção de um novo sistema de abastecimento de água para a cidade, compreendendo adução, tratamento, reservação e distribuição (SAAE, 2023).

Neste trabalho, busca-se a partir do sistema de tratamento de esgoto utilizado em Sacramento-MG pelo SAAE, desenvolver um sistema de simulação de sensoriamento, automatização e controle supervisório dos processos de bombeamento no sistema de tratamento de esgoto utilizado, que é o de lagoa facultativa. Com isso, busca-se melhorar o funcionamento e eficiência por meio do controle automático de bombeamento para as lagoas facultativas, simulando o monitoramento do processo em tempo real, de forma a reduzir custos com mão de obra e deslocamento, além de preservar os equipamentos (bombas) utilizadas no processo.

2- REFERENCIAL TEÓRICO

Em relação ao método de tratamento utilizado pela unidade, o escolhido foi o de tratamento por meio da decantação do esgoto em lagoas facultativas. O método foi escolhido devido a quantidade de esgoto gerada pela cidade, considerada relativamente baixa se comparado a grandes centros. Dentre as características atingidas pelo tratamento: satisfatória eficiência na remoção de carga orgânica, podendo atingir até 90%, eficiência na remoção de microorganismos patogênicos, construção relativamente simples, operação e manutenção simplificadas, reduzido custo de construção, operação e manutenção, e necessidade de remoção de lodo em período superior a 20 anos.

2.1- Método de tratamento e características da estação:

A lagoa facultativa tem uma configuração simples e de fácil gestão, pois se utiliza apenas de fenômenos naturais de degradação microbiológica. Porém, precisa de constante monitoramento, por existirem padrões ambientais específicos para que o tratamento possa ocorrer de forma eficiente e que não inutilize a lagoa. Ela precisa ficar exposta ao ar livre para que os processos de oxidação ocorram em uma ampla faixa de sua superfície e ao mesmo tempo ter profundidade para que não seja comprometida a degradação anaeróbia (SABESP, 2023).

No processo de tratamento, o esgoto entra e sai continuamente da lagoa e, nesse processo que dura diversos dias, é quando ocorre o tratamento da matéria orgânica presente no esgoto, a partir daí a lagoa atinge sua estabilização. Ela consiste em uma condição na qual a matéria orgânica é decomposta até seus compostos mais simples pelas bactérias.

Os processos envolvidos na estabilização da matéria orgânica consistem, basicamente, na sedimentação dos sólidos sedimentáveis e coloidais e na decomposição dos sólidos dissolvidos. Portanto, a estabilização da matéria orgânica envolve, primeiramente, os processos físico-químicos, como a sedimentação do material sedimentável orgânico e/ou inorgânico. Em seguida, os processos biológicos atuarão para completar a estabilização da matéria orgânica, como a degradação anaeróbia dos sólidos sedimentados e a degradação aeróbia ou facultativa do material dissolvido (FALCO, 2005).

A matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar e se acumular no fundo da lagoa, formando o lodo de fundo, sendo decomposto por bactérias anaeróbias, o que resta (que não é

decomposto) é a matéria inerte.

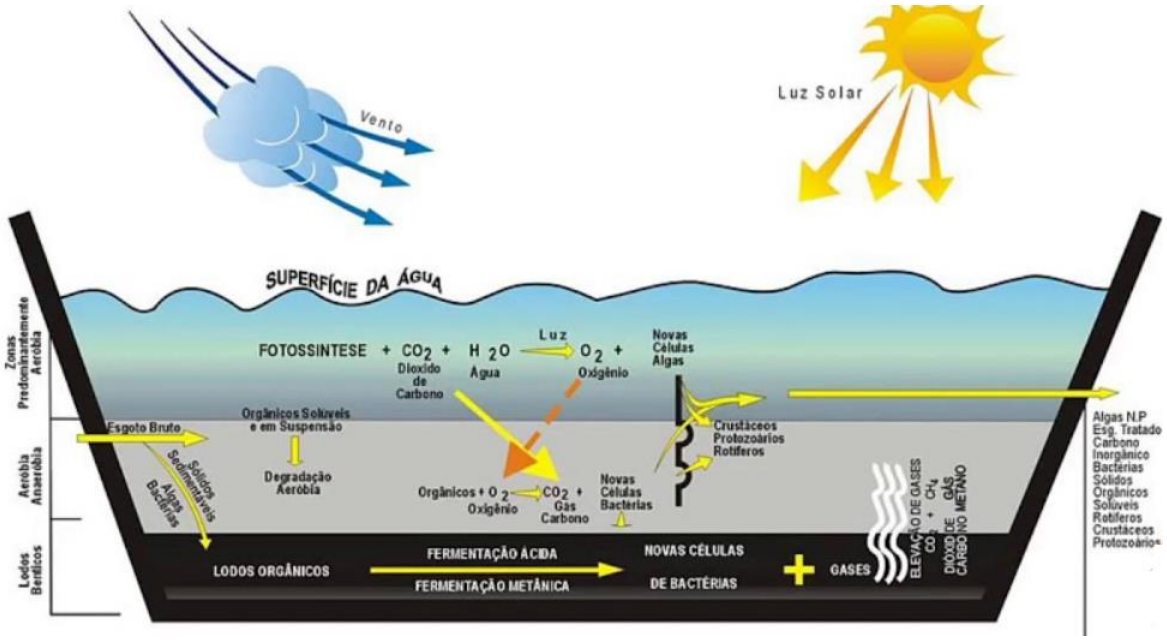
A matéria orgânica de menor dimensão e dissolvida permanece dispersa na massa da lagoa e sua decomposição ocorre pelas bactérias aeróbias e facultativas. Estas substâncias produzidas pelas bactérias aeróbias e facultativas serão utilizadas pelas bactérias anaeróbias para a produção de compostos gasosos, como o dióxido de carbono. A remoção do carbono pelos organismos fotossintéticos, a partir do gás carbônico, nutrientes e luz, resulta na liberação de oxigênio para decomposição bacteriana da matéria orgânica fechando o ciclo para a estabilização completa da matéria orgânica (FALCO, 2005).

Em relação a disponibilidade de oxigênio na lagoa, ela vem de duas fontes, sendo pelo ambiente externo da lagoa e pelo processo de fotossíntese realizado pelas algas que se desenvolvem na lagoa.

> Embora parte do oxigênio necessário para manter as camadas superiores aeróbias seja fornecido pelo ambiente externo, a maior parte vem da fotossíntese das algas, que crescem naturalmente em águas com grandes quantidades de nutrientes e energia da luz solar.
>
> As bactérias que vivem nas lagoas utilizam o oxigênio produzido pelas algaspara oxidar a matéria orgânica. Um dos produtos finais desse processo é o gás carbônico, que é utilizado pelas algas na sua fotossíntese.
>
> Este tipo de tratamento reduz grande parte do lodo, e é ideal para comunidades pequenas, normalmente situadas no Interior do Estado (SABESP, 2023)

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, observa-se o processo de tratamento do modelo de lagoas facultativas utilizado no modelo de estudo.

Figura 2-Técnica do método de tratamento lagoas facultativas.



Fonte: (OLIVEIRA & SANTOS, 2007/1)

Iniciou-se a operação da unidade de tratamento em Setembro 2002, a área útil total é de 60.000m², as lagoas possuem 1,80 m de profundidade e volume útil de 108.000 m³,o tempo de detenção nas lagoas para tratamento é de 20 dias. A data de limpeza do lodo no fundo das lagoas é no final do ano de 2028. A vazão inicial do planejamento era de 39,98 l/s, mas após concluído, a vazão oferecida foi bem superior e alcançou 112,36 l/s, depois de passar por separadores de maiores dejetos e pela caixa de areia, a água é bombeada de um nível mais baixo de recebimento por dois conjuntos de bombas auto- escorvantes de 60 cv cada (SAAE, 2023).

A eficiência estimada do tratamento é 87%, sendo que a exigência exigida pela FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente) é de 79%. A estimativa do acúmulo de lodo solidificado no fundo das lagoas é de espessura igual a 33 cm (considerado desprezível em face da profundidade das lagoas) (BORGES, 2011).

Na Figura 3, observa-se uma foto aérea das lagoas facultativas da unidade de tratamento descritas anteriormente:

Figura 3-Foto da vista aérea das lagoas facultativas da estação de tratamento de esgoto (ETE) de Sacramento-MG.

Fonte: (BORGES, 2011)

O tratamento primário, amplamente utilizado nas estações de tratamento é aquele que utiliza processos físico-químicos para separar da água os sólidos em suspensão e o sobrenadante (materiais que ficam flutuando). Esse tipo de tratamento é extremamente importante no funcionamento do sistema, pois evita o entupimento da tubulação e auxilia no correto funcionamento das estações (SPERLING, 2005).

Ao visitar ao local foi relatado pelos colaboradores que se encontravam realizando o tratamento, que haviam dificuldades no monitoramento referente ao funcionamento de bombas para elevação dos resíduos ao nível superior das represas.

O processo de controle da planta é feito apenas de forma manual, desta forma o operador não possui nenhum equipamento de monitoramento e qualquer alteração é realizada por meio de análise visual do processo. As bombas utilizadas no processo são do tipo elevatória, sendo duas bombas operando em paralelo, enviando o líquido bombeado por uma única tubulação de recalque. Desta forma a ideia inicial é desenvolver um método de controle de nível do tanque através de sensoriamento deste, com alarmes indicando níveis abaixo dos recomendados no tanque e possíveis problemas nos equipamentos como alto nível de corrente nos motores.

Diante disso, iniciou-se um estudo para desenvolver um sistema supervisório que pudesse realizar tanto o monitoramento do enchimento e nível da caixa de areia, e a possibilidade de controle das bombas atráves de um sistema de controle de nível do tanque de bombeamento, controlando o funcionamento da bomba por meio de sensores de nível, facilitando a manutenção e funcionamento do sistema de tratamento a fim de se trazer benefícios

como menor custo de operação, manutenção e um melhor aproveitamento de recursos.

2.2- Métodos de Controle

Esta seção tem como objetivo apresentar os principais conceitos sob quais o projeto se baseia, construindo-se uma base solída para que as aplicações realizadas sejam de entendimento geral, além de apresentar projetos desenvolvidos por outros autores, relacionados ao controle e monitoramento de processos.

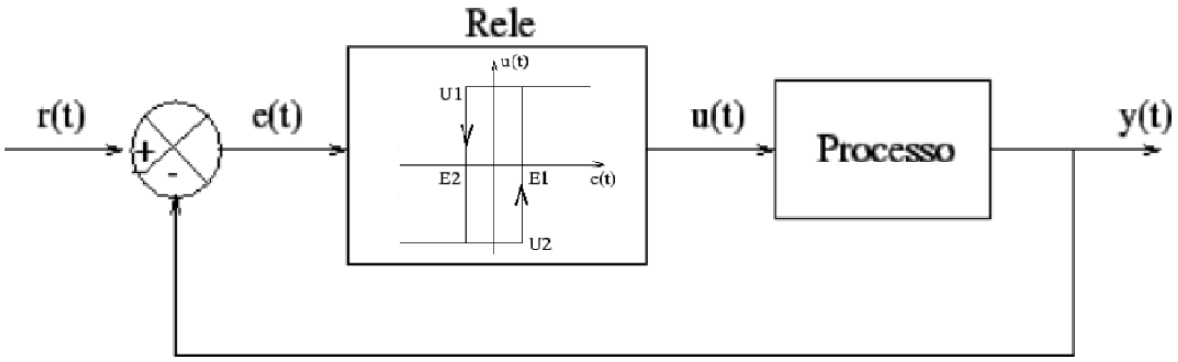
Para embasar o conceito de sistemas de controle, é importante entender o que é um processo. Processo é um termo utilizado para descrever os métodos de mudança ou refinamento de matérias-primas para obter produtos finais. As matérias primas podem ser de diversos estados físicos e são transferidas, medidas, misturadas, aquecidas, resfriadas, filtradas, armazenadas ou tratadas de uma determinada forma para desenvolver o produto final (FRANCHI, 2011).

De acordo com (OGATA, 2014), um sistema pode ser definido como a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir determinado objetivo. Este, é comumente separado em termos de sinal de entrada, u(t) e sinal de saída, y(t).

Controlar um processo consiste, basicamente, em manter uma variável controlada dentro de um valor desejado. A varíavel que consegue alterar o processo, influenciando sobre a variável controlada é conhecida como variável manipulada. Sendo assim, é nela que o controle atua a fim de se atingir o valor desejado, seja por controle manual ou controle automático, modificando então seus valores. Quando o operador atua diretamente no processo, o controle pode ser definido como manual, no controle automático não existe a intervenção do operador ou é mínima. Assim, para controlar um processo podemos utilizar diferentes tipos de controle, como Manual, ON/OFF com histerese, Proporcianal-integral-derivativo (PID) (SILVA J. M., 2000).

O controle ON/OFF, ou LIGA /DESLIGA, com histerese é a forma de controlador mais simples que existe, e se baseia em um circuito que compara o sinal de entrada com dois sinais de referência, mais conhecidos como limite mínimo e máximo. Quando o sinal de entrada fica menor que o limite mínimo, a saida do controlador é acionada e o atuador é ativado na potência que é capaz de ser realizada (POMILIO, 2007).Neste tipo de ação o controlador é modelado por um relé conforme mostra a Figura 4.

Figura 4-Diagrama de Blocos Controle ON/OFF

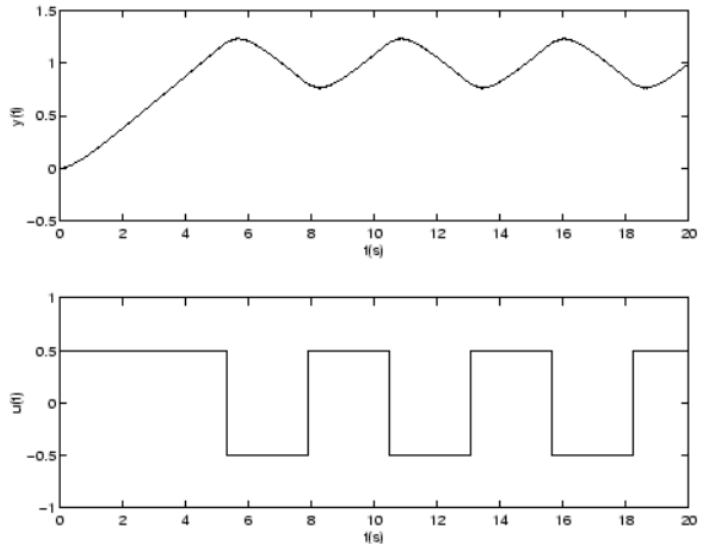


Fonte: (SILVA J. M., 2000)

Desta forma, o sistema de nível controlado sempre ficará oscilando de um valor máximo a um mínimo. A grande vantagem deste sistema, além do baixo custo, é que como o elemento atuador somente liga e desliga nos momentos em que os limites são atingidos, o controlador e o atuador sofrem pouco desgaste por trabalharem menos se comparado ao controle manual (FILHO, SILVA, & ARAUJO, 2008).

Na Figura 5, pode-se observar o gráfico de resposta esperado ao realizar um controle ON/OFF por histerese, percebe-se que o atuador varia seu valor entre 0% e 100%, não atuando ou atuando com toda sua capacidade nominal. Enquanto isso, a variável controlada varia entre os valores de limite superior e limite inferior.

Figura 5- Comportamento Controle ON/OFF



Fonte: (SILVA J. M., 2000)

Nesse tipo de controle assim como o que foi utilizado no trabalho, o atuador influi de forma negativa na variável manipulada, assim quando o atuador se encontra em 100% o valor da variável manipulada diminui e consequentemente quando o atuador se encontra em 0%, o valor da variável manipulada aumenta.

Em contrapartida, a grande desvantagem é que a grandeza controlada, neste caso o nível, nunca se estabilizará em nenhum ponto especifico, oscilando em torno de um ponto desejado, indo do limite inferior ao superior, variação chamada de histerese (FILHO, SILVA, & ARAUJO, 2008).

A ação de controle liga-desliga pode, assim, ser considerada a ação de controle mais simples e mais econômica. Entretanto, este tipo de ação possui limitações no que diz respeito ao comportamento dinâmico e em regime permanente do sistema em malha fechada. Suas aplicações restringem-se a sistemas onde não é necessário precisão nem um bom desempenho dinâmico. Como exemplos corriqueiros de aplicação deste tipo de controle temos: termostato da geladeira e controle de nível d'água a partir de "bóias".

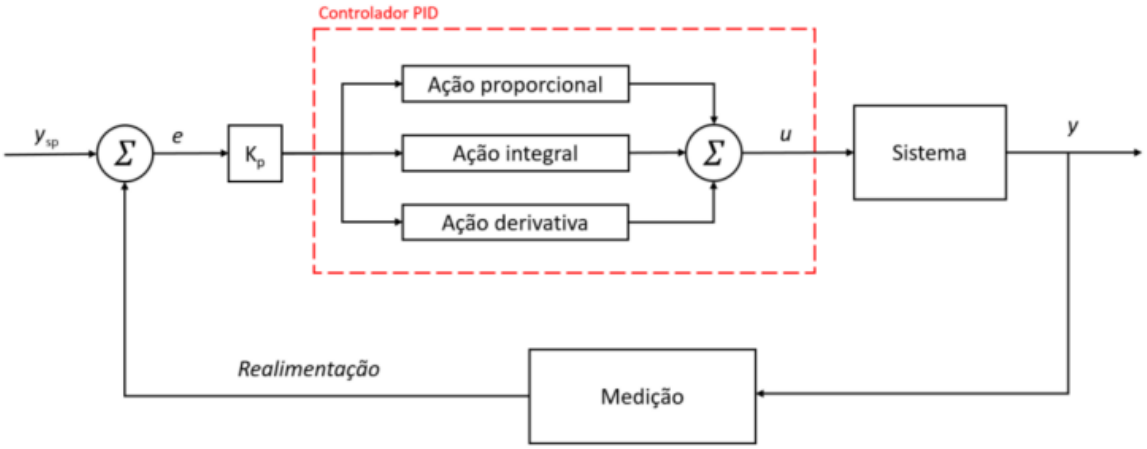
Com isso, faz-se necessário testar outros métodos de controle da planta, traçando vantagens como custo, benefícios e desvantagens em relação ao outro, que podem levar a uma melhor decisão de utilização no processo.

O controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) é um tipo de controlador que pode ser implementado em sistemas de malha fechada, operando a partir de três tipos de ação de controle: a ação proporcional, a integral e a derivativa. Dessa forma, o sinal de controle

final é obtido a partir da soma dos sinais de controle de cada uma das ações, como mostra a Figura 6.

EQUAÇÃO PID

Figura 6- Diagrama de blocos de um controlador PID

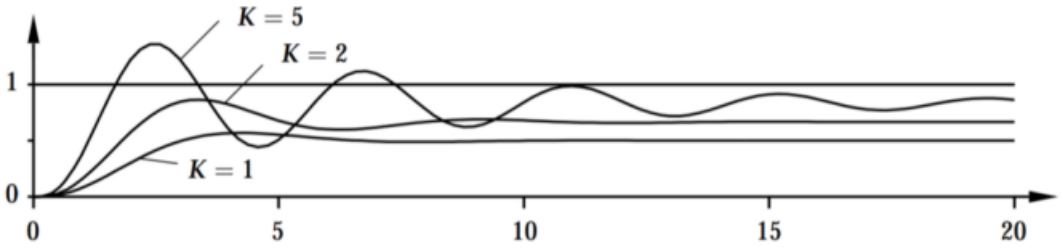


Fonte: (CONSTAIN, 2021)

A ação proporcional possui uma amplitude de correção proporcional à amplitude do erro. Quando usada de maneira isolada (controlador P), percebe-se que, após a tentativa de correção do desvio na variável manipulada, o novo ponto de equilíbrio apresenta um erro. Esse é chamado de *off-set* ou erro de regime.

O ganho proporcional K relaciona a variação de saída do controlador e sua variação de entrada. Dessa forma, quanto maior o ganho, maior será a variação na saída do controlador para uma mesma variação no erro. O ajuste do ganho proporcional K influencia no *off-set* deixado pela correção, onde quanto maior o valor de K menor será o *off-set*, porém maior será a oscilação da saída (CONSTAIN, 2021).

Figura 7-Comportamento do ganho proporcional em um controlador P

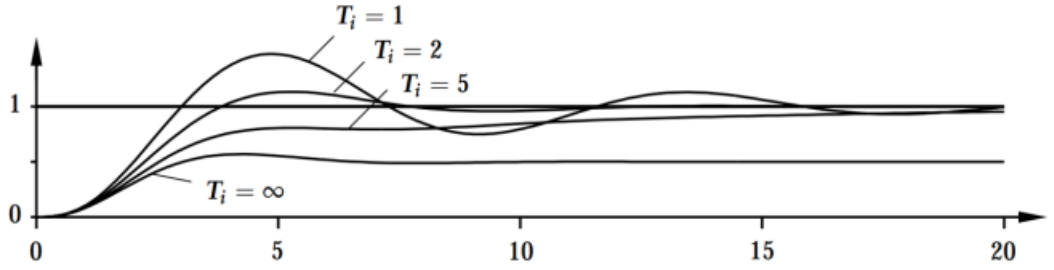


Fonte: (ASTROM & HAGGLUND, 2009)

A ação integral possui uma velocidade de correção proporcional à amplitude do desvio. Ao ser aplicada em um sistema, é capaz de reajustar automaticamente o novo valor de equilíbrio. Dessa forma, assegura que a saída do processo coincida com o *set-point* ou reduza o *off-set*. Esta ação geralmente possui uma correção muito lenta, sendo necessário utilizá-la em conjunto com outro controle (CONSTAIN, 2021).

O tempo integral T_i é definido como o tempo, em minutos, necessário para que a ação integral repita uma vez o efeito da ação proporcional. Ao analisar a Figura 8, percebe-se que quanto menor o T_i, mais rápida será a correção realizada pela ação integral, porém maior a oscilação.

Figura 8-Comportamento do tempo integral em um controlador PI

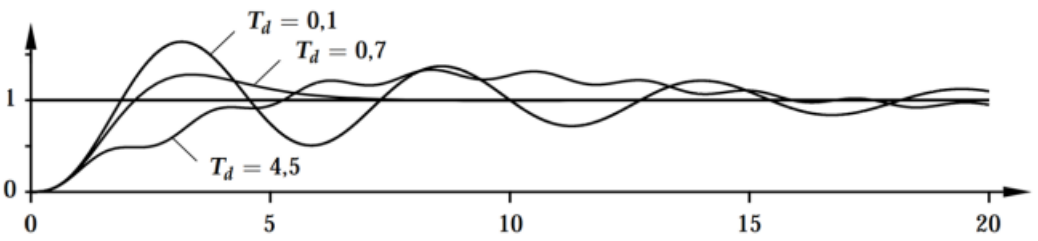


Fonte: (ASTROM & HAGGLUND, 2009)

A ação derivativa possui uma velocidade de correção proporcional à velocidade do desvio. Quando utilizada em um sistema, é capaz de variar a saída em maior magnitude, ao comparar com o controlador P. Assim, quanto maior o erro, ou seja, maior a diferença entre a variável manipulada e o *set-point* mais rápida é a atuação, e quanto menor o erro, mais lenta é a atuação.

O tempo derivativo T_d é definido como o tempo, em minutos, em que a ação derivativa adianta o efeito da ação proporcional. Observando-se a Figura *9*, pode-se notar que quanto maior o T_d , mais rápido será alcançada a estabilidade do sistema pela ação derivativa. (CONSTAIN, 2021).

Figura 9- Comportamento do tempo derivativo em um controlador PD.



Fonte: (ASTROM & HAGGLUND, 2009)

Neste trabalho, será desenvolvido um sistema de controle de nível para o reservatório que antecede as represas de tratamento dando opção ao operador atuar em 3 diferentes tipos de controle: Modo de controle Manual, controle ON/OFF por histerese ou controle PID.

Para implementar o controle proposto acima, é necessário realizar a programação e utilizar um controlador lógico programável. Desta forma, as próximas seções tratam sobre controlador lógico programável e a linguagem de programação a ser utilizada.

2.3- Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável (CLP), ou pela siga em inglês PLC (*Programmable Logic Controller*), é um tipo de computador industrial que pode ser programado para executar funções de controle e é amplamente utilizados dentro das indústrias para a realização do controle do processo produtivo (PETTRUZELLA, 2014)

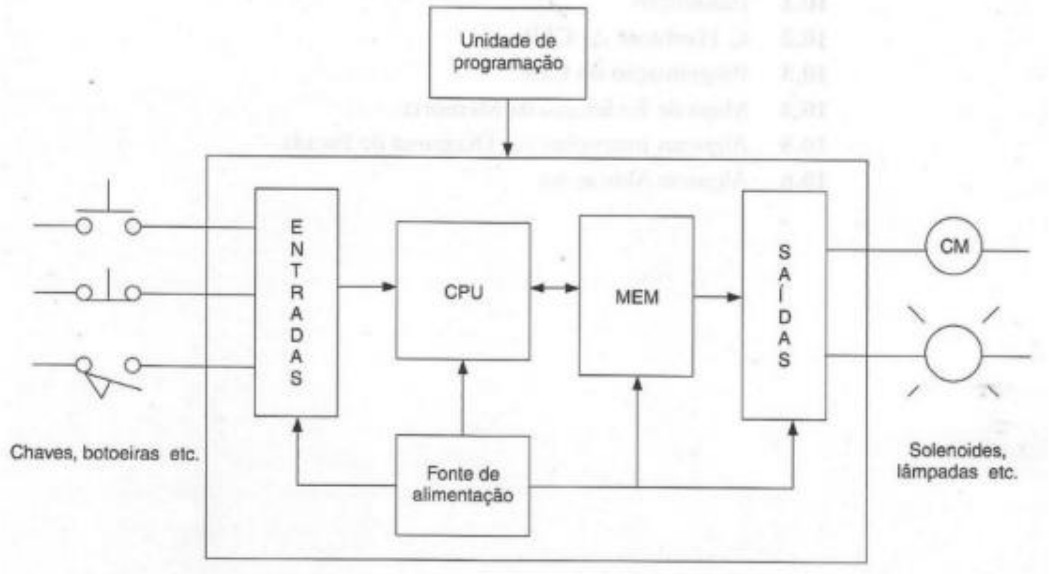
Ao contrário de computadores domésticos, os CLPs são desenhados para múltiplas entradas e saídas, além de serem protegidos fisicamente contra altas temperaturas, ruídos elétricos, vibrações e impactos.

Um CLP é constituído basicamente de:

- Uma fonte de alimentação.
- Uma Unidade Central de Processamento (UCP).
- Memória do tipo fixa (memória de programa) e volátil (apagável, para dados).
- Dispositivos de entrada e saída.
- Terminal de programação.

Antes da concepção dos CLPs, a maioria das sequências lógicas e de travamento e controle eram basicamente constituídos por relés e temporizadores conectados a controladores dedicados para cada aplicação. Com o aumento da complexidade das atividades industriais, este método se provou cada vez mais ineficaz, baseando o seu funcionamento no acionamento de relés, projetados para esta finalidade, que dificultava as alterações e ajustes de sua lógica de funcionamento (FIEDLER, 2013). Na Figura 10 abaixo é possível identificar um diagrama dos componentes de um CLP.

Figura 10- Diagrama básico do CLP



Fonte: (ALVES, 2013)

Quanto à programação, a maioria dos programas para CLP's são escritos em aplicações especiais e então passados para o equipamento sendo que até hoje a maioria dos CLPs ainda são programados em Ladder, uma linguagem de programação baseada em diagramas de circuitos. (FIEDLER, 2013).

2.4- Linguagem de Programação

Como a utilização dos CLP's em processos de automação industrial se tornou de extrema usuabilidade e importância, sendo capaz de aliar versatilidade e praticidade, desta forma aumentando a produtividade no processo, tornou sua utilização cada vez maior na indústria.

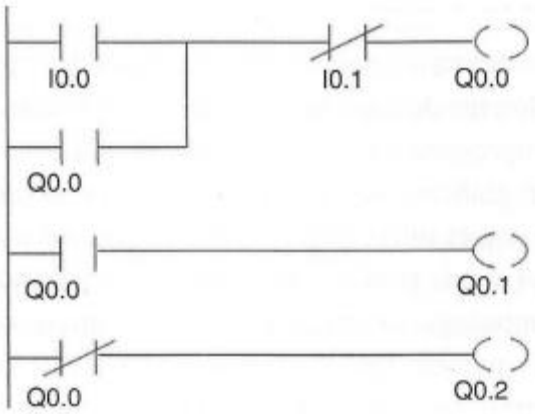
Para isso, faz-se necessária a programação destes dispositivos, sendo de papel principal para o correto funcionamento e operação. É a partir dela que se torna possível verificar os dados da produção e tomar providências de acordo com as exigências pré-definidas.

Portanto, introduziu-se o conceito de programação Ladder, linguagem que inicialmente irá ser utilizada no projeto, definida pela norma IEC 61131-3, que é o primeiro esforço real para a padronização das linguagens de programação para a automação industrial, facilitando a conexão e programação de diferentes tipos de controladores, com o mínimo de esforço e treinamento (FONSECA, 2003).

A linguagem Ladder foi desenvolvida inicialmente com a proposta de simular diagramas elétricos. Contudo, essa linguagem é constituída por linhas verticais que representam polos, negativo e positivo, de uma bateria ou de uma fonte de alimentação (SILVA, 2007), as representações gráficas podem ser diferentes, pois dependem das instruções de cada fabricante. (ROSÁRIO, 2009)

Também chamado de diagrama elementar ou diagrama de linha, é uma representação ordenada em forma de escada de componentes e conexões de um circuito elétrico. O termo *ladder* (escada) se aplica porque o formato particular da representação parece com uma escada, contendo degraus. Dentre as linguagens conhecidas hoje, essa é a mais utilizada no campo internacional para a programação do CLP. Ela é constituída de uma série de sinais gráficos e resulta preferida pelo programador com conhecimento de lógica eletromecânica, porque requer um conhecimento do esquema a relés (MONTEIRO, 2017). Na Figura 11 é possível identificar um exemplo da linguagem citada.

Figura 11- Exemplo de programa em linguagem Ladder



Fonte: (MORAES & CASTRUCCI, 2013)

2.5- Software de Controle Utilizado

Neste trabalho será usado o software de programação CODESYS(*Controller Development System*) como uma ferramenta de programação de sistemas de automação. Baseada na norma internacional IEC 61131-3, a plataforma é ideal para atuação junto a máquinas que necessitem de Controladores Lógico Programáveis (CLPs), pois possui recursos técnicos eficientes e é fácil de usar.

O CODESYS usa cinco linguagens para habilitação de aplicativos: Texto Estruturado, Lista de Instruções, Diagrama de Fluxo, Linguagem Ladder e Diagrama de Bloco.

O software CODESYS é a ferramenta de programação ideal para aplicações de

máquinas e processos de construção de máquinas e integração de sistemas. O software é a ferramenta de programação perfeita para todas as aplicações em que seja necessário um CLP ou HMI-CLP poderoso com várias conexões de barramento de campo. Todos os controladores XV/XC da Eaton podem ser programados com CODESYS versão 2 ou 3. O software combina recursos técnicos sofisticados e fácil manuseio. Além disso, ele é o sistema de programação preferido de muitos fabricantes (EATON, 2023).

2.6- Sistema Supervisório

O sistema supervisório também é chamado de SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*). Ele atua no campo de leitura e processamento das variáveis captadas pelos sensores, para auxiliar o operador na análise das informações processadas para modificações necessárias. O software SCADA permite ao operador, controlar os processos em locais distantes, monitorar alarmes, abrir ou fechar válvulas além de armazenar informações sobre o processo, facilitando a tomada de decisão (BOYER, 1993). Os sistemas supervisórios utilizam de meios físicos para serem operados, chamados de Interface Homem-Máquina (IHM).

Os sistemas SCADA são sistemas que utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar o monitoramento e o controle de processos industriais. Esses sistemas são parte integrante da maioria dos ambientes industriais complexos ou geograficamente dispersos, na medida em que podem coletar rapidamente os dados de uma quantidade grande de fontes, para depois serem apresentados a um operador de uma forma amigável. Os sistemas SCADA melhoram a eficácia do processo de monitoramento e controle, fornecendo a informação oportuna para poder tomar decisões operacionais apropriadas (PINHEIRO, 2006)

As IHMs são sistemas normalmente utilizados em automação no chão-de-fábrica, geralmente caracterizado por um ambiente agressivo. Possuem construção extremamente robusta, resistente a jato de água direto, umidade, temperatura e poeira de acordo com o IP (grau de proteção) necessário (MORAES & CASTRUCCI, 2013).

A interação entre os operadores e a estação central, é efetuada através de uma IHM. Esta interface é constituída por *software* e *hardware*, que permite aos operadores monitorar o estado de um processo, modificar os valores de referência (*Set point*), e suspender manualmente as operações de controle automático em casos de emergência.

A IHM, apresenta graficamente as informações do processo na forma de sinóticos onde o operador pode visualizar um diagrama esquemático da planta que é controlada, a

representação gráfica das estações remotas, os valores atuais dos instrumentos fabris e a apresentação dos alarmes ativos. Dado que é ligada com o banco de dados do sistema SCADA, a IHM promove registros, diagnóstico de dados e informação de administração como: procedimentos de manutenção, informação de logística, detalhes de agendamento e guias para resoluções de problemas (CONSTAIN, 2021).

Os principais sistemas de supervisão oferecem três funções básicas (VIANNA, BRINGHENTI, & MARTINS, 2008):

1. Funções de supervisão: Inclui todas as funções de monitoramento do processo tais como: sinóticos animados, gráficos de tendência de variáveis analógicas e digitais, relatórios em vídeo e impressos, etc.

2. Funções de operação: Inclui a ação direta sobre os atuadores permitindo enviar comandos como ligar e desligar equipamentos e sequência de equipamentos, operação de malhas com controle PID, mudança de modo de operação de equipamentos, etc.

3. Funções de controle: Alguns sistemas possuem opções específicas para atuação automática sobre o sistema em determinadas situações pré-programadas de acordo com a necessidade e possibilidade de ter esse tipo de automatismo sobre o processo supervisionado.

Os sistemas SCADA possuem um ambiente integrado de desenvolvimento que possui editor de gráficos, editor para banco de dados, relatórios, receitas e editor de scripts. A seguir são descritas as funcionalidades mais implementadas em um software SCADA:

Configuração: Permite definir o ambiente de trabalho para atender às necessidades da aplicação. São configurados tanto o protocolo de comunicação, quanto os pontos de I/O ou *tags*. A estrutura de telas é organizada da forma mais conveniente. Os usuários são classificados de acordo com sua importância, com privilégios que definem a sua influência sobre o sistema.

Sinótico ou interface gráfica: Os sinóticos permitem a elaboração de telas de usuário com múltiplas combinações de imagens e/ou textos, definindo assim as funções de controle e supervisão da planta. Cada sinótico representa uma área do processo em certo nível de detalhe, incluindo o valor em tempo real das variáveis presentes na planta.

Gráficos de Tendências: São gráficos X-Y dos valores das *tags* armazenadas, que permitem representar de forma fácil a evolução de variáveis do sistema, contínuas ou discretas. É possível, em um gráfico, representar vários valores de forma simultânea. Os períodos de amostragem que variam tipicamente de 100 ms a 1 hora devem ser escolhidos de acordo com a velocidade real do processo. Quando se deseja armazenar valores de variáveis em disco por longos períodos de tempo (até 1 ano) se recorre ao registro histórico.

Alarmes: Este módulo está presente em todos os sistemas SCADA. Ele recebe os

eventos excepcionais do processo e os registra identificando: data e hora do evento, variável alarmada, valor no momento do alarme, descrição do evento, data e hora de normalização do evento e status do evento (alarmado, normalizado). Uma janela de alarmes exibe os alarmes mais recentes. Quando um alarme ocorre o operador é avisado através de uma buzina, música ou por um *speech maker*. O operador deve declarar que está ciente do problema, reconhecendo o alarme mais recente ou todos os alarmes simultaneamente.

Históricos: Registram em arquivos todos os eventos relevantes de operação, com data, hora, descrição do evento e operador "logado" na hora do evento, assim como também as ocorrências de alarmes, gráficos de tendências, etc. Os eventos de interesse geralmente são de configuração da base de dados, de operações críticas (ação sobre malhas de controle, partida e parada da planta) e de equipamentos críticos, etc. (CONSTAIN, 2021).

2.7- *Software* SCADA utilizado.

O Elipse E3 é uma plataforma IHM/SCADA utilizada principalmente em centros de controle para efetuar monitoramentos e acionamentos em processos e sistemas presentes em uma planta. O software disponível é utilizado para realizar o monitoramento e controle de processos, oferecendo escalabilidade e constante evolução para diversos tipos de aplicações, desde simples IHM até complexos centros de operação em tempo real.

Segundo (ELIPSE, 2023) o *software* disponibiliza conexão com a maioria dos equipamentos de mercado, dessa forma, há redução no tempo de desenvolvimento e manutenção e de integração com sistemas corporativos e de gestão, gera-se um retorno rápido e duradouro do investimento o que possibilita monitoramento e gerenciamento de informações de tempo real.

O Elipse E3 conta com uma interface que permite o desenvolvimento e gerenciamento das aplicações desenvolvidas de forma simplificada, com um suporte nativo aos principais bancos de dados comerciais como o Microsoft SQL Server, Access e Oracle, e com alta segurança e rastreabilidade.

Segundo o próprio desenvolvedor, o software é dividido em três principais componentes:

E3 Studio: É a ferramenta que possibilita a configuração de todo o sistema podendo ser acessada por múltiplos usuários simultaneamente. Nessa plataforma é possível criar a IHM com o uso de gráficos disponíveis e realizar as configurações de comunicação com o banco de dados, por exemplo.

E3 Server: É o servidor de aplicações. A ferramenta é responsável pelo gerenciamento dos principais processos do sistema, além de realizar a redundância e sincronismo de bases de dados. É o E3 Server que realiza a interação entre o E3 Studio e o E3 Viewer para a disponibilização das informações ao usuário em qualquer local.

E3 Viewer: É a ferramenta que possibilita a visualização e operação da aplicação que está no servidor pelo usuário, por meio da interface desenvolvida no E3 Studio. Sua execução é realizada via browser, permitindo acesso facilitado em qualquer computador.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho foi dividida em pesquisa bibliográfica, para definir o planejamento do projeto por meio de referências teóricas, seguido pelo estudo de caso onde buscou-se um maior detalhamento do processo além da inserção de ideias para aprimorar o sistema de controle e monitoramento proposto.

Para se alcançar o objetivo geral apresentado anteriormente, faz-se necessário a implementação de alguns objetivos específicos: desenvolver o sistema supervisório para a realização dos comandos e monitoramento do processo e apresentação de histórico de variáveis e processos desenvolvidos na planta, implementar controle ON/OFF com histerese e PID para se controlar o nível do tanque de recepção de esgoto a ser enviado para as lagoas facultativas e realizar a validação do modelo de forma a realizar a análise dos resultados obtidos no controle e monitoramento do processo.

Este capítulo demonstra a metodologia a ser utilizada no projeto, destacando-se os procedimentos a serem seguidos de forma a alcançar os objetivos estipulados anteriormente e realização do projeto proposto.

3.1- Desenvolvimento do Sistema de Controle.

O controle utilizará linguagem LADDER, em programas que simulam a operação dos CLP's. Além da simulação do funcionamento do sistema, com seus sensores e atuadores.

O controle da estação de tratamento pode ser separada em diferentes etapas:

Sensoriamento ou sinalização: é responsável por indicar os componentes da estação que estão acionados ou não, através de lâmpadas indicadoras de cores verdes ou vermelhas, indicando no painel níveis e dados em tempo real.

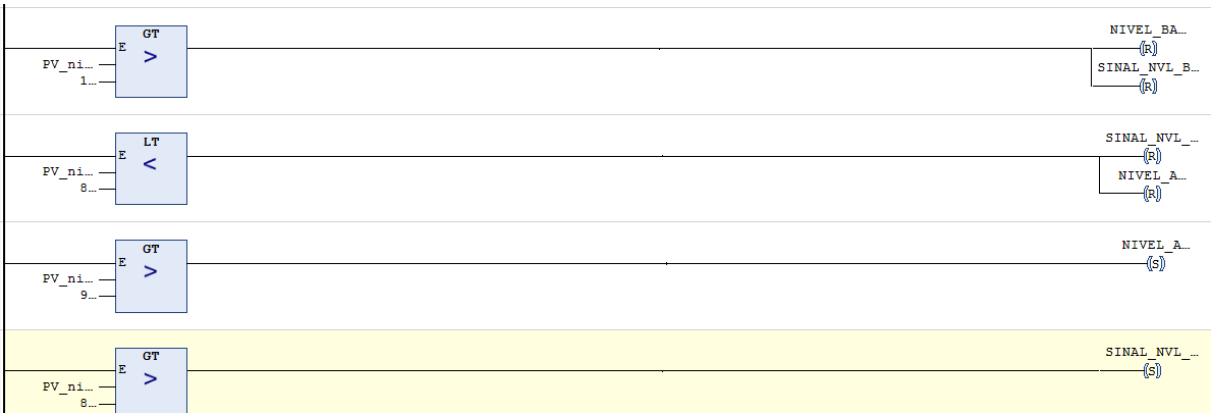
Acionamento Bombas: gerencia o funcionamento dos motores presentes na estação, como aqueles responsáveis pelas bombas elevatórias ao qual se aplicará os controles.

Atuação de Válvulas: controla o funcionamento das válvulas presentes na estação de tratamento, através de comandos que permitem a abertura ou fechamento das mesmas, seguindo as orientações do sistema e de acordo com os valores encontrados pelos sensores dispostos ao longo das instalações.

3.1.1- Controle Manual

O controle manual foi realizado utilizando linguagem ladder simples, de forma que botões físicos ou no IHM ativem e desativem as bombas que operam a 100% da capacidade nominal nesse modo de controle, com algumas limitações, foram utilizadas as diretrizes de segurança de processo, como ativação de modo de emergência, nível acima do recomendado (90%) e nível abaixo do recomendado da planta (10%) . Nesses casos as bombas são desativadas e ativadas, respectivamente, evitando tanto enchimento acima do limite do tanque caso algum dano nas bombas, como nível baixo , tal lógica foi criada utilizando blocos de comparação matemáticos (Figura 12), no Codesys, resetando e setando alarmes de níveis e variáveis que determinam que as bombas devem ser ligadas, respeitando é claro as variáveis de emergência e ou defeito nas bombas.

Figura 12- Blocos de Controle Alarmes de Nível Baixo e Nível Alto

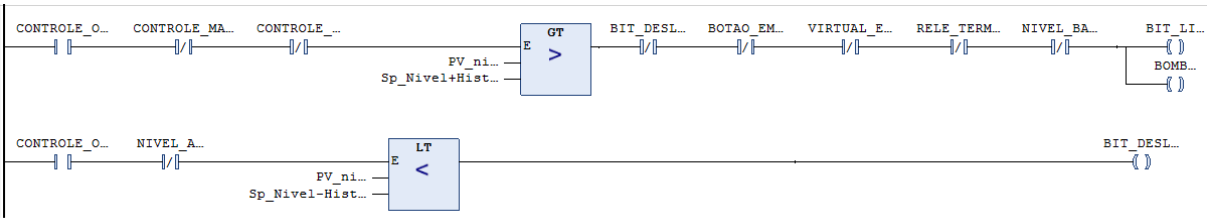


3.1.2- Controle ON/OFF com histerese.

O controle ON/OFF com histerese foi criado utilizando blocos de operação matemáticos no Codesys (Figura 13), realizando comparações do nível atual com nível desejado acrescentado ou descrescido o valor de histerese, que também pode ser definido pela operação, sendo assim, quanto menor a histerese mais oscilação referente ao chaveamento das bombas, podendo não ser adequado ao processo. Neste modo de controle as bombas quando ligadas operam a 100% da capacidade nominal. Assim como no modo manual, as diretrizes de segurança descritas anteriormente foram implementadas, sendo assim valores de *Set Point* acima de 90% ou abaixo de 10%, não podem ser alcançados devido a medida de segurança de

operação utilizada.

Figura 13- Blocos de Controle utilizados Controle ON/OFF



3.1.3- Controle PID.

O controle PID foi criado utilizando um bloco PID pré definido nas bibliotecas do Codesys além de blocos de operação os valores de Ganho Proporcional, Derivativo e Integral foram definidos a partir do método de sensibilidade limite.

Este método, baseado no ajuste de uma malha fechada até se obter oscilações com amplitude constante, utiliza um conjunto de fórmulas para determinar os parâmetros do controlador, as quais requerem duas medidas do sistema: o ganho crítico (Gu, o ganho mínimo que torna o processo criticamente estável), e o período de oscilação correspondente, Pu. (SARAIVA, 2011)

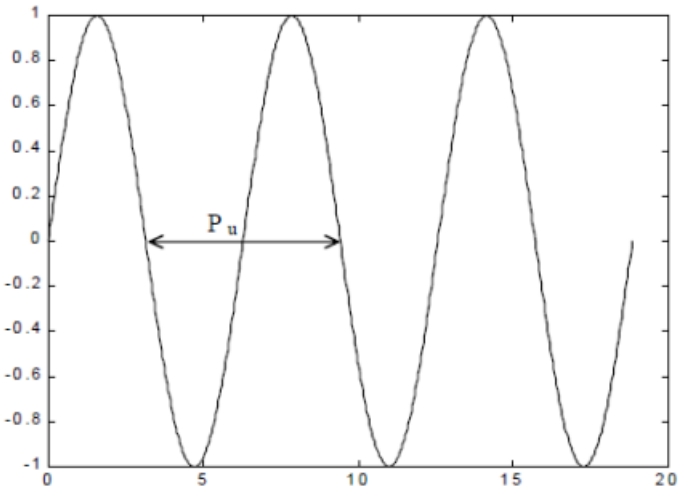
Sendo assim ao aplicar o ganho a resposta da variável manipulada deve ser de acordo com a Figura 14, após isso temos o valor de Gu e Pu, a partir desses valores e da Tabela 1, é possível chegar aos valores de Ganho Proporcional, Derivativo e Integral que serão utilizados para o controle PID.

Tabela 1-Cálculo de Ganhos pelo Método de Sensibilidade Limite

Controlador	Fórmulas		
P	Kp=0,5Gu		
PI	Kp=0,4Gu	Ti=0,8Pu	
PID	Kp=0,6Gu	Ti=0,8Pu	Td=0,125Pu

Fonte: (SARAIVA, 2011)

Figura 14- Resposta do Sistema pelo Método de Sensibilidade Limite



Fonte: (SARAIVA, 2011)

3.2 - Comunicação OPC entre Codesys e Elipse E3

Para conectar o software de controle (Codesys) com o Elipse E3, utilizou-se o protocolo de comunicação OPC.

OPC é a sigla para *Open Platform Communications*, que significa Comunicações de Plataforma Aberta. Trata-se de um conjunto de padrões e especificações para comunicação industrial. É baseado no OLE (*Object Linking and Embedding*) – ferramenta da Microsoft que atua junto ao sistema operacional Windows. O OPC permite a troca de dados, realizando a integração dos equipamentos de chão de fábrica com os sistemas de controle de forma segura e fácil. Foi idealizado para possibilitar a conectividade entre objetos com diferentes protocolos de comunicação. A interface utilizada nesse sistema chama-se COM/DCOM (*Component Object Model/Distributed Component Object Model*).

O padrão OPC faz a interoperabilidade, permitindo uma troca segura de dados nas

indústrias. Ele faz a conexão de dados entre aplicativos e dispositivos, por exemplo: um CLP e um SCADA, conectados através de um OPC. Nesse sistema, os CLPs conectam-se a um driver e ao OPC *Server* (servidor). Então, o *Server* disponibiliza o dado a um sistema supervisório como o SCADA, que possui interface conectada ao OPC *Client* (cliente). Logo, se estabelece uma comunicação padronizada entre *Server e Client*. Para que isso seja possível, é utilizado o sistema operacional Windows (CRAVO, 2023).

3.3- Desenvolvimento das telas do painel IHM.

Foram desenvolvidas duas telas principais para o monitoramento do processo: Tela Principal de Controle de Nível e Bombeamento e Tela de Análise de Bombas e Nível no Tempo. Foi criada ainda a tela Menu e a Tela Alarmes, que estão presentes juntamente nas duas telas principais.

Tela Menu: É uma tela que contém dados de data, hora seleção de telas de controle e de nível e tela de gráficos em tempo real.

Tela Principal: A mesma contém o esquemático da planta de controle, com um tanque que varia o nível de acordo com valor reconhecido do nível atual, trazendo informações de %Nível do tanque, %Potência nominal das bombas, esquemático de bombas que variam entre verde e vermelho, sinalizando operação, ligadas e desligadas, respectivamente.

Nessa tela também é possível selecionar o tipo de controle que será utilizado entre Manual, ON/OFF e PID possibilitando todos os 3 tipos de controle. A tela contém também botões de acionamento de emergência, entrada de dados como *Set Point* desejado e Histerese, no caso de utilização do controle ON/OFF. Ainda é possível encontrar a simulação de um painel físico contendo sinalizações de nível alto e baixo que são ativados automaticamente quando atinge-se o níveis acima de 85% e abaixo de 15%, respectivamente. Na tela também é possível simular danos no sistema de cada bomba, simulando os relés físicos, de forma que o sistema sinaliza a operação das bombas de forma distinta.

Tela Alarmes: Abaixo da tela Principal é possível visualizar a tela de alarmes, os mesmos são registrados no caso de eventos de risco como nível alto, nível baixo, queima de relés e situações de emergência, foi criado também um arquivo banco de dados Access que registra tais alarmes que são acionados, dessa forma é possível consultar possíveis problemas na planta, dia, horário, ocorrência, operador, quando começou e quando cessou e ter todos os dados disponíveis pra consulta em banco de dados.

3.4- Elaboração do Orçamento

Orçamento trata-se de um plano que detalha a quantia, a finalidade e a distribuição temporal dos gastos. Quando se cria um plano orçamentário com antecedência e se usa essa documentação para monitorar os gastos ao longo do projeto, é possível reduzir a probabilidade de ficar sem recursos ou de exceder o orçamento, situação comum em muitos espaços de trabalho.

A preparação do orçamento antes de se iniciar o projeto ajuda a definir o escopo do trabalho e a controlar os custos. Esta é também uma boa forma de apresentar o projeto aos participantes e obter o financiamento de que se necessita, porque um plano de despesas detalhado ajuda os aprovadores a entender como os custos contribuem com os seus objetivos. E, à medida que o projeto avança, você pode usar tal orçamento como base de referência para comparar os gastos reais com os gastos orçamentados e atenuar os custos adicionais que surgirem. (MACNEIL, 2023)

Para criação do orçamento apresentado neste trabalho foram levantados os equipamentos utilizados para cada um dos tipos de controle automáticos (ON/OFF com histerese e PID), e que atendessem as variáveis necessárias para o desenvolvimento como número de entradas e saídas analógicas e digitais do CLP. Para determinar os custos foram pesquisados 3 diferentes fornecedores, sendo selecionado o menor preço que foi utilizado para o orçamento apresentado.

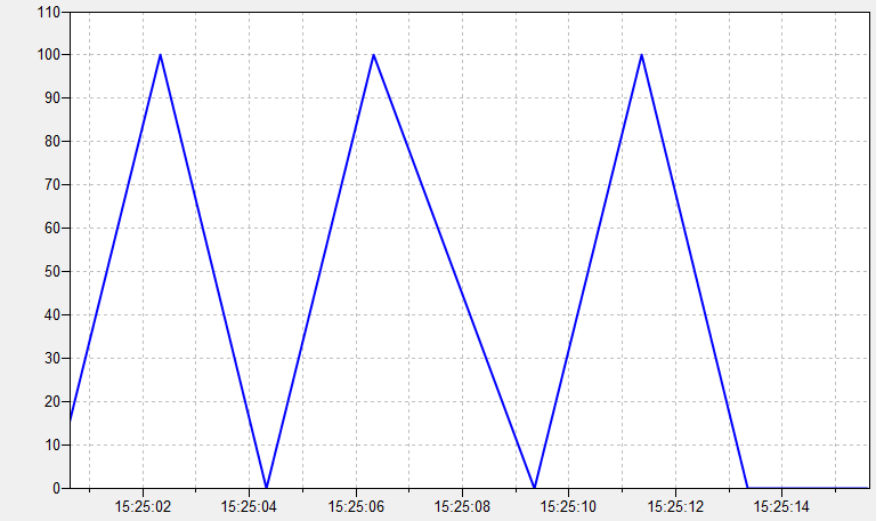
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos métodos descritos anteriormente foi possível definir os parâmetros de controle PID, desenvolver o programa de controle de nível desejado, implementar a comunicação e desenvolver a interface como proposto anteriormente. Nesse capítulo apresenta-se os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto.

4.1- Parâmetros PID e Bloco de Controle

A partir dos parâmetros definidos anteriormente de sintonia PID, utilizando o método de sensibilidade limite foram aplicados ganhos variados ao sistema, zerando inicialmente os valores de tempos derivativos e integrativos, e aumentando o ganho de forma escalonada, quando K_p=5, obteu-se oscilações com amplitude constante (Figura 15).

Figura 15- Resposta Sistema Desenvolvido ao método de Sensibilidade Limite

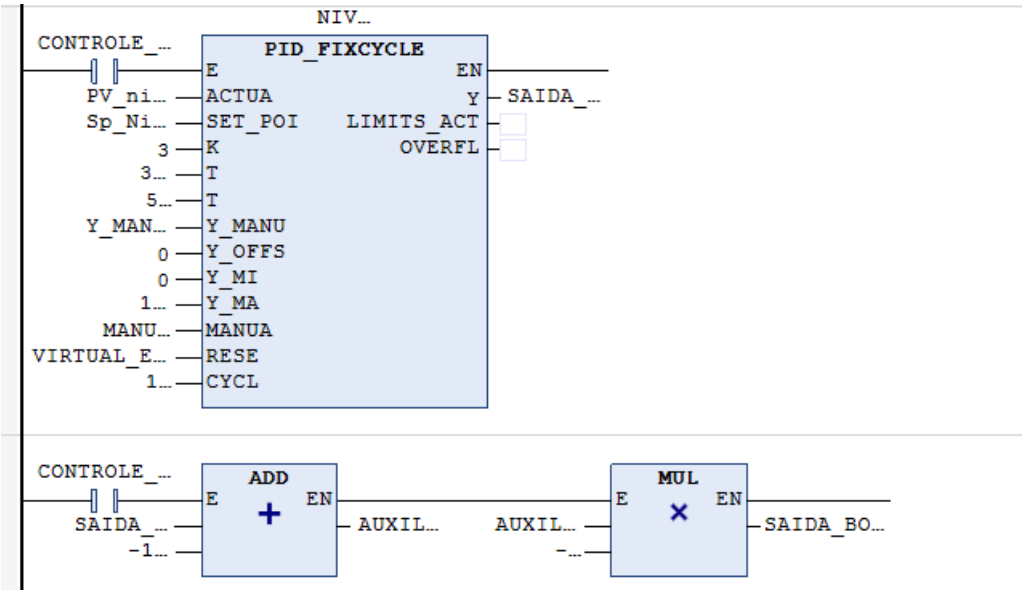


Foi então possível determinar os valores das contantes de ganho aplicadas ao sisteme PID utilizado para controle de nível, onde G_u=5 P_u= 4 s de acordo com a Figura 15 acima. Com isso utilizando a Tabela 1 calcula-se as seguintes variáveis: K_p=3, T_i=320 ms e T_d=50 ms.

No modo de controle PID as bombas quando ligadas podem operar de 1% a 100% da capacidade nominal, a depender da saída informada pelo controlador PID utilizado, considera-se o processo completamente estável quando tanto o nível como a potência das bombas estiverem estáveis. Assim como no modo manual e ON/OFF com histerese, as diretrizes de

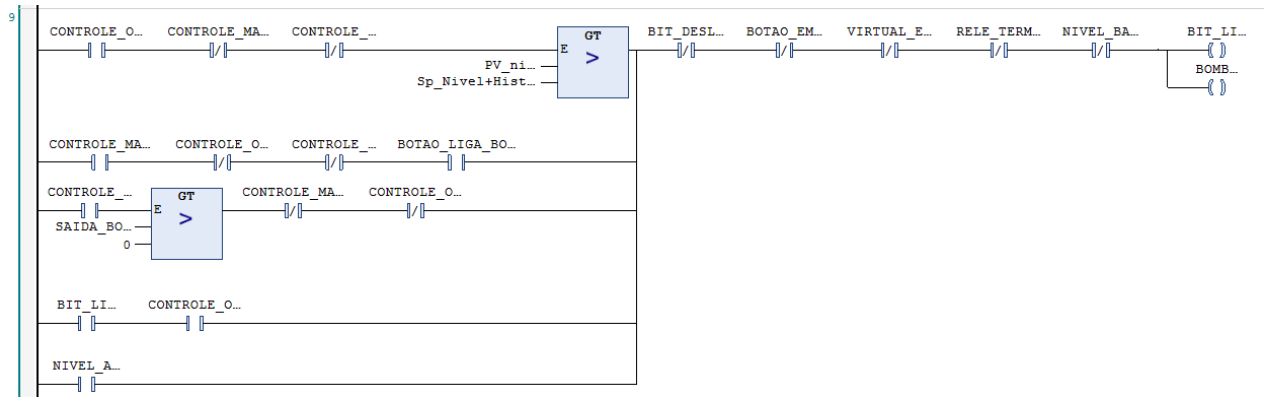
segurança descritas anteriormente foram implementadas. Na Figura 16 é possível visualizar os blocos de controle utilizados no Codesys, como descrito anteriormente.

Figura 16-Blocos de Controle Utilizados Controle PID



Como os 3 tipos de controle foram implementados, utilizou-se um bloco geral (Figura 17), dessa forma é possível um único bloco referenciar os 3 tipos de controle propostos para a planta, de forma a intertravar os mesmos, sendo assim os modos de operação não são concomitantes e só podem ser aplicados de forma separada, o controle de nível alto para ativação das bombas caso nível esteja acima de 90% também foi alocado neste bloco. Como descrito anteriormente, comandos de emergência ou componentes de operação e funcionamento das bombas estão sendo aplicados em todos os tipos de controle e são fatores primários para ativação das bombas.

Figura 17- Bloco de Controle Principal Ladder(Codesys)



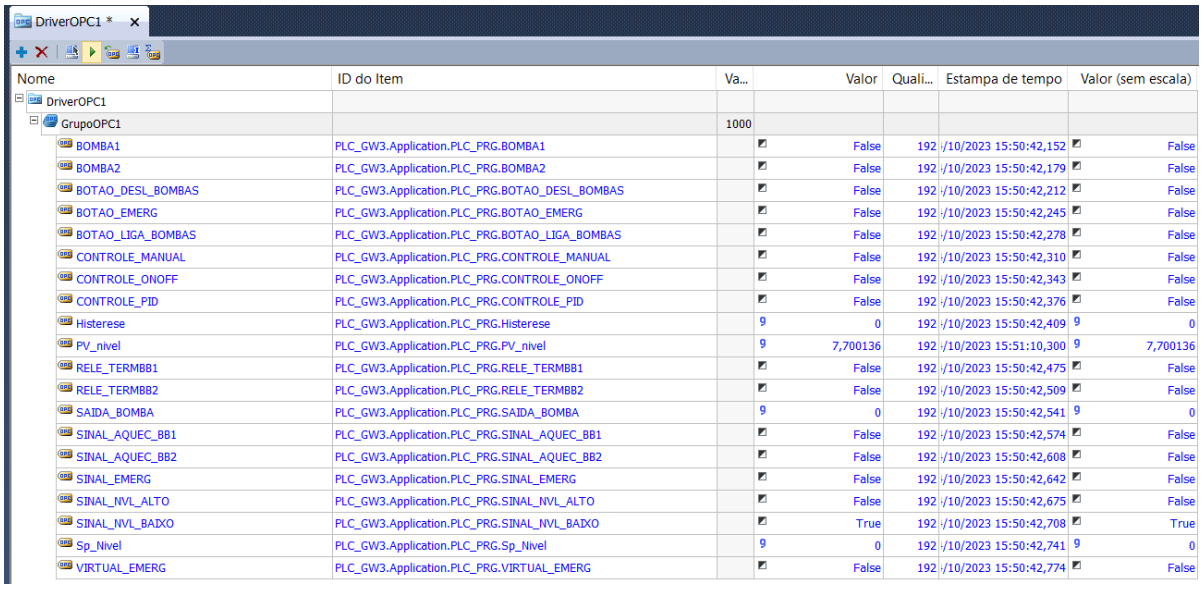
Criou-se também as conexões para ativação de variáveis como nível baixo, alta corrente bomba 1 e bomba 2 e sinal de emergência a fim de fazer posteriormente as conexões com a central de alarmes no IHM, como pode-se observar na figura abaixo:

Figura 18-Blocos de Controle Alarmes.

4.2- Conexão Elipse E3 e Codesys

Para realizar a conexão foi utilizado o programa CODESYS Control Win V3 SysTray, que emula um CLP no sistema, a partir disso é possível realizar a comunicação ativando o servidor OPC do Codesys, conectando através do Elipse E3 pela central de objetos e servidor.

Figura 19- Driver OPC de Entradas e Saídas Analógicas e Digitais no Elipse E3.



DriverOPC1 *

Nome	ID do Item	Va...	Valor	Quali...	Estampa de tempo	Valor (sem escala)
DriverOPC1						
GrupoOPC1		1000				
BOMBA1	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.BOMBA1		False	192	/10/2023 15:50:42,152	False
BOMBA2	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.BOMBA2		False	192	/10/2023 15:50:42,179	False
BOTAO_DESL_BOMBAS	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.BOTAO_DESL_BOMBAS		False	192	/10/2023 15:50:42,212	False
BOTAO_EMERG	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.BOTAO_EMERG		False	192	/10/2023 15:50:42,245	False
BOTAO_LIGA_BOMBAS	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.BOTAO_LIGA_BOMBAS		False	192	/10/2023 15:50:42,278	False
CONTROLE_MANUAL	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.CONTROLE_MANUAL		False	192	/10/2023 15:50:42,310	False
CONTROLE_ONOFF	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.CONTROLE_ONOFF		False	192	/10/2023 15:50:42,343	False
CONTROLE_PID	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.CONTROLE_PID		False	192	/10/2023 15:50:42,376	False
Histerese	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.Histerese		0	192	/10/2023 15:50:42,409	0
PV_nivel	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.PV_nivel		7,700136	192	/10/2023 15:51:10,300	7,700136
RELE_TERMBB1	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.RELE_TERMBB1		False	192	/10/2023 15:50:42,475	False
RELE_TERMBB2	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.RELE_TERMBB2		False	192	/10/2023 15:50:42,509	False
SAIDA_BOMBA	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.SAIDA_BOMBA		0	192	/10/2023 15:50:42,541	0
SINAL_AQUEC_BB1	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.SINAL_AQUEC_BB1		False	192	/10/2023 15:50:42,574	False
SINAL_AQUEC_BB2	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.SINAL_AQUEC_BB2		False	192	/10/2023 15:50:42,608	False
SINAL_EMERG	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.SINAL_EMERG		False	192	/10/2023 15:50:42,642	False
SINAL_NVL_ALTO	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.SINAL_NVL_ALTO		False	192	/10/2023 15:50:42,675	False
SINAL_NVL_BAIXO	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.SINAL_NVL_BAIXO		True	192	/10/2023 15:50:42,708	True
Sp_Nivel	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.Sp_Nivel		0	192	/10/2023 15:50:42,741	0
VIRTUAL_EMERG	PLC_GW3.Application.PLC_PRG.VIRTUAL_EMERG		False	192	/10/2023 15:50:42,774	False

De acordo com Figura 20 pode-se observar um teste de conexão realizado entre o projeto no Codesys e no Elipse E3, evidenciando a comunicação da variável Histerese. Ao alterar o valor da variável no Elipse E3, a mesma é alterada no Codesys, e o mesmo acontece ao realizar a operação contrária(Figura 21).

Figura 20- Comunicação via Elipse E3

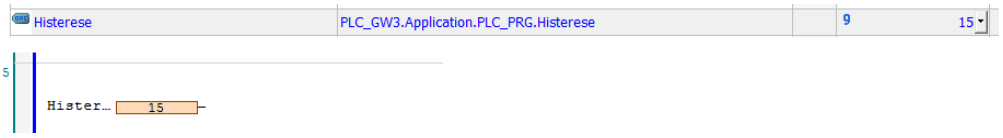
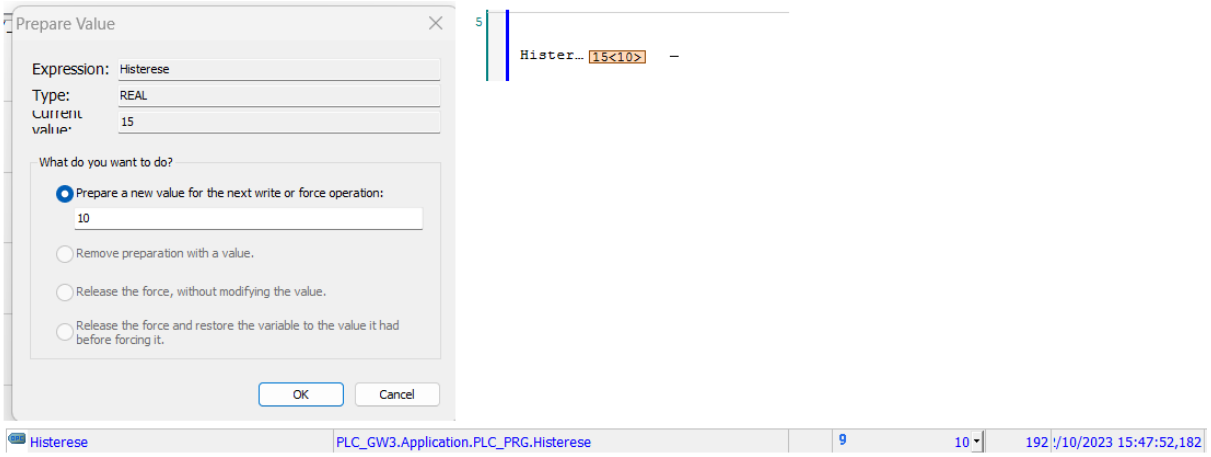


Figura 21- Comunicação Via Codesys

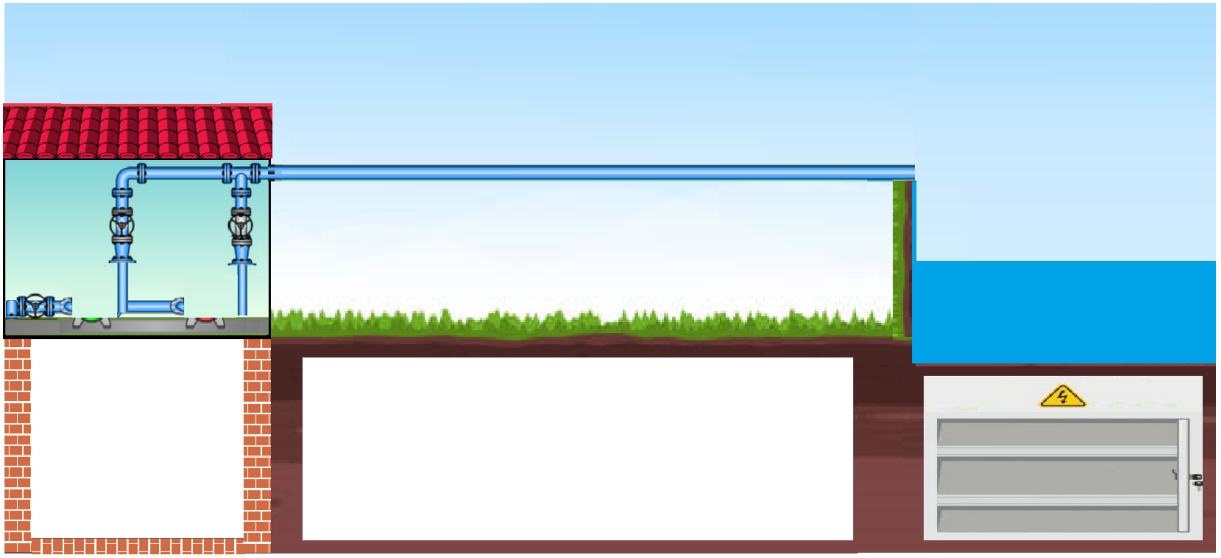


4.3- Desenvolvimento Telas IHM

A partir do controle desenvolvido no software Codesys e das ferramentas de desenvolvimento descritas anteriomente do Elipse E3 foram criadas e finalizadas as telas IHM propostas anteriomente, abaixo temos o descritivo de cada tela e as características de cada uma delas.

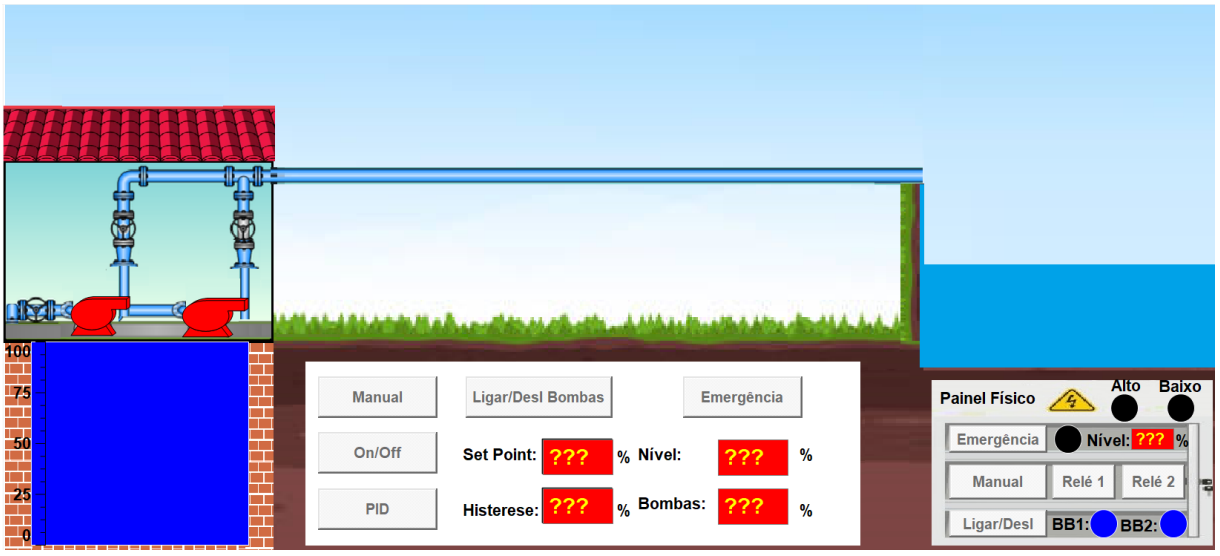
Primeiramente para o desenvolvimento das telas foi necessário a criação de uma imagem de fundo (Figura 22) que evidenciasse o processo descrito. Sendo assim, foi criada a imagem abaixo para desenvolvimento da tela principal, que seria um esquemático da planta física para melhor entendimento, além disso a mesma conteria um desenho de painel físico que representaria o controle manual de operação local, exercido em um painel físico no local de operação.

Figura 22- Esquemático criado parar desenvolvimento da Tela Principal do IHM.



Após essa criação foram inseridos elementos gráficos diretamente no Elipse E3, como pode ser observado abaixo na Figura 23, foram inseridos elementos como as bombas, tanques, barra de nível, botões de comando, sinais luminosos que identificam os comandos a serem realizados e dispositivos físicos controlados, além disso, para as variáveis *Set Point* e Histerese ao qual temos comunicação bidirecional entre os *softwares*, é necessário inserir *Displays* para preenchimento, para variáveis unidirecionais, como Nível e Bombas, foram criados painéis para visualização.

Figura 23- Elementos Gráficos Elipse inseridos juntamente a Tela Principal.



Após inseridos foram configurados todos os elementos gráficos, para os botões e Displays foram criadas comunicações bidirecionais (Figura 24 e Figura 25) , para os paíneis foram criadas conexões unidirecionais (Figura 26), para o tanque foi criado uma conexão de

preenchimento vertical variável conectada diretamente à varíavel manipulada, de forma a exibir o nível atual do reservatório (Figura 27). Objetos que representam sinais luminosos ou as bombas em que tem-se inversão de cores para mostrar operação das mesmas(vermelho desligadas, verde ligadas), foi criada uma conexão unidirecional de estados para mudança de cor (Figura 28).

Figura 24-Comunicação Bidirecional Botões

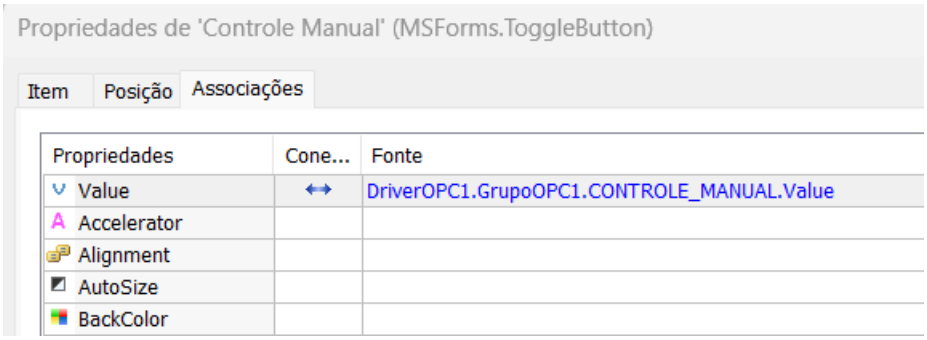


Figura 25-Comunicação Bidirecional Displays

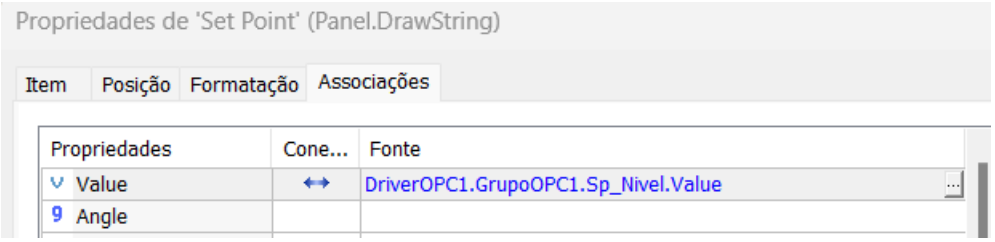


Figura 26-Comunicação Unidirecionais Painéis

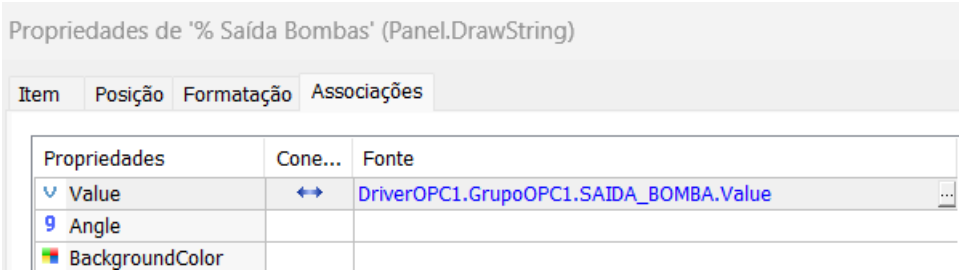
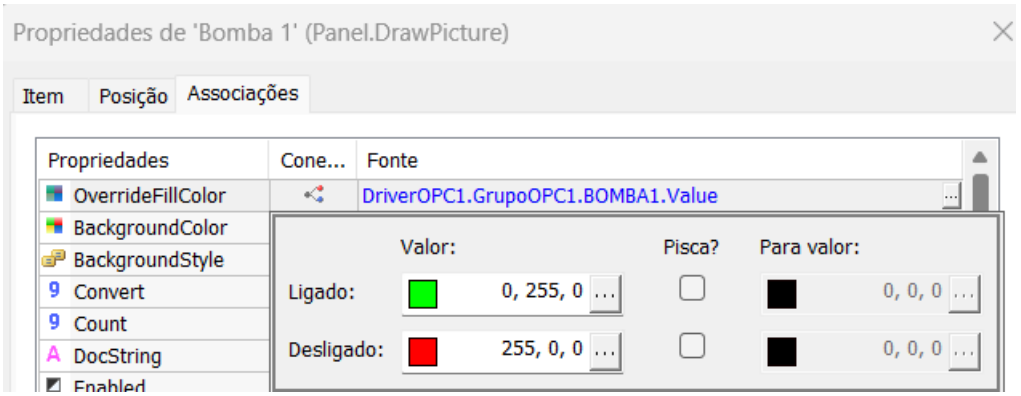


Figura 27- Comunicação Preenchimento Vertical Variável Tanque

Figura 28- Comunicação Preenchimento Unidirecional Booleana para cores operação.



Para criação da Tela Menu, a qual pode ser observada na Figura 29, foram inseridos o logo do CEFET-MG, um painel com informação de data hora, ao qual foi vinculado a variável de tempo do sistema operacional Windows (Figura 30). Além disso foram inseridos botões que variam entre a Tela Principal de controle e a Tela Gráficos a partir da configuração do mesmo para abertura de telas (Figura 31).

Figura 29- Tela Menu

Figura 30- Associação para exibição Data e Hora

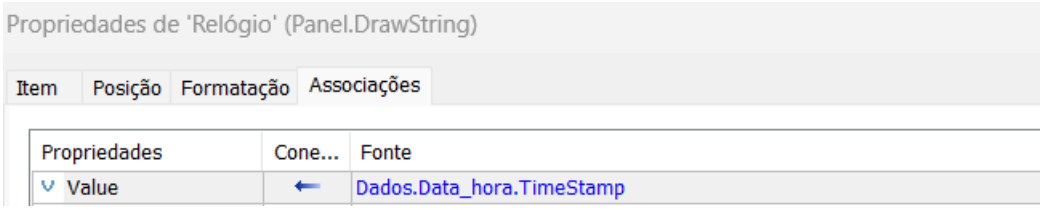
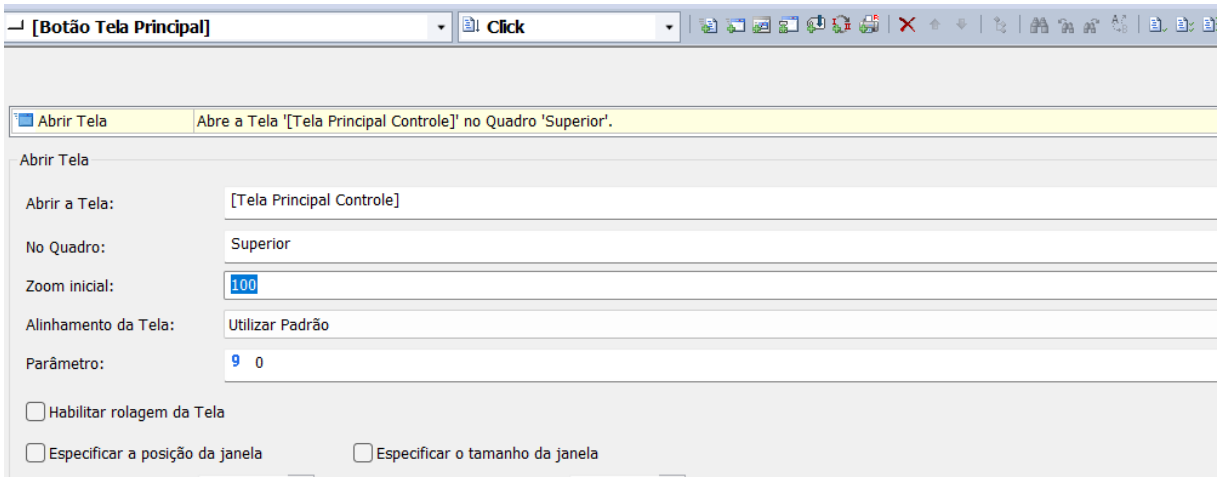


Figura 31- Associação para botões principais de abertura da tela Principal



Para a criação da Tela Alarmes foi criado um servidor de alarmes vinculado a um banco de dados Access (Figura 32 e Figura 33), no Elipse E3 foi realizada a criação de elemento

Alarmes através do menu Objetos e dados ao qual foi vinculado com o servidor de alarmes criado anteriormente (Figura 34).

Figura 32-Banco de dados Alarmes

Alarms

E3TimeStamp	Acked	AckTime	ActorID	Area	Co	ConditionNa	EventCatego	FormattedVa	InTime	Message
09/10/2023 16:27:43	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:27:23	Nível Abaixo de 15%
09/10/2023 16:28:14	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:27:23	
09/10/2023 16:29:05	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:29:05	Nível Abaixo de 15%
09/10/2023 16:29:56	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:29:05	
09/10/2023 16:30:12	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:30:12	Nível Acima de 85%
09/10/2023 16:31:23	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:30:12	
09/10/2023 16:35:14	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:35:14	EMERGÊNCIA
09/10/2023 16:35:19	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:35:14	
09/10/2023 16:35:24	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:35:24	Relé Bomba 1 Danificado
09/10/2023 16:35:30	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:35:24	
09/10/2023 16:35:31	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:35:31	Relé Bomba 2 Danificado
09/10/2023 16:35:33	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:35:31	
09/10/2023 16:35:36	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:35:36	EMERGÊNCIA
09/10/2023 16:35:37	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:35:36	
09/10/2023 16:35:38	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:35:38	EMERGÊNCIA
09/10/2023 16:35:39	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:35:39	Nível Acima de 85%
09/10/2023 16:35:41	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:35:38	
09/10/2023 16:35:42	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:35:39	
09/10/2023 16:35:47	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:35:47	EMERGÊNCIA
09/10/2023 16:35:50	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:35:47	
09/10/2023 16:36:09	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:36:09	Relé Bomba 1 Danificado
09/10/2023 16:36:15	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:36:09	
09/10/2023 16:36:16	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:36:16	Relé Bomba 2 Danificado
09/10/2023 16:36:23	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:36:16	
09/10/2023 16:36:23	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:36:23	Nível Acima de 85%
09/10/2023 16:36:30	0	00:00:00		Area1	0	Digital	1 Digital	Falso	09/10/2023 16:36:23	
09/10/2023 16:36:33	0	00:00:00		Area1	1	Digital	1 Digital	Verdadeiro	09/10/2023 16:36:33	Nível Acima de 85%

Figura 33- Servidor de Alarmes Elipse E3 conectado ao banco de dados Access

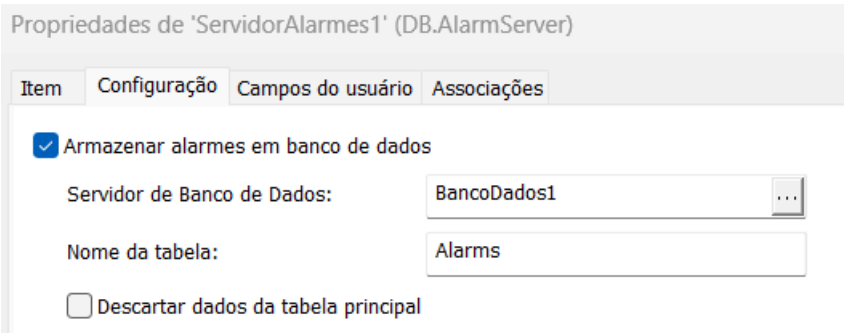
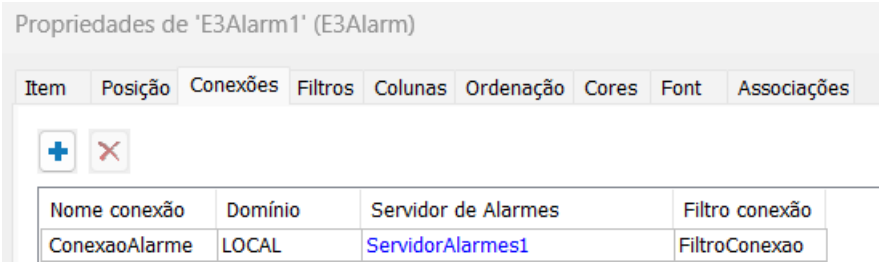


Figura 34- Conexão de Alarmes com Servidor



Após as associações, foram criados alarmes na central de alarmes, vinculando de forma unidirecional variáveis recebidas do Codesys, gerando alarmes que serão armazenados no banco

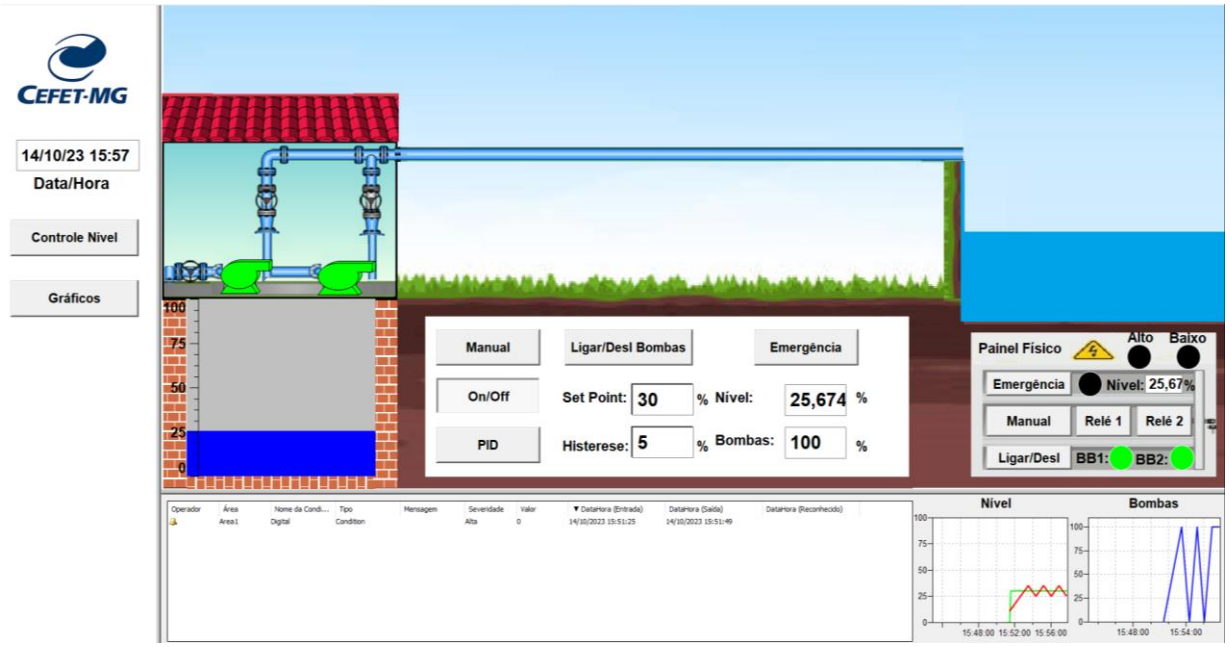
de dados Acess, que pode ser posteriormente consultado. Na central de alarmes foram inseridos alarmes sinalizando nível baixo, nível alto, corrente alta na bomba 1 e bomba 2, além do alarme de emergência (Figura 35).

Figura 35- Cadastro de Alarmes

Nome	Fonte
ConfigAlarmes1	
Area1	
Nível Baixo	DriverOPC1.GrupoOPC1.SINAL_NVL_BAIXO
Nivel Alto	DriverOPC1.GrupoOPC1.SINAL_NVL_ALTO.'
Corrente Alta Bomba 1	DriverOPC1.GrupoOPC1.SINAL_AQUEC_BB1
Corrente Alta Bomba 2	DriverOPC1.GrupoOPC1.SINAL_AQUEC_BB2
Emergência	DriverOPC1.GrupoOPC1.SINAL_EMERG.Valu

Na Figura 36 pode-se observar a tela final criada para controle de nível, nela temos um esquemático da casa de bombas acima do reservatório de bombeamento que deseja-se controlar o nível, e um esquema de envio para as lagoas facultativas.

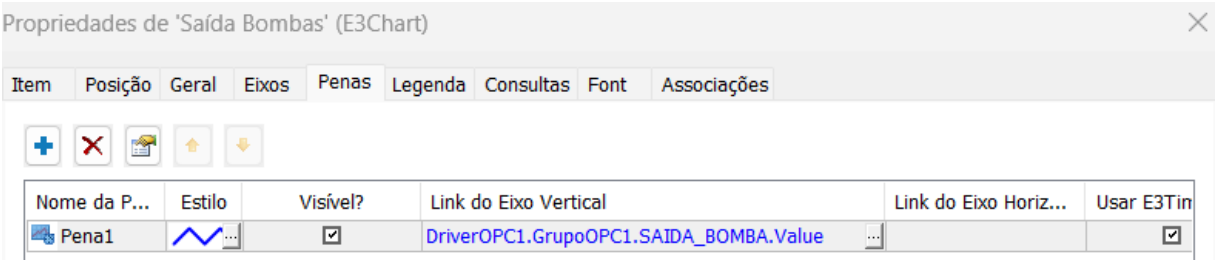
Figura 36- Tela Principal de Controle de Nível



Para a Tela Gráficos, foi realizado o mesmo processo anterior de conexões, copiando os elementos já existentes da tela principal, os gráficos foram criados realizando comunicação unidirecional de dados como nível, *Set Point* e %Saída das Bombas(Figura 37 e Figura 38).

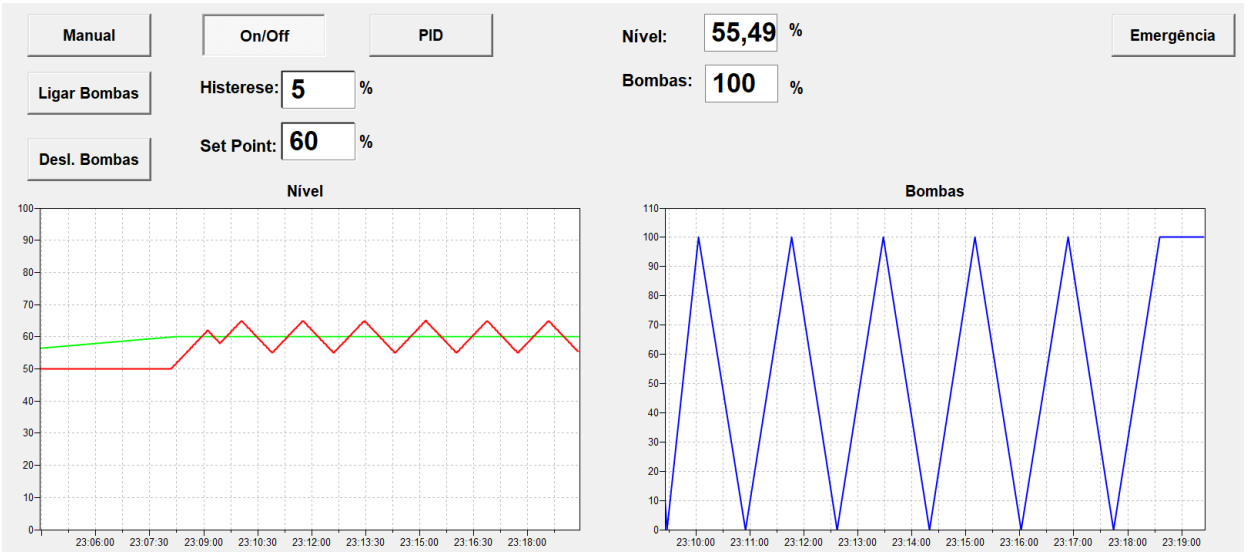
Figura 37- Eixos e Conexões Criadas para Gráfico Nível

Figura 38- Eixos e Conexões Criadas para Gráfico Saída Bombas



Na Figura 39 abaixo pode-se observar a tela criada para análise de nível e atuação de bombas no tempo.

Figura 39-Tela de Análise de Bombas e Nível no Tempo.



Nesta, como na tela principal de controle, tem-se todos os botões de forma a alterar os tipos de controle, painés com %Nível do tanque, %Potência nominal das bombas, tipo de controle que deseja-se utilizar no processo(Manual,ON/OFF e PID), além de dados de entrada

como Histerese no caso de utilização do controle ON/OFF, *Set point* desejado, e um botão de emergência da operação que cessa qualquer atividade de bombeamento.

A principal função da tela são os gráficos de controle que são possíveis de verificar. O Primeiro gráfico temos em verde o valor do %*Set Point* desejado de nível, em vermelho o %Nível atual, já o segundo Gráfico, tem-se em azul o %Potência nominal das bombas no tempo. Tais gráficos nos levam aos resultados do trabalho, onde podemos selecionar os módulos de operação ON/OFF e PID, comparando-os, analisando o desempenho dos mesmos, se estão realmente sendo efetivos e quais suas limitações e vantagens.

4.4- Orçamento inicial de implementação.

Inicialmente o projeto contém 16 saídas digitais e 4 saídas analógicas, utilizando parâmetros de projeto como potência das bombas foi possível realizar dois esboços iniciais de orçamento de forma a trazer comparativos sobre as principais diferenças de implementação entre controle ON/OFF e controle PID.

Sabe-se que, após idealizado um projeto, um dos fatores mais determinantes para aprovação e implementação do mesmo é o custo. Sendo assim, viu-se a necessidade de esboçar orçamentos iniciais do projeto. Não foram considerados custos com cabos e instalação de rede, sendo estes os mesmos em ambos os tipos de controle a serem implementados.

Os valores foram cotados na internet, em 15 de outubro de 2023. Na Tabela 2 e Tabela 3 tem-se os orçamentos dos principais equipamentos/sensor utilizado para os projetos de controle ON/OFF e PID respectivamente. Como, o sistema de bombeamento atualmente é operado em modo de controle manual, considerou-se que os demais equipamentos como relés, equipamentos de partida e alimentação das bombas podem ser reaproveitados na implementação do projeto.

Tabela 2-Orçamento controle ON/OFF(Principais Equipamentos)

Produto	Fabricante	Custo Inicial
CLP Modicon M221 Tm221ce40r 40e/s Tcp/ethernet Ip	Schneider	R$ 3.280,00
IHM Hmigxu5512 10 Polegadas	Schneider	R$ 3.896,00
Sensor de nível radar 80 ghz uwt nivoradar - nr 7100	Uwt level control	R$ 7.874,00

Custo Total Inicial: R$ 15.050,00

Tabela 3-Orçamento controle PID (Principais Equipamentos)

Produto	Fabricante	Custo Inicial
CLP Modicon M221 Tm221ce40r 40e/s Tcp/ethernet Ip	Schneider	R$ 3.280,00
IHM Hmigxu5512 10 Polegadas	Schneider	R$ 3.896,00
Modulo Tm3aq4 Tm3 Modicon 4 Saídas Analógicas	Schneider	R$ 1.797,00
Inversor 3F 380-480V 180A 150cv CFW500G0180T4NB20G2	Weg	R$ 40.600,00
Sensor de nível radar 80 ghz uwt nivoradar - nr 7100	Uwt level control	R$ 7.874,00

Custo Total Inicial: R$ 57.447,00

Analisando as tabelas, observa-se que implementar inicialmente o controle PID nesse caso é de 3 a 4 vezes mais caro que implementar um controle ON/OFF, o principal fator é a compra de um inversor de frequência para realizar o ajuste de frequência da rede e consequentemente condicionar a saída das bombas no controle PID, visto que o mesmo necessita controlar a saída da bomba de forma analógica. Outro fator é que as bombas são de 60cv cada, uma potência alta, o que faz com que o inversor de frequência que atende os requisitos de utilização tenha alto custo.

4.5- Análise de controles desenvolvidos

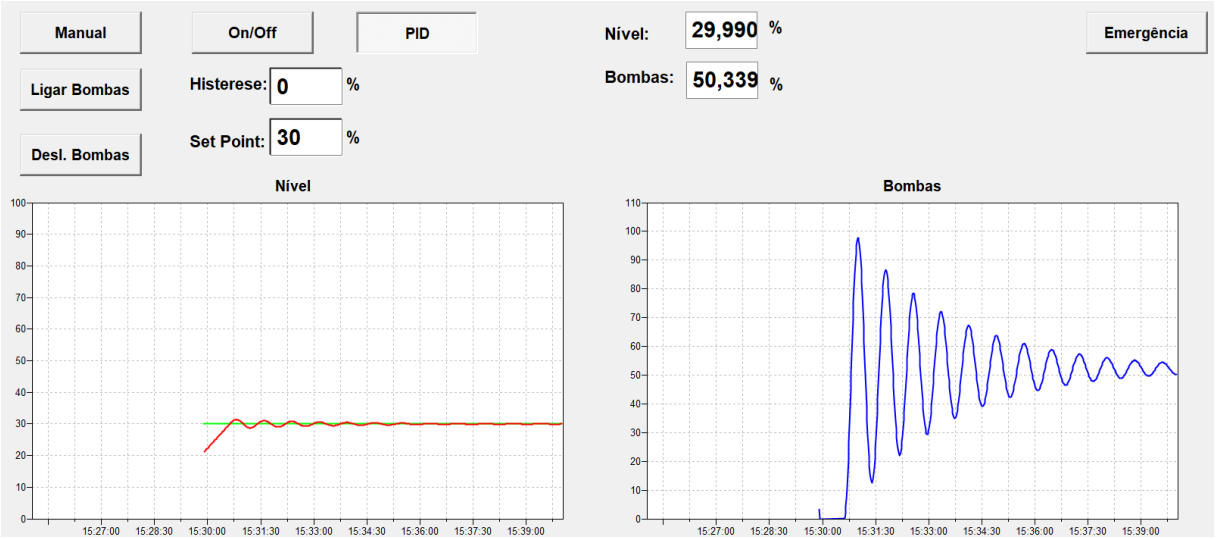
A partir da criação do supervisório e controle foi possível simular os impactos de cada tipo de controle no sistema dimensionado utilizando a Tela Gráficos, na Figura 40 pode-se observar a resposta do nível e bombas ao realizar o controle ON/OFF com histerese.

Figura 40- Gráfico controle ON/OFF com histerese.

É possível observar que o nível atual (em vermelho) varia entre 25% e 35%, visto que o *Set Point* é de 30% e a Histerese de 5%, portanto o controle está dentro do esperado. As bombas variam de 0% para 100%, sendo ligadas ao atingir 35% e desligadas quando o nível atinge 25%, nesse caso. O ideal é que sejam definidos valores de histerese maiores possíveis dentro dos parâmetros de controle desejados, minimizando o chaveamento das bombas e consequentemente aumentando sua vida útil, essa é uma das premissas que deve ser adotada após a implementação do projeto, podendo o valor de histerese passar a ser um parâmetro fixo, evitando que a operação possa alterá-lo facilmente. No mais o controle se apresentou estável e dentro do esperado para suas funcionalidades.

Na Figura 41 abaixo pode-se observar a resposta do nível e bombas ao realizar o controle PID na planta.

Figura 41-Gráfico Controle PID



É possível observar um pequeno sobressinal do nível inicialmente, após alguns minutos o nível é estabilizado e a saída das bombas se mantém constante para o fluxo de entrada, sendo assim pode-se dizer que o sistema entrou em estabilização. Com isso as bombas oscilam nos primeiros minutos de forma a se estabilizar em um valor estável de forma a manter o nível constante. O controle PID no caso é ideal para processos em que o nível deve ser controlado de forma regular e com pouca variação do *Set Point*, o mesmo também leva a um baixo chaveamento das bombas, aspecto muito positivo para o processo. No mais o controle se apresentou estável e dentro do esperado para suas funcionalidades.

5- CONCLUSÕES

Conclui-se então a partir de todas as considerações de projeto que ambos os tipos de controle apresentam características interessantes e que trariam funcionalidades para o controle de nível desejado na planta e atenderiam as espectativas iniciais. Dessa forma os controles sugeridos atendem todas as espectativas pro projeto, além disso com as condições de segurança implementadas o mesmo se torna funcional e sua aplicação trariam grandes benefícios ao processo.

As condições de custo inicial de implementação variam muito do controle On/Off com histerese para o controle PID, porém pensando em custo de operação e rentabilidade a longo prazo, deve ser realizado um estudo envolvendo consumo energético e depreciação dos equipamentos no tempo, que variam entre os controles utilizados. Ficando como um trabalho futuro para desenvolvimento para possível viabilização de aplicação prática na planta física, possibilitando uma melhor tomada de descisão do tipo de sistema de controle deve ser implementado.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. L. (2013). *Instrumentação, controle e automação de processos, 2° ed.* Rio de Janeiro: LTC.

ASTROM, K. J., & HAGGLUND, T. (2009). *Control PID avanzado.* Pentrice Hall: Pearson.

BORGES, M. A. (2011). *ARQUIVO PESSOAL DIVISÃO TÉCNICA SAAE.* SACRAMENTO,MG.

BOYER, S. A. (1993). *Supervisory Control and Data Acquisition.* USA: ISA- Instrument Society of America.

CONSTAIN, N. B. (2021). *Integração de Sistemas SCADA com a implementação de Controle Supervisório em CLP para Sistemas de Manufatura.* Florianópolis.

Cravo, E. (10 de 2023). *Kalatec*. Obtido de Kalatec: https://kalatec.com.br/opc-ua/

Cucolo, E. (22 de 10 de 2023). *Jornal Folha de São Paulo*. Obtido de Folha de São Paulo: https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2023/01/brasil-fica-atras-de-china-mexico-e-chile-em-ranking-global-de-acesso-a-agua-e-esgoto.shtml

EATON. (10 de 2023). *EATON*. Obtido de EATON: https://www.eaton.com/br/pt-br/catalog/industrial-control--drives--automation---sensors/codesys-software.html

ELIPSE. (10 de 2023). *ELIPSE SOFTWARE*. Obtido de ELIPSE SOFTWARE: https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/

FALCO, P. B. (2005). *ESTRUTURA DA COMUNIDADE MICROBIANA (ALGAS E BACTÉRIAS) EM UM SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM DUAS ESCALAS TEMPORAIS: NICTEMERAL E SAZONAL.* SÃO CARLOS.

FERREIRA, G. D., & SILVA DUARTE, M. (2017). *Saneamento Básico: Meio Ambiente e Dignidade Humana.* Dignidade Revista.

FIEDLER, D. R. (Julho de 2013). Automação de uma Estação de Tratamento de Esgoto através de uma rede Zigbee. *Universidade Federal de Santa Catarina*, pp. 62-63.

FILHO, A. P., SILVA, F., & ARAUJO, R. (2008). *Desenvolvimento de um sistema Microcontrolado para Controle de Temperatura em Líquidos.* Belém: Engenharia de Computação em Revista.

FONSECA, M. (s.d.). *PLC Open. IEC 61131-3: a norma para programação [S.I.]*.

FRANCHI, C. M. (2011). *Controle de processos industriais.* São Paulo: Érica.

GLOBO. (18 de 06 de 2022). *ECONOMIA.* Obtido de O GLOBO:

https://oglobo.globo.com/economia/no-brasil-esgoto-de-45-da-populacao-nao-recebe-qualquer-tratamento-21865590

GUTBERLET, J. (1996). *Cubatão: Desenvolvimento, exclusão social e degradação ambiental.*

MacNeil, C. (10 de 2023). *asana*. Obtido de asana: https://asana.com/pt/resources/project-budget

MANUAL DE SANEAMENTO. (1998). Obtido de FIOCRUZ : http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/ambiente/Manual%20de%20Saneamento.pdf

MONTEIRO, R. S. (2017). *SISTEMA AUTOMÁTICO DE LIMPEZA.* SAO LUIS, MA.

MORAES, C. C., & CASTRUCCI, P. (2013). *Engenharia de Automação Industrial 2 e.d.* Rio de Janeiro: LTC.

NEOWATER Eficiência Hídrica. (2022). Obtido de NEOWATER: https://www.neowater.com.br/post/tipos-tratamento-esgoto#:~:text=Existem%20tr%C3%AAs%20tipos%20de%20tratamento,o%20efluente%20de%20forma%20eficaz.

OGATA, K. (2014). *Engenharia de Controle Moderno.* São Paulo: Pearson.

OLIVEIRA, G. J., & SANTOS, H. I. (2007/1). ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DAS LAGOAS FACULTATIVAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE MUNICIPAL DE INHUMAS- GOIÁS. pp. https://www.yumpu.com/pt/document/read/15807752/1-analise-da-eficiencia-das-lagoas-facultativas-ucg.

PETTRUZELLA, F. (2014). *Controladores Lógicos Programáveis.* 4° ed. Porto Alegre: AMGH.

PINHEIRO, J. (2006). *Introdução as redes de Supervisão e Controle.*

POMILIO, J. A. (2007). *Circuitos TRIAC: controle por ciclo inteiro para acionamento de carga resistiva em controle de temperatura.* São Paulo: UNICAMP .

ROSÁRIO, J. (2009). *Automação Industrial.* São Paulo: Baraúna.

SAAE- SERVIÇO AUTONOMO DE AGUA E ESGOTO. (s.d.). *HISTÓRICO*. Obtido de SAAE: https://www.saaesac.mg.gov.br/historico

SABESP. (s.d.). *TIPOS DE TRATAMENTO*. Obtido de SABESP: http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=61

SARAIVA, F. D. (2011). *MÉTODOS DE SINTONIA EM CONTROLADORES PID.* CANOAS.

Silva, J. M. (03 de 2000). *ece ufrgs*. Obtido de ece.ufrgs: https://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/node20.html

SILVA, M. E. (2007). *Controladores Lógico Programáveis- Ladder. Controladores,[S.I.]*.

SPERLING, V. M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Vol 1, 3ª ed.* DESA, ED. UFMG.

VIANNA, W., BRINGHENTI, P., & MARTINS, L. (2008). Sistema Scada Supervisório. *Instituto Federal Fluminense de Educação Ciência e Técnologia*.

CÓPIA DO TRABALHO Nº 236/2023 - DELMAX (11.57.05)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 20/12/2023 15:44)
MATEUS ANTUNES OLIVEIRA LEITE
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CAAAX (11.57.01)
Matrícula: ###384#0

(Assinado digitalmente em 18/12/2023 19:13)
Vitor do Nascimento de Jesus Alves
DISCENTE
Matrícula: 2017#######5

Visualize o documento original em https://sig.cefetmg.br/documentos/ informando seu número: ***236****, ano:* ***2023****, tipo:* ***CÓPIA DO TRABALHO****, data de emissão:* ***18/12/2023*** *e o código de verificação:* ***5c333915fe***