



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

## MELHORIA DA AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Rodrigo Tenorio Fritz

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação, da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Rio de Janeiro  
Setembro de 2017

MELHORIA DA AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE UMA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO

Rodrigo Tenorio Fritz

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA À OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO.

Examinado por:

---

Prof: Armando Carlos de Pina Filho, D.Sc.

---

Profa. Andrea Valdman, D.Sc.

---

Prof. Bruno Didier Olivier Capron, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
SETEMBRO DE 2017

Fritz, Rodrigo Tenorio

Melhoria da Automação dos Processos de uma Estação de Tratamento de Esgotos/ Rodrigo Tenorio Fritz. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2017.

XI, 58 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Projeto de graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/  
Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 67 – 69.

1. Automação. 2. Estação de Tratamento de Esgotos. 3. Otimização. I. Carlos de Pina Filho, Armando. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

*Dedico este trabalho às pessoas que me apoiaram nesse longo período de experiência de vida e trajeto até a graduação em Engenharia de Controle e Automação. Meus pais, meus avós, família, namorada, amigos, colegas de curso, e a todos aqueles que contribuíram de alguma forma, mesmo de forma pessimista, e agora compartilham a minha alegria em finalmente concluir essa difícil etapa de vida. A alegria é dividida e tenho certeza que por todos. A sensação de transformar o aprendizado em resultado prático na busca de uma sociedade melhor e com mais qualidade de vida. A vida é como uma viagem de trem, não fique parado na estação.*

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a todos que me deram suporte para a conclusão dessa jornada, em primeiro lugar, ao meu orientador, Armando Carlos de Pina Filho, que me deu todo auxílio para o desenvolvimento deste trabalho. Aos companheiros da empresa que auxiliaram nas respostas a parte de tratamento de esgotos, ao meu sócio e tio Marcelo Tenorio que auxilia diariamente no desenvolvimento de novos projetos na empresa, além de amigos de curso, que me auxiliaram a mitigar os problemas de desenvolvimento do projeto.

Aos membros da banca, que aceitaram me avaliar e, que tanto contribuíram para melhora da qualidade deste trabalho com suas sugestões. A LTROTTA Engenharia, empresa que possibilitou a oportunidade de estagiar e desenvolver o embrião deste projeto, além da FACE Ambiental que possibilitou a escolha do tema e sempre auxiliou nas melhores soluções que poderiam ser desenvolvidas.

Agradeço a todos os docentes e colegas das mais diversas turmas que me acompanharam durante a graduação. A todos os meus familiares, inclusive os que nos deixaram, à minha namorada e amigos mais próximos, que me deram todo suporte, carinho e apoio necessários para o meu sucesso.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à POLI/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

## MELHORIA DA AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.

Rodrigo Tenorio Fritz

Setembro/2017

Orientador: Armando Carlos de Pina Filho

Curso: Engenharia de Controle e Automação

A partir de meados do século XX, com o aumento da população e das indústrias, o aspecto ambiental passou a ser valorizado, com o tratamento através da remoção, entre muitos outros, de nitrogênio e fósforo, além da canalização de esgotos domésticos e industriais destinados a uma estação de tratamento de esgotos (ETE). A principal função de uma ETE é tratar os dejetos para reduzir a poluição a níveis aceitáveis, antes de enviar os efluentes aos corpos hídricos receptores. Na estação são necessários diversos componentes de automação como motores, sensores, blocos lógicos, temporizadores e contadores. Este trabalho foi desenvolvido buscando uma solução a possíveis falhas humanas, além da redução de custos com a mão de obra, apresentando uma estação de tratamento de efluentes existentes, e sua integração com equipamentos e instrumentos pertinentes. A metodologia foi dividida em pesquisa bibliográfica, para definir o planejamento global através de referências teóricas, seguida pelo estudo da atual estação de tratamento em que se buscou um maior detalhamento do processo e a inserção de ideias para aprimorar o sistema. O objetivo do trabalho é implementar automação em uma ETE existente, auxiliar nesse processo de melhoria da automação, e buscar um aprimoramento no atual serviço. A automação foi realizada pela linguagem LADDER, em programas que simulam a operação dos Controladores Lógicos Programáveis (PLC). Com a implementação dessa automação é possível evitar falhas humanas e redução de custos de manutenção do sistema.

Palavras-chave: Automação, Estação de Tratamento de Esgotos, Otimização.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Control and Automation Engineer.

IMPROVING THE AUTOMATION OF THE PROCESSES OF A SEWAGE  
TREATMENT STATION.

Rodrigo Tenorio Fritz

September/2017

Advisor: Armando Carlos de Pina Filho

Course: Control and Automation Engineering

Since the middle of the 20th century, with the increase of population and industries, the environmental aspect has come to be valued, with the treatment through the removal, among many others, of nitrogen and phosphorus, as well as the channeling of domestic and industrial sewage to a sewage treatment plant (ETE). The main function of a TEE is to treat waste to reduce pollution to acceptable levels before sending effluents to receiving water bodies. At the station, various automation components such as motors, sensors, logic blocks, timers and meters are required. This work was developed to find a solution to possible human faults, besides reducing labor costs, presenting an existing effluent treatment plant, and its integration with relevant equipment and instruments. The methodology was divided into bibliographic research, to define the overall planning through theoretical references, followed by the study of the current treatment station in which a greater detail of the process was sought and the insertion of ideas to improve the system. The objective of the work is to implement automation in an existing ETE, assist in this process of improving automation, and seek an improvement in the current service. The automation was performed by the LADDER language, in programs that simulate the operation of the Programmable Logic Controllers (PLC). With the implementation of this automation it is possible to avoid human failures and reduce system maintenance costs.

Keywords: Automation, Sewage Treatment Plant, Optimization

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XI
<b><u>CAPÍTULO 1</u></b>	<b><u>12</u></b>
<b><u>INTRODUÇÃO</u></b>	<b><u>12</u></b>
1.1 PROBLEMAS	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 AUTOMAÇÃO	15
1.4 METODOLOGIA	15
<b><u>CAPÍTULO 2</u></b>	<b><u>17</u></b>
<b><u>TRATAMENTO DE EFLUENTES</u></b>	<b><u>17</u></b>
2.1 TRATAMENTO PRIMÁRIO	18
2.2 TRATAMENTO SECUNDÁRIO	20
2.3 TRATAMENTO TERCIÁRIO	22
<b><u>CAPÍTULO 3</u></b>	<b><u>25</u></b>
<b><u>DETALHAMENTO DA AUTOMAÇÃO</u></b>	<b><u>25</u></b>
3.1 CONTROLE DE PROCESSOS	25
3.2 CONTROLE PID	27
3.3 SISTEMA DE SUPERVISÃO	28
<b><u>CAPÍTULO 4</u></b>	<b><u>31</u></b>
<b><u>EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS</u></b>	<b><u>31</u></b>
4.1 INVERSOR DE FREQUÊNCIA	31
4.2 SOFT-STARTERS	31
4.3 VÁLVULAS ELETRO-PNEUMÁTICAS E CILINDROS PNEUMÁTICOS	32
4.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL - PLC	33

4.5	IHM (INTERFACE HOMEM MÁQUINA) LOCAL	35
4.6	MEDIDORES DE GRANDEZAS ELÉTRICAS	35
4.7	DOSADOR DE CLORO	35
4.8	ANALISADOR DE CLORO	36
4.9	ANALISADOR DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	36
4.10	MEDIDOR DE VAZÃO ULTRASSÔNICO / CALHA PARSHALL	37
4.11	CHAVES BOIA	37
<b>CAPÍTULO 5</b>		<b>38</b>
<b>ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS</b>		<b>38</b>
5.1	FLUXOGRAMA DO PROCESSO	40
5.2	CANAL DE ENTRADA	40
5.3	TANQUE DE AERAÇÃO	42
5.4	DECANTADOR SECUNDÁRIO	43
5.5	TANQUE DE LODO	43
<b>CAPÍTULO 6</b>		<b>45</b>
<b>AUTOMAÇÃO NA ETE</b>		<b>45</b>
6.1	DIAGRAMA DE COMANDO	45
6.1.1	OPERAÇÃO MANUAL	47
6.2	OTIMIZAÇÃO	47
6.3	PARÂMETROS MONITORADOS E CONTROLADOS	50
6.3.1	MEDIÇÃO DA VAZÃO	50
6.3.2	RECALQUE DE ESGOTO BRUTO AFLUENTE COM CONTROLE DE VAZÃO	51
6.3.3	REATOR AERÓBIO	54
6.3.4	ADENSAMENTO E DESAGUAMENTO DE LODO	57
6.3.5	ENERGIA ELÉTRICA	59
6.4	REDE PETRI	59
<b>CAPÍTULO 7</b>		<b>66</b>
<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>		<b>66</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>		<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Fluxograma do processo</i> .....	14
<i>Figura 2 - Detalhe do sistema de gradeamento em uma estação de tratamento de água</i> .....	18
<i>Figura 3 - Tanques de decantação em estação de tratamento de esgoto no Rio de Janeiro</i> .....	19
<i>Figura 4 - Tanque de flotação em estação de tratamento de água</i> .....	19
<i>Figura 5 - Esquema das fases de um tratamento secundário com lodo ativado</i> .....	20
<i>Figura 6 - Lagoa aerada de uma estação de tratamento de esgoto</i> .....	21
<i>Figura 7 - Lodo ativado em uma estação de tratamento</i> .....	21
<i>Figura 8 - Ilustração de osmose reversa</i> .....	23
<i>Figura 9 – Malha de controle PID com a interferência de cada parcela no controle do erro</i> .....	27
<i>Figura 10 – Sistema supervisório da ETE Lavapés</i> .....	29
<i>Figura 11 – Chave de partida Soft-Starter</i> .....	32
<i>Figura 12 – Válvulas de Controle</i> .....	33
<i>Figura 13 – Ciclo de varredura do PLC</i> .....	34
<i>Figura 14 – Analisador de Cloro</i> .....	36
<i>Figura 15 – Localização ETE Shopping Lagos</i> .....	38
<i>Figura 16 – Arranjo Geral ETE Shopping Lagos</i> .....	39
<i>Figura 17 – Diagrama P&amp;ID do processo</i> .....	40
<i>Figura 18 – Configuração do Canal de Entrada e Elevatória</i> .....	41
<i>Figura 19 – Tanque de Aeração</i> .....	42
<i>Figura 20 – Decantador Secundário</i> .....	43
<i>Figura 21 – Tanque de Lodo</i> .....	44
<i>Figura 22 – Diagrama de Força e Diagrama de Comando - ETE Shopping Lagos</i> .....	46
<i>Figura 23 – Diagrama Ladder para controle das válvulas do descarte do lodo</i> .....	49
<i>Figura 24 – Medidor de vazão ultrassônico para canais abertos e calha Parshall</i> .....	51
<i>Figura 25 – Diagrama Ladder com controle de funcionamento das bombas</i> .....	52
<i>Figura 26 – Inversor de frequência CFW08, indicado para controlar a rotação e vazão das bombas</i> .....	54
<i>Figura 27 – Sistema de análise do Oxigênio Dissolvido</i> .....	54
<i>Figura 28 – Diagrama Ladder com controle de funcionamento dos sopradores</i> .....	56
<i>Figura 29 – Diagrama Ladder com controle do nível do tanque de lodo</i> .....	58
<i>Figura 30 – Multimetro de Grandezas Elétricas</i> .....	59
<i>Figura 31 – Rede Petri para a passagem do lodo</i> .....	61
<i>Figura 32 – Rede Petri para o funcionamento das bombas</i> .....	63
<i>Figura 33 – Rede Petri para o funcionamento dos sopradores</i> .....	65

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Transições e Lugares para a Rede Petri da malha do lodo.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 2 – Transições e Lugares para a Rede Petri da malha das bombas da elevatória .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 3 – Transições e Lugares para a Rede Petri da malha do funcionamento dos soprades.....</i>	<i>64</i>

# Capítulo 1

## Introdução

Desde o início e até meados do século XX, os principais objetivos com o tratamento de esgoto e o saneamento básico eram evitar a transmissão de doenças. No princípio, o tratamento focava na remoção do material coloidal, suspenso e flotado, além do tratamento do material orgânico biodegradável, buscando a eliminação de agentes patogênicos.

Até meados do século XX os recursos naturais eram abundantes e nunca foi preocupação a preservação e o cuidado com a escassez dos mesmos. No entanto, com o aumento exponencial da população, principalmente nas grandes cidades, e das indústrias a partir da década de 1970, o aspecto ambiental passou a ser valorizado. Devido à crescente diminuição dos recursos naturais, diversas leis e normas foram criadas buscando deixar os padrões de emissão mais rígidos, e com o passar dos anos regularizaram o tratamento de água e dos efluentes.

Com isso, uma série de exigências foram criadas, que levaram a uma evolução na qualidade do tratamento dos dejetos. Assim, o tratamento das águas usadas é incontestavelmente fundamental, pois reduzem ou evitam a proliferação de organismos patogênicos que podem contaminar o homem e animais através da água.

Desta forma, a implantação de novas ETEs, assim como o aumento das redes de tratamento de águas em geral, permitem uma melhor qualidade de vida, visto que evitam doenças que podem ter sérias consequências como o aumento da mortalidade infantil, redução da produtividade e aumento do custo hospitalar. É importante ressaltar que o tratamento das águas usadas também reduz os efeitos poluidores sobre os ecossistemas aquáticos.

A conscientização para o tratamento dos efluentes e controle da poluição teve início recente. Quando começaram as “preocupações” com os dejetos industriais foi criada a “política da chaminé alta”, onde os empresários e donos de fábricas migraram de suas cidades para países onde pudessem criar filiais “para evitar prescrições do próprio país de origem”. (Gutberlet, 1996)

Somente após a revolução industrial que se iniciou a preocupação com os danos ao meio ambiente, com a instalação de filtros e a realização de programas de redução das emissões de poluentes. Uma das primeiras normatizações existentes relacionadas à poluição e ao desperdício de água foi a Carta Européia da Água (criada em 06 de maio de 1968 pelo Conselho da Europa). (Gutberlet, 1996)

Os efluentes são caracterizados pela água acrescida das impurezas devidas ao uso. Dejetos industriais e residenciais são os principais responsáveis pela degradação da qualidade da água (PERIAÑEZ, 2004). No caso do esgoto residencial, sua maior parte é constituída por água e o restante é comumente chamado de lodo, cuja

composição é formada por partículas suspensas ou dissolvidas, material orgânico, nutrientes e organismos patogênicos, como vírus, bactérias, protozoários e helmintos, sendo estes a maior preocupação para o tratamento dos esgotos. As principais doenças transmitidas pela água, que acarretam muitas mortes por dia, são a diarreia infecciosa, a cólera, a hepatite, a leptospirose e a esquistossomose (SANTOS et al., 2003).

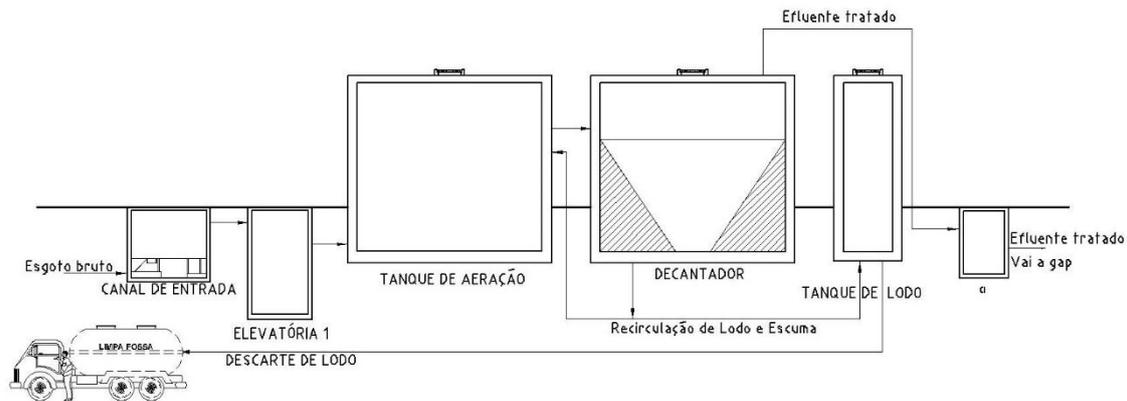
Para embasamento teórico sobre tratamento de efluentes, foram utilizadas a Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – que estabelece as condições de padrões de lançamento de efluentes –, a Diretriz 215 do INEA, que estabelece o controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos, a Constituição Federal de 1988 e a Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981 que visa controlar o lançamento de poluentes no meio ambiente, além dos autores citados neste texto.

A principal função de uma Estação de Tratamento é reduzir a poluição do esgoto bruto a níveis aceitáveis, de acordo com as normas, antes de enviar os efluentes aos corpos hídricos como mares ou rios. Este tratamento pode ser realizado por ETE automáticas ou semiautomáticas que utilizam diversos componentes para tal finalidade como motores, sensores, além de blocos lógicos, temporizadores e contadores. Hoje em dia a automação de processos tem grande destaque nas indústrias e é utilizada numa escala crescente, proporcionando uma maior qualidade, produtividade e aperfeiçoamento dos processos e uma otimização geral dos sistemas.

De modo a garantir a qualidade da água e seu posterior uso ou emissão nos corpos hídricos, os tratamentos de efluentes podem ser classificados em primário, secundário e terciário. O tratamento primário utiliza principalmente os processos físico-químicos para separar os sólidos do efluente, enquanto o tratamento secundário realiza a remoção da matéria orgânica com reações bioquímicas. Os tratamentos terciários utilizam métodos físico-químicos ou biológicos para a retirada dos poluentes, compostos tóxicos e microrganismos que não foram removidos pelos outros processos. (VON SPERLING, 2005).

Já um sistema de esgoto tem seu fluxo definido pela ação da lei da gravidade, e pode ser dividido entre a rede coletora e estações elevatórias. As redes coletoras recolhem os efluentes de diversos estabelecimentos ou indústrias e enviam os dejetos até a estação de tratamento. Nas estações elevatórias, é realizado o bombeamento dos esgotos nas redes coletoras para auxiliar o direcionamento do fluxo.

O início do tratamento dos efluentes ocorre desde as estações elevatórias, onde os materiais sólidos de grande porte são eliminados pelo gradeamento existente. Após o gradeamento, os efluentes vão para o tanque de aeração em que se introduz o oxigênio para acelerar o desenvolvimento de microrganismos que assimilam e processam grande parte da matéria presente no esgoto. Posteriormente, o lodo que se forma se dirige ao decantador, para que novamente a gravidade entre em ação e processe esse material. Após o processo de aeração e decantação, o líquido processado está livre das substâncias nocivas ao meio ambiente, e ele é então despejado nos corpos hídricos, enquanto que o lodo excedente vai para o adensador de lodo, para reduzir o seu volume, antes de ser enviado para uma estação de tratamento pública. Na Figura 1 é possível observar o fluxograma do processo.



**Figura 1 – Fluxograma do processo**  
**Fonte: Autor**

Durante o tratamento, existem uma série de parâmetros químicos, físicos e biológicos que necessitam de um monitoramento constante e um controle eficaz para o seu correto funcionamento. A utilização de processos manuais para monitoramento dos parâmetros, permite que ocorram falhas em função da intervenção de um operador. Nesse sentido, a automação, o controle e o monitoramento, se tornam necessários para um melhor funcionamento do sistema e uma melhor eficiência no tratamento desses efluentes.

A automação em uma estação de tratamento está presente em todos os setores do processo, seja pelo controle dos níveis, controle dos poluentes, sensores, motores, válvulas, controladores lógicos programáveis (CLP) e relés, além dos sistemas supervisórios que gerenciam todos os processos (NT SABESP – 018, 2011).

## 1.1 PROBLEMAS

Para implementar a automação nas ETEs existentes, frequentemente ocorre problemas ligados a limitações do espaço, pois por muitas vezes no projeto inicial da ETE, não era previsto um espaço destinado aos componentes necessários para a automação. Nas novas ETEs, este problema não é encontrado pois já são construídas com o devido espaço para implementar a automação.

Outro problema que existe nas estações de tratamento é a comunicação entre os equipamentos, pois devido aos diferentes fabricantes, cada um desenvolve seu equipamento priorizando sua linguagem ou alguma linguagem parceira, dificultando a comunicação entre eles. Para resolver essa questão é necessária a utilização dos padrões globais de comunicação.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos, apresentar como a automação permitiu uma melhoria nos sistemas de tratamento, descrever um sistema atual, com seu tipo de tratamento de efluentes existentes, e a integração com os equipamentos e os instrumentos.

O principal objetivo é sugerir propostas de melhorias no atual funcionamento da estação de tratamento de esgotos e aprimoramento da automação. Através da linguagem Ladder e PLC, buscar a modernização do atual serviço.

- Descrever sobre os processos de tratamentos dos efluentes;
- Abordar o processo de automação de uma Estação de Tratamento de Esgotos;
- Detalhar a utilização dos equipamentos e instrumentos;
- Apresentar os resultados do aprimoramento do processo da Automação da ETE.

Foi escolhido como sugestão a implementação da automação, como estratégia empresarial, o processo de passagem do lodo.

Atualmente nesse processo o lodo é reintroduzido ao sistema no tanque de aeração e uma vez por dia o operador altera o posicionamento das válvulas para eliminar o excesso de lodo para o tanque digestor aeróbio de lodo.

Com essa sugestão de automação, esse processo passa a ser automático, realizando a recirculação do lodo e de acordo com as configurações ativando o descarte do lodo quando necessário. Após o funcionamento por determinado momento o sistema retorna para a posição inicial, alterando as válvulas para a recirculação.

Para essa passagem foi desenvolvido em LADDER um projeto de controle das válvulas com o PLC para o correto manejo do lodo.

### **1.3 AUTOMAÇÃO**

A busca pela automação no saneamento não é algo novo, sua significativa melhora em eficiência energética e em qualidade de tratamento, aliado a equipamentos mais modernos leva a automação ao caminho natural do desenvolvimento da qualidade dos tratamentos.

A possibilidade de realizar um monitoramento remoto em todas as etapas, desde o tratamento da água, seu armazenamento e distribuição, além da coleta de esgoto, tratamento e retorno ao meio ambiente, traz um ganho significativo para o saneamento básico devido à automação.

Desta forma com a automação é possível tornar o sistema mais eficiente, em função do monitoramento e controle de todo o processo. Aliado ao atual cenário de aumento populacional e um aumento na poluição, é preciso atuar na melhoria da qualidade com a redução de custos energéticos do tratamento, coleta e distribuição das águas e efluentes.

### **1.4 METODOLOGIA**

A metodologia deste trabalho foi dividida em pesquisa bibliográfica, para definir o planejamento global através de referências teóricas, seguida pelo estudo de caso em que se buscou um maior detalhamento do processo e a inserção de ideias para aprimorar o sistema.

A automação desenvolvida para a estação foi realizada em linguagem LADDER, em programas que simulam a operação dos Controladores Lógicos Programáveis (CLP). Além da simulação do funcionamento do sistema, com seus sensores e atuadores.

A automação de uma estação de tratamento compreende seis funções:

- i) 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;
- ii) Acionamento Motor: gerencia o funcionamento dos motores presentes na estação, como aqueles responsáveis por bombas elevatórias, decantadores, tanques de aeração e adensadores;
- iii) 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;
- iv) Iluminação: iluminar os ambientes interiores através de um sensor de presença e iluminar o ambiente externo com a falta de luz natural;
- v) Alarme: seu objetivo é alertar para a entrada de invasores nas dependências da estação e alertar para problemas ocorridos durante algum processo monitorado;
- vi) Supervisório: monitora as condições dos diversos componentes da estação, proporcionando ao operador todas as informações para uma eventual tomada de decisão.

## Capítulo 2

### TRATAMENTO DE EFLUENTES

Desde o início da humanidade, a obtenção de recursos para a sobrevivência sempre foi de suma importância. Com isso, os seres humanos tendem a se estabelecer em regiões onde esses recursos naturais estão disponíveis permitindo a sua manutenção (CAVINATTO, 2001). Com o passar do tempo, os conhecimentos adquiridos sobre a necessidade de conservação dos recursos naturais levaram a implantação de uma série de medidas para mitigar os efeitos causados pela sua exploração. Uma das medidas foi promover a fabricação de sistemas para preservar esses recursos, como o controle da poluição e sistemas de saneamento e aproveitamento de energia.

Antigamente alguns povos desenvolveram técnicas de captação, condução, armazenamento e utilização da água, como no Egito, quando utilizavam técnicas de irrigação do solo na agricultura e armazenamento da água. Esse líquido era retirado durante as cheias do rio Nilo e ficava parado por um ano para que a sujeira sedimentasse até o fundo do recipiente, processo conhecido atualmente como decantação. Um procedimento de filtração, em que a água era filtrada através de tecidos que tiravam suas impurezas, foi descoberto por arqueólogos ao encontrarem gravuras em túmulos. Apesar de não terem conhecimento sobre microrganismos, observaram que quem tomava a água não filtrada contraía doenças.

No século XIV alguns decretos sobre a limpeza pública espalharam-se pela Europa. A ideia de preservar os recursos tornou-se importante, pois era possível perceber que ainda não existia infraestrutura nas cidades, não existiam ruas, calçadas, canalização, distribuição central de água e coleta de lixo.

A situação era pior na Inglaterra, Alemanha, França e Bélgica, em que o lixo e fezes eram armazenados em reservatórios públicos e muitas vezes atirados nas ruas. Neste período, as áreas industriais cresciam exponencialmente e os serviços de saneamento básico não acompanhavam essa expansão, levando a epidemias nas cidades como a Cólera, Febre Tifóide e a Peste Negra (CAVINATTO, 2001). Basicamente, este quadro de epidemias só ocorreu devido a poluição ligada ao lixo e fezes que contaminavam principalmente a água levando a dizimar a população europeia nesta época.

A poluição das águas é uma das formas de poluição do meio ambiente mais preocupantes. Isto fez com que diversas medidas para o seu tratamento tenham se iniciado, como por exemplo o tratamento dos efluentes, que são constituídos por resíduos líquidos lançados para o meio ambiente a partir dos esgotos domésticos, da agricultura e de atividades industriais. Esses tipos de efluentes podem ser bastante nocivos, pois podem conter metais pesados, óleos e outras substâncias que causam problemas ambientais graves.

Antes de serem lançados nos corpos hídricos, os efluentes devem ser tratados de acordo com seu índice de poluição e da presença dos contaminantes. Existem algumas tecnologias para o tratamento, dentre as estas, as amplamente utilizadas no mercado são o tratamento primário, secundário e terciário.

## 2.1 TRATAMENTO PRIMÁRIO

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). Este tipo de tratamento é extremamente importante no funcionamento do sistema, pois evita o entupimento da tubulação e auxilia no correto funcionamento das estações (VON SPERLING, 2005).

Um dos processos de tratamento primário utilizados é o gradeamento, conforme visto na Figura 2, muito comum nas ETAs (Estações de Tratamento de água), onde a água captada dos corpos hídricos como rios, lagos ou poços passa por grades posicionadas em locais estratégicos para impedir a passagem de detritos (e também de peixes e plantas). Este processo também é utilizado nas ETEs (Estações de tratamento de esgoto) e EEEs (Estações Elevatórias de esgoto) para eliminar os resíduos maiores evitando desta forma o entupimento da tubulação.



**Figura 2** - Detalhe do sistema de gradeamento em uma estação de tratamento de água  
**Fonte:** Brasil Escola acesso em 16/12/2016

Outro processo de suma importância para o tratamento dos efluentes é a decantação, sua origem vem desde os tempos da antiguidade, e é uma técnica física de separação de misturas formadas principalmente por sólidos e líquidos. O método consiste em deixar a mistura em repouso para que com a ação da gravidade e da diferença de densidade, ocorra a sedimentação dos sólidos para o fundo do recipiente, enquanto que o líquido fica na parte superior. Nos tratamentos de esgoto a decantação

separa o lodo no processo. Na Figura 3, é possível observar os tanques de decantação da estação de tratamento de esgotos da CEDAE no Rio de Janeiro.



**Figura 3** - Tanques de decantação em estação de tratamento de esgoto no Rio de Janeiro  
**Fonte:** CEDAE acesso em 24/04/2017

Além dos processos já citados, é importante no tratamento de efluentes o processo da Flotação que é uma técnica que consiste na separação físico-química ao se adicionar bolhas de ar em uma suspensão coloidal. Neste processo, as impurezas em suspensão como partículas sólidas e óleos ficam aderidas as bolhas e são arrastadas para a superfície do líquido, formando aglomerados de espuma para serem removidas da solução. Na Figura 4, pode-se observar um tanque de flotação, com detalhe para as impurezas prontas a serem removidas.



**Figura 4** - Tanque de flotação em estação de tratamento de água  
**Fonte:** Brasil Escola acesso em 16/12/2016

A Separação de óleo também é realizada no tratamento primário. Neste processo são utilizados os separadores de água e óleo, que são equipamentos que realizam uma separação física por meio da diferença de densidade destes dois compostos. Esse processo é importante para efluentes vindos de áreas de manutenção, lavagem de veículos e máquinas em oficinas mecânicas que geralmente estão contaminados com óleos e graxas.

Outra técnica é a eletrocoagulação. Neste processo é induzida a passagem de corrente elétrica pela água que desestabiliza a solução e coagula os contaminantes a partir das reações de oxirredução. Assim os estados químicos ficam menos reativos,

insolúveis e de maior estabilidade. Essas partículas insolúveis formadas podem ser separadas da água pelas outras técnicas de separação, como a decantação e a flotação. A vantagem desse sistema é que não se utiliza a adição de produtos químicos e não há a necessidade de correção do pH (FOGAÇA, 2017).

A função da técnica da equalização é absorver variações bruscas na qualidade ou quantidade do efluente. O dimensionamento deste tipo de unidade pode ser realizado segundo duas abordagens distintas: regularização de vazões ou regularização de concentrações (METCALF & EDDY, 2003).

A técnica da neutralização busca neutralizar o pH do efluente através da utilização de produtos químicos. O pH neutro é igual a 7 e o ideal é eliminar o efluente quando ele chega próximo a esse valor.

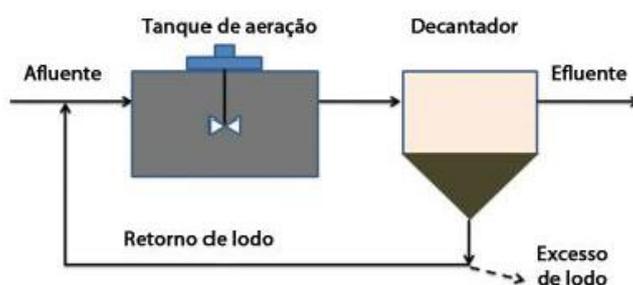
É importante ressaltar que a eficiência de um tratamento primário pode chegar a 60% ou mais, dependendo do tipo de unidade de tratamento e da operação da estação, e assim o efluente ainda não está pronto para ser lançado no meio ambiente. Ele precisa ainda passar pelos outros tratamentos para a eliminação adequada.

## 2.2 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Neste tipo de tratamento, denominado de tratamento secundário, ocorre a remoção da matéria orgânica através de reações bioquímicas realizadas por microrganismos, de modo a garantir a qualidade do efluente que será lançado no meio ambiente (VON SPERLING, 2005).

Este procedimento é o mais utilizado nas atuais estações de tratamento de esgotos, devido sua capacidade de remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Com essa remoção de DBO é possível atender aos padrões impostos na legislação brasileira pelo CONAMA e INEA. Na Figura 5, encontra-se o esquema das fases de um tratamento secundário com as lagoas para tratamento secundário.

Neste procedimento são utilizados reatores, como lagoas de estabilização, lodo ativado, filtro biológico ou variantes. Os reatores são constituídos por tanques com grande quantidade de microrganismos aeróbios, que necessitam de um ambiente com a presença de oxigênio, ou anaeróbios, que não necessitam da presença de oxigênio, cuja função é a retirada de substâncias biodegradáveis presentes no efluente. Estas substâncias presentes no esgoto estão sob forma de matéria orgânica dissolvida ou em suspensão, são decompostas a partir da ação de microrganismos decompositores. Esses processos bioquímicos de decomposição são acelerados nos reatores.



**Figura 5** - Esquema das fases de um tratamento secundário com lodo ativado  
**Fonte:** <http://www.revistatae.com.br/7197-noticias> acesso em 18/09/2017

As lagoas de estabilização são os locais em que se realizam o tratamento a fim de reter a matéria orgânica e gerar água de qualidade para ser devolvida aos corpos receptores, enquanto que as lagoas facultativas são reservatórios onde a DBO solúvel é estabilizada por bactérias aeróbicas. Neste caso, o oxigênio requerido é fornecido por algas que realizam fotossíntese e consomem parte dos nutrientes dissolvidos como os sais de nitrogênio e fósforo. A complementação do processo com a DBO que vai para o fundo do tanque, é estabilizada por bactérias anaeróbicas. Essa estabilização pode ser feita a partir da fermentação mecânica, com atuação dos microrganismos sem presença de oxigênio ou através da adição de produtos químicos, tais como cloreto férrico, cal, sulfato de alumínio e polímeros orgânicos (FOGAÇA, 2017).

As lagoas aeradas são uma modalidade de tratamento dos efluentes por lagoas de estabilização. O oxigênio é garantido devido a uma aeração eletromecânica que fornece um suprimento de oxigênio contínuo para o metabolismo dos organismos decompositores da matéria orgânica (JORDÃO & PESSOA, 1995). A mistura desse processo é enviada aos tanques de decantação, e após a sedimentação e estabilização da mistura, passa a se chamar lodo, que é recolhido e separado do efluente tratado. Na Figura 6, é possível observar uma lagoa aerada em funcionamento.



**Figura 6** - Lagoa aerada de uma estação de tratamento de esgoto  
**Fonte:** CESA/UFRJ acesso em 02/02/2017

O processo com o lodo ativado ocorre com a volta desse lodo ao tanque de aeração. Na Figura 7, observa-se o lodo ativado de uma estação de tratamento, o objetivo é ocorrer uma reativação da população dos microrganismos com a recirculação da biomassa do decantador secundário no tanque de aeração. Assim aumentar a eficiência do processo, podendo também ser utilizada para remover nitrogênio e fósforo. (CESA/UFRJ, 2017)



**Figura 7** - Lodo ativado em uma estação de tratamento  
**Fonte:** CESA/UFRJ acesso em 02/02/2017

Os filtros de percolação também fazem parte do processo de tratamento secundário, esse filtro é constituído por um tanque com material de enchimento formando um leito fixo. A percolação permite o crescimento bacteriano na superfície desse material de enchimento, formando uma película ativa, constituída por colônias gelatinosas de microrganismos (METCALF & EDDY, 2003). Assim, os compostos orgânicos do efluente entram em contato com a biomassa e são convertidos por meio de uma oxidação bioquímica aeróbica. Os fungos também estão presentes nos biofilmes e competem com as bactérias na degradação do substrato orgânico (JORDÃO & PESSOA, 1995).

A eficiência de um tratamento secundário pode chegar a 95% ou mais, dependendo da operação da ETE, por isso esse modelo atualmente é um dos mais utilizados no Rio de Janeiro. O efluente do reator contém ainda matéria orgânica remanescente e grande quantidade de microrganismos, sendo muitas vezes necessário um tratamento terciário, dependendo do tipo de poluentes que existem na água (FOGAÇA, 2017).

### **2.3 TRATAMENTO TERCIÁRIO**

Os tratamentos terciários são utilizados na desinfecção do resíduo do efluente, através da remoção dos microrganismos e determinados poluentes, que podem potencializar a degradação dos corpos hídricos. Normalmente, este tratamento é realizado antes do lançamento final no corpo receptor.

Os tratamentos terciários utilizam métodos físico-químicos ou biológicos para a retirada dos poluentes e microrganismos que não foram removidos pelos outros processos. O tipo de tratamento está ligado ao tipo de poluição do efluente e são classificados em técnicas de transferência de fase e técnicas destrutivas. Nas técnicas de transferência, o poluente é passado para outro estado agregado podendo ser eliminado para a atmosfera ou transformados em resíduo sólido, enquanto que nas técnicas destrutivas, o poluente é transformado através da oxidação da matéria orgânica.

Dentre os processos do tratamento terciário pode-se destacar os processos de filtração, que são classificados de acordo com a remoção das partículas. Na microfiltração, ocorre a separação do material sólido poluente da parte líquida através de uma filtração sob pressão utilizando-se membranas com poros muito finos, que variam de 0,1µm a 1µm de diâmetro. Pode remover partículas como bactérias, cistos e oocistos (JORDÃO & PESSOA, 1995).

Enquanto que a ultrafiltração utiliza pressões elevadas para o fracionamento seletivo, seus poros variam de 0,01 a 0,1 µm e pode remover partículas e moléculas grandes, inclusive bactérias e vírus (JORDÃO & PESSOA, 1995).

Outro processo de tratamento é a precipitação e coagulação, em que são adicionadas substâncias químicas coagulantes no efluente, formando flocos de resíduos em suspensão para sua posterior separação.

No processo de adsorção ou carvão ativado, os poluentes ficam adsorvidos na superfície do carvão, podendo ocorrer de maneira física por meio de interações intermoleculares do tipo Van der Waals ou de maneira química por meio de ligações químicas do tipo covalentes (FOGAÇA, 2017).

Já no processo de troca iônica, certos polímeros são utilizados para poder reter íons. Assim os íons poluentes presentes nos efluentes ficam retidos na resina polimérica e são substituídos por outros íons de mesma carga.

A osmose reserva funciona por meio da aplicação de uma pressão na água do efluente de modo a forçar a passagem por uma membrana semipermeável do solvente da solução mais concentrada para a mais diluída (JORDÃO & PESSOA, 1995).

Na Figura 8, observa-se o funcionamento da osmose reversa. Esse método é usado para dessalinizar a água, no processo de tratamento do chorume ou também para eliminar contaminantes no processo de tratamento de água.

## OSMOSE REVERSA



**Figura 8** - Ilustração de osmose reversa  
**Fonte:** Brasil Escola acesso em 16/12/2016

O processo da eletrodialise ocorre através de uma série de membranas semipermeáveis colocadas de modo vertical e alternadamente no interior de uma célula elétrica. Na membrana só passam pequenos cátions ou ânions. Assim, utiliza-se uma corrente elétrica que decompõe a água em seus íons, que migram para os polos correspondentes. Dessa forma, o líquido fica mais concentrado em certas partes e, em outras, fica menos concentrado em íons. Com essa separação se descarta a parte concentrada de íons e a água purificada é devolvida ao meio ambiente.

A cloração está presente no processo de tratamento, seu funcionamento é com a adição de cloro na água do efluente, tanto para anular a atividade de microrganismos como para agir como agente oxidante de compostos orgânicos presentes na água. Além disso também atua como controle do odor, remoção de DBO, controle na proliferação de moscas e destruição e remoção de agentes poluentes como cianeto, fenóis e nitrogênio (JORDÃO & PESSOA, 1995).

Dentre os processos de oxidação, o ozônio é usado como um agente oxidante de compostos orgânicos não biodegradáveis, além de ser facilmente absorvido pela água. Além do ozônio, a oxidação química também pode ser realizada com o uso de peróxido de hidrogênio ou outro oxidante convencional. Para acelerar esses processos usam-se radicais extremamente oxidantes e pouco seletivos que podem ser obtidos por meio de diferentes combinações entre a radiação ultravioleta, peróxido de oxigênio, ozônio e fotocatalisadores.

Após o tratamento terciário o efluente já se encontra adequado para a devolução no meio ambiente.

## Capítulo 3

### DETALHAMENTO DA AUTOMAÇÃO

Sabe-se que a automação está cada dia mais presente na vida das pessoas, seja por coisas mais simples como os caixas eletrônicos dos bancos e os serviços domésticos, aos mais complexos presentes nas indústrias. É evidente que o seu desenvolvimento conduz a um notável ganho para a população devido a melhoria da qualidade da produção com uma maior eficiência energética.

O conceito de automação é a substituição do homem ou animal por máquina, operando automaticamente por controle remoto, automático significa ter um mecanismo de atuação própria, que realize uma função requerida em um tempo determinado ou em resposta a determinadas condições (RIBEIRO, 2010).

#### 3.1 CONTROLE DE PROCESSOS

Em qualquer processo industrial, as condições de operação estão sujeitas às variações ao longo do tempo, como o nível de líquido em um tanque, a pressão em um recipiente, a vazão de um fluido; todas estas condições podem variar. Mesmo as variáveis que inicialmente consideram-se constantes, como a temperatura ambiente, variam durante o processo. Nesse cenário é onde se faz necessário realizar o controle de processos, de maneira a levar o sistema as condições estabelecidas no estado estacionário.

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).

Controlar um processo consiste em manter uma variável controlada, no seu valor desejado. Essa variável é conhecida como variável manipulada, é nela que se atua para chegar ao valor desejado, seja por controle manual ou controle automático, modificando seus valores. Quando o operador atua diretamente no processo, tem-se um controle manual, já o controle automático é quando não há ou é mínima a intervenção do operador.

Nos sistemas de controle, os processos podem ser monitorados por um operador. Através da utilização de sensores ou indicadores, as variáveis são acompanhadas, e com a programação já existente ou atuação do operador, podem ocorrer ajustes para que sejam realizadas correções que se fizerem necessárias no sistema. Geralmente, o sistema possui ferramentas para um controle por alarmes. Esses alarmes são instalados para sinalizarem que determinada variável ultrapassou as faixas de limites de segurança estabelecidos.

De acordo com a programação, o sistema pode acionar um intertravamento para desligar ou ligar algum equipamento e assim manter a segurança do processo. Automatizar um processo é integrar, coordenar e agir em todas as funções de medição, controle, atuação, alarme e supervisão.

Em um processo podem existir milhares de sensores e elementos de controle para serem operados. Geralmente, o controle de processo ocorre utilizando-se os seguintes itens:

- a) malha de sensores: atuam na detecção das variáveis que se desejam controlar;
- b) transmissor: recebe o sinal do sensor e converte em um sinal pneumático ou elétrico equivalente, e transmite esse sinal para o controlador;
- c) controlador: analisa o sinal recebido e compara esse valor com o valor desejado e produz um sinal de controle;
- d) atuador: que altera a variável manipulada.
- e) sistema de proteção ou sistema de intertravamento: acionado caso alguma das variáveis tenham algum valor anormal, ou algum equipamento apresente alguma falha, esse sistema é acionado para evitar maiores danos ao processo.

Antigamente existia dificuldade em manter o controle das plantas industriais. Com a evolução da instrumentação e dos equipamentos, houve uma necessidade de distinguir as indústrias pelo ramo de atividade. Sendo assim surgiram duas formas para diferenciar o ramo de atividade das indústrias, como as as indústrias com processo discreto e as indústrias de processo contínuo: (...) que envolve variáveis contínuas no tempo, e a produção é medida por toneladas ou metros cúbicos, e o processo produtivo essencialmente manipula fluidos. (...) As variáveis mais usuais são temperatura, pressão, vazão e nível (ALVES, 2005).

A outra forma de Indústrias, são as de processamento discreto: (...) unidades industriais cujo processo produtivo envolve variáveis discretas no tempo. (...) Nos processos discretos as variáveis de interesse normalmente são ligado, desligado e limites de quaisquer variáveis (ALVES, 2005).

Outra forma de processo comumente utilizada nas estações de tratamento de esgoto é a batelada. O tratamento consiste em acelerar os fenômenos biológicos que ocorreriam nos cursos d'água, e assim possibilitar seu descarte conforme parâmetros exigidos pela legislação brasileira, reduzindo os impactos ambientais.

O processo do tipo de batelada fornece produtos finais em quantidades discretas, de acordo com a legislação. Após a inserção da matéria-prima do tratamento, ocorre o processo em um determinado intervalo de tempo e o resultado é o produto em sua forma final. A unidade de batelada deve ser trabalhada e operada por uma sequência apropriada de etapas. (JORDÃO & PESSOA, 1995)

Nas ETEs são várias etapas de tratamento em batelada, com isso a vazão de saída para o rio não é contínua. Alguns fatores influenciam como a vazão de entrada e o tempo ajustado no processo.

### 3.2 CONTROLE PID

O controle PID é o algoritmo de controle feedback mais utilizado na indústria para o sistema de controle. Sua utilização é ampla devido à sua robustez e às diversas condições e simplicidade no seu funcionamento, o que facilita sua operação.

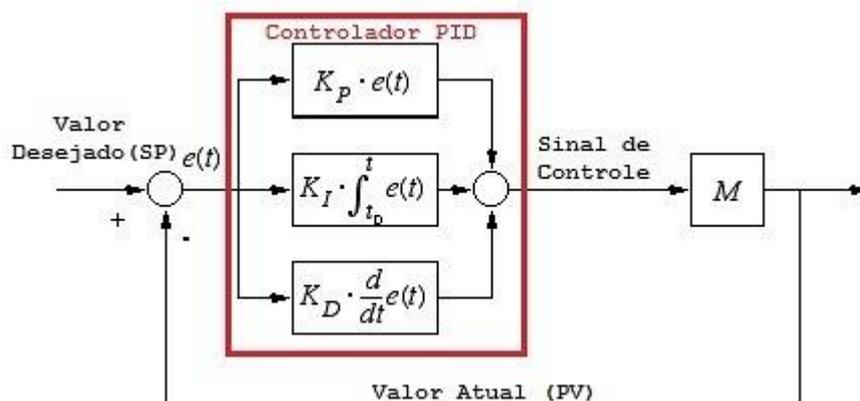
O controle PID é composto por três termos que, sozinhos ou combinados, auxiliam no desenvolvimento do controle. Os coeficientes são ajustados para se obter a resposta desejada da variável de controle.

O funcionamento desses controladores está ligado ao cálculo inicial do erro entre a variável controlada, que é medida no processo, e seu valor desejado ou setpoint. O algoritmo PID usa o erro nas parcelas proporcional, integral e derivativo, para produzir o sinal de saída de forma a estabilizar e manter estável o sistema da melhor forma possível no setpoint (OGATA, 2003).

A ideia básica por trás de um controlador PID é ler um sensor, calcular a resposta de saída do controlador através do cálculo proporcional, integral e derivativo e então somar os três componentes para calcular a saída. Alguns sistemas possuem as parcelas de forma independentes atuando no controlador.

A ação proporcional do controlador altera o sinal de saída proporcionalmente ao erro, a ação integral move o atuador conforme a integral do erro no tempo e a ação derivativa tem a finalidade de acelerar a ação de controle, antecipando variações do erro a partir da sua derivada. Isto é importante em processos lentos, pois reduz o tempo de retorno ao setpoint e melhora o tempo de atraso de resposta do controlador resultante da ação integral.

Na Figura 9 observa-se a malha de controle PID, em que cada parcela do controlador atua de forma a encontrar o valor desejado.



**Figura 9** – Malha de controle PID com a interferência de cada parcela no controle do erro  
**Fonte:** <https://www.embarcados.com.br/pid-digital-metodo-de-calculo-numerico/> acesso em 16/04/2017

Em um sistema de controle padrão, a variável do processo é a grandeza física do sistema que precisa ser controlada. Ela é conhecida como variável controlada, que pode ser a temperatura (°C), a pressão (Pa), nível (m) ou vazão (litros/segundos). Um sensor é usado para medir a variável de processo e fornecer essa informação (feedback) para o sistema de controle. O setpoint é o valor desejado da variável de processo, por exemplo 100°C no caso de um sistema de controle de temperatura, 20 l/segundos para um sistema de controle de vazão. Essa diferença entre a variável de processo e o setpoint, corresponde ao erro do sistema, é usada pelo algoritmo do sistema de controle, para determinar a saída do atuador, que irá afetar o funcionamento do sistema ou da planta.

Por exemplo, se a variável de processo temperatura medida é de 100 °C e o setpoint da temperatura desejada é de 150 ° C, então a saída do atuador especificada pelo algoritmo de controle pode ser a ação de um aquecedor, ou redução do líquido de resfriamento. Assim, o comando do atuador para ligar um aquecedor faz com que a temperatura do sistema fique mais elevada, e ocorra aumento na variável de processo temperatura.

Esse sistema é denominado de controle em malha fechada, pois o processo de leitura dos sensores para fornecer um feedback constante e o cálculo para definir a saída desejada do atuador se repete continuamente. Esse processo continua até a saída do sistema atingir um valor desejado para o erro no estado estacionário. As parcelas do controle PID influenciam na tomada de decisão do atuador para se chegar ao valor do setpoint.

Geralmente tenta-se projetar o sistema de controle para minimizar os efeitos dos distúrbios sobre a variável de processo. Esses distúrbios são bem comuns no sistema. No caso da temperatura, o líquido de resfriamento pode chegar num valor de temperatura mais elevado, o que vai demandar maior tempo para o resfriamento do sistema, ou então numa câmara de temperatura de ar pode ter uma fonte de ar que por algumas vezes sopra ar para dentro da câmara, alterando a temperatura e levando mais tempo para a estabilização. Na maioria dos casos, além da saída do atuador, os ruídos e distúrbios também influenciam no comportamento do sistema.

### **3.3 SISTEMA DE SUPERVISÃO**

Em um processo produtivo existe a necessidade de monitoramento das informações relacionadas ao processo, essas informações são captadas pelos sensores, mas é preciso tomar a decisão com essas informações, manipular, armazenar e posteriormente apresentar esses dados ao usuário. O sistema supervisório se encaixa nesse cenário, recebendo e analisando essas informações, para auxiliar o usuário nas tomadas de decisão para o sistema.

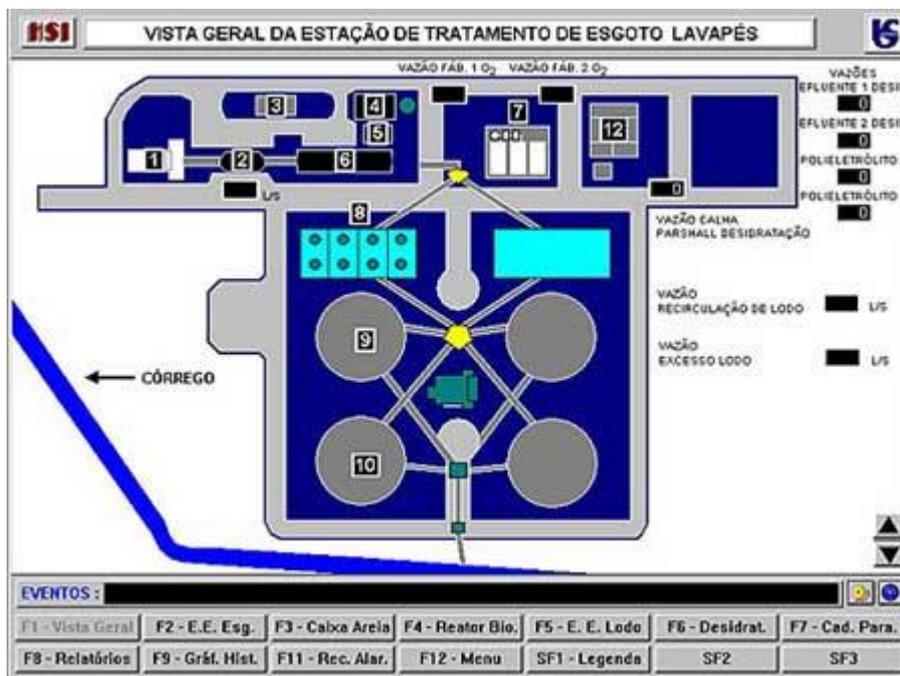
O sistema supervisório também é chamado de SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). O sistema supervisório atua no campo de leitura e processamento das variáveis captadas pelos sensores, para auxiliar o operador na análise das informações processadas para modificações necessárias. O sistema 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).

Atualmente os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação modernas para automatizar, monitorar e controlar os processos industriais. A coleta de dados sendo realizada em tempo real e a apresentada ao operador, com recursos elaborados e conteúdo para facilitar o seu entendimento e a sua operabilidade.

Para um processo sendo utilizado um sistema supervisor é possível observar as seguintes vantagens:

- Geração de relatórios e gráficos: De acordo com os dados coletados, é possível gerar relatórios, gráficos com as informações sobre os alarmes e tendências.
- Análise de tendências: É possível tomar ações proativas para maximizar a produção da planta ou evitar possíveis erros baseado no histórico das informações do banco de dados.
- Operação remota no processo: intervenção e análise do processo na sala de controle.
- Alarmes: sinaliza falhas no processo em tempo real e registra essa falha no banco de dados para consultas futuras e possíveis correções.
- Aumentar a disponibilidade da planta: A partir das informações geradas em tempo real, permite identificar falhas e otimizar as tomadas de decisão para manter a planta em operação para maximizar a produção.

Na Figura 10 pode-se verificar o sistema supervisor da ETE Lavapés em São Paulo, nele se monitora os parâmetros da estação de tratamento.



**Figura 10** – Sistema supervisor da ETE Lavapés  
**Fonte:** Sabesp acesso em 12/02/2017

É possível observar no sistema supervisório todas as informações pertinentes ao funcionamento da ETE, como o controle da vazão, vazão dos insumos de tratamento, vazão do efluente final e com isso desenvolver a melhor estratégia de funcionamento para o melhor tratamento da ETE.

As informações dos parâmetros da ETE são importantes para o monitoramento e o controle da qualidade do efluente final.

## Capítulo 4

### EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS

Os equipamentos e instrumentos são vitais para o funcionamento da automação na ETE, eles atuam desde a captação dos dados com os sensores, passando pelo monitoramento com os sistemas supervisórios até a ação que foi decidida com os atuadores. Dentre os equipamentos é importante descrever o funcionamento de cada um deles.

#### 4.1 Inversor de Frequência

O inversor de frequência é um equipamento utilizado para acionar motores elétricos que utilizam corrente alternada, sua função é manipular a velocidade e o torque dos motores utilizando um comando eletrônico. Na automação industrial ganhou destaque devido ao fato de atuar na eficiência energética das fábricas pois facilita o uso de motores alimentados por corrente alternada já que no Brasil é a forma de distribuição da energia. O inversor de frequência passou a ser utilizado na indústria para o acionamento de motores de corrente alternada pois contribui para a redução do número de partidas e paradas bruscas.

No caso das estações de tratamento de esgotos, o principal objetivo do inversor é reduzir custos com a energia elétrica, o inversor de frequência geralmente atua nos motores das bombas do sistema e melhora a eficácia operacional do sistema de bombeamento. Têm a função de variar a frequência da rede elétrica e alterar as velocidades dos motores que acionam as bombas, controlando assim a vazão dos efluentes conforme a capacidade de tratamento ou a demanda de vazão do consumo ou em casos de manutenções. Os inversores substituem os antigos painéis do tipo soft-starter, que acionam os motores de forma contínua, ou seja, sem variação da frequência.

Uma desvantagem na utilização de inversores de frequência é a geração de transientes harmônicos na energia elétrica, isso prejudica a qualidade da alimentação de energia tanto no lugar físico da instalação quanto na linha de distribuição da concessionária. Muitas vezes a concessionária de energia solicita a instalação de filtros harmônicos para amenizar esse problema que é causado pela potência dos motores. Alguns equipamentos já possuem estes filtros incorporados, não sendo necessário a instalação para a ETE

#### 4.2 Soft-starters

A chave soft-starter como sendo um módulo eletrônico, para partida suave de motores de indução trifásicos do tipo gaiola, que substitui as técnicas tradicionais como estrela-triângulo, chave compensadora e autotransformador. São destinadas a

aceleração e desaceleração, além da proteção de motores de indução. A chave soft-starter inicia a transferência gradual e suave de energia para o motor para aceleração do mesmo, reduzindo os trancos e golpes nos componentes mecânicos e sobrecarga na rede elétrica durante a partida.

O controle da tensão aplicada ao motor, mediante o ajuste do ângulo de disparo dos tiristores, permite obter partidas e paradas suaves. Com o ajuste adequado das variáveis, o torque produzido é ajustado à necessidade da carga, garantindo, desta forma, que a corrente solicitada seja a mínima necessária para a partida. Podem ser utilizadas nas bombas centrífugas, ventiladores, exaustores, sopradores, compressores de ar, misturadores, aeradores, centrífugas.

Nas ETEs os principais equipamentos motorizados utilizam softstarters, através de uma rede de comunicação com o CLP e do sistema supervisor, é possível monitorar a corrente dos motores e diagnóstico de falhas, e utilizar essas informações para manutenção preventiva e reduzir as falhas.

Na Figura 11 tem-se a chave de partida soft-starter, com o ajuste adequado das variáveis, o torque produzido é ajustado à necessidade da carga, garantindo, desta forma, que a corrente solicitada seja a mínima necessária para a partida.



**Figura 11** – Chave de partida Soft-Starter  
**Fonte:** <https://goo.gl/HVs8SY> acesso em 29/08/2017

### 4.3 Válvulas eletro-pneumáticas e cilindros pneumáticos

As válvulas hidráulicas da ETE para as principais etapas do processo são comandadas eletricamente pelo CLP e atuadas através de cilindros pneumáticos, sobre elas que atuam o controle do sistema, definindo a forma como vão se comportar para as decisões que foram tomadas.

As válvulas de comando eletropneumático são componentes de um sistema automatizado que recebe comandos do circuito elétrico de controle, acionando os elementos de trabalho pneumático. Seu funcionamento baseia-se no deslocamento de

um núcleo metálico, mediante a ação de um campo magnético, determinando a trajetória do fluxo de ar. Este acionamento é realizado por solenoides e pode ser unidirecional, acionado por um, ou bidirecional, quando acionado por dois solenóides, o principal problema na hora da programação é definir qual o tipo de falha de segurança que deve ser decidido, falha aberta ou falha fechada, quando se escolhe de que maneira a válvula irá funcionar caso ocorra algum erro com o sistema.

Já um cilindro pneumático é um dispositivo utilizado quando a rede é pneumática pura, gerando força a partir da energia de um gás sob pressão. O cilindro basicamente é composto de uma câmara cilíndrica com um pistão móvel e canais de admissão e descarga, quando o ar comprimido é bombeado para o fundo do cilindro, este se expande, assim gerando força e empurrando para cima o pistão móvel. Com um compressor o gás é pressurizado e transportado dentro da ETE para as válvulas que utilizam esse tipo de cilindro pneumático em seu funcionamento.

Na Figura 12, tem-se as válvulas de controle. As válvulas com atuadores elétricos possuem um microcontrolador que ajusta e calibra a válvula. Além de um sistema de posicionamento indutivo que dispensa o uso de potenciômetros.



**Figura 12** – Válvulas de Controle

Fonte <http://www.elan.ind.br/valvulas/valvulas-globo.html> acesso em 29/08/2017

#### **4.4 Controlador Lógico Programável - PLC**

Os Controladores Lógicos Programáveis - CLP - (CLP é marca registrada da Rockwell Automation, no Brasil costuma-se usar a abreviação do nome inglês, PLC) são amplamente utilizados nas indústrias devido a sua facilidade de implementação e de hardware, tem como finalidade desempenhar funções lógicas, sequenciais, temporização, contagem e aritmética. O PLC e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial, e tendem a ser baseados na norma IEC-61131, facilitando assim sua operação por parte dos profissionais ao se utilizar o mesmo padrão para diversos fabricantes.

O PLC inicialmente foi desenvolvido devido a grande dificuldade de mudar a lógica de controle dos painéis de comando a cada mudança na linha de montagem, tais mudanças implicavam altos gastos de tempo e dinheiro, assim, inicialmente, o PLC iria substituir os relés recebendo os sinais de entrada e acionando as saídas conforme as especificações pré-estabelecidas, seja atuando sobre motores, válvulas ou alarmes. As vantagens do PLC em relação aos painéis de comandos eletromagnéticos são o menor espaço a ser disponibilizado, o menor consumo de energia elétrica, a facilidade para reutilização e reprogramação do sistema, a maior confiabilidade e flexibilidade para o sistema, além da rapidez para a elaboração dos projetos e a interface de comunicação com outros PLC's, computadores e os usuários do sistema.

Na Figura 13 observa-se o ciclo de varredura do PLC, com as etapas realizadas para o seu funcionamento.



**Figura 13** – Ciclo de varredura do PLC

**Fonte:** <http://engmecatonico.blogspot.com.br/2010/11/principio-de-funcionamento-do-clp.html/>  
acesso em 26/02/2017

Quando o PLC é ligado um programa pré-armazenado faz a verificação geral de vários itens para o reconhecimento dos módulos de entradas e saídas, além do estado da memória para analisar se existe algum programa instalado. Após o processo inicial, com os hardwares em funcionamento, o programa de inicialização da partida no programa do usuário para começar a realizar um ciclo repetitivo denominado de ciclo de varredura. Esse ciclo consiste em verificar o estado das entradas e saídas, armazenar esta informação na memória, fazer a comparação desta imagem com o programa do usuário e atualizar as saídas caso a imagem esteja diferindo do programa. Sendo repetido até ser parado por um comando externo do operador, ou algum comando armazenado na memória de execução. Após a atualização da saída, e concluída a varredura, o PLC transferirá os dados processados para a interface de saída.

Os sinais dos sensores são aplicados as entradas do controlador para realizar a análise dos dados capturados, e a cada ciclo de varredura todos esses sinais são lidos e transferidos para a unidade de memória interna. O sinal de entrada pode ser analógico ou digital, de acordo com os dados contínuos ou discretos.

Para a escolha do modelo do controlador é de suma importância o tempo de varredura, analisando a capacidade de armazenamento do programa, as instruções programadas e sua resposta. A escolha desse controlador irá influenciar na saída do sistema, no tempo de resposta as informações de entrada, nas instruções de saída e da lógica de controle.

A padronização dessas linguagens utilizadas pelo PLC é feita pelo IEC – International Electrotechnical Committee, através da norma IEC 1131-3 Programming Languages. Com essa padronização, PLCs de diferentes fabricantes conseguem se comunicar. As configurações de comunicação são as linguagens tubulares, textuais e gráficas. A linguagem tubular é a Tabela de Decisão, já as linguagens textuais são a Lista de Instrução e Texto Estruturado, enquanto as linguagens gráficas são o Diagrama de Escada, o Diagrama de Blocos Funcionais e Diagrama Funcional. Todos utilizados para as configurações do PLC através da programação feita pelo usuário.

Cada PLC possui as suas configurações e especificidade, o que torna um trabalho minucioso de escolha para a ETE qual o melhor fabricante, o que atende melhor as especificações de projeto, para a implementação na operação e características de trabalho.

#### **4.5 IHM (Interface Homem Máquina) Local**

A IHM se faz presente no sistema das ETEs para facilitar a interação com a planta, tornando o sistema flexível. O operador consegue analisar todas as variáveis do sistema e pode interferir em alguma tomada de decisão. A rede de comunicação leva as informações e dados para o controle integrando os sistemas, são mais econômicas que um sistema de supervisão além de permitir ao operador qualquer ajuste a partir das informações verificadas.

Armazenam as variáveis iniciais e setpoints gravados em arquivos que definem as parametrizações do sistema, com isso liberam a CPU do controlador da monitoração de anomalias do processo gerando sinais de alarme. Podem se comunicar com outros computadores possibilitando trocas dinâmicas de dados, e agem na monitoração das tags com possibilidade de apresentarem defeitos, inclusive podendo sugerir qual a alteração necessária para correção de possíveis falhas.

#### **4.6 Medidores de Grandezas Elétricas**

Dentre os instrumentos utilizados na ETE, os medidores de grandezas elétricas possuem fácil manuseio e monitoram as principais grandezas elétricas do sistema como corrente, tensão, potência ativa e aparente, fator de potência, esses dados podem ser visualizados na IHM para as tomadas de decisões que são importantes na planta.

#### **4.7 Dosador de Cloro**

Já os dosadores de cloro geralmente funcionam a gás e operam com um sistema sob vácuo remoto produzido pelo ejetor. Sua função é definir a dosagem de cloro que será aplicado no efluente a ser tratado. O gás dos cilindros de cloro é ajustado pela válvula reguladora, que com essa pressão do gás, faz com que o diafragma atue na agulha da válvula, e assim liberar a passagem do gás até o módulo de dosagem. Atuando diretamente no fluxo de vazão.

A dosagem desejada para o tratamento é controlada pela válvula agulha ou por controlador automático através do controle do fluxo do gás, esse gás segue até o ejetor criando uma solução com água, essa solução fortemente clorada vai para o ponto de aplicação.

#### 4.8 Analisador de Cloro

Os sensores utilizados para medir as concentrações de cloro funcionam através de membranas que separam os eletrodos, permitindo a passagem do cloro residual. O cloro residual se encontra com os eletrólitos pois estes estão com um nível menor de pH, assim a maioria de  $OCl_2$  é convertida em  $HOCl$ . O  $HOCl$  reduz-se nos eletrodos de ouro gerando uma corrente proporcional à quantidade de cloro livre ou total, a corrente é captada pelos sensores e o valor de cloro presente e é estimado em ppm ou mg/l.

Na Figura 14, observa-se o analisador de cloro. A corrente gerada é enviada ao PLC para o correto controle da dosagem de cloro.



**Figura 14** – Analisador de Cloro

**Fonte:** <http://www.hexis.com.br/produto/sensor-analisador-cloro-digital-9184sc-hocl> acesso em 29/08/2017

#### 4.9 Analisador de Oxigênio Dissolvido (OD)

A medição confiável e em tempo contínuo do oxigênio dissolvido possui extrema importância no tratamento de efluentes, o oxigênio é necessário para a respiração das bactérias e microrganismos aeróbios. A medição em tempo real de toda a operação do processo é importante na otimização e eficiência no tratamento dos efluentes, pois o desempenho do sistema de controle de aeração tem relação direta com a carga de oxigênio no tanque de tratamento.

As reações eletroquímicas do sistema de análise de oxigênio são processadas nas células galvânicas, essas reações na célula produzem uma corrente que circula pelo circuito externo do sensor. A intensidade da corrente varia de acordo com a composição da solução eletrolítica, da temperatura, da natureza dos eletrodos e da forma como é constituída a célula. Para cada sistema de tratamento é preciso um estudo sobre os sensores para verificar qual melhor se adapta ao tipo de ETE.

O controle do oxigênio dissolvido apresenta fundamental importância no processo de aeração nas estações de tratamento, seu nível deve ser minimamente definido para evitar que com o excesso as bactérias patogênicas se proliferem e a com sua escassez mate as bactérias que realizam a digestão do lodo.

Além de o custo com energia elétrica de sistemas de aeração representar o maior custo variável numa ETE. A medição de oxigênio permite um controle proporcional à necessidade de oxigênio, evitando desperdício energético e de vida útil do equipamento, além de garantir a dosagem exata necessária pelo processo.

#### **4.10 Medidor de Vazão Ultrassônico / Calha Parshall**

A calha Parshall é muito utilizada para a medição de vazão em canais abertos, amplamente utilizada para o saneamento e também em aplicações industriais. Sua medição é em forma contínua para vazões de entrada e saída, e também atua como misturador o que facilita a dispersão durante o processo dos coagulantes. Sua vazão é obtida mediante a leitura do nível da lâmina d'água, sendo esse valor em centímetros comparado a uma tabela de vazão. Para se alcançar o valor de vazão ou nível da calha em processos automatizados é utilizado um sensor ultrassônico.

Através de fenômenos físicos, incluindo a velocidade de propagação do som, é possível relacionar-se com sua densidade, porém se esta densidade for constante, o tempo de reflexão do som no fluido ou o tempo de travessia do fluido é uma forma para se determinar sua vazão. Em função disso o sensor de nível ultrassônico utiliza o tempo que uma onda sonora precisa para se deslocar em um meio, com isso o sensor emite uma onda na frequência do ultrassom e aguarda a reflexão da onda na superfície e retorno da onda ao sensor para a medição de vazão.

O tempo que a onda leva entre a emissão e o retorno ao sensor é utilizado para o cálculo da distância percorrida, assim o sinal é processado por um algoritmo no módulo eletrônico para ser convertido em valor de vazão, nível ou alguma outra variável. Além de ser responsável pelo cálculo, o módulo também gerencia algumas outras funções como a linearização do sinal para saída de 4 a 20 mA, a totalização de vazão, alarme para erros e comunicação digital.

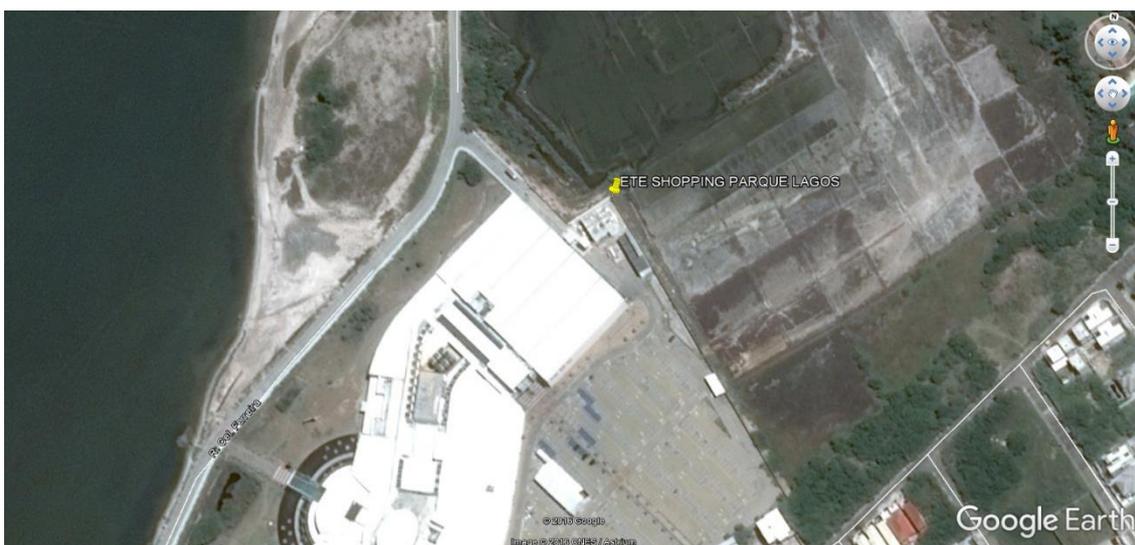
#### **4.11 Chaves Boia**

As chaves controladora de nível tipo boia são amplamente utilizadas nos sistemas de saneamento para o controle do nível tanto em reservatórios, como em elevatórias e estações de tratamento. Seu funcionamento se baseia na movimentação de uma boia ao redor de uma haste, quando a boia atinge os limites pré definidos da faixa de nível um contato elétrico é acionado, permitindo assim a ação de controle desejada. Ao se atingir o limite do nível, o movimento da boia transmite esse valor do nível, possibilitando o controle em tempo real do líquido dentro do tanque ou reservatório.

## Capítulo 5

### ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

A ETE escolhida para o desenvolvimento do estudo foi a ETE SHOPPING PARQUE LAGOS, localizada no Shopping Parque Lagos na Av. Cel. Ferreira em Cabo Frio – RJ. A ETE foi desenvolvida e implementada pela FACE Ambiental LTDA. A localização da ETE pode ser vista pela Figura 15.

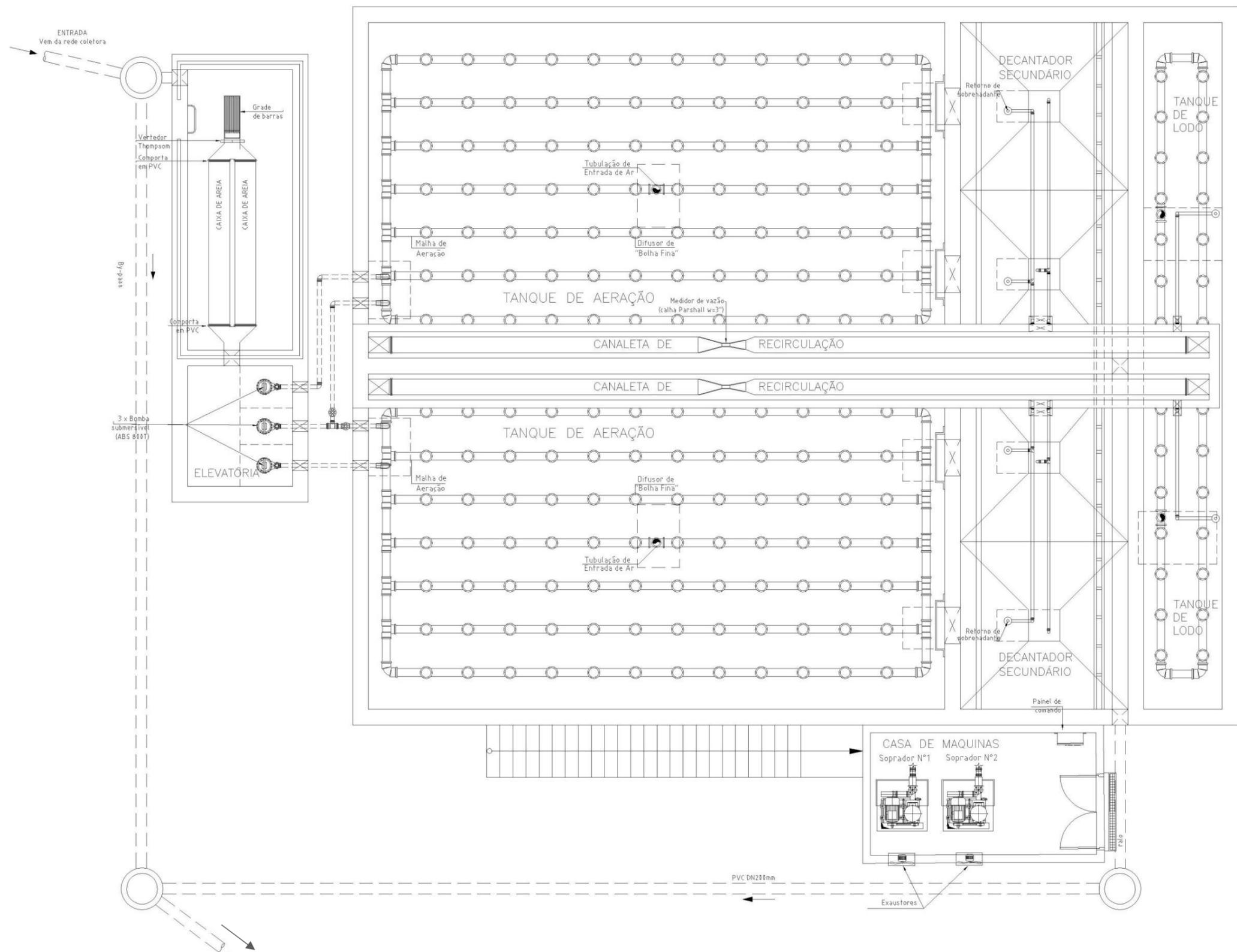


**Figura 15** – Localização ETE Shopping Lagos

**Fonte:** Google Earth acesso em 26/03/2017

O sistema escolhido para tratamento foi o secundário, em virtude da sua confiabilidade e das condições de implantação. Sendo do tipo lodos ativados por aeração prolongada, esse sistema será precedido por tratamento preliminar, composto de gradeamento, para eliminação de grandes materiais sólidos, desarenação, além de medidor de vazão para coletar informações sobre o sistema. O tratamento preliminar tem por finalidade remover os sólidos grosseiros e areia que poderiam obstruir ou até danificar bombas e demais componentes do sistema.

Na figura 16, pode-se ver o arranjo geral da estação de tratamento, a disposição dos equipamentos é feita de forma a otimizar o funcionamento da estação.



**Figura 16 – Arranjo Geral ETE Shopping Lagos**  
**Fonte: Autor**

## 5.1 Fluxograma do Processo

O esgoto bruto não tratado vem da rede coletora e passa pela grade de barras no canal de entrada, o objetivo é eliminar sólidos de grande porte, após a primeira etapa o esgoto passa na caixa de areia para ocorrer a desarenação.

Na estação elevatória, os efluentes são bombeados para entrar nos tanques de aeração, em média os efluentes percorrem os tanques de aeração em 16 horas, em que ocorre uma aeração artificial no efluente. No tanque de aeração ocorre a mistura das águas residuárias com o lodo proveniente da recirculação, o objetivo é impulsionar a floculação. Após essa etapa, os efluentes vão para o decantador secundário, em que é separado o lodo da fase líquida do efluente.

O efluente do decantador secundário possui as características estabelecidas pela legislação para poderem ser devolvidas ao meio ambiente, assim é direcionado para o corpo receptor disponível.

Na Figura 17, é possível observar o diagrama P&ID que representa o fluxograma do processo.

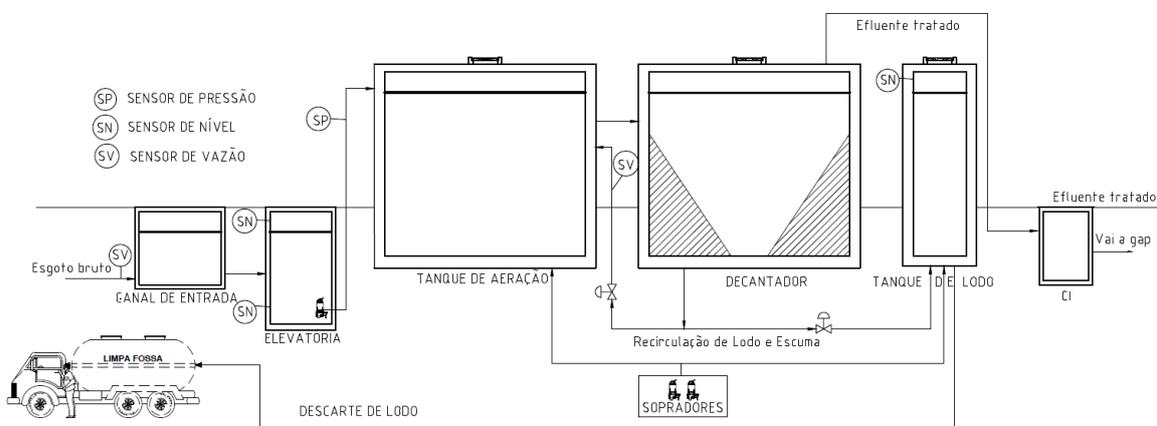


Figura 17 – Diagrama P&ID do processo

Fonte: Autor

## 5.2 Canal de Entrada

No canal de entrada estão presentes os despejos sanitários que veem do empreendimento, a chegada ao canal tem a ação da força de gravidade. Com uma vazão de 5,39 l/s e um diâmetro de 200 mm.

No canal está presente a grade de barras, sua função é eliminar materiais grosseiros. O gradeamento possui um conjunto de barras com espaçamento de trinta milímetros e tem por finalidade reter sólidos que são carreados juntos do esgoto. Dessa forma, ficam retidos na grade: papel, estopas, sacos, garrafas, cotonetes, contraceptivos, dentre outros. A entrada desse material na estação pode danificar a parte interna de bombas, tubulações, peças e dispositivos mecânicos.

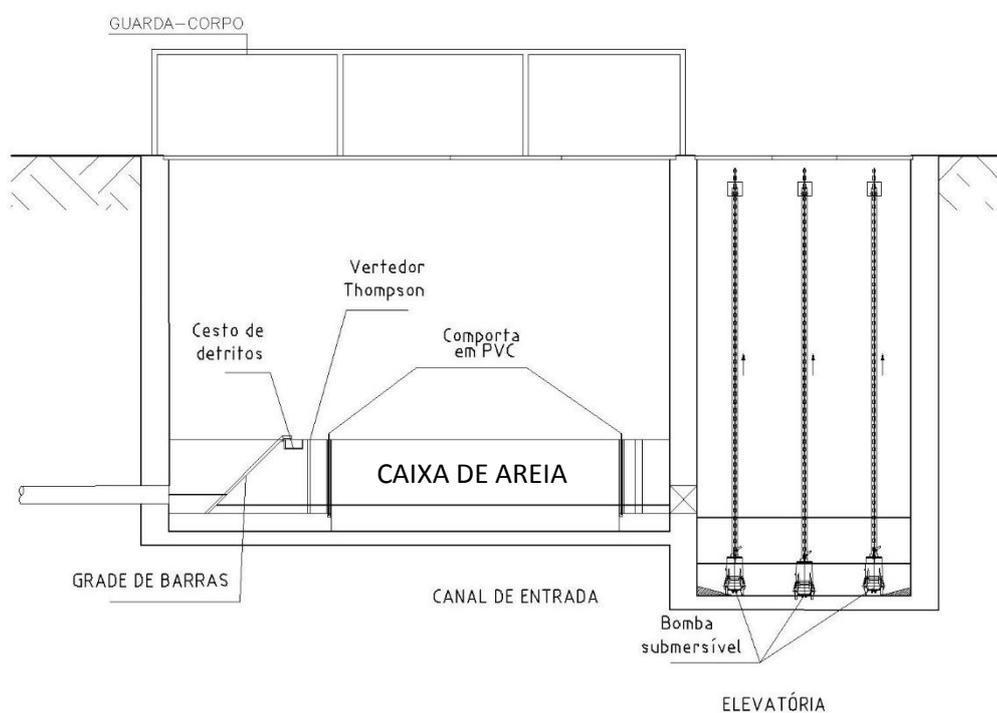
O cesto de detritos é utilizado acoplado à Grade de Barras e tem por finalidade armazenar os resíduos retirados para secagem. Quando secos, estes são acondicionados em sacolas plásticas para serem posteriormente encaminhados à destinação final adequada.

Também se encontra no canal o medidor de vazão tipo Vertedor Thompson, sua vazão é determinada com relação à altura da superfície de água a montante. A caixa de areia, cuja função é realizar a desarenação também se encontra no canal de entrada. Caso a areia entre nas bombas pode danificar os equipamentos, assim a caixa previne abrasão de bombas e equipamentos móveis, acumulação no fundo de digestores, obstrução de canalizações, etc.

No canal de entrada também se encontram dois dispositivos de emergência, a comporta em PVC tipo "stop-log" de bloqueio eventual, caso tenha alguma necessidade de impedir a entrada de efluentes. Além do By pass, em PVC com diâmetro de 200 mm. A função do By pass é levar o efluente direto para a galeria de águas pluviais, caso ocorra algum problema com a estação de tratamento.

A estação elevatória recebe os efluentes após o canal de entrada e insere no tanque de aeração. Possui três bombas submersíveis, com funcionamento de forma alternado e acionamento automático conforme o painel de comando.

A Figura 18 a seguir apresenta a configuração do canal de entrada da estação com seus equipamentos e componentes.



**Figura 18** – Configuração do Canal de Entrada e Elevatória  
**Fonte:**Autor

A intervenção de operação manual na Estrutura de Entrada se restringe a limpeza diária dos sólidos grosseiros retidos na grade de barras, e periódica, em função do volume acumulado, da areia retida na Caixa de Areia. Esses resíduos, serão acumulados temporariamente em recipiente apropriado e coletado pelo Serviço Público de Coleta de Lixo que atende ao empreendimento.

### 5.3 Tanque de Aeração

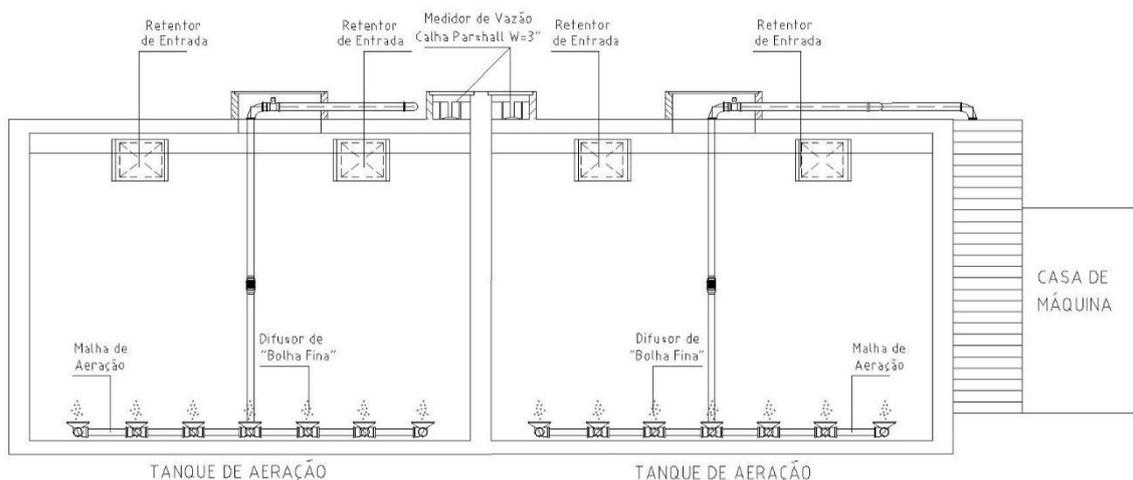
No sistema proposto o esgoto afluente, isento de sólidos grosseiros e areia, penetra na massa líquida através de um "baffle" que o obriga ao percurso de baixo para cima, atravessando, portanto, o colchão de lodo sedimentado formado no fundo dos tanques de aeração. Ocorrendo uma mistura de águas residuais com um certo volume de lodo biologicamente ativo.

Os baffles são uma complementação ao processo de tratamento, auxiliando no aumento da velocidade de sedimentação dos sólidos dissolvidos que não foram totalmente degradados no biodigestor.

A mistura é mantida em suspensão na presença de uma quantidade adequada de oxigênio, durante o tempo necessário para elaborar e flocular uma grande parte de substâncias coloidais. O oxigênio será utilizado na manutenção celular dos microrganismos aeróbicos, os quais consumirão a matéria orgânica (DBO) presente nos despejos, realizando a síntese da DBO, transformando-a em substâncias estáveis que sofrem poucas reações químicas tais como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , etc.

O sistema de aeração é composto por dois tanques de aeração, além de dois sopradores do tipo "Roots", localizados na casa de máquinas. Os sopradores insuflam ar comprimido nos tanques com vazão de ar de  $433 \text{ m}^3/\text{h}$  através da malha de difusores de bolhas finas (membrana).

Na Figura 19 é possível observar a configuração dos tanques de aeração, com as malhas de aeração e os difusores, os sopradores se localizam na casa de máquinas.



**Figura 19 – Tanque de Aeração**

**Fonte:** Autor

O ajuste operacional deverá ser realizado através do controle das características da massa líquida no interior do tanque, como o pH, a massa de sólidos suspensos voláteis formados no tanque de aeração e a idade lodo, definida em função do tempo de permanência da biomassa no sistema. Enquanto que a eficiência do sistema deve ser avaliada através da análise do afluente e do efluente da ETE.

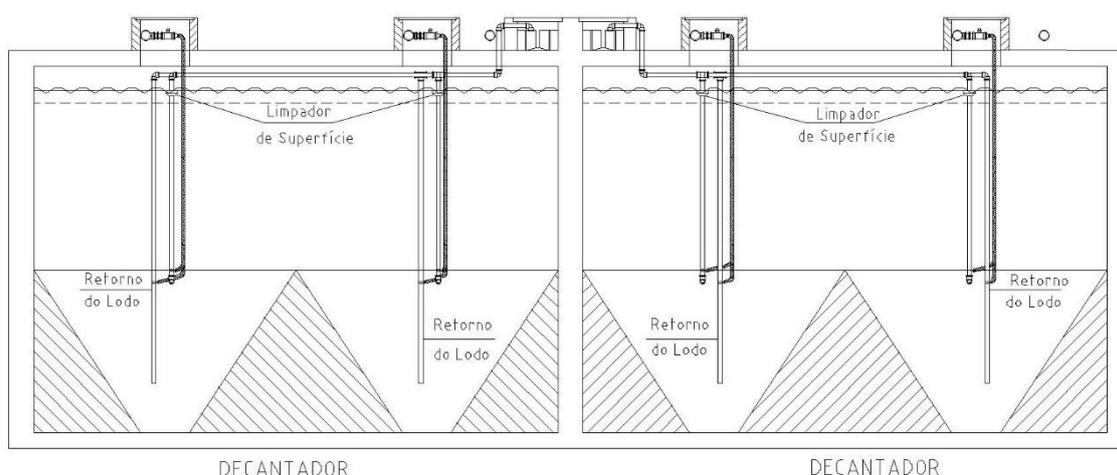
Após esse processo é iniciada a etapa de decantação, ocorrida no decantador secundário.

## 5.4 Decantador Secundário

Nessa etapa ocorre a separação da fase sólida (lodo) com a fase líquida. O efluente do decantador secundário, com características físico-químicas compatíveis aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente, é então direcionado ao sistema público de águas pluviais ou corpo receptor mais próximo.

O lodo acumulado no decantador secundário é, em grande parte, reincorporado ao processo (tanque de aeração) e o excesso é encaminhado ao tanque digestor aeróbio de lodo. A adoção de digestor aeróbio de lodo, além de eliminar os odores desagradáveis, presentes nos digestores aneróbios, promove a redução do volume de lodo, minimizando custos com transporte para as ETEs públicas que possuem dispositivos de secagem de lodo.

Na Figura 20 se encontra o sistema dos decantadores secundários, neles se encontram o sistema de recirculação de lodo (air-lift) e limpeza de superfície, placa retentora de sólidos e vertedor triangular da calha de efluente tratado.



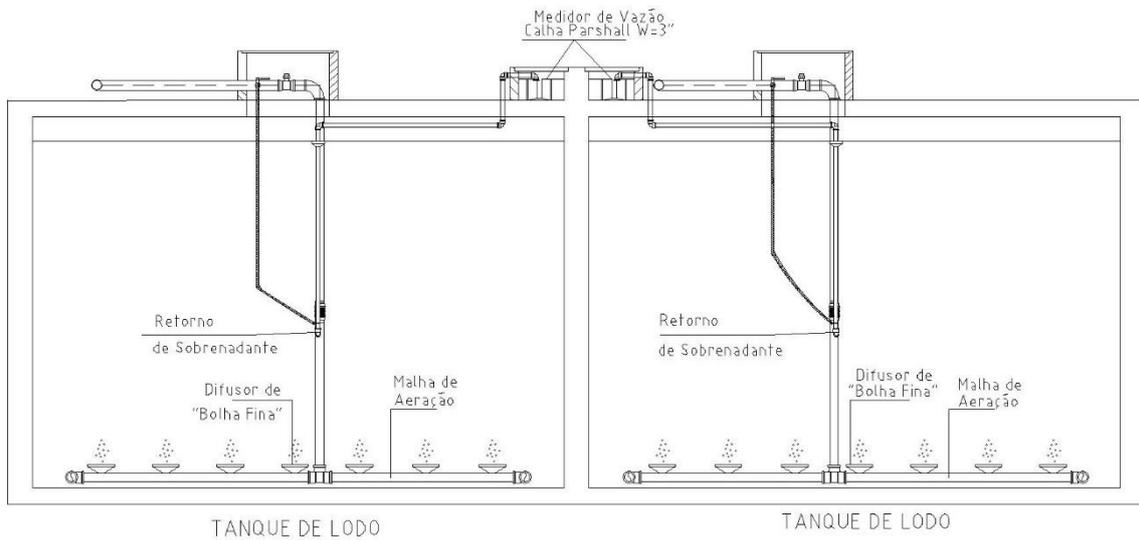
**Figura 20 – Decantador Secundário**  
Fonte: Autor

## 5.5 Tanque de Lodo

O sistema de aeração utiliza os sopradores citados anteriormente e conta com malha de difusores de bolhas finas (membrana), posicionada no fundo do tanque. O excesso de lodo gerado no sistema será encaminhado ao digestor aeróbico através do sistema de air-lift, instalado no decantador final.

Periodicamente, a cada três meses em média, o lodo estabilizado será retirado do digestor, por caminhões tipo limpa-fossa, para ser encaminhado a uma ETE pública ou privada, dotada de sistema de secagem de lodo, de onde, após o processo de desidratação será encaminhado ao destino final em aterro sanitário licenciado pelo INEA. O lodo se apresentará com volume reduzido em cerca de 40% e inteiramente inócuo.

Na Figura 21, é possível observar a configuração do tanque de lodo, com seus equipamentos e seu funcionamento.



**Figura 21 – Tanque de Lodo**  
**Fonte: Autor**

De acordo com a descrição apresentada para a ETE, os efluentes finais, antes de serem lançados no corpo receptor, deverão ser amostrados, analisados e controlados.

Essas análises garantem que os efluentes estão sendo lançados nos corpos receptores de acordo com as características compatíveis da legislação vigente.

## Capítulo 6

### AUTOMAÇÃO NA ETE

Pela descrição dos processos, depreende-se que as ETE necessitam de diversos motores, sensores e válvulas, que precisam de Controladores Lógicos Programáveis (PLC) para funcionar e de sistemas supervisórios que monitorem a operação dos mesmos (CASTRUCCI, 2007).

Apesar de operar automaticamente, a ETE deverá contar com uma supervisão de operação qualificada, capaz de interpretar os resultados das análises laboratoriais do esgoto bruto e do efluente tratado, necessárias a avaliação da eficiência do tratamento.

#### 6.1 Diagrama de Comando

Na Figura 22 a seguir, é possível observar o quadro do comando atual da ETE escolhida, apesar de seu funcionamento simples a atual configuração permite de forma automática realizar a operação da estação.

Como desvantagens, não existe monitoramento adequado, isso é uma motivação para o desenvolvimento das etapas futuras, com o sensoriamento e monitoramento da estação.

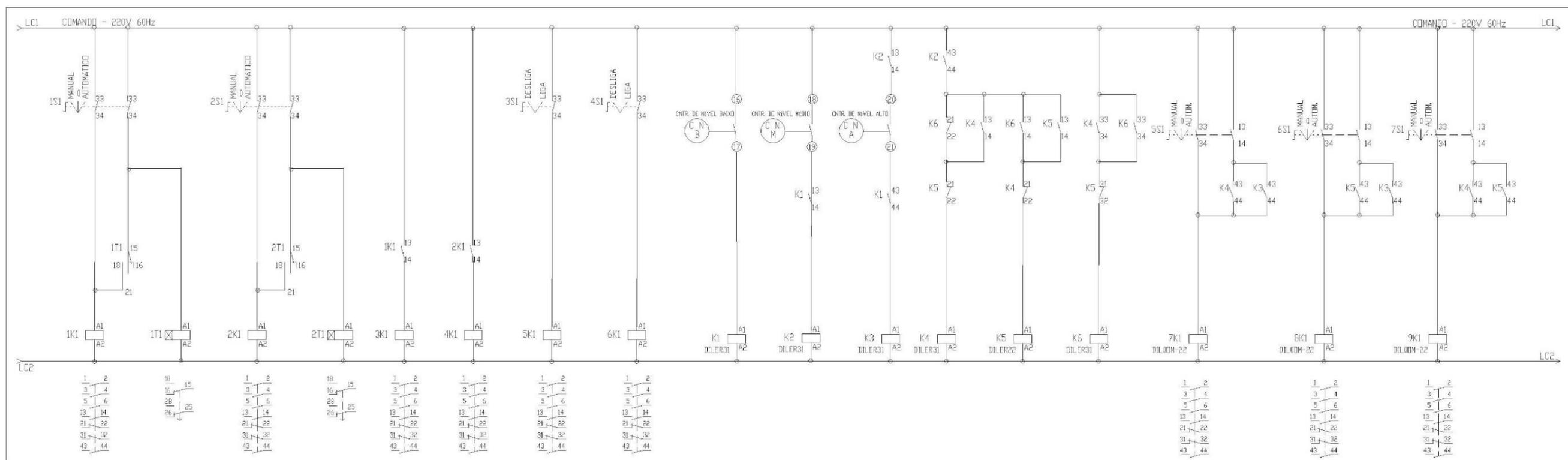
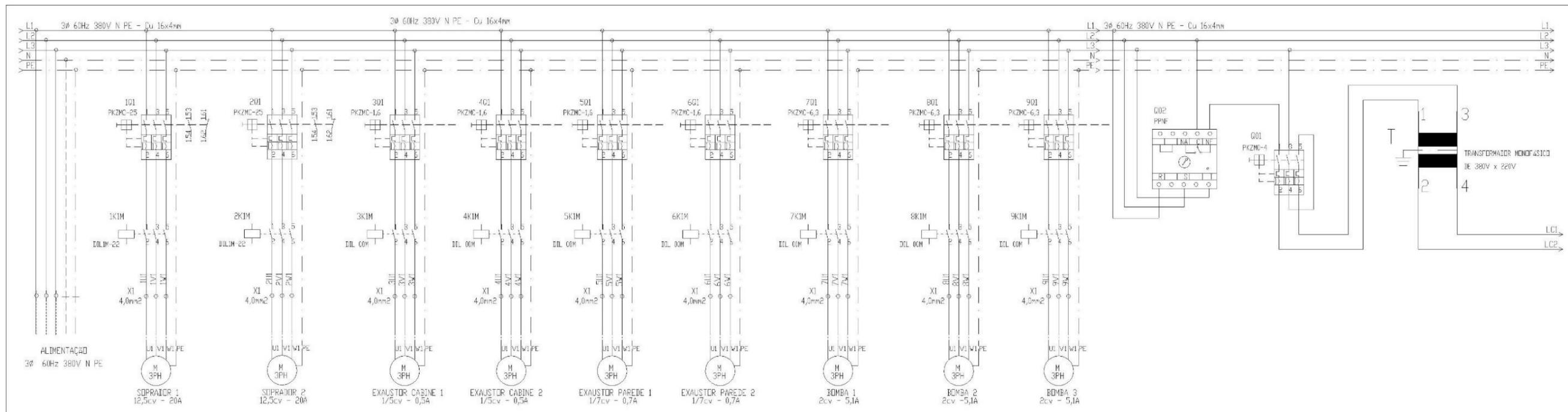


Figura 22 – Diagrama de Força e Diagrama de Comando - ETE Shopping Lagos  
Fonte: Autor

O diagrama de comando define o funcionamento da estação, através de escolhas para o funcionamento dos equipamentos toda a parte de automação da estação é iniciada.

Os sopradores são representados pelas tags 1S1 e 2S1, os exaustores pelas tags 3S1, 4S1, 5S1 e 6S1, a bomba da elevatória pela tag 7S1.

Ao se ligar a tag 1S1 do soprador no manual o contator 1K1 é acionado, na posição automático, ele ativa com energia o relé temporizado 1T1. Após o tempo necessário ele ativa o contator 1K1, com o contator reversível do relé temporizado.

O soprador 2S1, funciona com a mesma configuração para automático e para manual, com o contator sendo ativado pelo relé temporizado ou no manual, com a passagem de energia.

As tags do exaustor funcionam em liga ou desliga, ativando assim os contatores 5K1 e 6 K1.

Os contatores 3K1 e 4K1 estão ligados aos contatores dos sopradores 1K1 e 2K1.

Os controladores de nível ativam os contatores K1, para nível baixo, K2, para nível médio e K3, para nível alto. Os dillers K1, K2, K3 são acionados de acordo com os níveis do sistema.

### **6.1.1 Operação manual**

No caso de haver a necessidade de se estabelecer a operação manual do sistema, tal procedimento poderá ser feito através das chaves comutadoras de 3 posições instaladas na frente do painel de comando.

Cada equipamento dispõe da proteção elétrica própria e uma chave comutadora de três posições, sendo "M", operação manual, onde os equipamentos são ligados independentemente do controle automático; "O", os equipamentos são desligados; e "A" os equipamentos operam no modo automático, controlados pelo CLP.

## **6.2 Otimização**

Para otimizar o processo de descarte do lodo foi escolhido o controle de válvulas e desenvolvido na linguagem LADDER um projeto de monitoramento das válvulas com o PLC. Foi utilizado o programa Easy CLP para a simulação do processo.

No processo de passagem do lodo, as válvulas são identificadas como válvula de recirculação e válvula de passagem. A válvula de recirculação configurada como válvula direta, funcionará aberta e uma vez configurada fechará a passagem do lodo. A válvula de passagem ficará fechada e diariamente irá abrir fazendo o descarte do lodo para o tanque de lodo. Esse processo pode ser modificado por botões manuais caso tenha alguma necessidade especial na ETE.

Na Figura 23 a seguir, a programação do Ladder é exibida, com as configurações para o funcionamento do sistema, controle das válvulas e temporizadores das válvulas.

O PLC é configurado para funcionamento em modo automático inicialmente, porém existe a possibilidade de controle manual das válvulas. A programação para a recirculação ou para a passagem do lodo é definida de acordo com as configurações estabelecidas ou com as opções selecionadas pelo operador nos botões manuais.

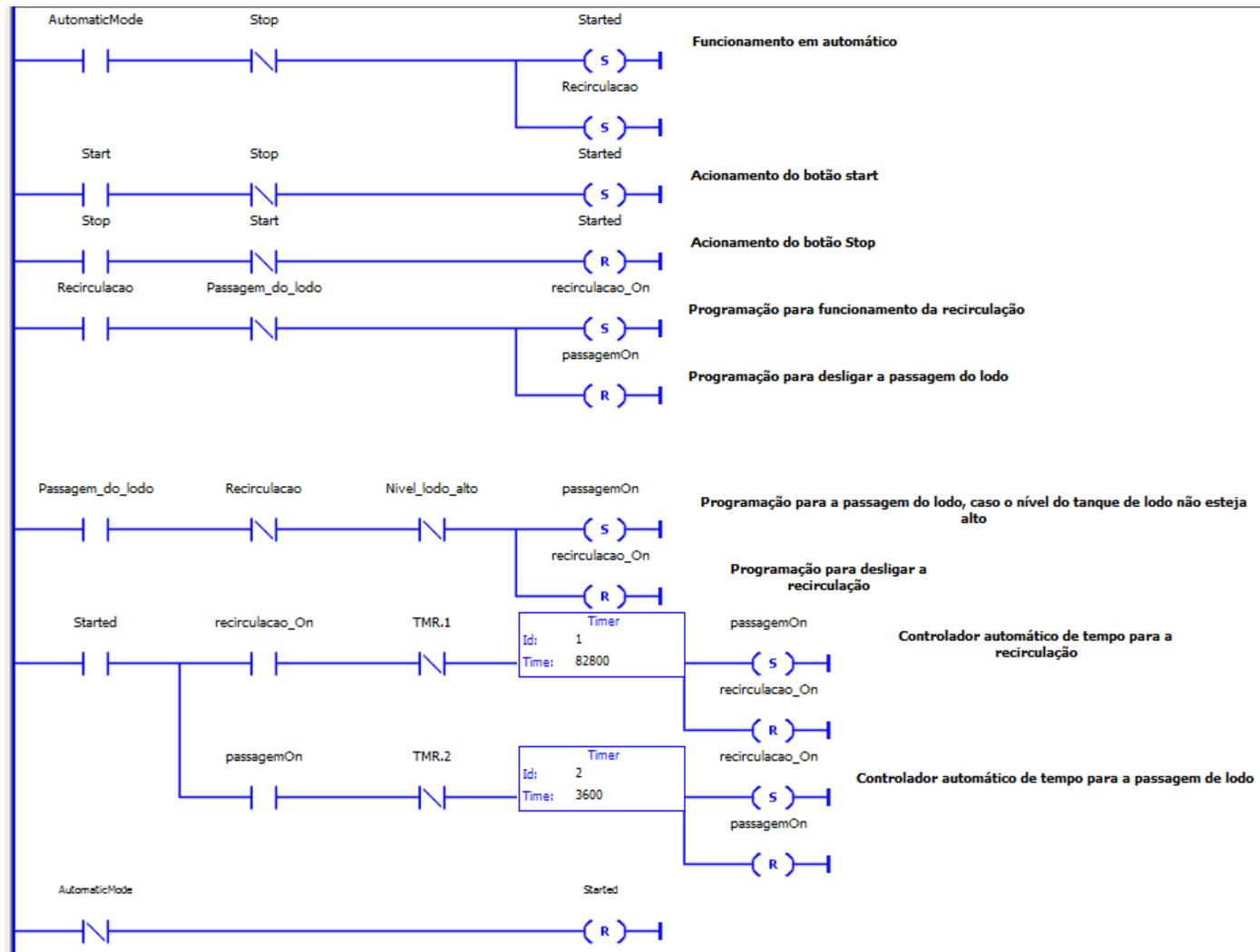
No modo automático, se ativa inicialmente a recirculação, abrindo a válvula de recirculação e iniciando a contagem de tempo de recirculação, após o tempo de recirculação se inicia a passagem do lodo, fechando a válvula de recirculação e abrindo a válvula de passagem do lodo. Após o tempo do descarte do lodo, a válvula do lodo se fecha e se abre a válvula de recirculação, repetindo o processo.

No modo manual, as válvulas ficam aguardando o comando do operador, seja para a recirculação ou para a passagem do lodo.

Os controladores automáticos pré-programados funcionam de acordo com o tempo definido seja para a recirculação ou para a passagem do lodo. Após toda a leitura das linhas do programa, não existem mais ações e o programa retorna para o estágio inicial.

Existe um mecanismo de proteção para evitar a passagem do lodo caso o tanque de lodo esteja com o nível alto, caso esse nível esteja ativado o sistema impede a passagem do lodo.

Com essa implementação é possível um monitoramento e controle da passagem do lodo, além da redução de custos com a prevenção de falhas e maior rapidez para ação caso ocorra algum problema no funcionamento da estação.



**Figura 23** – Diagrama Ladder para controle das válvulas do descarte do lodo  
**Fonte:** Autor

## **6.3 Parâmetros Monitorados e Controlados**

Para a definição dos parâmetros controlados e monitorados, para uma segunda fase do projeto, em que se seguiu as normas das Diretrizes Técnicas para Projeto e Implantação de Estação Local de Tratamento de Esgotos para Empreendimentos Imobiliários da Sabesp.

O intuito é de seguir os padrões da companhia de saneamento para a implantação do monitoramento e controle da estação de tratamento, com isso foi desenvolvido também na linguagem Ladder, a programação para esse monitoramento e controle.

A ETE local deve possuir nível de automação suficiente para dispensar a presença de operador. Os seguintes requisitos mínimos são obrigatórios:

- Todos os sinais (analógicos e digitais) provenientes do monitoramento e controle da estação devem convergir para um Controlador Lógico Programável – CLP alojado em um painel na estação. O CLP deverá conter as rotinas operacionais e intertravamentos de forma que, em situações de falha de comunicação com o sistema de supervisão, a instalação continue operando localmente e com as devidas proteções;
- A instrumentação analógica deverá utilizar o padrão de sinal 4 a 20 mA ou redes de campo;

### **6.3.1 Medição da Vazão**

Nas medições realizadas no canal de entrada será utilizado o medidor de vazão do tipo Vertedor Thompsom, indicado para vazões até 50 m<sup>3</sup>/h. Na canaleta de recirculação que são medições em canais abertos, será utilizada a calha Parshall, indicada para canais abertos com vazão superior a 50 m<sup>3</sup>/h.

Ambos os medidores acompanham um medidor de vazão ultrassônico para canais abertos e calha Parshall, conforme visto na Figura 24.

O medidor de vazão é composto de duas partes, o painel de indicador remoto ou local e o sensor de medição externo, montado sobre a calha Parshall ou vertedor tipo Thompsom.

É possível visualizar no display a vazão instantânea ou a vazão total, distância do nível ao sensor, ou o nível de líquido, a intensidade do sinal, o status dos reles, tipo de calha selecionada, data e hora atual. Criando assim um histórico de medições do sensor.

Nos outros pontos de medição, será aplicado um medidor de vazão eletromagnético para esgotos. Esses medidores eletromagnéticos possuem um conversor eletrônico com saídas analógicas entre 4-20 mA, além de saídas de comunicação com microcontroladores e CLPs.

O CLP recebe as informações sobre as vazões para controle e informação geral sobre os processos.



**Figura 24** –Medidor de vazão ultrassônico para canais abertos e calha Parshall  
Fonte: <http://www.ecr-sc.com.br/loja2/br/canais-abertos/27-medidor-de-vazao-ultrassonico-para-canais-abertos.html> (Acesso em 01/08/2017).

### 6.3.2 Recalque de Esgoto Bruto Afluyente com Controle de Vazão

A automação da estação elevatória é possibilitada pelos sensores de pressão e vazão do canal de entrada. Esses sensores verificam a entrada de vazão pelo canal de entrada e inicia o acionamento dos motores, quando o sistema está acionado em funcionamento automático. Nesse momento os contatos das bombas passam para o estado de repouso normalmente aberto para fechado, acionando automaticamente as bombas da elevatória.

Quando não houver nenhuma vazão de entrada no sistema, os sensores voltam ao estado de repouso e desligam as bombas de recalque.

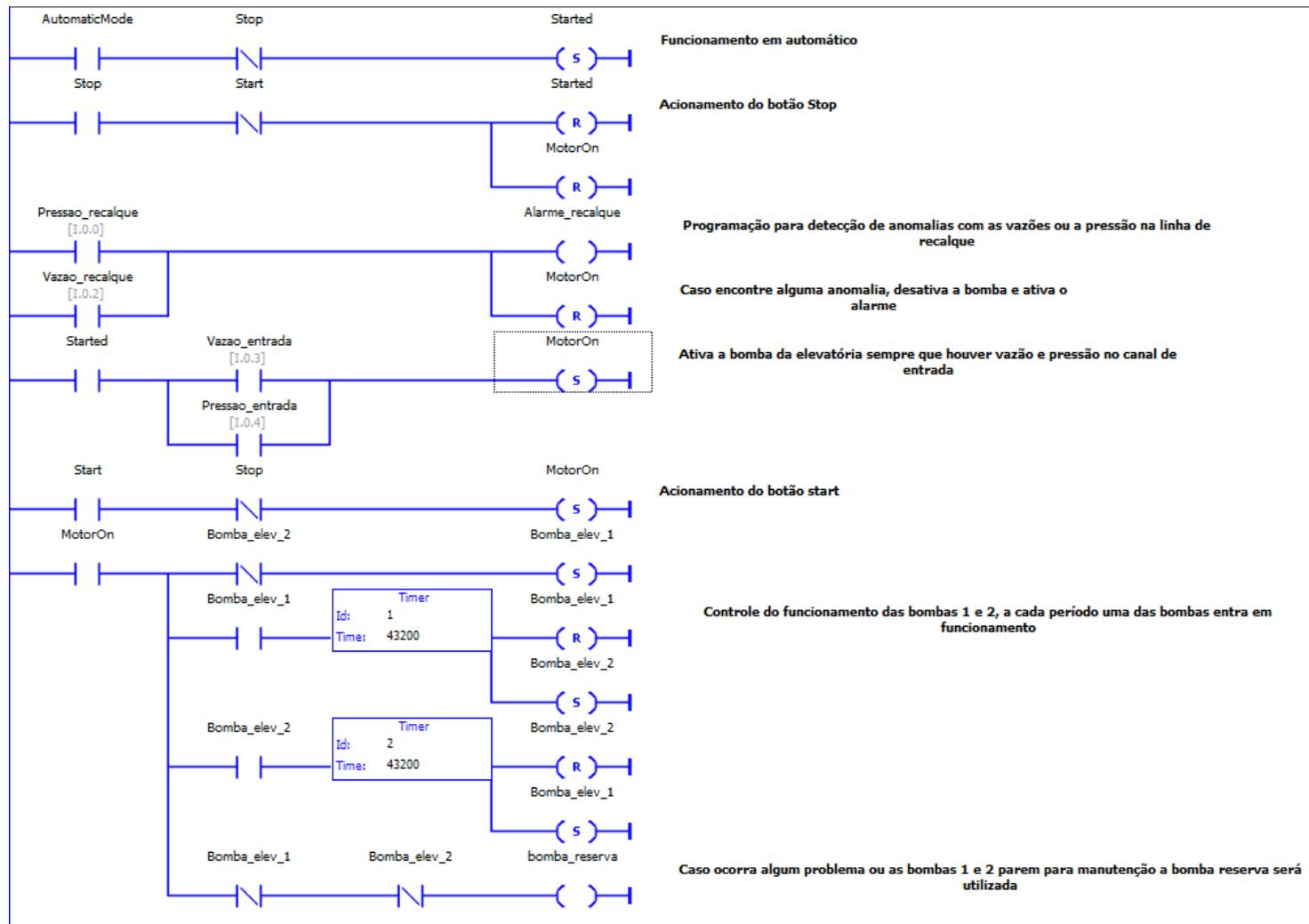
Na Figura 25, é possível observar a programação LADDER para os medidores de vazão, os medidores de pressão, sensores de nível no poço de sucção, além do controle de utilização da bomba.

A pressão de recalque e a vazão são monitoradas para detecção de anomalias na tubulação por onde passam os efluentes pressurizados, com previsão de alarme e desarme dos motores. Qualquer erro será indicado pelos alarmes do sistema.

No modo automático, o sistema fica aguardando a entrada de algum efluente através dos sensores de pressão e vazão. Ao receber o sinal, se inicia o processo de ativação das bombas da elevatória alterando entre as bombas 1 e 2 o funcionamento. Caso tenha algum problema com as bombas, a bomba reserva é ativada.

No modo manual, a bomba entra em funcionamento com o comando de início até que ocorra o comando de parada. Em qualquer momento o sistema pode ser interrompido através do bloco de parada.

O sistema de segurança se ativa com algum problema na pressão ou vazão de recalque. As bombas param de funcionar e entra em funcionamento o sinal de alarme, até que não ocorra mais nenhum problema na linha de recalque.



**Funcionamento em automático**

**Acionamento do botão Stop**

**Programação para detecção de anomalias com as vazões ou a pressão na linha de recalque**

**Caso encontre alguma anomalia, desativa a bomba e ativa o alarme**

**Ativa a bomba da elevatória sempre que houver vazão e pressão no canal de entrada**

**Acionamento do botão start**

**Controle do funcionamento das bombas 1 e 2, a cada período uma das bombas entra em funcionamento**

**Caso ocorra algum problema ou as bombas 1 e 2 parem para manutenção a bomba reserva será utilizada**

**Figura 25** – Diagrama Ladder com controle de funcionamento das bombas

**Fonte:** Autor

O controle das vazões das bombas de recalque de esgoto deve ser realizado por variação automática da rotação dos motores, em função do nível no poço de sucção. Essa variação da rotação será realizada por um inversor de frequência, controlando a rotação das bombas.

O principal objetivo do inversor é reduzir custos com a energia elétrica, provocando uma variação controlada na potência dos motores, controlando assim a vazão dos efluentes de acordo com o nível do poço de sucção.

Atualmente as bombas funcionam com o controle on off por boia que ativa a bomba na vazão máxima quando o sensor de nível máximo fica ativado, e desliga as bombas quando o sensor de nível mínimo é ativado.

Para atingir a otimização do controle das bombas, ao se atingir o nível baixo, como forma de segurança, o inversor de frequência entra em funcionamento com fluxo controlado. Com informações do sensor de nível, também será variado a rotação da bomba e assim obter um ganho em eficiência energética.

O controle disponível no equipamento é realizado com a operação do inversor otimizada para o motor em uso, obtendo-se um melhor desempenho em termos de torque e regulação de velocidade.

Esse controle não necessita de um sinal de realimentação de velocidade. Para que o fluxo no entreferro do motor, e conseqüentemente, a sua capacidade de torque, se mantenha constante durante toda a faixa de variação de velocidade é utilizado um algoritmo sofisticado de controle que leva em conta o modelo matemático do motor de indução, no caso as bombas da estação.

Dessa forma, consegue-se manter o fluxo no entreferro do motor aproximadamente constante para frequências de até aproximadamente 1Hz. Outra grande vantagem do controle vetorial, é a sua inerente facilidade de ajuste. O inversor se autoconfigura para a aplicação em questão e está pronto para funcionar de maneira otimizada. Apenas sendo necessária a configuração em relação a bomba que será utilizada.

Trabalhando com a variação de rotação consegue-se uma regulação de velocidade na ordem de 0.5% da rotação nominal. Por exemplo, para um motor de IV pólos e 60Hz, obtém-se uma variação de velocidade na faixa de 10rpm. Atuando diretamente na vazão que será direcionada para o tanque de aeração.

A Figura 26 representa um inversor de frequência utilizado para bombas de estações elevatórias.



**Figura 26** – Inversor de frequência CFW08, indicado para controlar a rotação e vazão das bombas

Fonte: <https://goo.gl/8JTfp5> (Acesso em 03/08/2017).

### 6.3.3 Reator Aeróbio

O controle da operação dos sopradores atua em função do oxigênio dissolvido no reator. O CLP também monitora todos os sinais de funcionamento, como ligado ou desligado além de sobrecorrente nos sopradores.

O maior custo variável em uma estação de tratamento está ligado ao funcionamento dos sopradores do sistema de aeração. Com a utilização de sensores de oxigênio, é possível um controle proporcional à necessidade de oxigênio em tempo real, evitando desperdício, garantindo a dosagem exata necessária pelo processo

Na Figura 27, observa-se o sistema de análise do oxigênio dissolvido, a informação do oxigênio no tanque de aeração atua no CLP de forma a determinar o funcionamento dos sopradores.



**Figura 27** – Sistema de análise do Oxigênio Dissolvido

Fonte: <https://goo.gl/U4qino> (Acesso em 28/08/2017).

O controle de funcionamento dos sopradores será em função da análise de OD, com o envio do sinal para definição do correto funcionamento do equipamento. Além do controle do soprador, também será realizado a proteção do sistema em função de sobrecorrente, paralisando o funcionamento dos sopradores e ativando a iluminação de aviso de sobrecorrente.

Na Figura 28, observa-se o controle do funcionamento dos sopradores em função da análise de OD, o controle em função da sobrecorrente e os acionamentos da iluminação de aviso de acordo com o funcionamento do equipamento.

No modo automático é iniciado o processo, com funcionamento dos sopradores, controladores de OD e a iluminação de funcionamento.

No modo manual, o soprador somente é ativado com o comando para o funcionamento até o comando de parada manual.

Caso ocorra o comando de parada o sistema é interrompido, desativando os sopradores e ativando a iluminação de parada.

Ao se identificar alguma anomalia, as lâmpadas de alarme ficam ativadas e os sopradores desativados até que não ocorra mais nenhum tipo de problema.

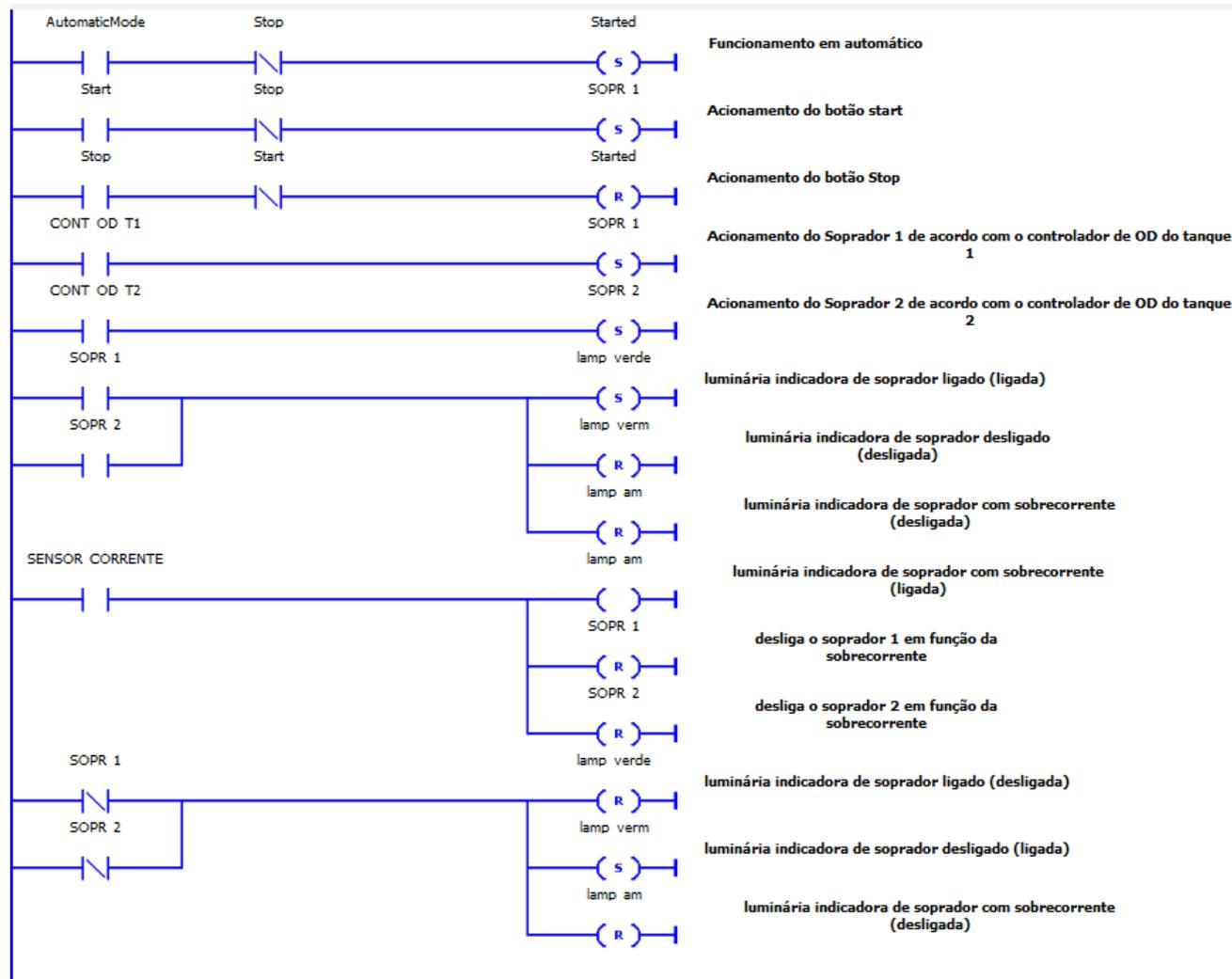


Figura 28 – Diagrama Ladder com controle de funcionamento dos sopradores.

Fonte: Autor

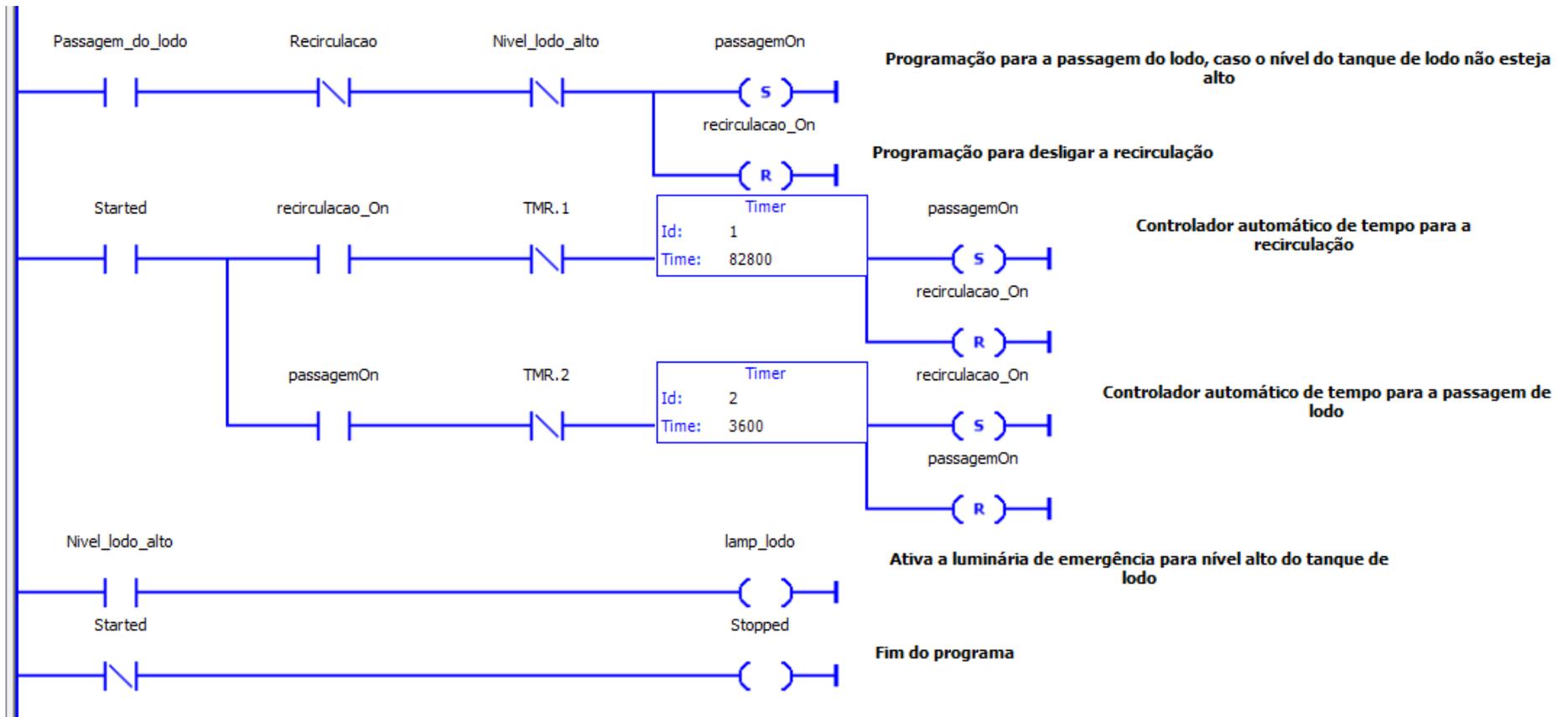
#### **6.3.4 Adensamento e Desaguamento de lodo**

O nível do tanque de adensamento deverá ser monitorado pelo CLP e impedir descarte de lodo em função do limite de extravasamento.

O descarte do tanque do lodo para o sistema de desaguamento será manual, através de um caminhão limpa fossa com destino a uma ETE pública, com sensoriamento de nível e alarme luminoso para indicação de nível alto e necessidade de descarte do lodo para a ETE pública.

Para esse controle de nível será inserida no comando do LADDER, as funções referentes ao controle de nível, seguindo as mesmas características da Figura 22. As alterações para o controle do nível do tanque de lodo podem ser vistas na Figura 29, com destaque para a luminária de emergência em função do nível no tanque.

Caso o tanque de lodo esteja no nível máximo, o sistema não permitirá a realização da passagem do lodo, evitando assim extravasamento dos efluentes e propagação de poluição.



**Figura 29** – Diagrama Ladder com controle do nível do tanque de lodo.  
**Fonte:** Autor

### 6.3.5 Energia Elétrica

A estação deverá ser provida de um medidor multigrandesas alojado no painel de entrada, onde monitorará tensão, corrente e falta de fase e encaminhará estas grandezas para o CLP da estação.

Esse medidor será acoplado aos principais equipamentos da estação, como bombas elevatórias e sopradores. Na Figura 30, observa-se o multimetido de grandezas elétricas, é possível observar as variações nas tensões, correntes, potência. A ligação em rede permite que sejam monitoradas as grandezas elétricas de diversos pontos.



**Figura 30** – Multimetro de Grandezas Elétricas

Fonte: <http://www.celval.com.br/5685528-Multimetro-de-Grandezas-Eletricas-MMW01-144x144MM-WEG> (Acesso em 28/08/2017).

### 6.4 Rede Petri

De acordo com o adotado para a melhoria da atual automação na estação de tratamento, foi desenvolvido a Rede Petri nas malhas da passagem do lodo, do controle de bombas da elevatória e do uso dos sopradores.

A Tabela 1, apresenta as transições e lugares da rede Petri da malha do lodo. E seu funcionamento segue o que foi executado para o PLC. No estado inicial, o sistema fica aguardando o comando para funcionamento em automático ou manual.

Para funcionamento em automático, se dá o início do comando de recirculação e parando o comando de passagem do lodo. Após o tempo da recirculação, o sistema inicia a passagem do lodo parando a recirculação. No processo de passagem do lodo, existe a proteção para o nível alto do tanque de lodo. Após o tempo da passagem do lodo, o sistema retorna ao início do processo, no estado inicial da recirculação.

Caso o sistema esteja em funcionamento manual, ele fica aguardando o comando para a passagem do lodo ou a recirculação, executando os processos de acordo com o comando.

Em qualquer momento o sistema pode ser interrompido através do bloco de parada.

**Tabela 1 – Transições e Lugares para a Rede Petri da malha do lodo**

MALHA PASSAGEM DO LODO			
TRANSIÇÕES		LUGARES	
TAG	DESCRIÇÃO	TAG	DESCRIÇÃO
Tp00	Botão Automático	Pp00	Estado Inicial aguardando comando
Tp01	Sinal de recirculação	Pp01	Início Automático
Tp02	Temporizador 23 hrs	Pp02	Estado da recirculação ativada
Tp03	Temporizador 1 hora	Pp03	Estado da passagem do lodo desativada
Tp04	Botão stop	Pp04	Estado da recirculação desativada
Tp05	Botão Start	Pp05	Estado da passagem do lodo ativada
Tp06	Botão Recirculação	Pp06	Início Manual com recirculação e passagem desativadas
Tp07	Temporizador 23 hrs	Pp07	Inicia o comando da Recirculação
Tp08	Botão Passagem do Lodo	Pp08	Inicia o comando da passagem do lodo
Tp09	Temporizador 1 hora	Pp09	Estado tanque de lodo cheio
Tp10	Sinal sensor nível alto tanque de lodo	Pp10	Lâmpada Amarela ativa
Tp11	Ativar lâmpada amarela		

A rede Petri para a passagem do lodo pode ser observada na Figura 31

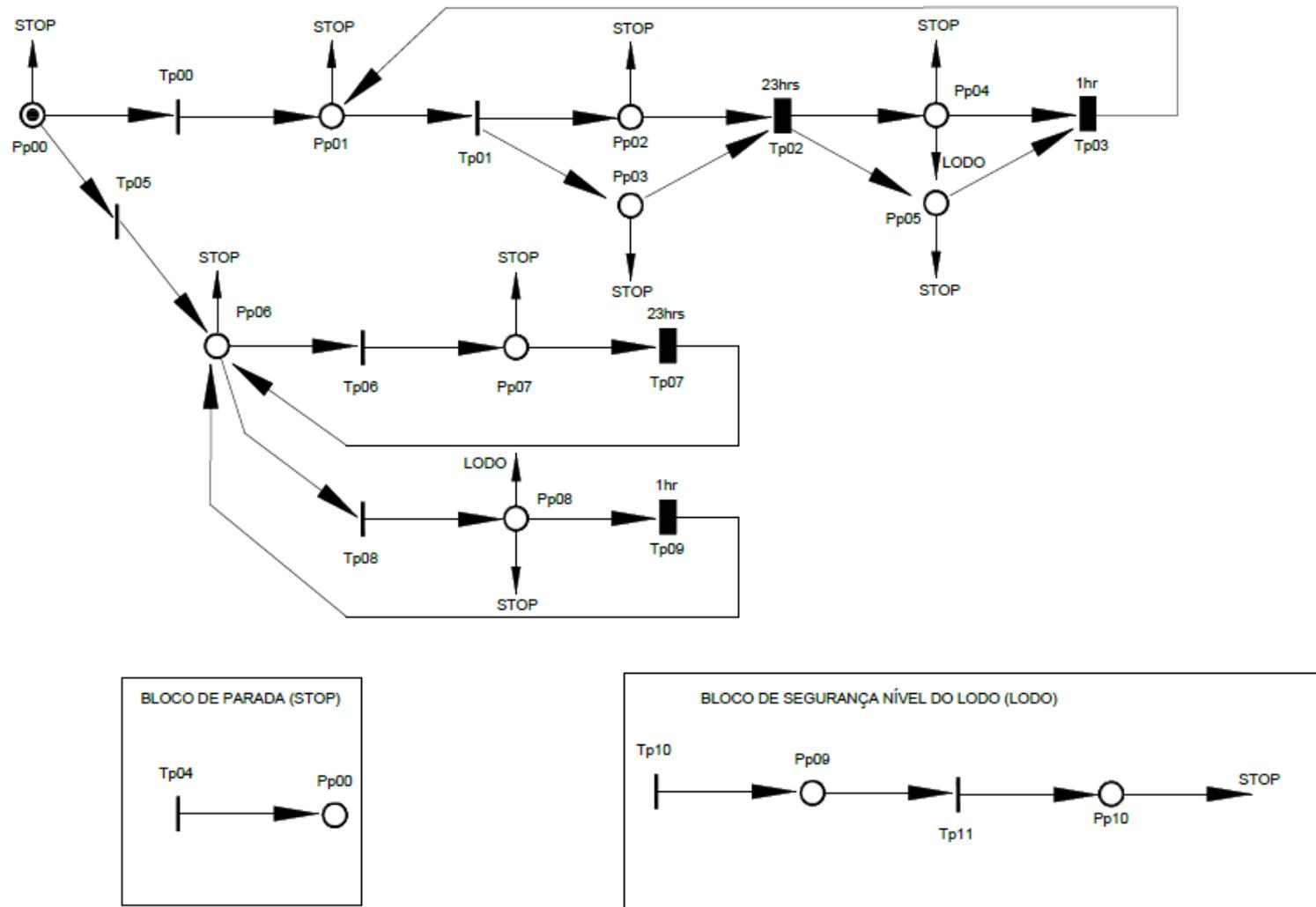


Figura 31 – Rede Petri para a passagem do lodo  
 Fonte: Autor

A Tabela 2, apresenta a rede Petri para as transições e lugares na malha das bombas da elevatória. No estado inicial, o sistema fica aguardando o comando para funcionamento em automático ou manual.

Para funcionamento em automático, o sistema fica aguardando a entrada de algum efluente através dos sensores de pressão e vazão para iniciar a ativação das bombas. Ao receber o sinal, se inicia o processo de ativação alterando entre as bombas 1 e 2 o funcionamento. Caso tenha algum problema com as bombas, a bomba reserva é ativada.

No funcionamento em manual, se inicia o processo de ativação da bomba até que ocorra o comando de parada manual.

O sistema de alarme identifica alguma anomalia na pressão ou vazão de recalque, emite um alarme e desativa as bombas até não existir mais problemas no recalque.

Em qualquer momento o sistema pode ser interrompido através do bloco de parada.

**Tabela 2 – Transições e Lugares para a Rede Petri da malha das bombas da elevatória**

MALHA FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS			
Tb00	Botão Automático	Pb00	Estado Inicial aguardando comando
Tb01	Sinal de vazão de entrada	Pb01	Início Automático
Tb02	Sinal de Pressão de entrada	Pb02	Estado para ativar as bombas
Tb03	Seleção da bomba 1	Pb03	Bomba 1 ligada
Tb04	Temporizador 12 hrs	Pb04	Bomba 1 desligada
Tb05	Seleção da bomba 2	Pb05	Bomba 2 ligada
Tb06	Temporizador 12 hrs	Pb06	Bomba 2 desligada
Tb07	Botão stop		
Tb08	Desativar bomba 1	Pb07	Estado para desligar as bombas
Tb09	Desativar Bomba 2		
Tb10	Sinal bombas desligadas		
Tb11	Seleção da bomba reserva	Pb08	Estado das bombas com problemas
Tb12	Botão Start	Pb09	Bomba reserva em funcionamento
Tb13	Seleção da bomba 1 em manual	Pb10	Início manual
Tb14	Sinal anomalia pressão recalque	Pb11	Bomba 1 ligada
Tb15	Sinal anomalia vazão recalque	Pb12	Estado de segurança do recalque
Tb16	Desativar bomba 1	Pb13	Estado de bombas desativadas
Tb17	Desativar Bomba 2	Pb14	Estado do alarme
Tb18	Ativar Alarme		
Tb19	Sinal recalque em funcionamento		

A rede Petri para o funcionamento das bombas pode ser observada na Figura 32.

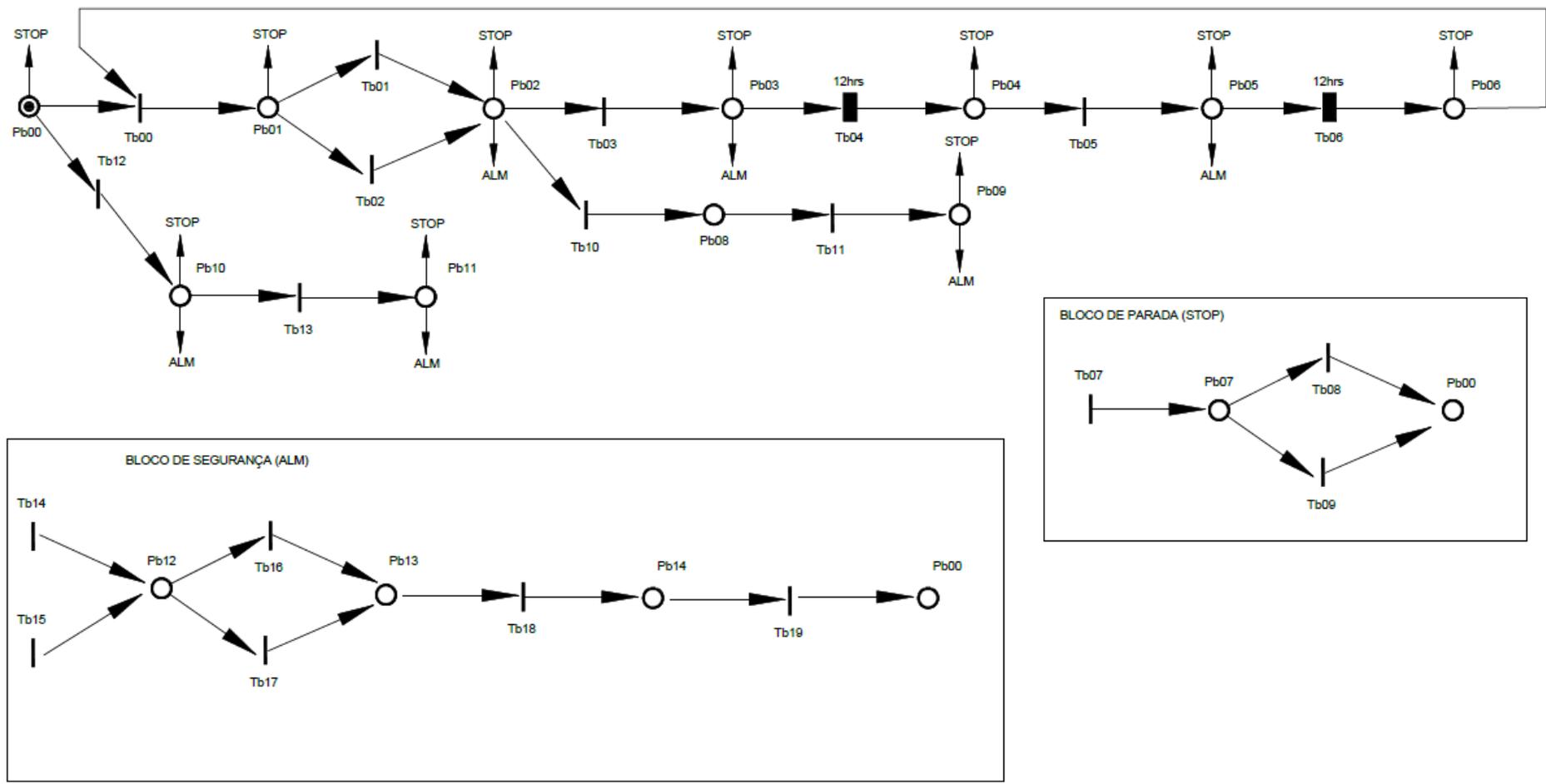


Figura 32 – Rede Petri para o funcionamento das bombas  
 Fonte: Autor

A Tabela 3, apresenta a rede Petri para as transições e lugares na malha do funcionamento dos sopradores. No estado inicial, o sistema fica aguardando o comando para funcionamento em automático ou manual.

Para funcionamento em automático o sistema dá início ao processo, ativando os sopradores, controladores de OD e as lâmpadas de indicação de funcionamento.

No funcionamento em manual, o soprador é ativado de acordo com o comando para o funcionamento até que ocorra o comando de parada manual.

No bloco de segurança, caso alguma anomalia seja identificada, as lâmpadas de alarme ficam ativadas e os sopradores desativados até que não ocorra mais nenhum tipo de problema.

Em qualquer momento o sistema pode ser interrompido através do bloco de parada, desativando os sopradores e ativando a iluminação de parada.

**Tabela 3 –** Transições e Lugares para a Rede Petri da malha do funcionamento dos sopradores

MALHA FUNCIONAMENTO DOS SOPRADORES			
Ts00	Botão Automático	Ps00	Estado Inicial aguardando comando
Ts01	Controlador OD tanque 1	Ps01	Início Automático
Ts02	Controlador OD tanque 2	Ps02	Estado de funcionamento do soprador 1
Ts03	Ativar lâmpada verde	Ps03	Estado de funcionamento do soprador 2
Ts04	Botão Start	Ps04	Lâmpada verde ativa
Ts05	Seleção do soprador 1 em manual	Ps05	Início manual
Ts06	Botão stop	Ps06	Soprador 1 ligado
Ts07	Ativar lâmpada vermelha	Ps07	Estado para desligar os sopradores
Ts08	Desativar soprador 1		
Ts09	Desativar soprador 2		
Ts10	Sinal sobrecorrente		
Ts11	Ativar lâmpada amarela	Ps08	Estado de segurança
Ts12	Desativar soprador 1	Ps09	Lampada amarela ativa
Ts13	Desativar soprador 2	Ps10	Estado sopradores desligados
Ts14	Sinal sem anomalias na corrente	Ps11	Lampada vermelha ativa
Ts15	Ativar lâmpada vermelha		
Ts16	Sinal sopradores desligados		

A rede Petri para o funcionamento dos sopradores pode ser observada na Figura 33.

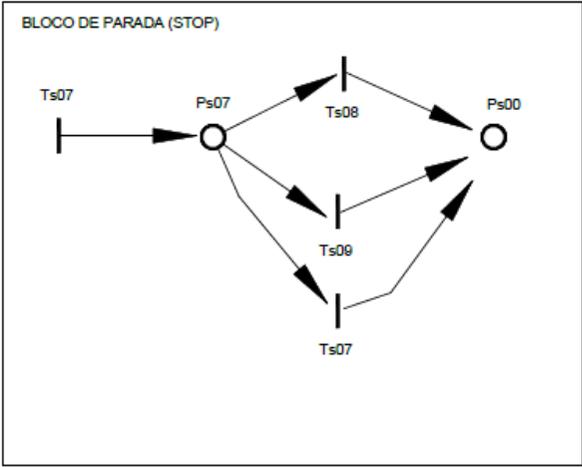
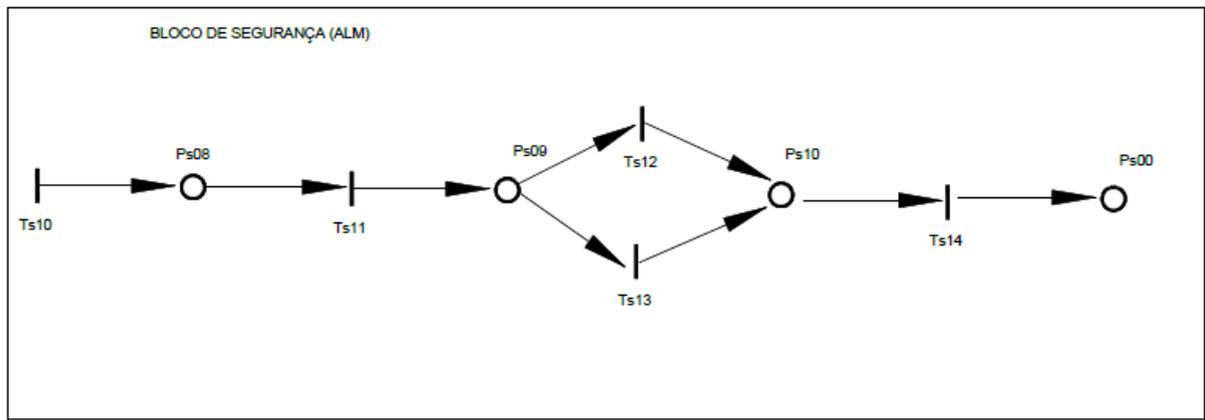
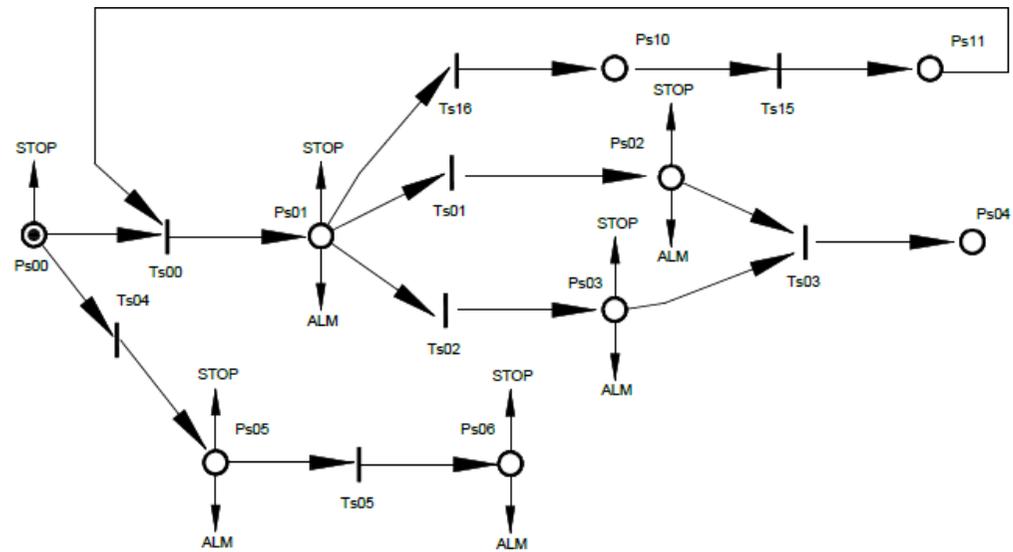


Figura 33 – Rede Petri para o funcionamento dos sopradores  
 Fonte: Autor

## Capítulo 7

### Análise dos resultados

A implementação de uma estação de tratamento de esgotos, representa um ganho ambiental significativo na conservação dos recursos naturais. O projeto de automação da estação auxilia na manutenção e preservação das águas limpas. Dessa forma, projetos que visem uma melhor qualidade do efluente e uma melhoria do sistema proporcionam qualidade de vida para uma região.

Conforme o objetivo deste trabalho de se atuar para a melhoria da automação de uma ETE, com a presença dos PLCs, é possível verificar a influência direta na melhoria do sistema pois com a automação, se aumenta o monitoramento com o uso de sensores.

A principal vantagem na utilização do PLC é verificada com a redução de custos, pois se elimina a necessidade do operador na passagem do lodo, deslocando ele para outras manutenções internas. Com isso se reduz a possibilidade de falhas humanas devido ao sistema ser automatizado em seu monitoramento.

### Considerações Finais

Com a vantagem econômica da implantação do PLC, além da redução da possibilidade de falhas humanas, o sistema traz benefícios de amplo monitoramento com os sensores. Acompanhando com maior velocidade as variáveis do sistema.

Infelizmente devido aos custos de implementação, as fases de controle das rotações das bombas, medidores de vazão, sensores de OD, não serão implementados e ficarão como recomendações para futuros trabalhos. Um dos grandes questionamentos em relação a automação é o custo de implantação, pois para uma estação pequena e de médio porte o custo dos equipamentos é o mesmo, inviabilizando a instalação em estações menores.

Como recomendação futura a implantação do sistema supervisor é de suma importância pois com ele é possível monitorar todos os parâmetros da ETE, como controle da vazão de entrada, vazão dos insumos de tratamento, vazão do efluente final. Além de definir a melhor estratégia de funcionamento para o tratamento da ETE.

Além do completo sensoriamento da estação, pois com ele se monitora além dos aspectos ambientais os aspectos energéticos para atuar numa melhor eficiência para a estação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, JOSÉ LUIZ LOUREIRO. **Instrumentação, controle e automação de processos**. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 269 p.

BOMAX DO BRASIL. **Bombas Dosadoras**. Disponível em: <<http://www.bomax.com.br/produtos/item/bombas-dosadoras-dosamax>>. Acesso em 28/08/2017.

BOYER, STUART A. **SCADA: supervisory control and data acquisition**, USA, ISA – Instrument Society of America, 1993.

CAVINATTO, VILMA MARIA. "**Saneamento Básico: Fonte de Saúde e Bem-Estar**." São Paulo: Editora Moderna, 2001.

CELVAL. **Multimedidor de Grandezas Elétricas**. Disponível em: <<http://www.celval.com.br/5685528-Multimedidor-de-Grandezas-Eletricas-MMW01-144x144MM-WEG>>. Acesso em 28/08/2017.

CESA. **Centro Experimental de Saneamento Ambiental**. Disponível em: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/index.php/br/>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2017.

CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO. **ETE Lavapés: projeto de referência**. Disponível em: <[http://www.controleinstrumentacao.com.br/arquivo/ed\\_51/ed\\_51a.html/](http://www.controleinstrumentacao.com.br/arquivo/ed_51/ed_51a.html/)>. Acesso em 09 de fevereiro de 2017.

COGHI, M.A. **Critérios para seleção de redes para automação industrial**. Revista Mecatrônica Atual - N°11 - Set/03.

CREA DIGITAL. **Automação de elevatórias de esgoto e sistema supervisório para controle e operação**. Disponível em: <<http://www.creadigital.com.br/portal?txt=347731323536>>. Acesso em 09 de fevereiro de 2017.

DAE. Departamento de Água e Esgoto Santa Bárbara d'Oeste. **DAE instala inversor de frequência na Represinha**. Disponível em: <<http://pandahosting.com.br/2016/clientes/dae-sbo/noticias/dae-instala-inversor-de-frequencia-na-represinha/>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.

ECR. **Medidor de Vazão Ultrassônico para canais abertos**. Disponível em: <<http://www.ecr-sc.com.br/loja2/br/canais-abertos/27-medidor-de-vazao-ultrassonico-para-canais-abertos.html> />. Acesso em 01 de agosto de 2017.

ELAN. **Válvulas de Controle Globo**. Disponível em: <<http://www.elan.ind.br/valvulas/valvulas-globo.html>>. Acesso em 29/08/2017.

FOGAÇA, JENNIFER ROCHA VARGAS. "**Tipos de tratamento de efluentes**"; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-tratamento-efluentes.htm>>. Acesso em 16 de dezembro de 2016.

FOGAÇA, JENNIFER ROCHA VARGAS. "**Tratamentos secundários de efluentes**"; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/tratamentos-secundarios-efluentes.htm>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2017.

FRANCHI, CLAITON MORO. **Controle de processos industriais**. São Paulo: Érica, 2011. 237 p.

GRAHAM, C. GOODWIN, GRAEBE, SETEFAN F., SALGADO, MARIO E. **Classical PID Control - Control System Design**, Prentice Hall PTR

GUTBERLET, JUTTA. "**Cubatão: Desenvolvimento, exclusão social e degradação ambiental**". 1996.

GUTIERREZ, R.M.V.; PAN, S.S.K. **Complexo Eletrônico: Automação do Controle Industrial** - 2009.

HEXIS. **Sensor Analisador de Cloro**. Disponível em: <<http://www.hexis.com.br/produto/sensor-analisador-cloro-digital-9184sc-hocl>>. Acesso em 29/08/2017.

HEXIS. **Sistema de análise de OD**. Disponível em: <<http://www.hexis.com.br/produto/sistema-de-analise-de-od-ld-1>>. Acesso em 28/08/2017.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 3. ed. 1995.

NETO, AUGUSTO. **Princípio de Funcionamento do CLP**. Disponível em: <<http://engmecatonico.blogspot.com.br/2010/11/principio-de-funcionamento-do-clp.html>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2017.

NETO, HENRIQUE M. **Tratamento de efluentes na indústria de papel e celulose**. Disponível em: < <http://www.revistatae.com.br/7197-noticias> >. Acesso em 18 de setembro de 2017.

OGATA, KATSUHIKO. **Engenharia de Controle Moderna**. Rio de Janeiro – Ed. Prentice/Hall. 2003

PERIÁÑEZ, R. GISPART: "**A numerical model to simulate the dispersion of contaminants in the Strait of Gibraltar**". 2004.

METCALF, LEONARD; EDDY, HARRISON P., 2003. "**Water Resources and Environmental Engineering**". McGraw – Hill, New York.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Explicando a Teoria PID**. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/3782/pt/>>. Acesso em 09 de fevereiro de 2017.

RAMALHO, SÉRGIO. Com equipamentos parados, esgoto de São Gonçalo vai parar na Baía de Guanabara. **Jornal Extra**, Rio de Janeiro, 23 de nov. 2011. Disponível em: <<http://extra.globo.com/noticias/rio/com-equipamentos-parados-egoto-de-sao-goncalo-vai-parar-na-baia-de-guanabara-1382819.html>>. Acesso em 30 de janeiro de 2017

RIBEIRO, MARCO ANTONIO. **Automação**. Salvador: 2010, 9ª edição.

ROGERIO, BRUNO LUIZ; FERRAZ, ROBERTO CARLOS; **Projeto de Automação da estação de tratamento de efluentes em Bertioga – São Paulo**; Curitiba 2014.

SANTOS, I. dos; BRAGA, SÉRGIO M.; FERNANDES, C. V. S. “**Monitoramento Automático de Qualidade da Água: Uma visão crítica para a Bacia do Rio Barigui.**” 2003.

SÃO PAULO. **Norma Técnica Sabesp NTS 018: Elaboração de Projetos - Considerações Gerais**. Sabesp, São Paulo, 2011.

SÃO PAULO. **Diretrizes Técnicas para Projeto e Implantação de Estação Local de Tratamento de Esgotos para empreendimentos Imobiliários**. Sabesp, São Paulo, 2011.

SILVA, GLADIMIR P. **Controladores Lógicos Programáveis**. Disponível em: <[http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/gladimir/Apostila%20de%20PLC\\_Gladimir.pdf/](http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/gladimir/Apostila%20de%20PLC_Gladimir.pdf/)>. Acesso em 16 de fevereiro de 2017.

SPOCK. **Chave de Partida Soft-Starter**. Disponível em: <[http://www.profitpaineis.com.br/p/10194172/chave+de+partida+soft-starter+weg+brssw-07+30a+trifasica+220v/t/1/campanha\\_id/1?gclid=Cj0KCQjwiqTNBRDVARIsAGsd9Mo91I9AQhPyaJxPCWeXHvgWQ-Ly5wBzi7G3gBmH0QsXGMjcp7b6l4EaAkNMEALw\\_wcB](http://www.profitpaineis.com.br/p/10194172/chave+de+partida+soft-starter+weg+brssw-07+30a+trifasica+220v/t/1/campanha_id/1?gclid=Cj0KCQjwiqTNBRDVARIsAGsd9Mo91I9AQhPyaJxPCWeXHvgWQ-Ly5wBzi7G3gBmH0QsXGMjcp7b6l4EaAkNMEALw_wcB)>. Acesso em 29/08/2017.

VON SPERLING, M. 2005. “**Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**”. Vol. 1, 3a . edição, DESA, Ed. UFMG.

WEG. **Inversores de Frequência**. Disponível em: <<http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia/CFW08>>. Acesso em 03 de agosto de 2017.

WEG. **Soft-Starters**. Disponível em: <<http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Soft-Starters/SSW06>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.