

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO
“ADIB MOISÉS DIB”**

**GUSTAVO COELHO DE ARAGÃO
HERMES RIBEIRO DE ALMEIDA
MARCELO LOPEZ
YAGO JOSÉ BARROS CAETANO**

**SUPERVISÃO E CONTROLE DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE
REÚSO APLICADO A CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS**

São Bernardo do Campo - SP
Dezembro/2018

**GUSTAVO COELHO DE ARAGÃO
HERMES RIBEIRO DE ALMEIDA
MARCELO LOPEZ
YAGO JOSÉ BARROS CAETANO**

**SUPERVISÃO E CONTROLE DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE
REÚSO APLICADO A CONDOMINIOS RESIDENCIAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo “Adib Moisés Dib” como requisito parcial a obtenção do título de tecnólogo em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Batista de Sousa

São Bernardo do Campo - SP
Dezembro/2018

**GUSTAVO COELHO DE ARAGÃO
HERMES RIBEIRO DE ALMEIDA
MARCELO LOPEZ
YAGO JOSÉ BARROS CAETANO**

**SUPERVISÃO E CONTROLE DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE
REÚSO APLICADO A CONDOMINIOS RESIDENCIAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo “Adib Moisés Dib” como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em: / /

Banca examinadora:

Prof. Dr. Wellington Batista de Sousa, FATEC SBC - Orientador

FATEC SBC - Avaliador

FATEC SBC - Avaliador

RESUMO

O uso racional da água é uma necessidade que não há como ignorar; pensando nessa questão, o presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de empregar ferramentas de automação para aperfeiçoar sistemas existentes de reaproveitamento de água, em especial, aqueles desenvolvidos para habitações multifamiliares. Propôs-se elaborar um sistema de supervisão e controle do processo de tratamento de água de reúso, voltado para condomínios residenciais. Para demonstrá-lo, foi estruturado um pequeno processo de tratamento de efluentes domésticos, no qual foram instalados dispositivos de controle de fluxo e de sensoriamento, responsáveis pela emissão de sinais a uma central de controle microeletrônica que, combinada a um sistema supervisorio, atua sobre o referido processo, monitorando-o e produzindo relatórios a partir de dados sobre seu funcionamento. O sistema de supervisão e controle proposto se mostrou técnica e economicamente viável, permitindo o acompanhamento e a análise das diversas variáveis envolvidas no tratamento da água de reúso, além de possibilitar que os responsáveis pela administração do processo tenham condições de quantificar o volume de água reaproveitada, o consumo de insumos empregados e a economia obtida com o uso mais sustentável desse recurso natural.

Palavras-chave: Água. Controle. Reúso. Supervisão. Tratamento.

ABSTRACT

The rational use of water is a necessity that cannot be ignored; thinking about this issue, the present work was developed with the aim of using automation tools to improve existing water reuse systems, especially those developed for multifamily housing. It was proposed to elaborate a system of supervision and control of the reuse water treatment process, directed to residential condominiums. In order to demonstrate this, a small process of treatment of domestic effluents was structured, in which flow control and sensing devices were installed, responsible for the emission of signals to a microelectronic control center that, combined with a supervisory system, acts on the said process, monitoring it and producing reports from data about its operation. The proposed system of supervision and control was technically and economically feasible, allowing the monitoring and analysis of the various variables involved in the reuse water treatment, in addition to allowing those responsible for the administration of the process to be able to quantify the volume of water reused, the consumption of inputs used and the savings obtained through the more sustainable use of this natural resource.

Keywords: Control. Reuse. Supervision. Treatment. Water.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CBR	Contatores Biológicos Rotativos
CCP	Capture Compare PWM
CPU	Central Processing Unit
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
EIA	Electronic Industries Association
EMR	Electro-Mechanical Relays
ICD	In-Circuit Debug
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IEC	International Electrotechnical Commission
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
NBR	Norma Brasileira
PH	Potencial Hidrogeniônico
RAM	Random Access Memory
RBC	Reator Biológico de Contato
ROM	Read Only Memory
RTC	Real Time Clock
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition System
SSR	Solid State Relay
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
1.1 Análise da disponibilidade de água e características para tratamento ..	10
1.1.1 A oferta de água no Brasil	10
1.1.2 Reúso urbano de água	11
1.1.3 Reúso de águas cinzas	11
1.1.4 Vantagens do reúso de águas cinzas.....	12
1.1.5 Graus de tratamento para água de reúso.....	13
1.1.6 Sistemas de tratamento de águas cinzas.....	15
1.2 Medição de grandezas	18
1.2.1 Definição de sensores	18
1.2.2 Medição de nível	19
1.2.3 Medição de vazão	21
1.2.4 Turbidez da água.....	23
1.2.5 Análise de pH	25
1.3 Elementos atuadores	27
1.3.1 Bombas hidráulicas	27
1.3.2 Válvula solenoide	29
1.4 Sistema supervisório	30
1.5 Comunicação serial	31
1.5.1 Padrão RS-485	33
1.5.2 Padrão ASCII.....	33
2 METODOLOGIA	35
2.1 Tema-problema e justificativa	35
2.2 Descrição do projeto	36
2.3 Etapas de desenvolvimento do projeto	36
2.4 Cronograma das etapas	37
2.5 Esboço do projeto	37
2.6 Custos para confecção do projeto	41
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	42
3.1 Projeto eletrônico	42
3.1.1 Circuito principal.....	42
3.1.2 Placa de acionamento.....	51

3.1.3	Placa de acionamento do biodisco.....	52
3.1.4	Placa de potência	53
3.2	Confecção das placas.....	55
3.3	Montagem mecânica da estrutura	60
3.4	Construção do biodisco	66
3.5	Comunicação serial e supervisorio	73
3.5.1	Comunicação serial.....	73
3.5.2	Supervisorio	75
 CONSIDERAÇÕES FINAIS		78
 REFERÊNCIAS.....		81
 GLOSSÁRIO.....		87
 APÊNDICE – CÓDIGO FONTE DO PROJETO		88

INTRODUÇÃO

É fato que vivemos em um período de enorme evolução tecnológica da humanidade, os avanços obtidos com as novas tecnologias trouxeram inúmeros benefícios e induziram profundas mudanças sociais, dentre elas, o surgimento do que se denominou sociedade de consumo.

O anseio crescente em adquirir bens, como símbolo de poder, sucesso e status, tem contribuído para o consumo exacerbado dos recursos do planeta. Em função disso, temas como sustentabilidade, educação e política ambientais se tornaram frequentes nas agendas dos diversos setores da sociedade, buscando reduzir os efeitos do uso abusivo e indiscriminado dos recursos naturais.

Uma das formas de enfrentar o problema da crescente produção de resíduos gerados pelo atual modelo econômico é o reúso de materiais. No conceito de reutilização é que se insere o tema deste trabalho.

Reúso é o ato de utilizar novamente um material, substância ou objeto. A importância dessa prática é evidente, pois permite que se obtenha o máximo de aproveitamento dos materiais, evitando, dessa forma, o seu descarte prematuro.

Em diversos setores produtivos a reutilização de materiais é empregada como vantagem competitiva. O reúso também é uma das formas para se preservar um bem escasso, precioso e não renovável, a água.

A água é a substância vital no mundo e uma das mais importantes do planeta, afinal, ela é a base de todos os organismos vivos e está presente em quase todos ambientes. Entretanto, a má gestão dos recursos hídricos e o descaso com o meio ambiente tende a reduzir essa reserva de água potável em todo o mundo.

Assim, o reúso de água é uma das formas adotadas por diversos países para enfrentar esse problema. No Brasil, onde existem grandes reservatórios naturais de

água potável, a prática de reaproveitar água é algo novo e que vem ganhando evidência, principalmente, após recentes crises hídricas enfrentadas pelas regiões metropolitanas em todo o país.

Com o aumento da demanda por sistemas capazes de tratar e reutilizar a água, surgiram diversos estudos, projetos e empresas voltados a atender essa necessidade. Vale ressaltar que a intenção do reúso de água nem sempre é de deixá-la potável novamente, pois o reúso pode ser caracterizado pela realização de alguns processos de tratamento e adequação da água para que ela tenha um novo emprego.

No Brasil, a água de reúso é utilizada mais especificamente nas áreas industriais e de irrigação, porém já existem iniciativas voltadas para o reúso doméstico. Na construção de edifícios e condomínios, é importante que o reúso da água seja considerado no planejamento da obra, visando à economia no consumo de água potável e menor impacto ambiental.

Diante dos aspectos apontados, o objetivo do presente trabalho é a elaboração de um sistema para monitoramento e controle do processo de tratamento e utilização de água oriunda dos chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas, por exemplo, de um prédio residencial¹, água que, após tratada, pode ser reutilizada em vasos sanitários, limpeza de área externa e jardinagem.

Assim, para a realização do trabalho, este está organizado em capítulos da seguinte maneira:

- **Capítulo 1** - Fundamentação teórica: encontram-se as teorias, conceitos e definições acerca dos elementos que compõe e que dão sustentação ao projeto;

¹ Na construção do projeto e seu protótipo, parte-se da hipótese de que um prédio disporá de um reservatório para o acúmulo de água de reúso, de um sistema de tratamento e um reservatório para a água tratada. Os reservatórios possuirão controle de nível, a tubulação possuirá sensores de vazão e uma bomba que enviará a água tratada para uma reserva de distribuição. O controle e monitoramento do sistema de tratamento serão realizados por meio de um *software* supervisor, conforme será exposto mais adiante.

- **Capítulo 2** - Metodologia: mostra o caminho a percorrer para a construção do projeto, este fundamentado em etapas e procedimentos bem definidos com base nos aspectos da metodologia científica;
- **Capítulo 3** - Desenvolvimento do projeto: é apresentada a construção do projeto, abordando as dificuldades encontradas e a solução das mesmas;
- **Considerações finais** - apresentam impressões gerais do trabalho, resultados obtidos, pontos positivos e negativos do projeto e sugestões para possíveis estudos futuros.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma abordagem das teorias e conceitos que fundamentam o trabalho.

1.1 Análise da disponibilidade de água e características para tratamento

Os próximos subcapítulos apresentam uma análise sobre a disponibilidade de água dentro do contexto nacional, além de normas que regem as características de sua qualidade e o modo de realizar o seu tratamento, conforme a abordagem utilizada no desenvolvimento da presente tese.

1.1.1 A oferta de água no Brasil

Apesar de possuir grandes bacias hidrográficas, a ocupação desequilibrada do território brasileiro contribui para que o país sofra com a escassez de água, pois regiões de maior densidade demográfica dispõem de menores volumes de água, conforme se verifica na Tabela 1.1 (COSTA, 2007). A Região Metropolitana de São Paulo é um exemplo desse fato, crises hídricas, cada vez mais frequentes, têm provocado prejuízos econômicos e sociais aos seus habitantes.

A situação se agrava quando se considera o desperdício, o uso indiscriminado de água potável e a degradação das fontes e reservas desse raro recurso natural.

Para enfrentar a escassez de água e sua crescente demanda, uma alternativa racional e inteligente é o seu reúso para finalidades específicas.

Com o reúso, importantes volumes de água potável deixam de ser empregados, usando-se a água de menor qualidade, resultante de processos mais

simples de tratamento de efluentes, para atendimento de finalidades que podem prescindir da potabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

Tabela 1.1 - Distribuição dos recursos hídricos, da área superficial e da população (em % do total do país)

Região	Recurso hídricos	Superfície Territorial	População
Norte	68,50	45,30	6,98
Centro-Oeste	15,70	18,80	6,41
Sul	6,50	6,80	15,05
Sudeste	6,00	10,80	42,65
Nordeste	3,30	18,30	28,91
Soma	100,00	100,00	100,00

Fonte: UNIÁGUA, 2006 apud COSTA, 2007, p.11

1.1.2 Reúso urbano de água

No ambiente urbano, os efluentes domésticos tratados podem se destinar a fins potáveis e não potáveis. O reúso para fins não potáveis deve ser precedido de cuidados especiais quando há contato direto com o usuário, como no caso de irrigação de gramados, de parques e jardins, reserva de proteção contra incêndio, construção civil, sistemas decorativos, lavagem de pisos e praças, lavagem de veículos e descargas sanitárias (HESPANHOL, 2008).

1.1.3 Reúso de águas cinzas

Dentre os efluentes domésticos gerados em uma edificação, um tipo específico pode ser reutilizado com menor dispêndio de recursos para o seu tratamento, são as chamadas águas cinzas, esses efluentes, na classificação adotada pelo mesmo autor, podem ser separadas em dois grupos: águas cinzas-claras e águas cinzas-escuras.

As águas cinzas-escuras são aquelas descartadas no banho, no uso dos lavatórios, pias de cozinha e na lavagem de roupas, ou seja, são os efluentes residenciais, exceto os oriundos do vaso sanitário (HESPANHOL, 2008).

Denominam-se águas cinzas-claras o mesmo conjunto de efluentes que compõem as águas cinzas-escuras, excluindo-se aqueles provenientes das pias de cozinhas, que apresentam grande quantidade de materiais orgânicos rapidamente degradáveis, tais como óleos e gorduras (HESPANHOL, 2008).

1.1.4 Vantagens do reúso de águas cinzas

Na implantação de um sistema de água de reúso, um dos aspectos a ser considerado é a sua relação custo x benefício. Cordeiro (2009), em seu modelo de estudo, conclui que os custos e investimentos adicionais para a instalação de um sistema de reúso da água em condomínios são amortizados em menos de três anos, sendo que, após esse, período, o investimento passa a ser lucrativo, quando comparado com a um sistema hidráulico convencional.

Lazzaroto (2013) avalia que, em pouco mais de cinco anos, a economia gerada na conta de consumo de água potável em um prédio residencial, dotado de um sistema hidráulico com reúso de águas cinzas, pagaria o gasto efetuado em sua implantação, passando, então, a gerar lucro mensal, revelando ser um investimento viável e economicamente interessante.

Além do ganho econômico proporcionado pela adoção de um sistema de água de reúso, essa prática, segundo May (2009, p.72), também contribui para o uso racional e a conservação da água potável, gerando melhor aproveitamento da infraestrutura de fornecimento de água e de tratamento de esgoto, além da promoção da educação ambiental.

A água de reúso, devidamente tratada, pode ser empregada em diversos usos onde não se faz necessário água potável, como em descargas sanitárias,

lavagem de pisos e calçadas, lavagem de fachadas, paisagismo, jardinagem e reservas de proteção contra incêndios, ou seja, múltipla são as formas de utilização para a água de reúso de acordo com seu grau de tratamento.

1.1.5 Graus de tratamento para água de reúso

A água de reúso, de acordo com a finalidade a que se destine, deve ter sido submetida ao grau de tratamento adequado, de modo a atender aos critérios mínimos de qualidade previstos na legislação específica (MENDONÇA, 2004).

Não existe, no ordenamento jurídico nacional, um texto normativo que trate especificamente do tema água de reúso, sendo adotada subsidiariamente, para esse fim, a norma nº 13.969/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Esse fato demonstra que o país carece de uma legislação que discipline o reaproveitamento da água e que defina parâmetros mais abrangentes sobre qual o grau de qualidade adequado e seguro para a água de reúso.

A título de exemplificação, apresenta-se, na Tabela 1.2, alguns indicadores de Normas Internacionais para reúso da água em vasos sanitários:

Tabela 1.2 - Limites estabelecidos para reúso em descargas de vasos sanitários - Normas Internacionais

		PARÂMETROS							
	Tratamento	pH	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Coli. Total (ufc/100 ml)	Coli. Fecal (ufc/100 ml)	Cloro Livre CL ₂	Cloro Residual
1	Austrália Desinfecção	-	< 10 (90%) 20 (máx)	< 10 (90%) 20 (máx)	-	< 1	< 10 (90%) 30 (máx)	0,5 - 2,0 (90%) 2,0 (máx)	-
2	Austrália do Sul Secundário, filtração terciária e desinfecção	-	< 20	< 10	2 (méd) 5 (máx)	< 10	-	-	-
3	Alemanha - guideline	6 - 9	20	30	1 - 2	500	100	-	-
	WHO	-	-	-	-	1000 (m) 200 (g)	-	-	-
4	Japão	6 - 9	10	-	5	10	10	-	-
5	Padrões canadenses propostos	-	30	30	5	200	200	-	> 1
1 - NSW Health (2005)		5 - CMHC (2004)							
2 - Citado em: KAYAALP (1996)		m - mandatory							
3 - Citado em: JEFFERSON (1999)		g - guideline							
4 - Citado em: LAZAROVA (2003)									

Fonte: Adaptado de BAZZARELA, 2005, p.64

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, na norma NBR 13.969/97, em seu item 5.6.4, define as classes e os valores parâmetros para esgotos, de acordo com o reúso a ser feito. Como no Brasil cresce, em edificações e condomínios, o reaproveitamento de águas cinzas que, após tratadas, são utilizadas principalmente em descargas de vasos sanitários e limpeza de pisos e áreas externas, o grau de tratamento preconizado pela referida norma é o de classe 2, assim definido:

classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.

Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia e desinfecção.

Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes [...] (ABNT, NBR 13.969:1997, p.22).

Depreende-se da leitura da norma que ela sugere que um sistema de tratamento de águas cinzas deva possuir, no mínimo, três estágios: tratamento biológico aeróbio, filtração de areia e desinfecção.

1.1.6 Sistemas de tratamento de águas cinzas

Na literatura especializada alguns autores (ERIKSSON, 2002; JEFFERSON et al., 1999; NOLDE, 1999) divergem em considerar, na classificação de águas cinzas, a inclusão ou não, de efluentes oriundos de pias de cozinha e, em razão dessa diferença, propõem sistemas distintos de tratamento, desenvolvidos de acordo com a qualidade da água a ser tratada e com a aplicação que dela se pretenda fazer.

Percebe-se que tais autores, dentre outros, evidenciam as características físico-químicas e biológicas que a água cinza assume, após ser submetida a um específico processo de tratamento. Por exemplo, March, Gual e Orozco (2004) destacam, em um de seus estudos, o emprego de água cinza para descarga de vasos sanitários, uma vez que essa água, adequadamente tratada, passou a ter características que atendiam aos parâmetros de qualidade exigidos para esse fim.

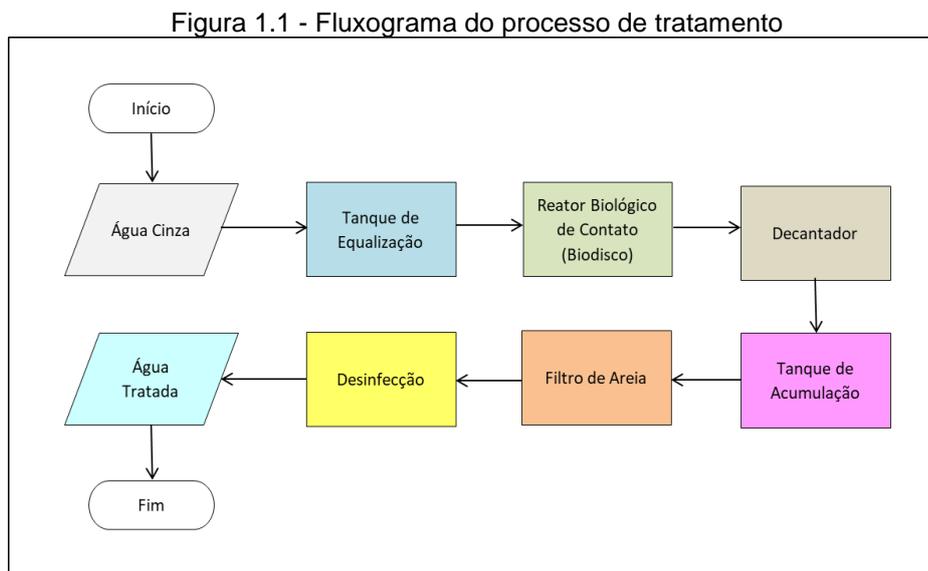
Contudo, além da qualidade final da água de reúso, outros aspectos precisam ser observados para a escolha de um determinado sistema de tratamento, pois, caso sejam ignorados, podem se tornar elementos condicionantes para o insucesso do processo. Tais aspectos podem ser observados no trabalho de May² (2009), onde a autora explora a caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas, bem como o aproveitamento de água pluviais em edificações.

Em virtude do tema tratado pela citada autora e, em função das características do trabalho ora apresentado, a mencionada tese foi adotada como referência para o entendimento de alguns dos diferentes mecanismos e sistemas de tratamento de água para reúso e contribuiu para a escolha do processo que será empregado no protótipo a ser desenvolvido³ no presente trabalho.

² Tese apresentada por Simone May, junto à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para a obtenção do grau de doutorado, sob o título: "Caracterização, Tratamento e Reúso de Águas Cinzas e Aproveitamento de Águas Pluviais em Edificações", no ano de 2009.

³ O protótipo será desenvolvido no 6º semestre de 2018, porém seu esboço já pode ser observado no capítulo da metodologia do projeto.

No sistema de tratamento de águas cinzas, objeto da mencionada tese, foi possível identificar um processo que pudesse ser usado como suporte para os propósitos deste trabalho. A seguir, apresenta-se um fluxograma contendo as etapas compõe esse processo:



Fonte: Adaptado de MAY, 2009, p. 117

Em seu trabalho, May (2009) esclarece que o sistema proposto, consiste em um processo de tratamento biológico aeróbio, que pode ser definido como o resultado da ação de micro-organismos aeróbios presentes no efluente, que encontram, na matéria orgânica nele contida, uma fonte de nutrientes que favorece o crescimento biológico e, conseqüentemente, ao ser consumida, reduz o grau de contaminação da água.

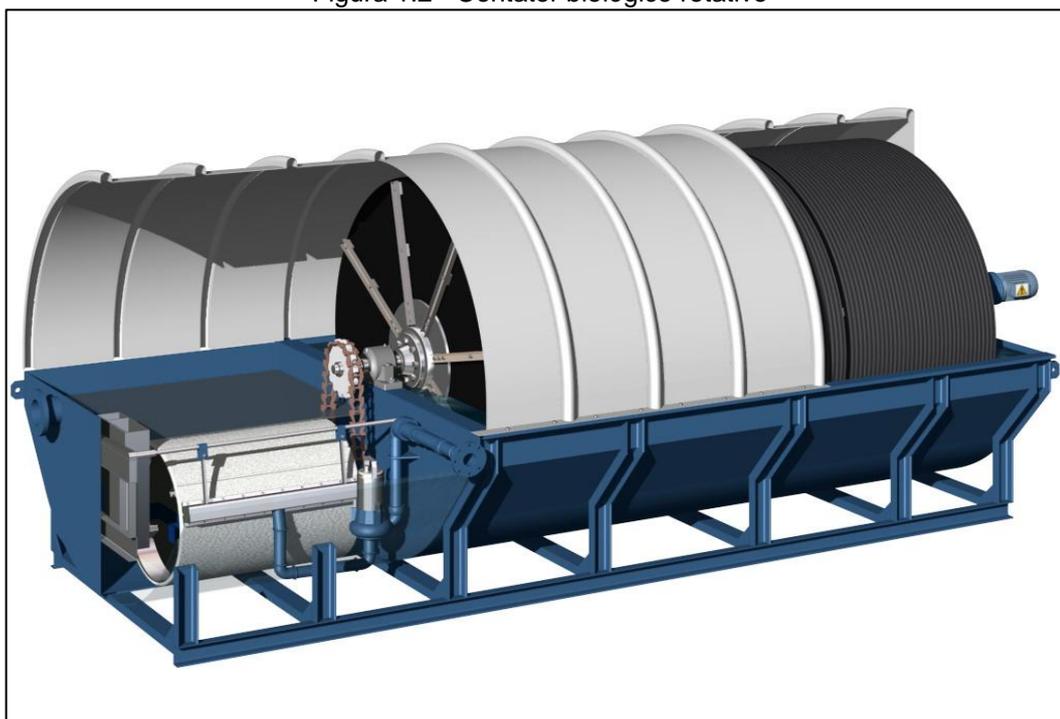
Conforme indicado na Figura 1.1, May (2009) divide o sistema de tratamento em cinco partes: tanque de equalização; sistema de biodisco; reservatório de decantação; filtro de areia de pressão e sistema de desinfecção, descrevendo seu funcionamento da seguinte forma:

- Após a coleta da água cinza a ser tratada, esta deve ser depositada em um reservatório denominado tanque de equalização, esse recipiente, dotado de um sistema de agitação, evita a sedimentação de partículas sólidas que possam estar suspensas na água;

- Do tanque de equalização, a água cinza é bombeada para o sistema de biodiscos.

Cabe aqui uma breve descrição sobre essa etapa do processo e de seus elementos. Os biodiscos, também conhecidos como reatores biológicos de contato (RBC) ou contadores biológicos rotativos (CBR), na definição de Davis e Masten (2016), consistem em uma série de discos, normalmente de plástico rígido de pequena espessura, montados concentricamente lado a lado em um eixo horizontal, que gira em velocidade ajustável, formando grandes cilindros que operam parcialmente submersos no efluente, conforme representado na Figura 1.2.

Figura 1.2 - Contator biológico rotativo



Fonte: www.energia-plus.it, 2018

Em seu funcionamento, os biodiscos, giram parcialmente submersos (cerca de 40%) no efluente a ser tratado. As bactérias vão se fixando em sua superfície, formando uma biomassa; esse movimento promove, de modo alternado, a aeração e a imersão das colônias de bactérias. Essas colônias de bactérias são responsáveis pela biodigestão contínua dos poluentes (May, 2009).

- Concluída a passagem pelo sistema de biodiscos, a água de reúso é conduzida ao decantador. No decantador, a matéria orgânica é sedimentada e a água resultante desse processo é transferida para um tanque de acumulação;
- Em seguida a água é bombeada para um filtro de areia de pressão onde é processada e desinfetada com a adição de hipoclorito de sódio.

O processo é concluído bombeando-se a água tratada para uma reserva auxiliar elevada, de onde irá por meio de uma rede de distribuição própria aos pontos pré-definidos de consumo.

1.2 Medição de grandezas

Os próximos subcapítulos apresentam os conceitos básicos sobre sensores, e os princípios de funcionamento de alguns dispositivos para obtenção de medidas de grandezas físicas e químicas utilizadas como base para o desenvolvimento desse projeto.

1.2.1 Definição de sensores

Segundo Thomazini e Albuquerque (2005), sensores são dispositivos sensíveis às formas de energia presentes no ambiente, as quais podem ser luminosa, térmica, cinética, entre outras, com o intuito de relacionar as energias com as grandezas físicas a serem mensuradas, tais como temperatura, luminosidade, velocidade, pressão, posição, entre outras.

Grande parte dos sensores existentes, não possuem a capacidade elétrica de acionar ou comunicar-se com os sistemas de controle, por esse motivo, é comum o uso de circuitos amplificadores, os quais convertem os baixos níveis de tensão oriundos do elemento sensor, para os níveis utilizados nos circuitos de controle. De maneira geral, classificam-se os sensores existentes, de acordo com o

comportamento do sinal elétrico presente na saída do mesmo, com isso, os sensores são classificados como digitais ou analógicos.

Ainda segundo os autores, os sensores digitais podem assumir apenas dois níveis de sinal elétrico no decorrer do tempo, os quais podem ser interpretados como sendo 0, nível lógico baixo, ou 1, nível lógico alto. Na realidade, não existem grandezas físicas que possuam esse comportamento binário por isso, utiliza-se esse tipo de sensor em aplicações que não exijam precisão elevada, termostatos, pressostatos e *encoders* são alguns exemplos de sensores digitais.

Os sensores analógicos são aqueles, capazes de assumir em sua saída diversos níveis de sinal elétrico, dentro da faixa de operação do sensor, no decorrer do tempo. Sensores analógicos são utilizados na medição de diversas grandezas físicas, tais como, pressão, temperatura, vazão, velocidade entre outras (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2005).

1.2.2 Medição de nível

No presente trabalho será necessária a realização de medição de nível. A seguir, são apresentados os fundamentos básicos sobre a medição, uma vez que é necessário o monitoramento constante do volume dos reservatórios previstos no projeto.

Segundo França (2007), nível é a grandeza física que mensura o comprimento de um conteúdo líquido ou sólido, partindo de uma referência, geralmente, a base do reservatório. Onde está contido o elemento a ser medido.

O nível é uma das principais variáveis utilizadas em controle de processos contínuos, afinal através da medição de nível é possível avaliar o volume estocado de materiais de processos em tanques de armazenamento. Torna-se, assim, possível também o controle do volume de materiais utilizados em misturas e reações. Outra aplicação ocorre no controle de processos onde o nível do produto

não pode ultrapassar determinado limite, afim de manter a segurança (FRANÇA, 2007).

Ainda segundo o autor, dentre as maneiras possíveis de executar a medição de nível, pode-se classificá-las como medição direta ou medição indireta, as quais subdividem-se em:

Medição Direta:

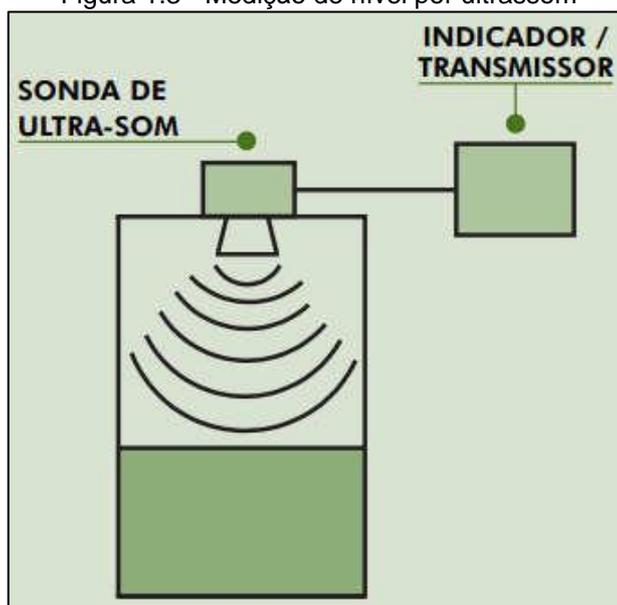
- Medição por visores;
- Medição por vareta;
- Medição por acionadores magnéticos.

Medição Indireta:

- Medição por pressão hidrostática;
- Medição por empuxo;
- Medição por capacitância;
- Medição por ultrassom.

A medição de nível por ultrassom é baseada na medição do tempo em que uma onda sonora de frequência superior a 20 kHz retorna após colidir com o fluido. Com base no tempo medido, um circuito controlador calcula a distância percorrida pela onda, uma vez que a velocidade de propagação da onda é constante. A Figura 1.3 ilustra como se realiza esta forma de medição (BROCKVELD JUNIOR, 2017).

Figura 1.3 - Medição de nível por ultrassom



Fonte: BROCKVELD JUNIOR, 2017 p.26

1.2.3 Medição de vazão

Considerando que a eficiência do processo de tratamento proposto depende do controle de vazão da água, faz-se necessário discorrer sobre os fundamentos básicos da medição de vazão.

Para Delmée (2003), vazão é a grandeza física que determina a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que preenche uma determinada área durante um período.

Atualmente, essa é a terceira grandeza física mais medida dentro de processos industriais no mundo e é subdividida em dois grupos: vazão volumétrica (Z) e vazão mássica (Q).

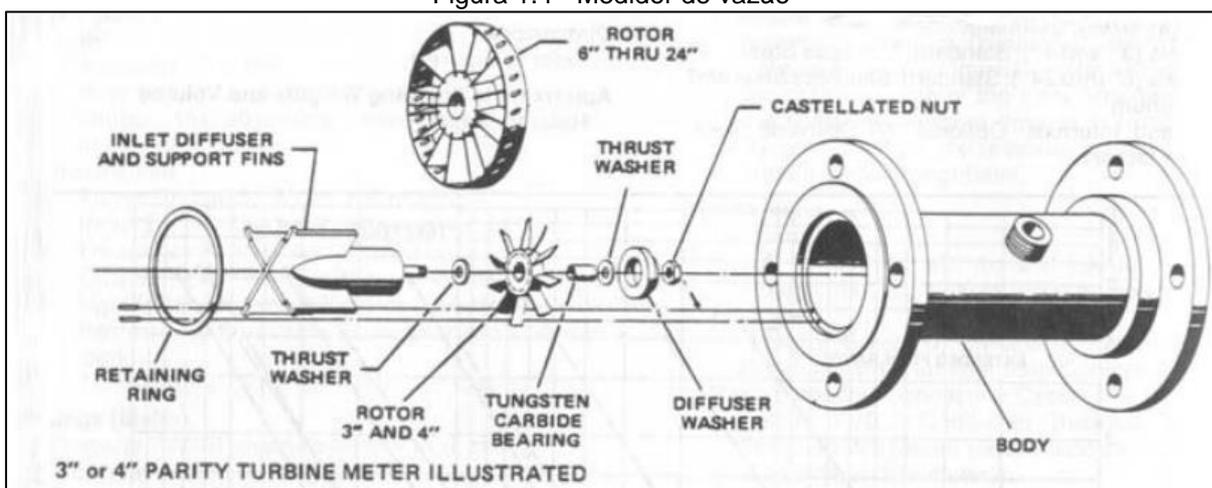
A diferença entre esses dois grupos se deve à unidade de medida utilizada para quantificar a quantidade de fluido que é transportado por uma secção. A vazão volumétrica se utiliza do volume e a vazão mássica da densidade do fluido para quantificar o material que escoar pela secção durante uma unidade de tempo.

Existem diferentes maneiras de medir vazão, Delmée (2003) as classifica em três grupos: medição indireta, direta e especial. A seguir é feita uma breve descrição delas:

- Medição indireta: A medição de vazão indireta é efetuada a partir da variação da quantidade de fluido que passa por uma secção ou da variação da área em que o líquido ou gás está transitando, contudo enquanto uma grandeza é variável a outra deve ser constante. Dentre os principais instrumentos de medição, destacam-se: tubo de Venturi; tubo de Pitot e a Placa de orifício;
- Medição direta: Os medidores diretos de vazão detectam o deslocamento positivo de fluido ou a velocidade gerada através do impacto provocado por líquidos ou gases durante o seu movimento. Dentre as principais formas de medição desse método, destacam-se: medição por rodas ovais e por turbina ou hélice;
- Medição especial: Os medidores especiais caracterizam-se por utilizarem outras grandezas físicas como base para obter, através de cálculos, o valor da vazão de uma determinada secção. Dentre as principais formas de medição desse método, destacam-se: medição por Vertex, por ultrassom e Calhas Parshall.

Dentre os métodos de medição direta, destaca-se a medição por turbina, a qual caracteriza-se por analisar o acionamento de uma estrutura mecânica (rotor com turbina ou hélice) proporcionado por um fluido que atravessa suas aberturas durante um espaço de tempo. Devido ao deslocamento desse mecanismo é possível determinar a velocidade angular da estrutura através da quantidade de tempo necessária para completar uma volta, sendo proporcional à velocidade do material que transpassa suas aberturas, que por sua vez é proporcional à vazão volumétrica. A figura 1.4 ilustra as características construtivas desse método de medição (COSTA E SILVA, 2004).

Figura 1.4 - Medidor de vazão



Fonte: CLAUDIO BARREIROS DA COSTA E SILVA, 2004

1.2.4 Turbidez da água

A turbidez é uma característica importante para avaliar a qualidade da água, esse indicador mede o grau de interferência à passagem da luz através do líquido, possibilitando a detecção de partículas presentes na água.

Enasa (2018) ressalta que é possível medir a turbidez da água através do sensor denominado nefelômetro, constituído por “[...] uma fonte de luz, para iluminar a amostra e um detector fotoelétrico com um dispositivo para indicar a intensidade da luz espalhada em ângulo reto ao caminho da luz incidente”.

O nefelômetro é incorporado a um instrumento de medição de turbidez denominado turbidímetro. A figura 1.5 apresenta o instrumento turbidímetro.

Figura 1.5 - Turbidímetro



Fonte: <http://itest.com.br>, 2018

Ainda segundo o autor, o valor mensurado da turbidez na água está diretamente relacionado ao espalhamento dos raios luminosos sobre o detector fotoelétrico, quanto maior o espalhamento de luz maior é a turbidez. Os valores são expressos geralmente em UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), ou em inglês, NTU, outra unidade de medida é mg/l de SiO₂ (miligramas por litro de Sílica).

Na natureza, segundo a Fundação Nacional de Saúde (2014, p.19) “[...] grande parte das águas de rios brasileiros é naturalmente turva em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas, muitas vezes inadequadas”.

No ambiente urbano, “[...] a turbidez da água pode, também, ser causada por lançamentos de esgotos domésticos ou industriais. [...]” (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2014, p19).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, na norma NBR 13.969/97, em seu item 5.6.4, define que a turbidez da água após o tratamento, deve ser inferior a cinco UNT. Porém, o nível de turbidez ideal para o consumo humano deve ser inferior a um UNT.

1.2.5 Análise de pH

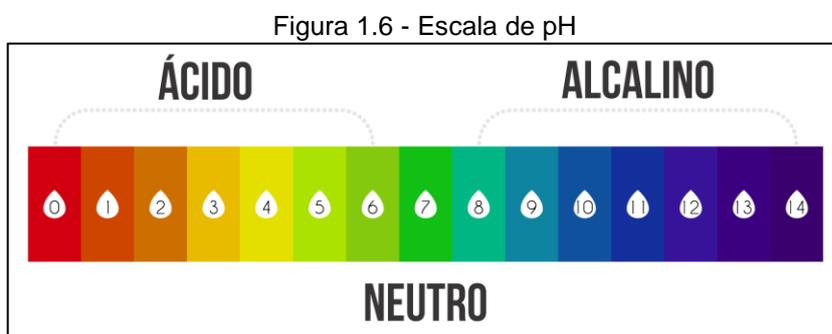
O uso seguro da água deve considerar, entre outros indicadores, o seu pH. No presente trabalho, esse parâmetro foi utilizado como um dos fatores representativos da qualidade da água de tratada, sendo, portanto, necessária uma breve abordagem sobre forma de interpretação desse modo de classificar as substâncias.

O pH (potencial hidrogeniônico) é a unidade de medida adimensional responsável por classificar uma mistura entre ácida, base ou neutra através de uma escala de variação numérica de 0 a 14, podendo ultrapassar esse limiar tanto positivamente quanto negativamente para casos específicos (DIAS, 2018).

Esse valor é obtido através da capacidade de auto ionização da água, analisando a concentração molar de cátions de hidrônio.

A escala de pH e a classificação da água é subdividida da seguinte forma, conforme a Figura 1.6:

- Ácidos: de 0 a 6,0;
- Neutro: 7,0;
- Básico: 8,0 a 14,0.



Fonte: <http://www.piratasdomalte.com.br>, 2018

Segundo Dias (2018), existem processos para medição e identificação do nível de pH de uma determinada substância, baseado na concentração de H^+ (acidez) ou OH^- (base). Alguns processos utilizam outras substâncias químicas que

modificam as características físicas da mistura/solução, permitindo a classificação dentre as diversas classes de cor criadas na escala numérica do pH, principalmente através do uso da fenolftaleína.

Outra forma de verificar as características da solução é através de um dispositivo chamado Phmetro, conforme a Figura 1.7, capaz de mensurar o nível de pH através de um eletrodo associado com um potenciômetro. Quando o eletrodo entra em contato com a substância, uma pequena diferença de potencial (mV) é produzida e a partir do valor de resistência ajustado no potenciômetro é possível atribuir uma classe e um nível. O ajuste realizado no potenciômetro é padronizado a partir de uma tabela, que informa padrões para determinadas misturas (LABORATÓRIO PROLAB, 2018).

Figura 1.7 - Phmetro



Fonte: <http://www.prolab.com.br>, 2018

1.3 Elementos atuadores

Os próximos subcapítulos apresentam os conceitos básicos e os princípios de funcionamento sobre os atuadores utilizados como base para o desenvolvimento do projeto.

1.3.1 Bombas hidráulicas

Segundo Brasil (2010), bombas são dispositivos eletromecânicos que possuem a finalidade de provocar o deslocamento de fluidos por escoamento, constituída por motores elétricos conectados a um conjunto de palhetas ou engrenagens com o propósito de tracionar o fluido. A Figura 1.8 exibe uma bomba utilizada no escoamento de água.

Figura 1.8 - Bomba hidrodinâmica



Fonte: <https://www.mecanicaindustrial.com.br>, 2018

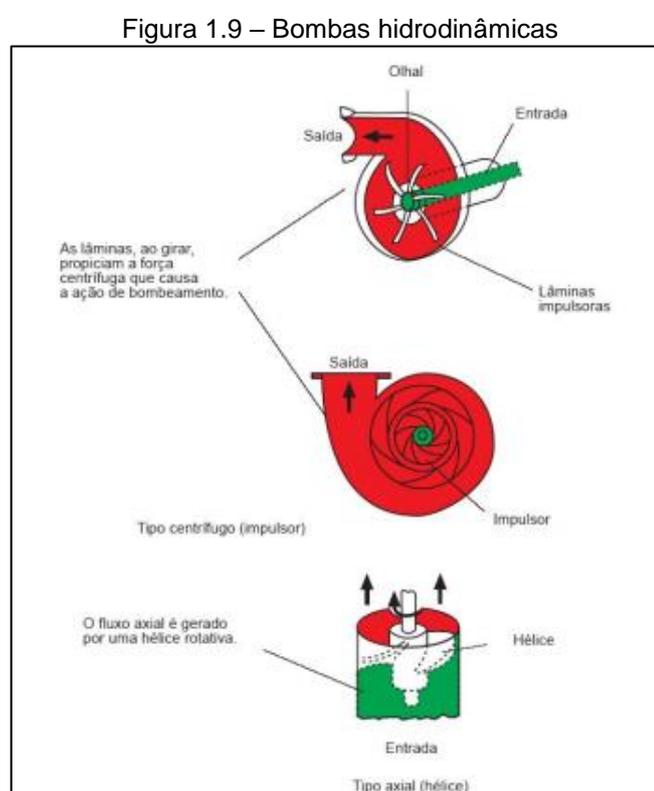
As bombas podem ser classificadas em dois grupos, os quais são denominados:

- Bombas volumétricas;
- Bombas dinâmicas.

Segundo Brasil (2010), as bombas volumétricas, possuem volume fixo de fluido acumulado em cada rotação. A movimentação do fluido ocorre diretamente pelo elemento impulsor, o qual pressiona o fluido a acomodar-se no espaço em que o elemento estava posicionado.

Pelo fato do fluido ocupar o mesmo volume nos instantes em que o elemento impulsor se encontra deslocado e esse volume ser conhecido, foram as razões para denominar o nome para esse tipo de bomba (BRASIL, 2010).

Ainda segundo o autor, nas bombas dinâmicas a movimentação do fluido ocorre pela força gerada pela própria massa do fluido, por consequência da rotação do eixo no qual é acoplado um disco dotado de palhetas o qual recebe o fluido pelo seu centro e o expulsa pela periferia, pela ação da força centrífuga, por este motivo, esse tipo de bomba possui o nome mais usual de Bomba Centrífuga. A Figura 1.9 apresenta o funcionamento da bomba hidrodinâmica.



Fonte: BRASIL, 2010, p.66

Esse tipo de bomba raramente é usado em sistemas hidráulicos industriais, devido à alta resistência do fluido hidráulico, o qual pode bloquear o movimento do motor elétrico conectado a bomba. Porém o uso desse tipo de bomba é adequado ao transporte de água, pois a mesma não apresenta grande resistência ao deslocamento das palhetas (BRASIL, 2010).

1.3.2 Válvula solenoide

De acordo com Petruzella (2014), a válvula solenoide é um dispositivo eletromecânico de controle de fluxo utilizada em controles hidráulicos e pneumáticos. O nome solenoide é devido ao seu principal componente ser uma bobina elétrica, responsável por atrair o embolo da válvula permitindo ou não a passagem do fluido. A Figura 1.10 apresenta um modelo de válvula solenoide.

Figura 1.10 - Válvula solenoide de simples ação



Fonte: <http://www.jefferson.ind.br>, 2017

Segundo Leite e Fernandes (2014), classificam-se as válvulas solenoides pela forma como são acionadas, podendo ser de ação direta ou indireta. As válvulas de ação direta são indicadas para sistemas de atuação de baixa capacidade, em sistemas de alta capacidade são utilizadas as válvulas indiretas, as quais possuem elementos pilotos, que acionam os bloqueios da válvula.

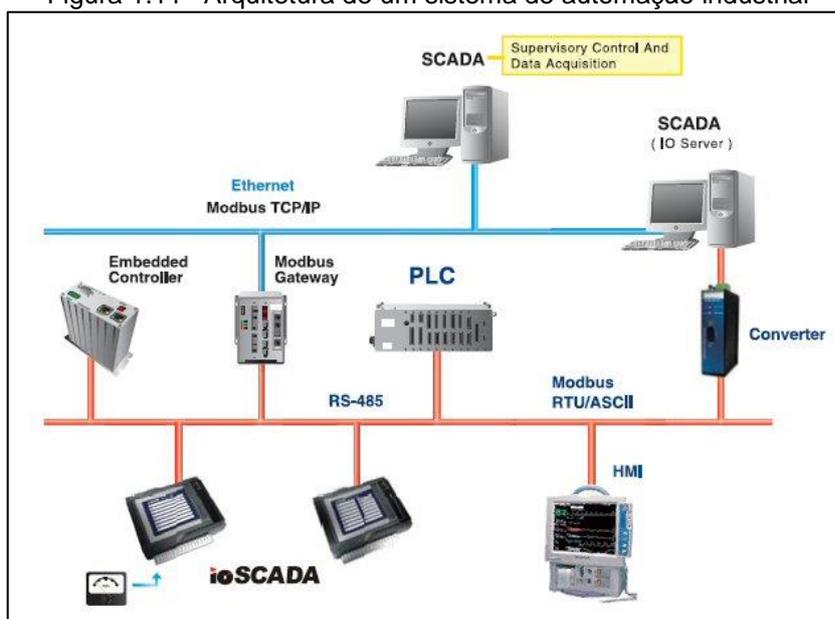
Ainda segundo os autores, outros critérios adotados na classificação de válvulas são o número de vias e posições, vias é a nomenclatura padronizada para informar o número de conexões presentes no corpo da válvula. Posições é a nomenclatura adotada para definir os estágios de funcionamento de uma válvula. Esses critérios são fundamentais na escolha de uma válvula, pois as válvulas são

encontradas no mercado de acordo com o número de posições seguido pelo número de vias.

1.4 Sistema supervisório

Segundo Fernandes et al. (2014), o sistema supervisório é um *software* destinado para a criação e implantação de interface homem máquina, proporcionando através de telas configuráveis a supervisão de processos industriais, podendo receber ou enviar dados para os dispositivos conectados ao campo, geralmente a comunicação é realizada por meio das redes industriais. A Figura 1.11 exemplifica como é realizada a comunicação do sistema ao campo.

Figura 1.11 - Arquitetura de um sistema de automação industrial

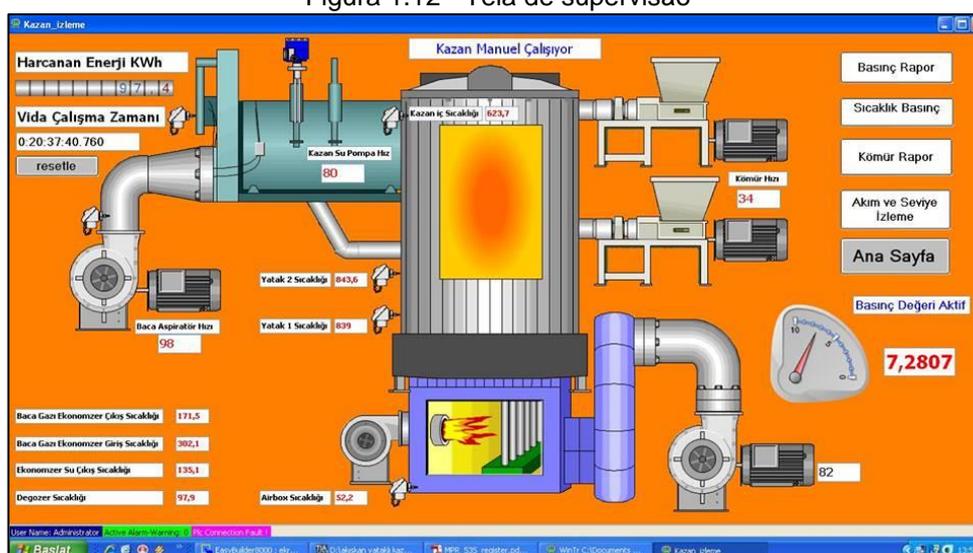


Fonte: <http://dpspowercontrolsystem.com>, 2018

Ainda de acordo com os autores, dentro do ramo da automação industrial, os sistemas supervisórios são comumente chamados de SCADA, sigla em inglês que significa, *Supervisory Control and Data Acquisition System*, em português, Sistema de Aquisição de Dados e Controle Supervisório.

Segundo Casillo (2010), os sistemas SCADA, são programas de computador que permitem a visualização dos processos industriais, o qual é realizado por meio de elementos sinóticos animados que apresentam de forma intuitiva os valores medidos dos sensores e atuadores do campo, podendo exibir diversas informações em uma mesma tela. A Figura 1.12 exemplifica uma aplicação do sistema supervisório.

Figura 1.12 - Tela de supervisão



Fonte: <https://www.fultek.com.tr>, 2018

1.5 Comunicação serial

A comunicação serial é um dos meios de transmissão de dados mais empregados durante os últimos anos.

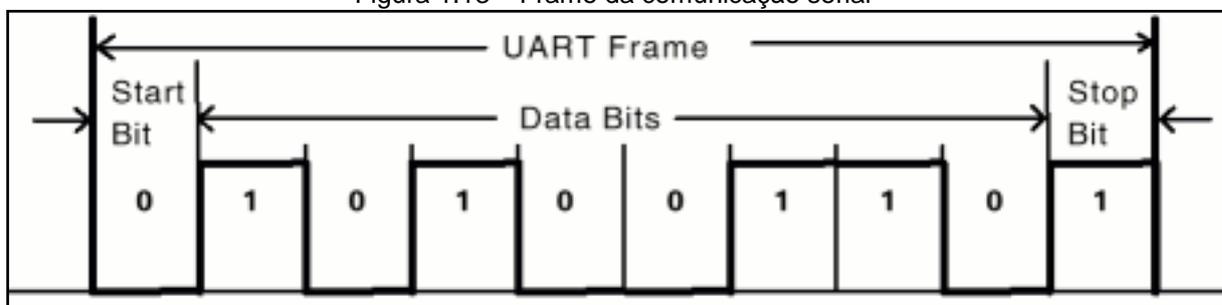
Segundo Hirakawa e Cugnasca (2014), esse método consiste no envio e recepção de informação serial, ou seja, cada dado ou bit é enviado de forma cíclica, um após o outro, até que se conclua a transmissão completa da mensagem.

Conforme os autores, existem duas formas de emprego dessa metodologia de envio de dados, a síncrona e a assíncrona:

A síncrona baseia-se em um sinal de sincronismo, denominado *clock*, enviado simultaneamente através de uma via separada do canal empregado para transmissão de dados, esse que é responsável por efetuar a coordenação do tempo vigente na comunicação.

Já a assíncrona independe de qualquer controle de tempo, uma vez que se utiliza apenas de um canal para o envio dos dados e possui no começo e no término do bloco de informação um bit que delimita a mensagem transmitida, conforme demonstrado na Figura 1.13.

Figura 1.13 – Frame da comunicação serial



Fonte: <http://www.lisha.ufsc.br>, 2018

Nesse modelo de comunicação, alguns parâmetros são responsáveis por garantir que os dispositivos transmissores e receptores estejam em sintonia:

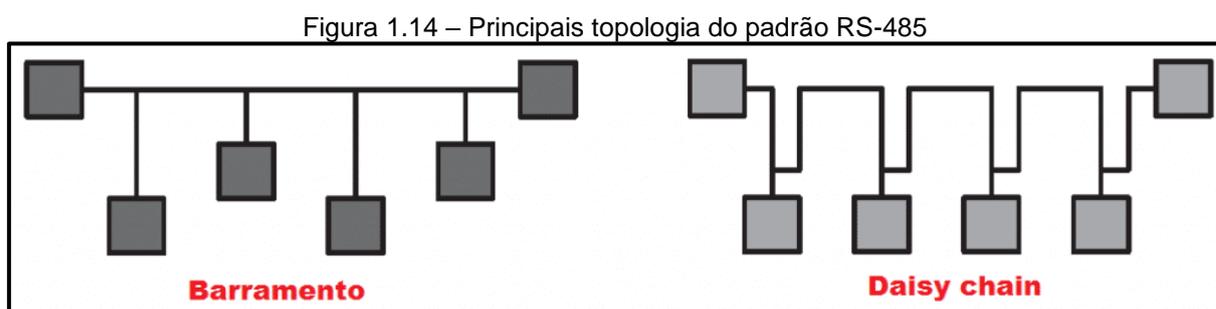
- Taxa de transmissão (*baud rate*): Determinar a quantidade de bits/caracteres que são enviados dentro de um segundo;
- Bits de Dados: Quantidade de bits de dados que são enviados dentro de cada pacote;
- Bits de parada (*stop bits*): Bits responsáveis por indicar o término do pacote de dados e verificar se os dispositivos transmissores e receptores estão em sincronia;
- Paridade: Utilizada sempre no final de cada pacote de dados, a paridade é responsável por garantir que cada pacote de dados possua sempre uma mesma quantidade de bits/caracteres. Esse parâmetro pode ser configurado como par, ímpar ou sem paridade.

1.5.1 Padrão RS-485

O padrão de comunicação RS-485 foi desenvolvido pela *Electronic Industries Association* (EIA) no início da década de 80 devido às necessidades e problemas encontrados na transmissão de dados, provocados principalmente por ruídos, interferências no sinal e limitação na quantidade de dispositivos que podiam conectar-se à rede.

Para solucionar as dificuldades mencionadas, a EIA utilizou-se do princípio de transmissão diferencial de dados. Esse princípio utiliza-se de apenas duas vias para transmissão de dados, com sinais simétricos em cada canal, ou seja, uma via com tensão positiva e outra com tensão negativa. O receptor dos dados é responsável por comparar a diferença de tensão entre as duas vias e o nível lógico da transmissão é determinado pela variação de ao menos 200 mV entre os canais com tensão positiva ou negativa.

Segundo Bertulucci (2018), devido à alta isolamento e impedância existente no padrão RS-485 é possível associar 32 dispositivos, distribuídos principalmente entre as topologias de barramento e *daisy chain*, conforme demonstrado na Figura 1.14.



Fonte: <http://www.lisha.ufsc.br>, 2018

1.5.2 Padrão ASCII

Um dos padrões mais utilizados para envio de dados através da comunicação serial é o *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII). Esse modelo foi criado por Robert W. Bemer, na década de 60 devido à necessidade de padronizar o envio de letras, sinais de pontuação e sinais matemáticos do alfabeto latino entre dispositivos digitais, sendo constituído por uma tabela que determina códigos binários, octais, decimais e hexadecimais para cada caractere.

2 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os métodos e técnicas empregadas na elaboração do trabalho.

Severino (2018) afirma que para o método de desenvolvimento do trabalho científico algumas etapas devem ser seguidas:

- Determinação do tema e justificativa;
- Levantamento da bibliografia que trata o tema proposto;
- Leitura e estudo da bibliografia selecionada;
- Construção lógica do trabalho e redação do texto.

A construção lógica do trabalho tem como base o conhecimento adquirido com as pesquisas bibliográficas sobre o tema proposto. A redação do texto segue as normas da ABNT e o Manual do TCC da Fatec São Bernardo do Campo. A escrita está centrada em uma linguagem simples, clara e concisa, ou seja, em uma linguagem adequada ao estilo exigido em um trabalho científico desse porte.

2.1 Tema-problema e justificativa

O trabalho intitulado Supervisão e controle de processo de tratamento de água de reúso aplicado a condomínios residenciais é um projeto que visa à elaboração de um sistema de supervisão e controle destinado à administração do processo existente em uma planta de tratamento para água de reúso, tem como objetivo a análise das diversas variáveis que estão envolvidas no tratamento, evidenciando as vantagens e economias no consumo diário dos insumos necessários ao funcionamento de um projeto dessa natureza.

Além disso, visa proporcionar uma alternativa em relação aos equipamentos já existentes no mercado, trazendo praticidade, redução de custos e facilitando o acesso às informações envolvidas.

2.2 Descrição do projeto

A ideia do projeto é desenvolver um sistema de supervisão e controle para administração de uma planta de tratamento de água de forma contínua, analisando as variáveis envolvidas no processo e atuando nos diversos dispositivos adotados em sua automatização.

2.3 Etapas de desenvolvimento do projeto

Após a definição do tema e sua respectiva justificativa, são detalhadas as etapas do projeto:

- **Primeira etapa:** escolha do orientador para auxiliar no desenvolvimento do projeto e apresentação do tema proposto para validação;
- **Segunda etapa:** levantamento bibliográfico em livros, revistas técnicas, materiais didáticos e sites especializados;
- **Terceira etapa:** estudo e seleção do material pertinente ao tema proposto para a elaboração da fundamentação teórica;
- **Quarta etapa:** levantamento dos equipamentos e materiais necessários para a construção do protótipo e orçamento;
- **Quinta etapa:** montagem do protótipo, testes e resultados e, finalmente, considerações finais sobre o projeto.

2.4 Cronograma das etapas

A seguir é apresentado o planejamento para execução de todas as atividades pertinentes ao projeto, conforme Figura 2.1.

Figura 2.1 - Cronograma das etapas

ATIVIDADE	2018											
	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AUG	SET	OUT	NOV	DEZ
Definição de tema e Orientador	P	■										
	R	■										
Levantamento Bibliográfico	P	■	■	■								
	R	■	■	■								
Desenvolvimento da monografia	P	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	R	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Análise da pesquisa e escolha de hardware	P			■	■							
	R			■	■							
Elaboração da apresentação	P				■	■						
	R				■	■						
Apresentação para banca examinadora	P					■						
	R					■						
Compra dos materiais	P					■	■	■				
	R					■	■	■				
Construção do protótipo	P						■	■	■	■	■	
	R						■	■	■	■	■	
Análises e testes do projeto	P										■	■
	R										■	■
Elaboração da apresentação final	P										■	■
	R										■	■
Apresentação Final para banca examinadora	P											■
	R											■

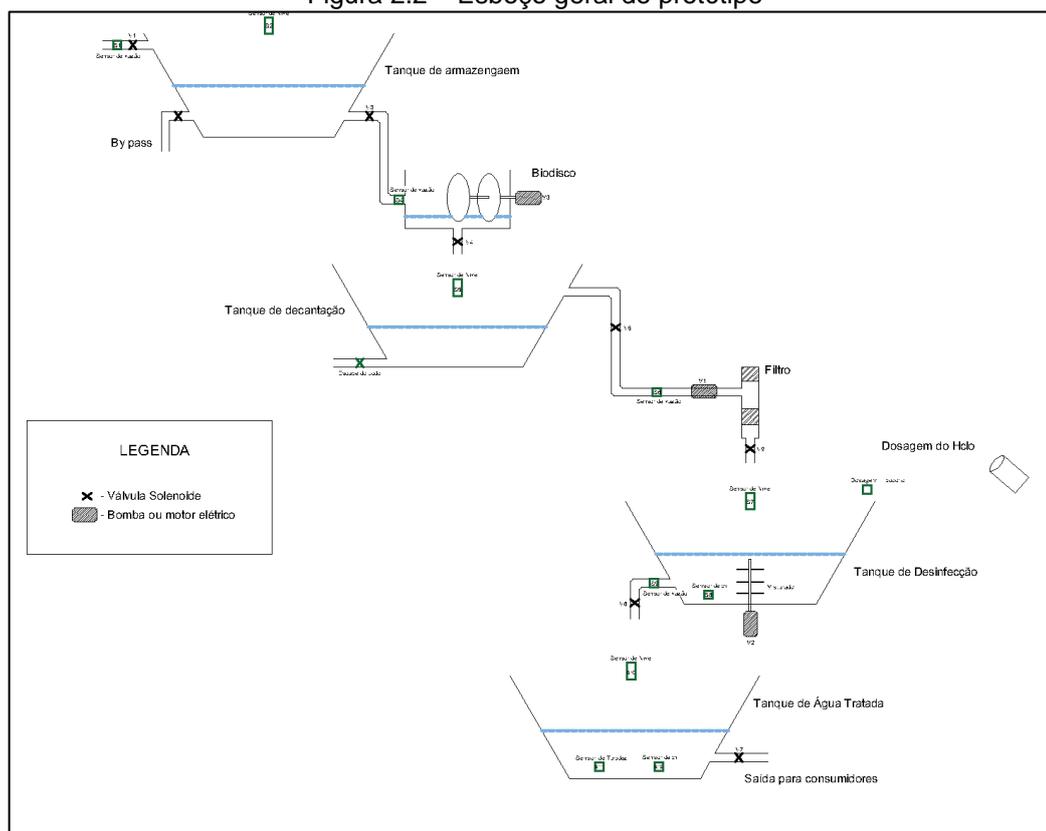
Legenda: ■ Planejado ■ Realizado

Fonte: Autoria própria, 2018

2.5 Esboço do projeto

A partir da concepção do projeto, elaborou-se um esboço Figura 2.2 para ilustrar a sua forma construtiva.

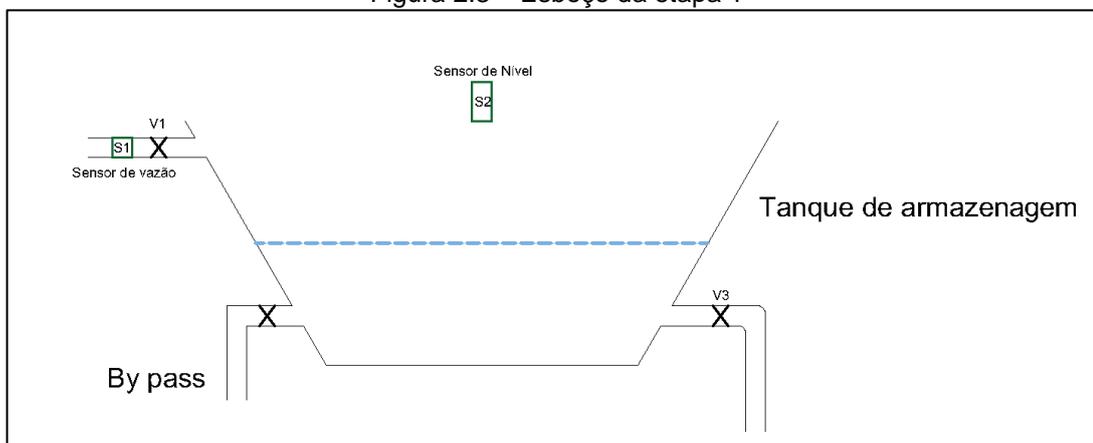
Figura 2.2 – Esboço geral do protótipo



Fonte: Autoria própria, 2018

Durante a parte inicial do processo, toda a água destinada ao tratamento será armazenada dentro de um tanque composto por vias de acesso ao sistema de tratamento ou ao canal de esgoto (*by pass*). Nessa parte as variáveis de nível e vazão serão analisadas como medidas de controle. A figura 2.3 ilustra o processo descrito.

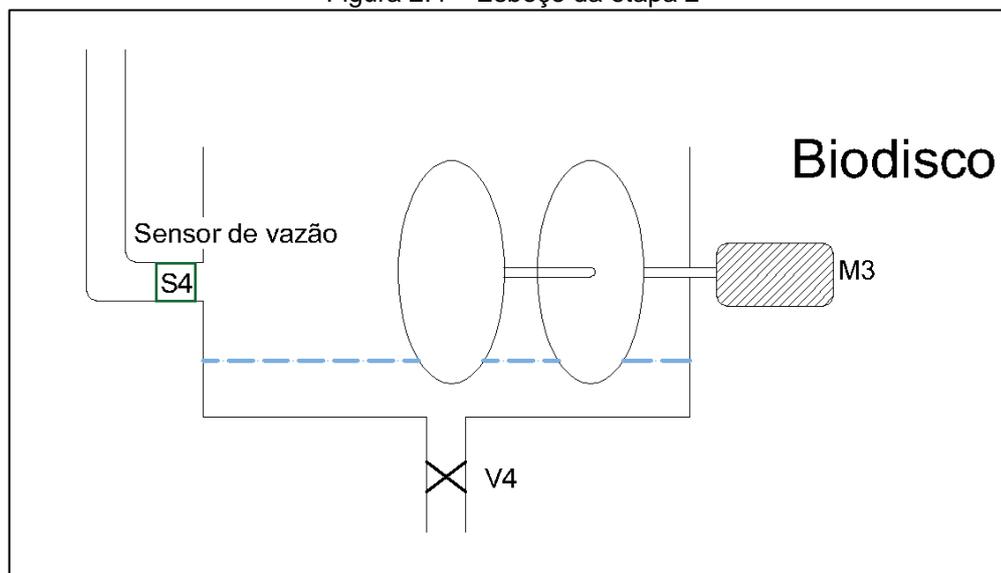
Figura 2.3 – Esboço da etapa 1



Fonte: Autoria própria, 2018

Ao iniciar a primeira etapa do processo, a água passará pelo sistema de biodisco que, após um determinado período, habilitará sua passagem por meio de uma válvula de controle à próxima etapa do tratamento, conforme exhibe a figura 2.4.

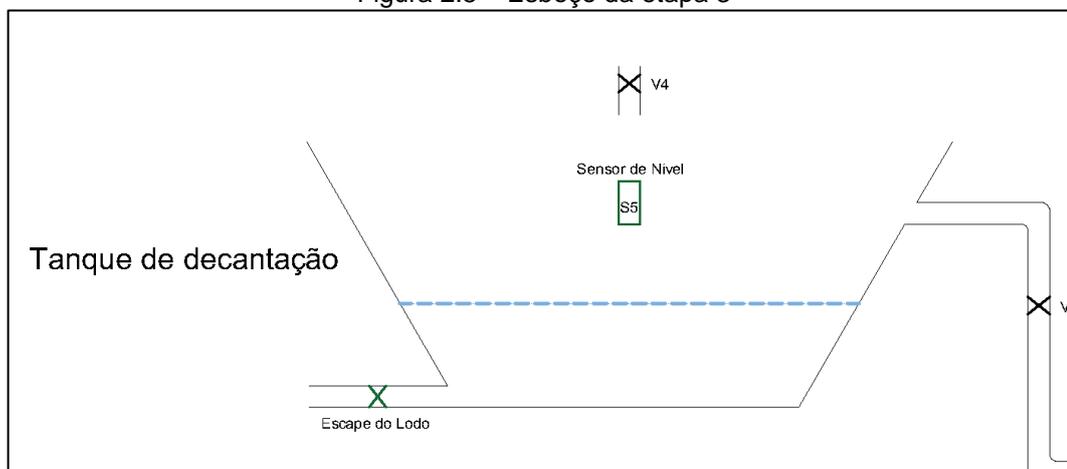
Figura 2.4 – Esboço da etapa 2



Fonte: Autoria própria, 2018

Quando o fluido for liberado pelo tempo médio de tratamento do biodisco, ele passará ao tanque de decantação, para que o lodo provocado pelo processo anterior permaneça na parte inferior do sistema. Por meio do controle de nível será possível habilitar as válvulas que permitem a saída da água para a próxima etapa e para retirada do lodo. A figura 2.5 ilustra a terceira etapa do sistema.

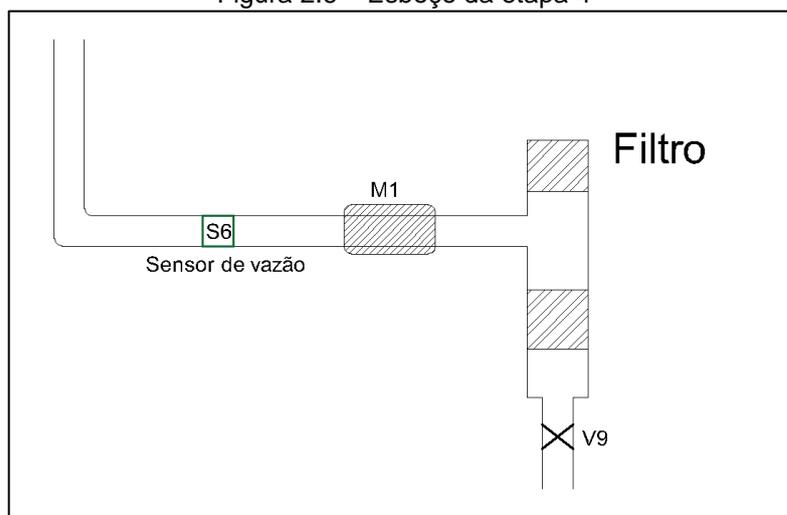
Figura 2.5 – Esboço da etapa 3



Fonte: Autoria própria, 2018

Na etapa seguinte, o fluido passará por um filtro para contenção de partículas que ainda possam permanecer no sistema. Nesse estágio é feito o uso de controle de vazão e de uma bomba para auxiliar na passagem do fluido. A figura 2.6 ilustra a quarta etapa do processo.

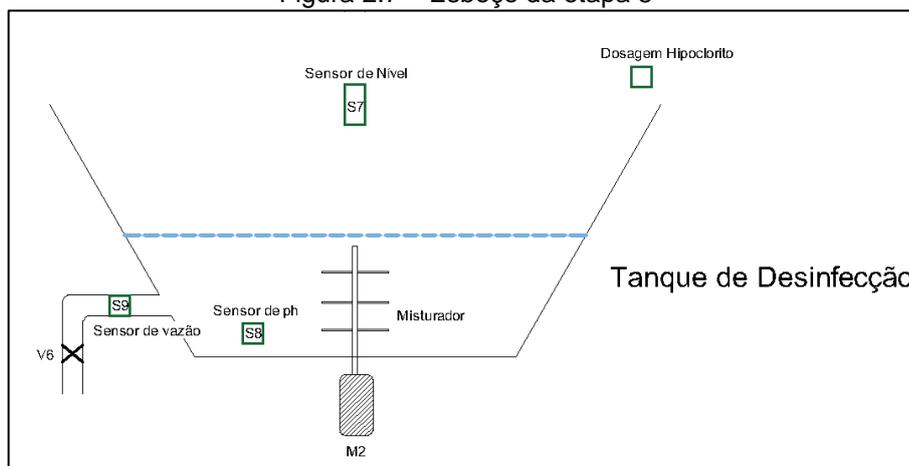
Figura 2.6 – Esboço da etapa 4



Fonte: Autoria própria, 2018

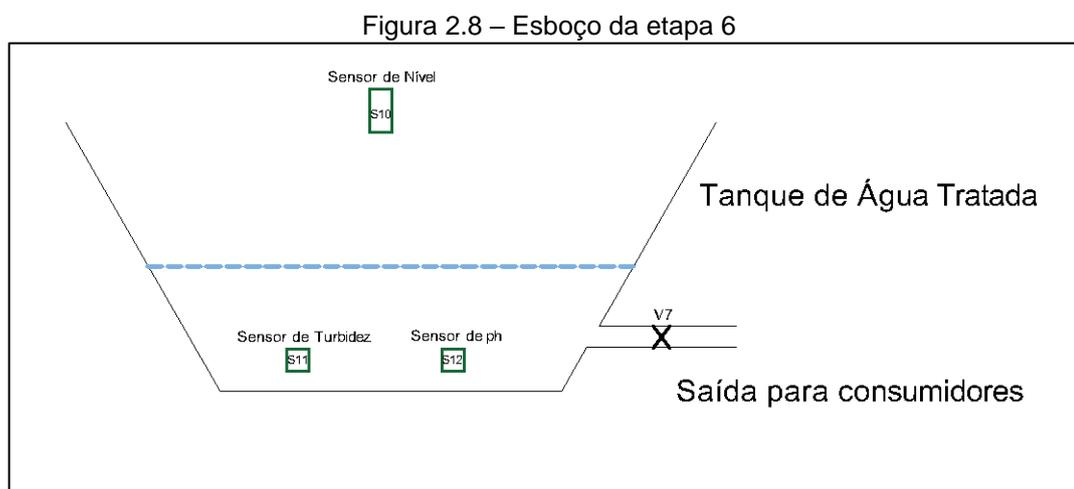
A quinta etapa do processo será responsável por limpar as impurezas homogeneizadas na água. Nessa fase há a leitura do pH para indicar a qualidade da água na atual etapa. A figura 2.7 ilustra a disposição de trabalho do sistema durante esse processo.

Figura 2.7 – Esboço da etapa 5



Fonte: Autoria própria, 2018

Depois que a água estiver tratada ela é enviada ao tanque de armazenamento para inspeção de sua qualidade, onde o índice de pH e turbidez serão avaliados, validando o seu reuso. A figura 2.8 exibe o reservatório final do processo.



Fonte: Autoria própria, 2018

2.6 Custos para confecção do projeto

A elaboração do protótipo demandou a compra de diversos materiais, dentre os quais, foram agrupados para simplificar a exibição do Tabela 2.1

Tabela 2.1 - Relação dos custos do trabalho

CUSTOS		
Item	Descrição	Valor (R\$)
1	Sensores	289,17
2	Valvulas solenoides	181,34
3	Gravador do PIC	52,89
4	PIC 18F4550	70,7
5	Componentes Eletrônicos	163,3
6	Conversor USB/RS485	26,89
7	Placa fibra de vidro	36,64
8	Água destilada	5
9	Chave boia	34,8
10	Silicone para vedação	20
11	Sachês de calibração para sensor de Ph	20
12	Caixas organizadoras	55,8
13	Cabos de ligação	46,89
14	Biodisco	225,44
15	Confecção das placas	97,19
16	Bombas de drenagem	335
	Total:	1661,05

Fonte: Autoria própria, 2018

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo são abordados os métodos e técnicas empregadas na elaboração do protótipo.

3.1 Projeto eletrônico

Neste subcapítulo são apresentados os circuitos eletrônicos elaborados e utilizados no projeto.

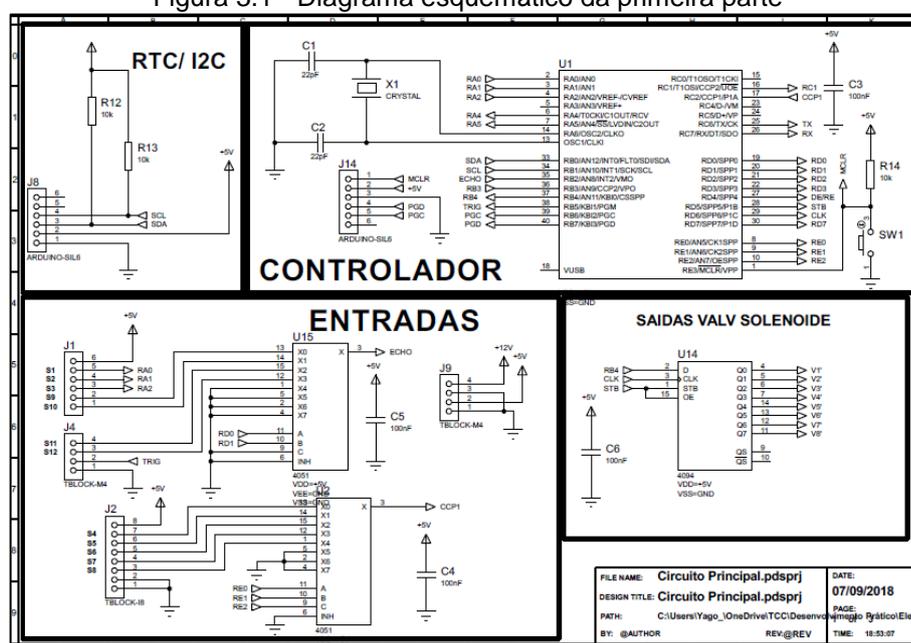
3.1.1 Circuito principal

No projeto foi prevista a necessidade de centralizar as principais funções realizadas por componentes eletrônicos em uma placa de circuito impresso, a qual

recebeu o nome de “placa principal”, sendo responsável por armazenar os componentes necessários para o controle do projeto.

O projeto do circuito principal assim como o *layout* da sua placa de circuito impresso, foram produzidos no software Proteus⁴. A representação do diagrama esquemático do circuito principal foi separada em três partes, dentre as quais ocorrem subdivisões de etapas, afim de facilitar a compreensão do projeto. A Figura 3.1 exibe a primeira parte do diagrama esquemático.

Figura 3.1 - Diagrama esquemático da primeira parte

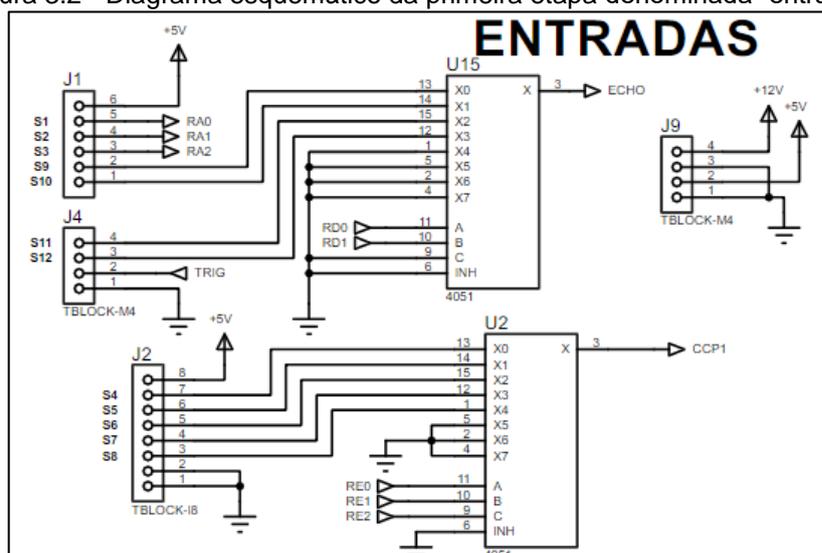


Fonte: Autoria própria, 2018

A primeira etapa a ser analisada é a responsável por receber os sinais oriundos dos sensores, multiplexando os diversos sinais inseridos, direcionando-os para um único pino de leitura do microcontrolador. Outra finalidade dessa etapa é receber os níveis de tensão contínua necessárias para a alimentação da placa. A figura 3.2 demonstra a primeira etapa.

⁴ Proteus é um programa proprietário, composto por um conjunto de ferramentas dedicadas a elaboração de circuitos eletrônicos e placas de circuito impresso.

Figura 3.2 - Diagrama esquemático da primeira etapa denominada “entradas”



Fonte: Autoria própria, 2018

O conector J9 tem por finalidade, receber os níveis de tensão necessários e adequados para a alimentação da placa principal. Os conectores J1, J4 e J2 são responsáveis pela interligação física dos sensores com a placa. Os circuitos integrados U2 e U15 são multiplexadores responsáveis por controlar qual sensor será lido pelo microcontrolador. A seleção do sinal a ser lido pelo microcontrolador é realizada pelos pinos 11(A), 10 (B) E 9 (C) através da combinação de acionamentos dos pinos, conforme o Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Tabela verdade do multiplexador 4051

INHIBIT	INPUT STATES			ON CHANNEL(S)
	C	B	A	
CD4051B				
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None

Fonte: INSTRUMENTS, 2017, p.17

Com base na representação obtida no datasheet do circuito integrado, houve o prévio mapeamento das entradas dos multiplexadores, os quais são apresentados nos Quadros 3.2 e 3.3.

Quadro 3.2 - Mapeamento dos sensores ultrassônicos

TABELA VERDADE DO MULTIPLEXADOR PARA SENSORES ULTRSSÔNICOS		
ENTRADAS		SAÍDA
O2" - RD1	O1" - RDO	
0	0	S9-NÍVEL DO TANQUE DE ACUMULAÇÃO
0	1	S10 - NÍVEL DO TANQUE DE DECANTAÇÃO
1	0	S11 - NÍVEL DO TANQUE DE DESINFECÇÃO
1	1	S12 - NÍVEL DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO PARA DISTRIBUIÇÃO

Fonte: Autoria própria, 2018

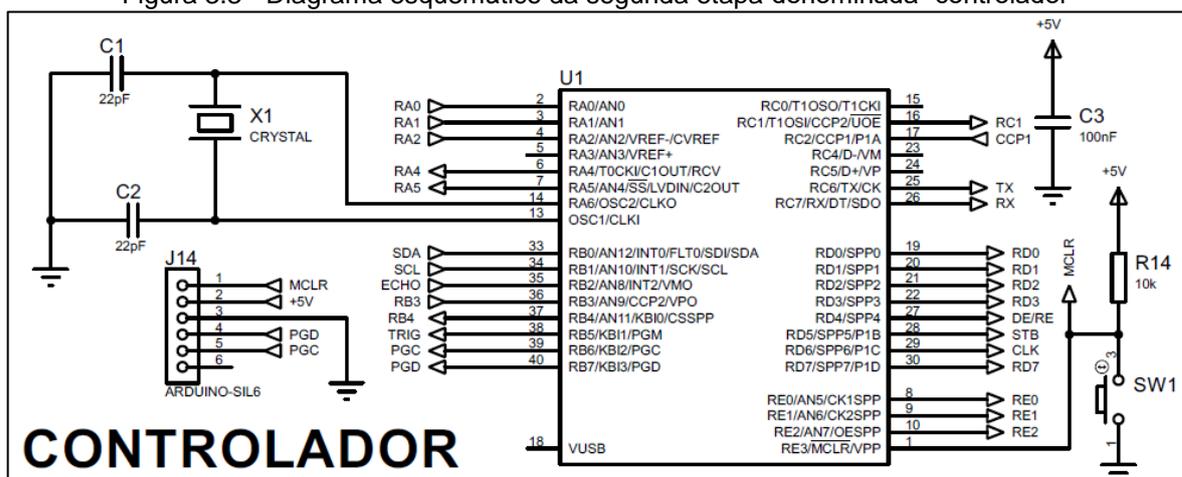
Quadro 3.3 - Mapeamento dos sensores de vazão

TABELA VERDADE DO MULTIPLEXADOR PARA SENSORES DE VAZÃO			
ENTRADAS			SAÍDA
O3 - RE2	O2 - RE1	O1 - RE0	
0	0	0	S4- ENTRADA DE ÁGUA NO TANQUE
0	0	1	S5 - ENTRADA DE ÁGUA BIODISCO
0	1	0	S6 - ENTRADA FILTRO
0	1	1	S7 - SAÍDA DE ÁGUA DESINFECÇÃO
1	0	0	S8 - SAÍDA DE ÁGUA PARA CONSUMIDORES
1	0	1	GND
1	1	0	GND
1	1	1	GND

Fonte: Autoria própria, 2018

A próxima etapa analisada é a de controle, a qual foi intitulada como controlador, responsável por gerenciar as informações oriundas dos sensores e controlar os atuadores. A Figura 3.3 exibe a segunda etapa.

Figura 3.3 - Diagrama esquemático da segunda etapa denominada “controlador”



Fonte: Autoria própria, 2018

O componente principal dessa etapa é o microcontrolador PIC18F4550, o qual recebeu a identificação U1. Sua atuação ocorre mediante a programação previamente realizada. É possível encontrar a programação no Apêndice deste trabalho.

O componente X1 é um cristal oscilador, componente necessário para fornecer a frequência de operação do microcontrolador. Foi adotado o uso do cristal de 8 MHz. Os capacitores ligados ao cristal são necessários segundo o fabricante do microcontrolador para o desacoplamento do sinal.

Os pinos utilizados no microcontrolador foram mapeados e são apresentados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Mapeamento dos pinos do PIC18F4550

Mapeamento de pinos - PIC18F4550								
ENTRADAS				SAIDAS				
Nome	Endereço/pino	Descrição	Tipo de leitura	Nome	Endereço/pino	Descrição	Tipo de saída	
S1	RA0/2	Sensor de Turbidez	Analógica - 0 a 5V	V1	RB4/37 - DADOS SHIFT REGISTER	Valvula Solenoide	Digital 5V	
S2	RA1/3	Sensor de PH1	Analógica - 0 a 5V	V2		Valvula Solenoide	Digital 5V	
S3	RA2/4	Sensor de PH2	Analógica - 0 a 5V	V3		Valvula Solenoide	Digital 5V	
*	RA3/5	REFERENCIA DE TENSÃO PARA LEITURA ANALÓGICA	* 2,5 V	V4		Valvula Solenoide	Digital 5V	
*	OSC1/13	Oscilador externo	Frenquencia 20Mhz	V5		Valvula Solenoide	Digital 5V	
*	OSC2/14			V6		Valvula Solenoide	Digital 5V	
S4 - S8	CCP1/17	Sensores de vazão (possível multiplexação de entrada)	Analógica - frequência variavel	V7		Valvula Solenoide	Digital 5V	
*	RA5/ 6 - 7	RESERVADO		V8		Valvula Solenoide	Digital 5V	
S9 - S12	RB2/35	SENSOR ULTRASSONICO - ECHO	Digital - 5V	V9		RD3	Valvula Solenoide	Digital 5V
S14	RB3/36	SENSOR ULTRASSONICO TANQUE 4	Digital - 5V	M1		RD2/21	BOMBA1	Digital 5V
	RB0/33	COMUNICAÇÃO I2C		M2	RA4/6	BOMBA2	Digital 5V	
	RB1/34		M3	RC1/12	MOTOR BIODISCO	PWM		
	RC6/25	COMUNICAÇÃO SERIAL RS485		O1	RE0/8	Controle do multiplexador do sensor de vazão	Digital 5V	
	RC7/26		O2	RE1/9	Digital 5V			
	RD4/27		O3	RE2/10	Digital 5V			
			O1'	RD5/28	STROBE - SR	Digital 5V		
				O2'	RD6/29	CLOCK - SR	Digital 5V	
				O3'	RD7/30		Digital 5V	
				TRIG	RB5/38	Trigger para sensores ultrassonicos	Digital 5V	
				O1''	RD0/19	Controle do multiplexador sensores Ultrassônicos	Digital 5V	
				O2''	RD1/20		Digital 5V	
				*		SAÍDAS	Digital 5V	
				*	RA5/7	RESERVADAS		

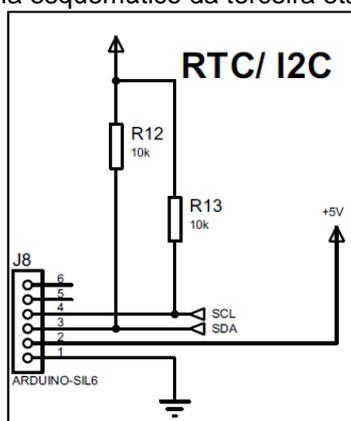
Fonte: Autoria própria, 2018

O conector J14 é responsável pela gravação do microcontrolador PIC, sem que haja a necessidade de retirá-lo da placa. Tal método é denominado ICSP, *In-Circuit Serial Programming*, sigla em inglês para gravação serial em circuito. O capacitor C3 é utilizado para o desacoplamento da alimentação no microcontrolador.

A chave tátil SW1 é utilizada para reiniciar o microcontrolador, caso ocorra um travamento, a ligação da chave com o resistor R14 é chamada de ligação *pull-up* pois, enquanto o botão não estiver pressionado, a saída possui nível lógico alto, quando pressionado a saída fornece nível lógico baixo.

A próxima etapa trata-se do meio físico da comunicação I²C, necessária para o uso do circuito RTC, sigla em inglês para relógio de tempo real. Tal componente é um circuito integrado com a função de armazenar e fornecer informações referentes a data e hora. A Figura 3.4 abaixo demonstra o diagrama esquemático da etapa.

Figura 3.4 – Diagrama esquemático da terceira etapa denominada “I2C”

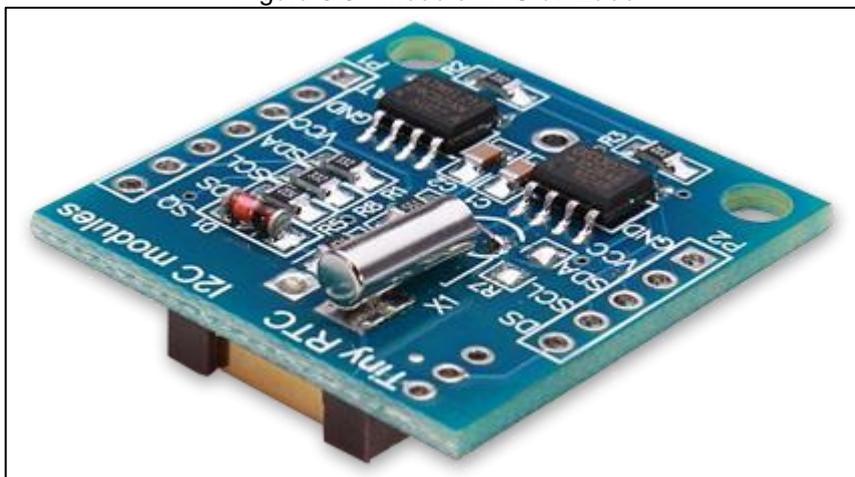


Fonte: Autoria própria, 2018

Para que ocorra a comunicação I²C, é necessário inserir dois resistores de valor mínimo 10 kΩ, nos pinos SDA e SCK, pinos responsáveis pela comunicação de fato, sendo que ambos os resistores ligados também a alimentação de 5 V.

O RTC utilizado encontra-se em uma placa contendo dois chips, o RTC e uma memória EEPROM, ambos com suporte a comunicação I²C. A placa utilizada é apresentada na Figura 3.5.

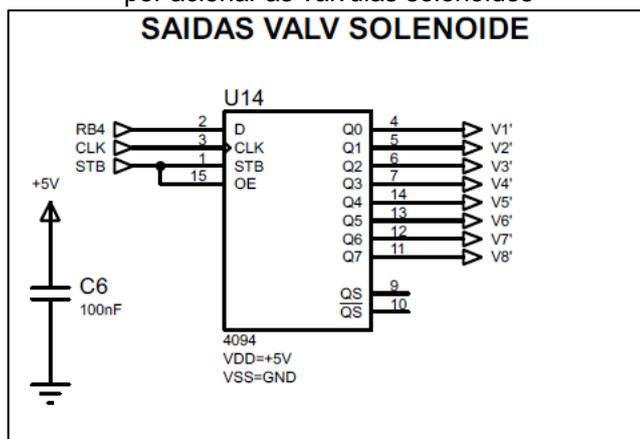
Figura 3.5 - Módulo RTC utilizado



Fonte: <https://www.robocore.net>, 2018

A quarta etapa analisada é apresentada na Figura 3.6.

Figura 3.6 - Diagrama Esquemático da quarta etapa, responsável por acionar as válvulas solenoides



Fonte: Autoria própria, 2018

Essa etapa consiste no *Shift Register* U14, o qual recebe um conjunto de sinais do microcontrolador e direciona para a saída correspondente. A relação entre as saídas selecionadas é expressa no Quadro 3.5.

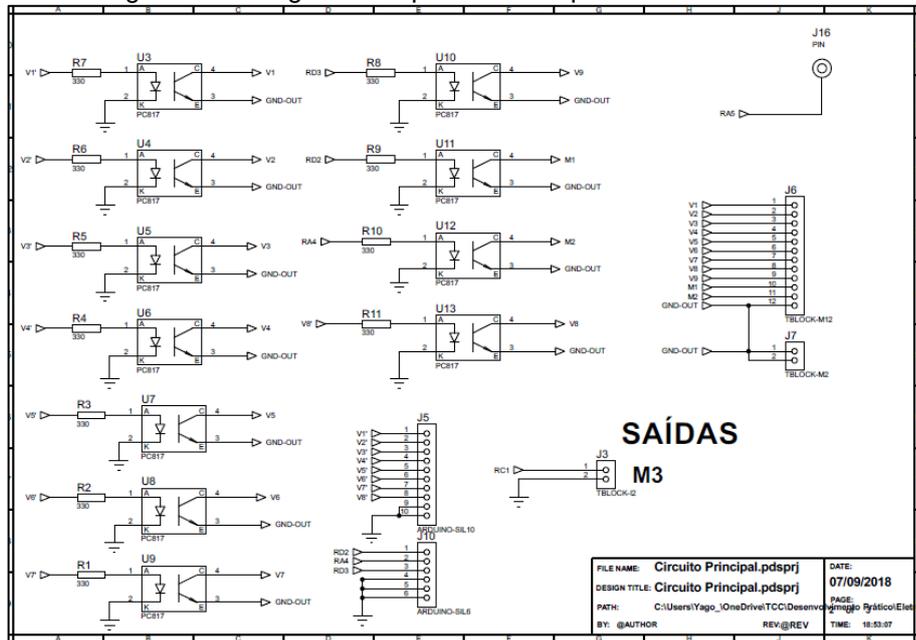
Quadro 3.5 - Mapeamento das válvulas solenoides

RELAÇÃO DE SAÍDAS DO SHIFT REGISTER PARA VALVULAS SOLENOIDES	
SAÍDA DO SHIFT REGISTER	VALVULA ACIONADA
Q0	V1 - ENTRADA DE ÁGUA NO TANQUE
Q1	V2 - BYPASS ESGOTO
Q2	V3 - ENTRADA DE ÁGUA BIODISCO
Q3	V4 - SAÍDA DE ÁGUA BIODISCO
Q4	V5 - SAÍDA DE ÁGUA DECANTAÇÃO
Q5	V6 - VALVULA ESCAPE DE LODO
Q6	V7 - SAÍDA DE ÁGUA DESINFECÇÃO
Q7	V8 - SÁIDA PARA CONSUMIDORES

Fonte: Autoria própria, 2018

A segunda parte do diagrama esquemático é focalizada no acionamento dos atuadores do projeto. A Figura 3.7 exhibe a etapa.

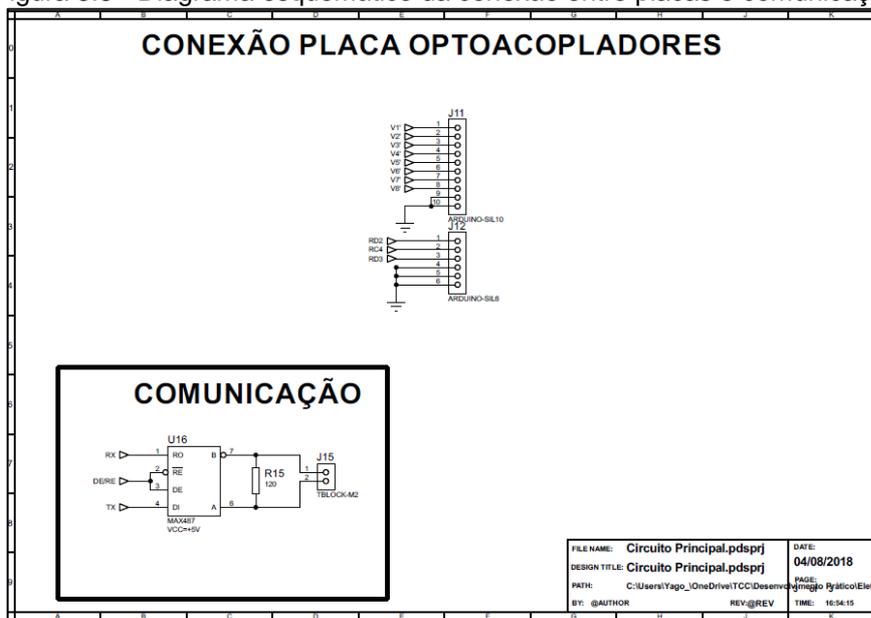
Figura 3.7 - Diagrama Esquemático da placa de acionamento



Fonte: Autoria própria, 2018

Essa etapa consiste em onze optoacopladores responsáveis por realizar o acionamento isolado dos atuadores. Para cada componente dimensionou-se resistores de 330 Ω, ligados ao LED de cada acoplador óptico. A terceira e última parte do diagrama esquemático é apresentada pela Figura 3.8.

Figura 3.8 - Diagrama esquemático da conexão entre placas e comunicação

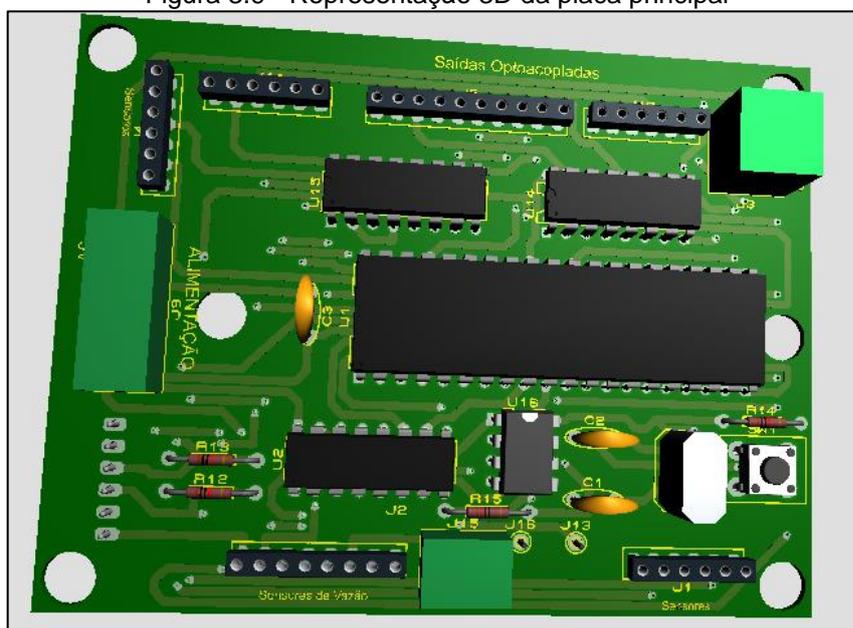


Fonte: Autoria própria, 2018

Nessa parte são representados os terminais de conexão entre as placas e a interface de comunicação da placa com a rede. Para a comunicação, adotou-se o uso do circuito integrado MAX485, componente capaz de converter os níveis TTL oriundos do microcontrolador para os níveis padrões da comunicação RS485.

As representações do diagrama esquemático apresentadas resultaram na placa de circuito impresso apresentada na Figura 3.9.

Figura 3.9 - Representação 3D da placa principal

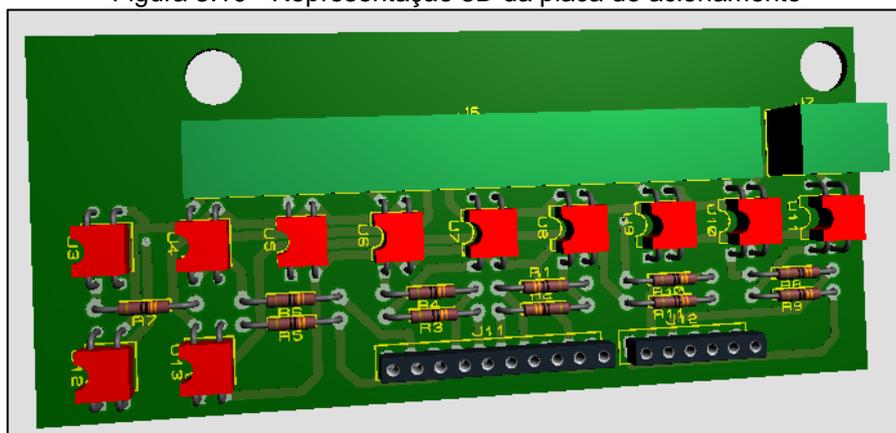


Fonte: Autoria própria, 2018

3.1.2 Placa de acionamento

Previu-se a necessidade de confeccionar uma placa de circuito impresso auxiliar para os acionamentos, utilizada como interface entre a placa principal e os atuadores. A Figura 3.10 exibe a placa auxiliar.

Figura 3.10 - Representação 3D da placa de acionamento



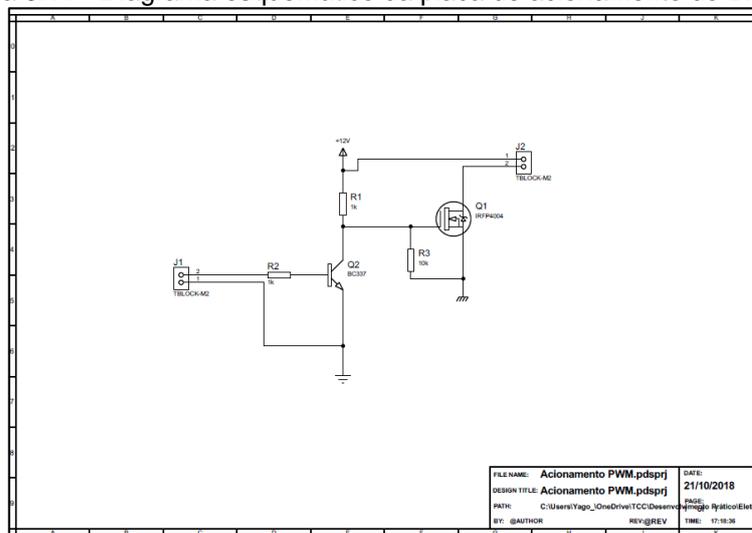
Fonte: Autoria própria, 2018

A placa principal foi sobreposta à placa auxiliar, sendo separadas por barra de pinos soldadas em cada uma das placas.

3.1.3 Placa de acionamento do biodisco

Dentre os atuadores presentes no projeto, destaca-se o motor empregado no biodisco, o qual necessita de controle tensão por PWM, com o intuito de controlar a velocidade do sistema de discos. para a execução do controle de tensão, confeccionou-se uma placa de circuito impresso, tendo como base o diagrama esquemático exposto na Figura 3.11.

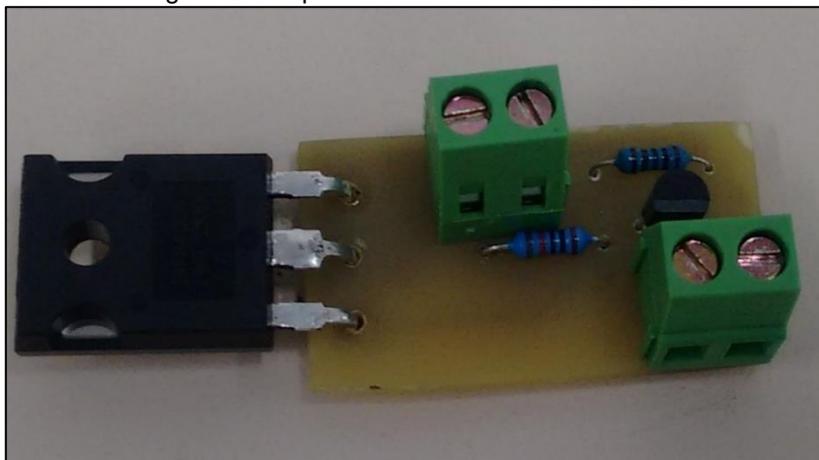
Figura 3.11 - Diagrama esquemático da placa de acionamento do Biodisco



Fonte: Autoria própria, 2018

Com base no diagrama esquemático, elaborou-se a placa de circuito impresso apresentado na Figura 3.12.

Figura 3.12 - placa de acionamento do biodisco



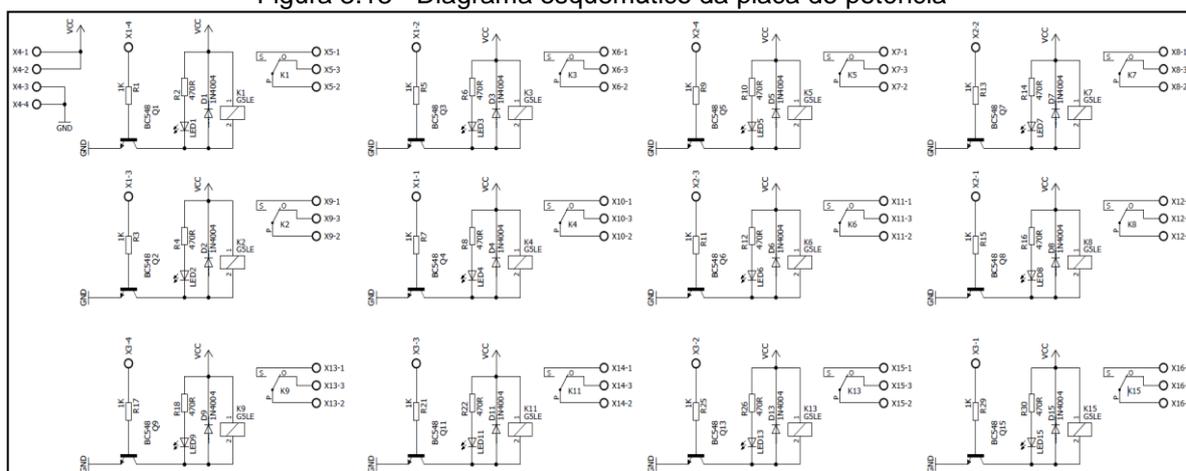
Fonte: Autoria própria, 2018

3.1.4 Placa de potência

Para complementar o conjunto de placas necessárias para o funcionamento do sistema, fez-se necessário o desenvolvimento da placa de potência, conforme o diagrama da Figura 3.13.

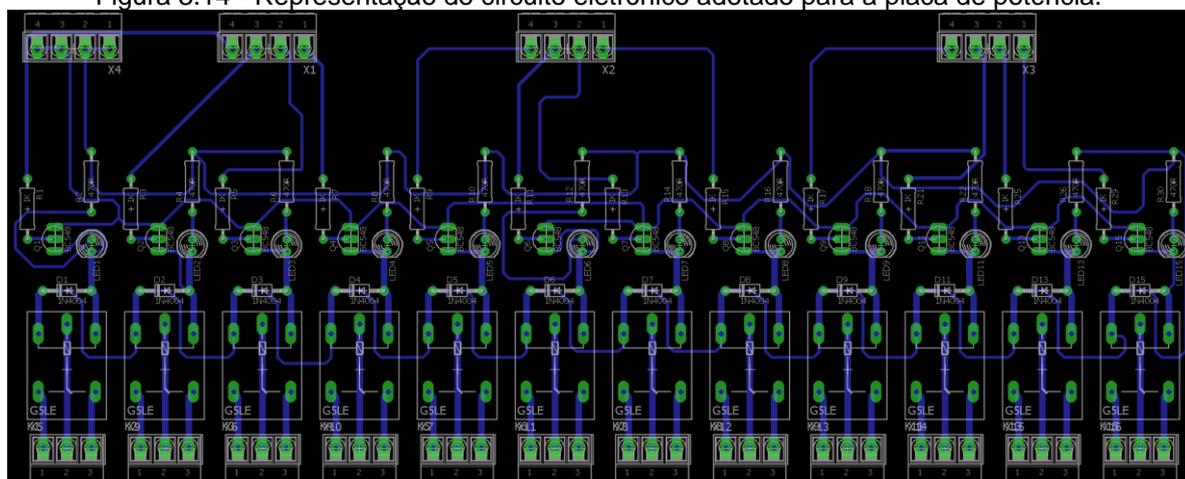
Essa PCI é responsável por realizar a interface entre os sinais eletrônicos enviados pelo microcontrolador e o acionamento dos dispositivos externos através de relés, que isolam as partes mencionadas anteriormente através do campo elétrico produzido pelo eletroímã, dessa forma caso haja alguma interferência nos atuadores ou no processador, a outra parte não será afetada diretamente.

Figura 3.13 - Diagrama esquemático da placa de potência



Fonte: Autoria própria, 2018

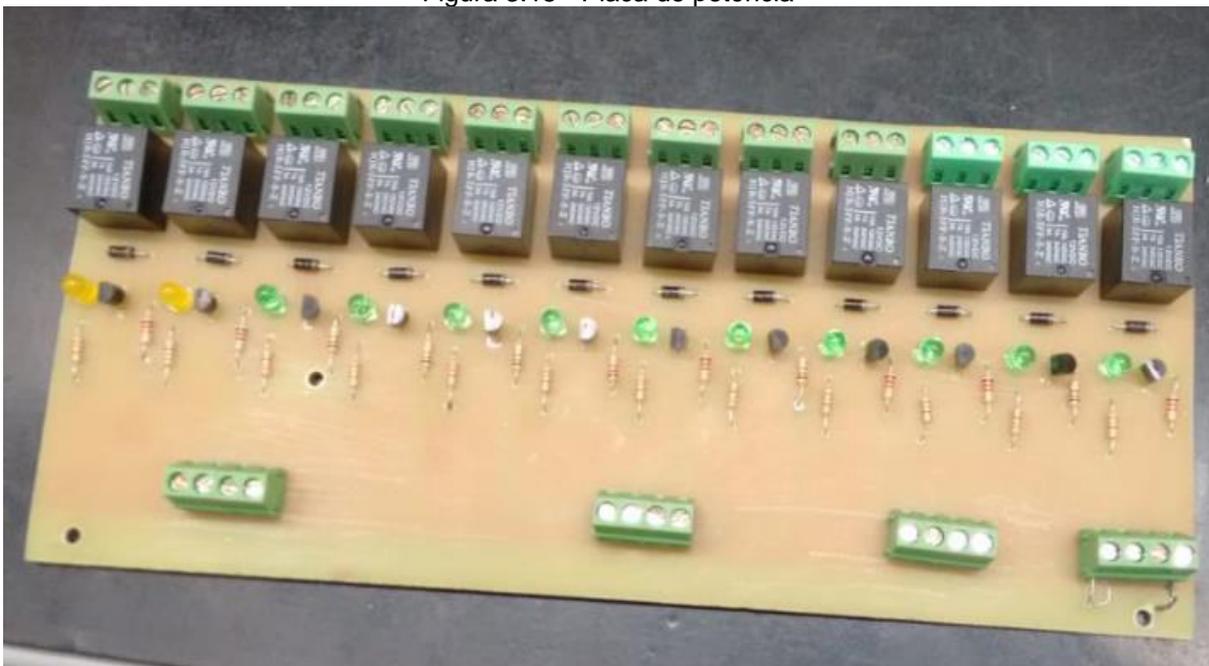
Figura 3.14 - Representação do circuito eletrônico adotado para a placa de potência.



Fonte: Autoria própria, 2018

Com base no diagrama representado acima, confeccionou-se a placa de circuito impresso exibida na figura 3.15.

Figura 3.15 - Placa de potência



Fonte: Autoria própria, 2018

3.2 Confeção das placas

O processo de confecção da placa protótipo inicia-se transferindo o *layout*, criado no *software* Proteus, para a placa. Adotou-se o método de transferência térmica. Após a transferência do *layout* para a placa, inicia-se o processo de corrosão. Nesse processo a placa é inserida em um recipiente contendo com uma solução de perclorato de ferro. A Figura 3.16 exhibe a corrosão.

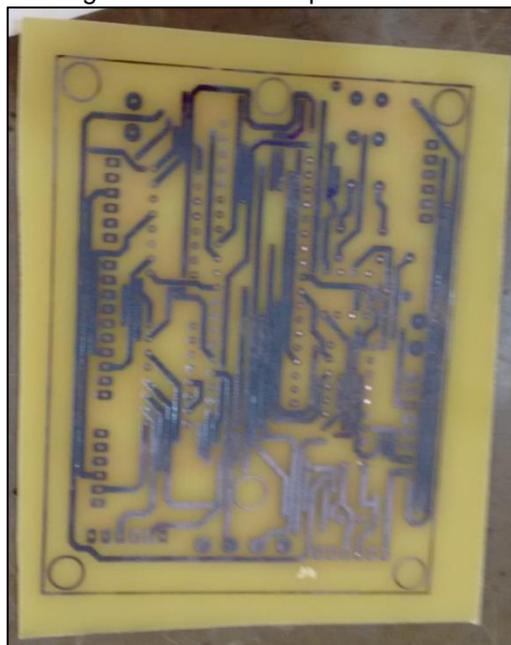
Figura 3.16 - Corrosão da placa



Fonte: Autoria própria, 2018

Após o processo de corrosão, toda a camada de cobre é eliminada da placa, restando apenas as áreas cobertas pela tinta, conforme a Figura 3.17.

Figura 3.17 - Placa após corrosão



Fonte: Autoria Própria, 2018

Em seguida, retirou-se a tinta lavando a placa com água, detergente e utilizando um pedaço de lã de aço. Após a remoção da tinta, houve a execução dos furos para fixação dos componentes e para os pontos de contato entre as duas faces da placa. A Figura 3.18 exibe a placa após o processo de furação.

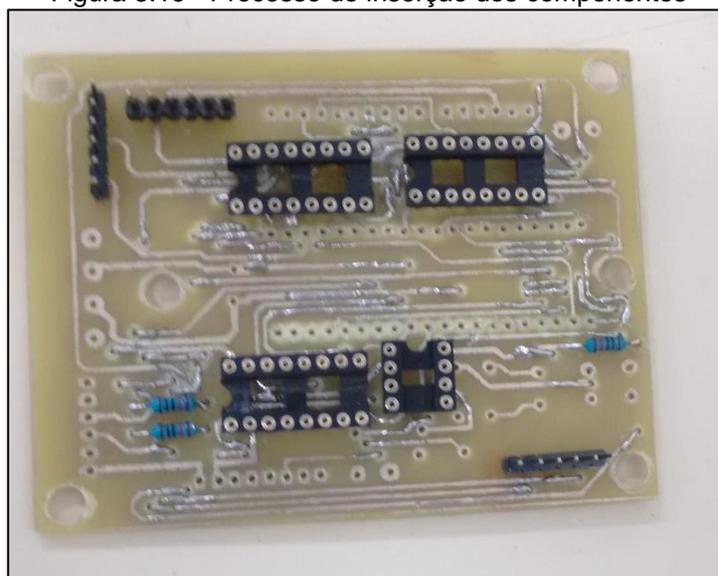
Figura 3.18 - Placa após a execução dos furos



Fonte: Autoria própria, 2018

Depois de executar os furos, realizou-se a inserção e solda dos *jumpers* nos furos de passagem, os quais possuem a função de ligar as trilhas da face superior com a face inferior da placa. Em seguida, os componentes foram inseridos na placa, conforme exposto na Figura 3.19.

Figura 3.19 - Processo de inserção dos componentes



Fonte: Autoria própria, 2018

Após a inserção dos componentes, foram realizados testes de acionamento dos multiplexadores, comunicação RS485 e do controle de tensão do motor por PWM.

Os testes dos componentes deram-se por meio de rotinas auxiliares realizados no programa do microcontrolador. Resumidamente, cada componente foi testado individualmente. Em seguida, houve a associação dos demais componentes até que obtivesse a associação de todos os componentes da placa. É possível verificar o código do projeto, assim como as rotinas de testes no Apêndice deste trabalho.

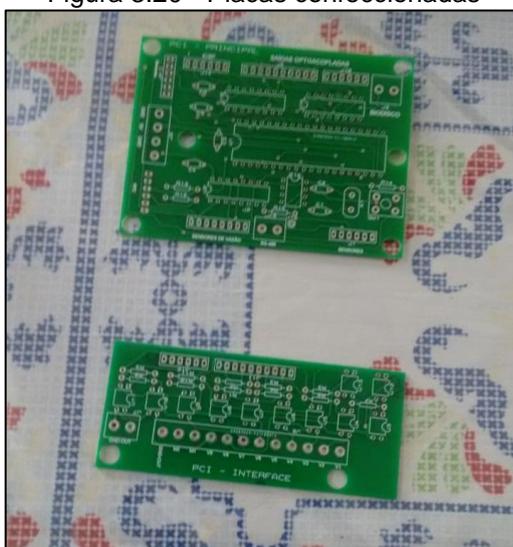
A realização dos testes na placa protótipo apresentou uma série de resultados positivos e negativos. Dentre os resultados negativos, detectamos alguns erros de *layout*, por exemplo, ausência da trilha que interliga o microcontrolador com a barra de pinos utilizada na gravação do dispositivo. Detectou-se, também, alguns erros nos encapsulamentos selecionados.

Com as devidas correções realizadas, foi contratado o serviço de uma empresa para confeccionar as placas com acabamento profissional, pois o *layout* da placa possui dezenas de furos de passagem que, ao serem realizados

manualmente, não apresentam um bom acabamento, além do fato que furos manuais são mais suscetíveis a mal contatos, influenciando no funcionamento adequado dos componentes.

A confecção da placa profissional é baseada no arquivo gerber, extensão aceita pelo *software* do equipamento utilizado para fabricação da placa, esse arquivo armazena as posições das trilhas, ilhas, furos de passagem e a dos adesivos identificadores. A Figura 3.20 exhibe as placas confeccionadas.

Figura 3.20 - Placas confeccionadas



Fonte: Autoria própria, 2018

Depois de confeccionada as placas, torna-se necessário apenas inserir os componentes. A Figura 3.21 apresenta a placa após a inserção dos devidos componentes.

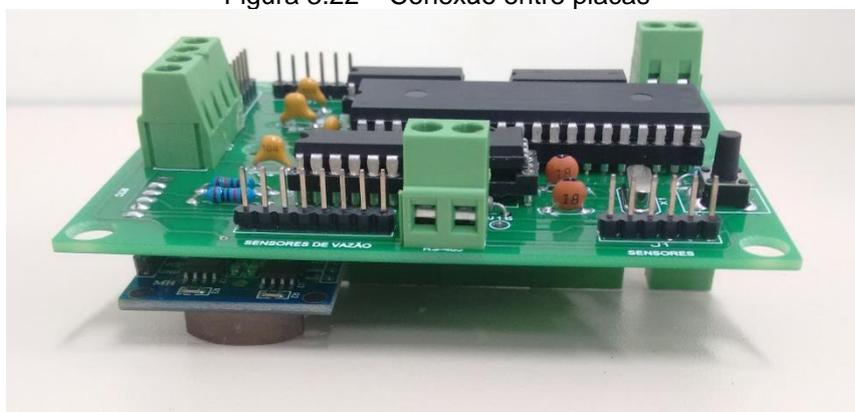
Figura 3.21 - Placas com os componentes inseridos



Fonte: Autoria própria, 2018

Após a inserção dos componentes, realizou-se a conexão entre as placas por meio de barra de pinos, conforme a Figura 3.22.

Figura 3.22 – Conexão entre placas



Fonte: Autoria própria, 2018

3.3 Montagem mecânica da estrutura

Na montagem desse projeto foi levado em consideração a instalação dos tanques de tratamento em uma posição onde a força da gravidade atuasse de modo a auxiliar a passagem do líquido de forma contínua. Por esse motivo, foi escolhida uma escada tipo “A” para que, utilizando seus degraus como apoio para prateleiras

feitas de madeira MDF, fossem instalados os tanques de tratamento previstos no projeto e, assim obter um processo contínuo de transferência das águas cinzas claras, aproveitando o efeito da gravidade, sem a necessidade de bombas de recalque. A Figura 3.23 exibe a escada utilizada.

Figura 3.23 - Escada utilizada



Fonte: Autoria própria, 2018

Em relação aos tanques de tratamento, em princípio, a concepção original previa construí-los em acrílico, mas devido ao alto preço desse material, optou-se por caixas plásticas organizadoras, que, além de serem mais baratas, após furadas com serra copo e colocadas as conexões de entrada e saída do líquido (adaptador de caixa d'água 20mm x ½ polegada), substituem, sem perda significativa, os tanques de acrílico. A Figura 3.24 apresentam os tanques plásticos.

Figura 3.24 - Tanques plásticos com adaptador de conexão



Fonte: Autoria própria, 2018

Para a conexão entre os tanques, foram utilizadas tubulações de $\frac{1}{2}$ polegada, conexões de 20 mm e joelhos 90 graus de PVC de 20 mm.. A figura 3.25 exibe uma das etapas que usam as conexões.

Figura 3.25 - Ligação entre tanques



Fonte: Autoria própria, 2018

As caixas plásticas por terem tampas, facilitaram a instalação dos sensores ultrassônicos, que nelas foram fixados. Os sensores de vazão e as válvulas

solenoides foram instalados nos pontos de saída de efluentes dos tanques, pois, com o efeito da gravidade, bastaria acionar esses dispositivos para que as etapas do processo de tratamento fossem realizadas de forma sucessiva.

Foram compradas as válvulas solenoides e os sensores de vazão com rosca de entrada e saída de ½ polegada, de forma a garantir uma melhor adaptação à tubulação escolhida. A Figura 3.26 apresenta o tipo de sensor de vazão e o de válvula solenoide utilizados.

Figura 3.26 - Sensor de vazão e válvula solenoide respectivamente



Fonte: Autoria própria, 2018

O projeto foi elaborado de forma que pudesse ser desmontável e facilitar seu transporte.

Uma etapa importante do processo é a filtragem do efluente, para esse fim foi adotado um filtro utilizado em bebedouros de água potável. O filtro escolhido foi o modelo ZUFLOW (ZF2211), que retém areia, argila, ferrugem e outros sedimentos em suspensão, reduz os excessos de cálcio, alumínio e substâncias orgânicas (algas mortas), isenta a água de sabor e odor desagradável através do uso de carvão ativo, elimina os sedimentos que causam o amarelamento em contato com tecidos de cor branca e também elimina a turbidez da água. A Figura 3.27 apresenta o filtro utilizado.

Figura 3.27 - Filtro ZF221



Fonte: <https://www.magazinegama.com.br>, 2018

Para a fase de desinfecção do efluente, foi prevista adição de hipoclorito de sódio, sendo utilizada uma quantidade suficiente para desinfecção do volume do tanque, dessa forma o conteúdo adicionado a cada novo volume será uma medida adequada para a quantidade padrão de tratamento. Adotou-se o uso de água sanitária como elemento desinfetante, com concentração de 20 g/L de hipoclorito de sódio.

O parâmetro de dosagem do hipoclorito de sódio adotado se baseia na tese da Dra. Simone May, já mencionada no documento, a qual propõe o uso de 8 g/L de hipoclorito para uma amostra de 160 L de água. Entretanto, como o volume máximo de trabalho está em torno de 6 L, torna-se necessário a dosagem de 320 mg/L de hipoclorito de sódio, resultando efetivamente em 16 mL de água sanitária.

Devido à instabilidade química da solução de hipoclorito de sódio, essa substância deverá permanecer armazenada em recipientes que inibam a presença de luz e a exposição a temperaturas elevadas. Entretanto, adotou-se o uso de um recipiente de 2 L utilizados em embalagens de sorvete, na cor preta, conforme a Figura 3.28.

Figura 3.28 - Tanque de armazenamento do hipoclorito de sódio



Fonte: Aatoria -própria, 2018

Um problema detectado, durante a realização do primeiro teste de transferência de efluentes entre os tanques, foi a não abertura das válvulas solenoides, após a energização de suas bobinas. Ao ser investigada a falha, verificou-se que essas válvulas operam com pressão mínima de 0,02 MPa (aproximadamente 2 metros de coluna d'água), tornando-a inadequada para emprego no protótipo, conforme havia sido planejado.

Após alguns testes, a solução para o problema foi a pressurização dos efluentes por meio de bombas submersas que proporcionaram pressão suficiente para abertura das válvulas solenoides. A Figura 3.29 exibe a instalação da bomba no tanque de armazenamento.

Figura 3.29 - Instalação da bomba no tanque de armazenamento



Fonte: Aatoria própria, 2018

Com a instalação das bombas, o problema foi parcialmente resolvido, pois passaram a ocorrer novas falhas de acionamento, apesar da pressurização do sistema. Na tentativa de encontrar o problema, desmontou-se uma válvula solenoide sendo constatado que a mola responsável por controlar a abertura e o fechamento da via de passagem de fluidos, exerce maior força do que o próprio campo magnético da bobina, mantendo a válvula bloqueada mesmo com a bobina energizada. O problema foi solucionado com a retirada da mola presente na válvula.

Para a realização da montagem, empregou-se ferramentas manuais como alicates, chaves de fenda, estilete; ferramentas elétricas como furadeiras, lixadeiras e ferros de solda. Materiais como fitas plásticas, fitas de vedação, adesivo plástico para PVC, serra copo e lixas d'água. Para os testes operacionais utilizamos uma fonte AC/DC com capacidade para 5 A de corrente, alicate amperímetro e cabos de teste com garras jacaré.

3.4 Construção do biodisco

A 2ª etapa do processo de tratamento de efluente é realizada pelo sistema denominado biodisco ou reator biológico de contato (RBC). Para construção desse sistema, em escala reduzida, foi utilizado como referência o trabalho apresentado por Aristizábal (2010), em sua tese de mestrado *Aplicación Y Evaluación De Un Reactor De Contactores Biológicos Rotativos (RBC O Biodiscos) A Escala Laboratorio Como Tratamiento De Los Lixiviados Generados En El Relleno Sanitario De La Pradera*.

No mencionado trabalho, Aristizábal analisou dados de outros estudos sobre reatores biológicos em pequena escala, reunindo as especificações técnicas comuns entre eles, que o auxiliaram na elaboração do projeto e construção do reator utilizado em sua pesquisa.

A partir das informações obtidas no estudo de referência, aplica-se um fator de redução das dimensões originais, de cerca de 50%, e algumas adaptações para construção do modelo a ser utilizado no presente trabalho.

3.4.1 Construção do tanque

Para confeccionar o tanque do biodisco, utiliza-se um tubo de PVC com diâmetro interno de 142,8 mm e 260 mm de comprimento, seccionado ao meio, transversalmente, sendo o fechamento lateral e suas divisões feitos com parte do mesmo material.

Procura-se ajustar a construção do tanque às medidas comerciais dos tubos de PVC, fato que também foi considerado para determinação das dimensões dos discos utilizados como suporte.

A Figura 3.30 apresenta o material empregado e a construção do tanque mencionado.

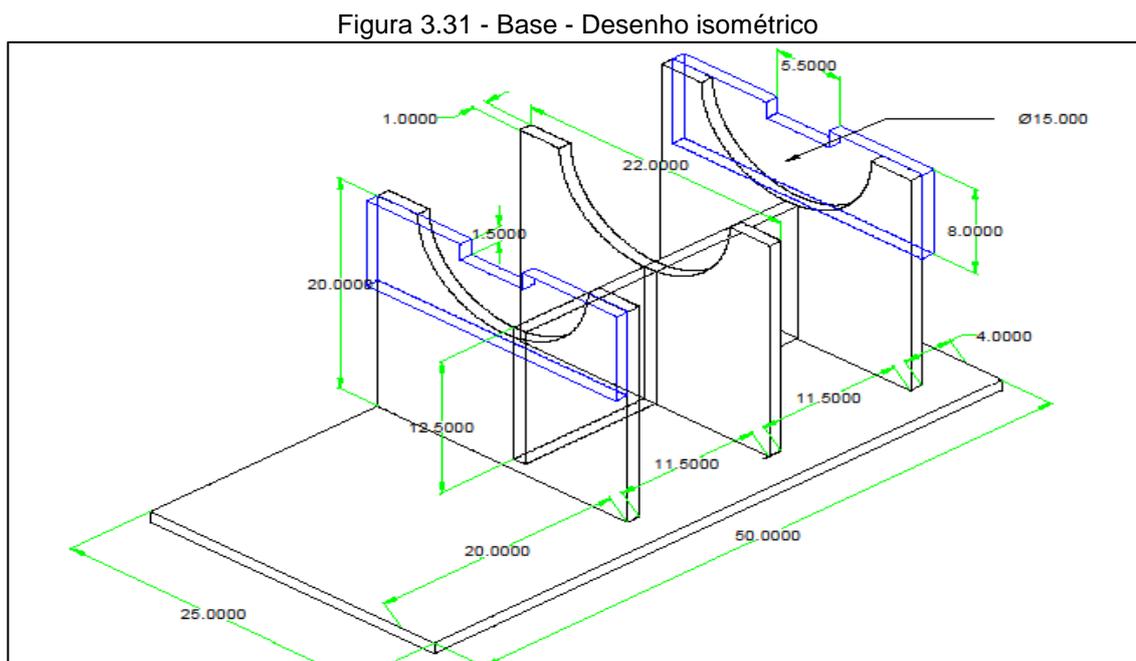
Figura 3.30 - Construção do tanque



Fonte: Autoria própria, 2018

3.4.2 Base do biodisco

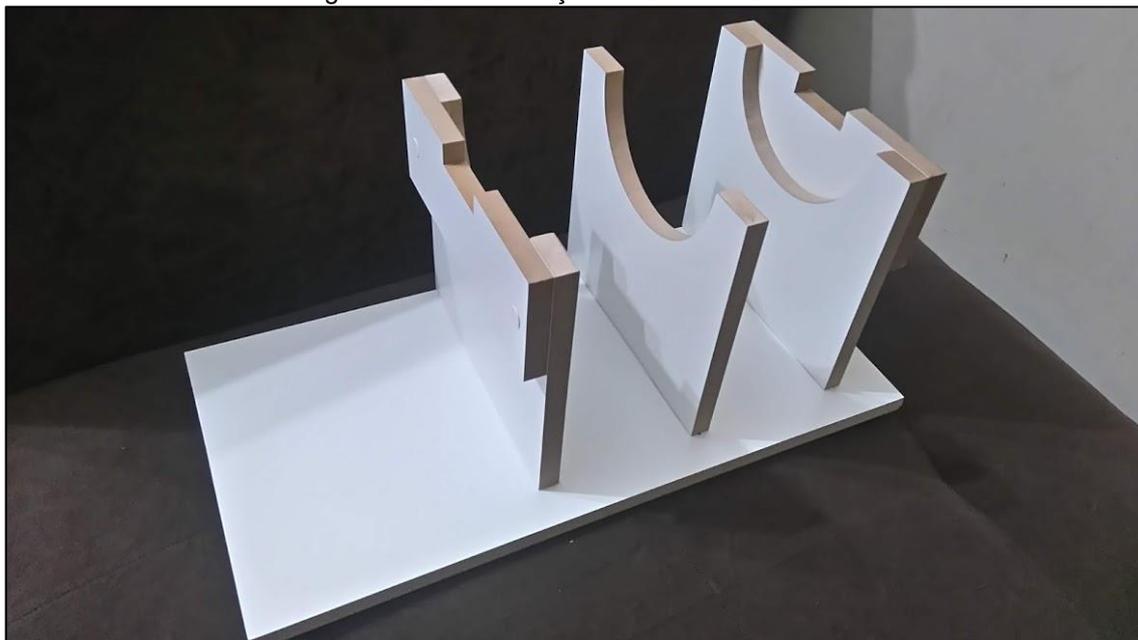
Como suporte para o tanque destinado a coletar a água liberada do primeiro do estágio de tratamento, é confeccionada uma base, em madeira, conforme desenho isométrico representado na Figura 3.31.



Fonte: Autoria própria, 2018

Na figura 3.32 é possível observar o aspecto final da base do biodisco.

Figura 3.32 - Construção da Base do Biodisco



Fonte: Autoria própria, 2018

3.4.3 Meio suporte

Como meio suporte para fixação das colônias das bactérias aeróbicas, foram confeccionados discos de poliestireno a partir de uma placa desse material com 1,96 mm de espessura e com uma de suas superfícies rugosa. A rugosidade superficial da placa amplia a área dos discos e facilita a fixação das colônias. A Figura 3.33 exibe os discos confeccionados.

Figura 3.33 - Confeção dos discos



Fonte: Autoria própria, 2018

Foram confeccionados 40 discos de poliestireno, com 5 polegadas de diâmetro, os quais foram fixados, aos pares em um eixo feito com uma barra metálica roscada, com 5/16" de diâmetro e 33 cm de comprimento, dispostos aos pares, de forma que as superfícies lisas ficassem voltadas umas para as outras e as faces rugosas voltadas para o exterior.

A barra metálica, utilizada como eixo, foi introduzida em uma mangueira plástica para protegê-la da umidade. A Figura 3.34 exibe os discos de poliestireno confeccionados para o uso no biodisco.

Figura 3.34 - Discos de poliestireno



Fonte: Autoria própria, 2018

3.4.4 Mecanização

O sistema de biodisco requer movimentação dos discos de forma constante e controlada; para proporcionar essa condição, foi utilizado um motor de corrente contínua, dotado de caixa de redução, com tensão de operação variável de 12 a 24 V, além de polias com 50 mm de diâmetro e mancais com rolamentos com 8 mm de diâmetro interno, conforme se verifica na Figura 3.35.

Figura 3.35 - Micro motor DC; polias e mancais com rolamentos



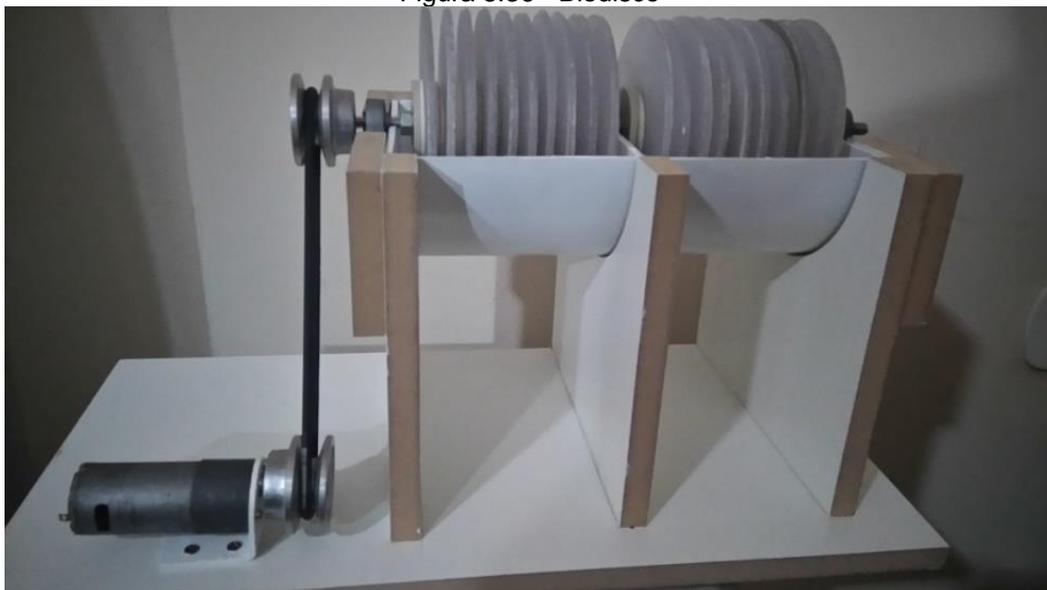
Fonte: Autoria própria, 2018

3.4.5 Montagem

Reunidas todas as peças, o dispositivo foi montado com dois compartimentos, para contenção do efluente a ser tratado, e 20 vinte pares de discos, separados por espaçadores (discos de 2 mm) confeccionados a partir de tubos de PVC.

Em razão do tempo necessário para realizar esta etapa do tratamento e, considerando o volume útil dos compartimentos do biodisco, optou-se, para fins de apresentação do projeto, pela passagem direta da água para a próxima fase do processo, sem que houvesse a necessária retenção do efluente nessa etapa, de modo permitir a formação do biofilme (colônia de bactérias) na superfície dos discos. A Figura 3.36 exhibe o protótipo do biodisco.

Figura 3.36 - Biodisco



Fonte: Autoria própria, 2018

A Figura 3.37 exibe o biodisco sem a instalação das tubulações de entrada e saída e efluentes.

Figura 3.37 - Detalhes dos discos e separadores



Fonte: Autoria própria, 2018

3.5 Comunicação serial e supervisorio

3.5.1 Comunicação serial

Para a realização da comunicação do projeto com o computador, elaborou-se um protocolo responsável pela identificação das informações enviadas do PIC através do meio físico RS485. O Quadro 3.6 exibe o protocolo adotado.

Quadro 3.6 - Protocolo de comunicação adotado

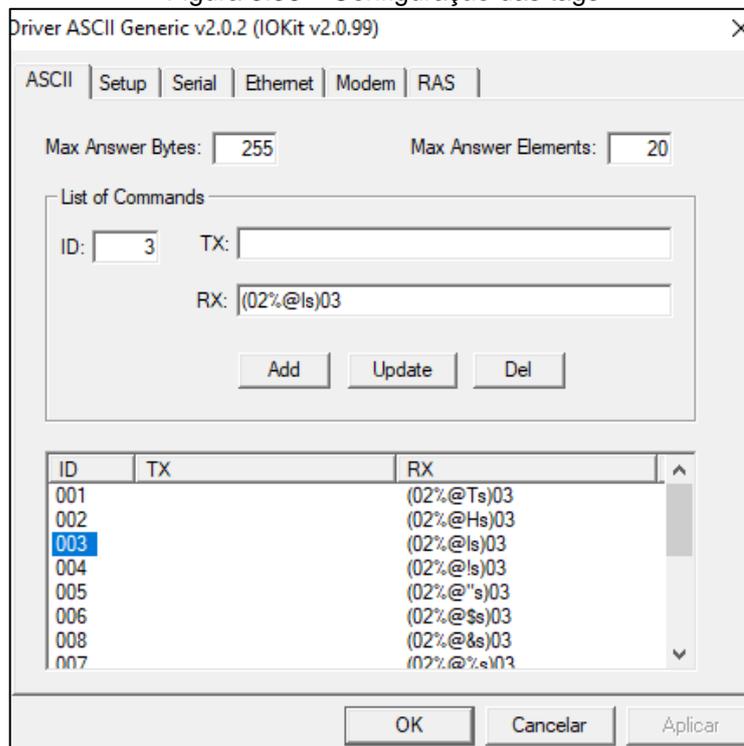
PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO		
Comando Responsável por iniciar a Comunicação		
<STX>"START"<ETX>		
<u>Comando em ASCII</u>	<02>"START"<03>	
Comando que determina a Operação		
<STX>"AUTO"<ETX> ou <STX>"MANU"<ETX>		
<u>Comando em ASCII</u>	<02>"AUTO"<03> ou <02>"MANU"<03>	
Símbolo	Descrição	Exemplo de String
TZ01	Sensor de Turbidez 1	<STX><T><Z> "Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><84><90>"Valor de Leitura"<03>
PH01	Sensor de PH 01	<STX><P><H><"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><80><72>"Valor de Leitura"<03>
PH02	Sensor de PH 02	<STX><P><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><80><>"Valor de Leitura"<03>
UM01	Sensor Ultrassom 01	<STX><U><I><"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><85><77><33>"Valor de Leitura"<03>
UM02	Sensor Ultrassom 02	<STX><U><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><85><34>"Valor de Leitura"<03>
UM03	Sensor Ultrassom 03	<STX><U><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><85><36>"Valor de Leitura"<03>
UM04	Sensor Ultrassom 04	<STX><U><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><85><37>"Valor de Leitura"<03>
UM05	Sensor Ultrassom 05	<STX><U><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><85><38>"Valor de Leitura"<03>
VZ01	SENSOR DE VAZÃO 1	<STX><V><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><86><39>"Valor de Leitura"<03>
VZ02	SENSOR DE VAZÃO 2	<STX><V><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><86><45>"Valor de Leitura"<03>
VZ03	SENSOR DE VAZÃO 3	<STX><V><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><86><41>"Valor de Leitura"<03>
VZ04	SENSOR DE VAZÃO 4	<STX><V><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><86><42>"Valor de Leitura"<03>
VZ05	SENSOR DE VAZÃO 5	<STX><V><I>"Valor de Leitura (String)"<ETX>
	<u>Comando em ASCII</u>	<02><86><43>"Valor de Leitura"<03>

Fonte: Autoria própria, 2018.

Com Protocolo definido, torna-se necessário configurar as TAG's no software Elipse Scada⁵. A comunicação baseia-se no driver ASCII, o qual permite o envio e recebimento de informações em caracteres baseados na tabela ASCII. A Figura 3.38 apresenta a relação das TAG's configuradas.

⁵ Software supervisorio criado pela Elipse Foundation

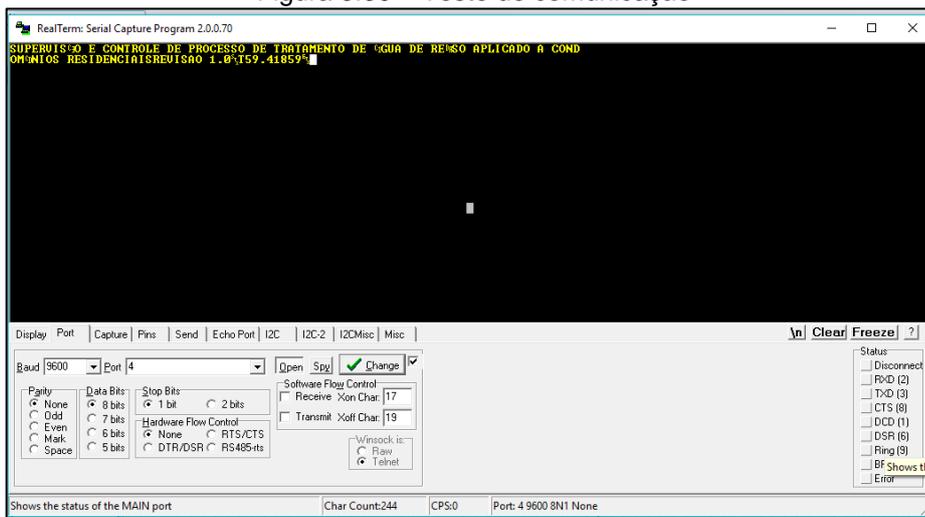
Figura 3.38 – Configuração das tags



Fonte: Autoria própria, 2018

Após a configuração das TAG's, realizou-se os testes de comunicação com a placa principal, utilizando o software monitorador de portas seriais denominado RealTerm. A Figura 3.39 exibe a execução dos testes.

Figura 3.39 – Teste de comunicação



Fonte: Autoria própria, 2018

É importante mencionar a utilização do conversor RS485/USB, responsável por converter as informações no padrão RS485 para o padrão USB. A Figura 3.40 exibe o conversor utilizado.

Figura 3.40 – Conversor USB RS485.



Fonte: Autoria própria, 2018

3.5.2 Supervisório

Conforme previsto no escopo do projeto, a interface para monitoramento do processo através de um sistema supervisório (SSC) foi desenvolvida através do software Elipse Scada.

A interface em questão consiste em três telas, cujo objetivo é representar o processo durante sua execução, facilitando a visualização remota dos dispositivos e seus acionamentos, assim como as informações por eles disponibilizadas.

Ao ser inicializado, o sistema exibe o menu de navegação entre as diferentes telas que o sistema dispõe, conforme é apresentado na figura 3.41.

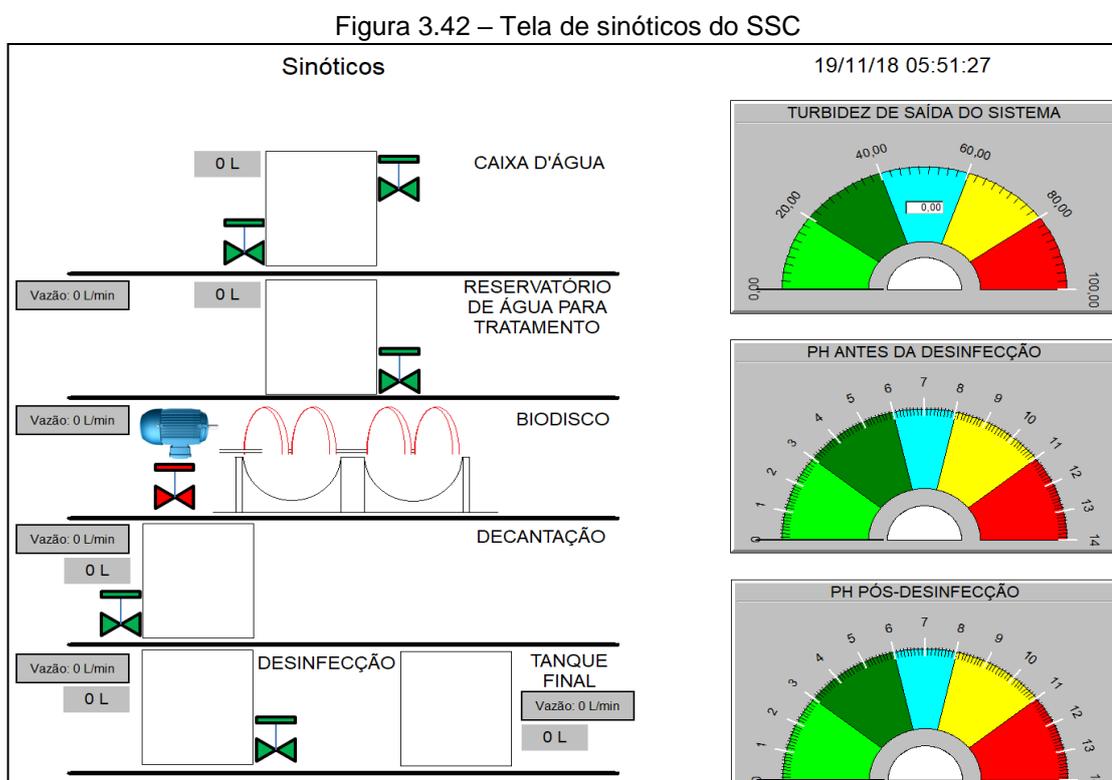
Figura 3.41 – Tela de menu do SSC



Fonte: Autoria própria, 2018

O sistema de supervisão é composto pelas seguintes telas: sinóticos, gráficos e relatórios.

Acessando a opção de sinóticos através do menu, apresenta-se a tela responsável por representar o funcionamento do processo, por meio do monitoramento dos sensores disponíveis, exibindo os níveis dos reservatórios, vazão presente na transição entre os recipientes, nível de pH e percentual de transparência da água. A figura 3.42 exibe a interface mencionada.

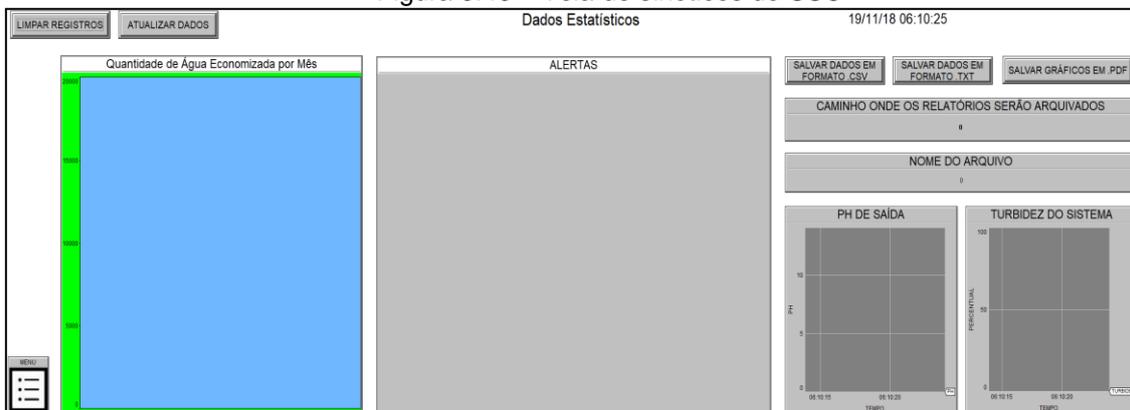


Fonte: Autoria própria, 2018

Através das opções de relatórios ou gráficos é possível acessar a tela de dados estatísticos, mencionada anteriormente. Nessa interface são disponibilizados os dados estatísticos do tratamento, assim como a quantidade de água economizada no mês.

Além de exibir as informações, é possível gerar relatórios dos dados em arquivos “.csv” (arquivo utilizado pelo software Excel) e “.txt” (arquivo de texto padrão do Windows) e imprimir os gráficos em arquivos no formato “.pdf” (formato portátil de documento), conforme exibido na figura 3.43.

Figura 3.43 – Tela de sinóticos do SSC



Fonte:

Autoria própria, 2018

Com a conclusão de todas as etapas expostas anteriormente, é possível verificar na Figura 3.44 o resultado final do protótipo.

Figura 3.44 – Protótipo montado



Autoria própria, 2018

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O problema da escassez de água doce no planeta é um fato que não pode ser ignorado. As recentes crises hídricas vividas no país revelam a urgente atenção que deve ser dada a essa problemática, além de apontarem para a necessidade, quase que imediata, de medidas que contribuam para o uso racional da água.

Muitas são as iniciativas que visam promover o uso sustentável da água. Dentre elas, pode-se destacar o reúso para fins não potáveis, prática que já vem sendo bem desenvolvida e empregada em vários países do mundo. Nesse contexto, a reutilização das chamadas águas cinzas claras, aquelas liberadas após o uso em chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas, apresenta um grande potencial de crescimento no meio urbano.

Devidamente tratada, a água de reúso pode ser reaproveitada no ambiente doméstico, em descargas sanitárias, limpeza de pisos e fachadas, jardinagem e paisagismo, reserva de incêndio, entre outros usos. No Brasil, já existem atualmente, empresas explorando esse nicho de mercado, oferecendo produtos e serviços que possibilitam o armazenamento e o reúso da água. Contudo, observa-se que o emprego de tal tecnologia nesse tipo de negócio ainda é bastante incipiente.

Diante dos aspectos elencados, foi proposto no presente trabalho a elaboração de um sistema para monitoramento e controle do processo de tratamento e utilização de águas cinzas claras em condomínios residenciais.

Para isso, previu-se a necessidade inicial de se definir um sistema de tratamento de efluentes que pudesse ser reproduzido em escala reduzida e utilizado como suporte para implementar os dispositivos de controle. Por meio de pesquisas bibliográficas, optou-se por um sistema de tratamento composto por cinco etapas: armazenamento e equalização; reator biológico de contato; decantação; filtração e desinfecção.

Uma preocupação constante durante a concepção do referido sistema de tratamento foi a de dimensioná-lo de forma a permitir que fossem utilizados materiais e equipamentos, cujas medidas estivessem dentro dos padrões comerciais e que fossem facilmente encontrados no mercado, reduzindo, assim, o tempo de confecção e os custos do projeto.

Originalmente, o sistema de tratamento em escala reduzida foi idealizado para funcionar com a utilização da pressão proporcionada pela altura em que ficariam dispostos os tanques contendo os efluentes a serem processados, de maneira que o transporte de líquido entre as etapas se desse pela ação da gravidade. No entanto, como o controle do fluxo era efetuado pelo fechamento e abertura de válvulas solenoides, cuja pressão mínima de trabalho era de cerca 2 m.c.a., isso não foi possível e, portanto, para superar esse percalço foi necessária a instalação de mini bombas de pressurização, em cada uma das etapas, para possibilitar o deslocamento do efluente por todo o processo de tratamento.

Além do problema de pressurização, também foram encontradas falhas no funcionamento das válvulas solenoides instaladas, que demandaram ajustes mecânicos imediatos, que, uma vez efetuados, permitiram o controle de fluxo pretendido. Porém, tais ajustes trouxeram limitações ao funcionamento adequado dessas válvulas, não inviabilizando, contudo, o uso desses dispositivos.

O desenvolvimento das etapas relativas ao controle eletrônico do sistema e à supervisão do processo foi executado sem grandes dificuldades, sendo a limitação de prazo um fator que, por vezes, orientou as escolhas adotadas, diante das várias alternativas técnicas possíveis para a realização da tarefa.

Analisando o sistema de supervisão e controle proposto, constata-se que sua principal vantagem é de permitir o acompanhamento e a análise das diversas variáveis envolvidas no tratamento da água de reúso, possibilitando que os responsáveis pela administração do processo tenham condições de quantificar o volume de água reaproveitada, o consumo de insumos empregados e a economia obtida com o uso desse sistema.

Um dos pontos que pode trazer alguma dificuldade para a implantação de um sistema de supervisão e controle, como este apresentado, reside inicialmente no investimento necessário para implantação do processo de tratamento em si, cuja amortização se dá ao longo de alguns anos, tendo o custo do aprimoramento proposto uma participação pequena no investimento inicial.

Outro aspecto a se destacar é que durante a elaboração do projeto, o mesmo permitiu que fossem aplicados, de forma integrada, conhecimentos aprendidos em diversas disciplinas do curso de Automação Industrial, além de possibilitar o exercício do trabalho em equipe, do senso de responsabilidade e do espírito colaborativo.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se a análise de viabilidade do aperfeiçoamento do sistema apresentado, de modo a permitir que, de maneira complementar à supervisão e ao controle, o sistema permita a correção do processo sem a necessidade de intervenção humana, proporcionando a possibilidade de reconfiguração de parâmetros e seu controle à distância.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60p.

BAZZARELA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. 2005. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BERTULUCCI, Cristiano. **Por que o RS485 é mais eficiente do que o RS232?** Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/rs485/>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

BRAGA, Newton C. **Como funcionam os relés de estado sólido (ART651)**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/4915-art651>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

BRAGA, Newton C. **Seleção de circuitos com acopladores ópticos (ART108)**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/771-selecao-de-circuitos-com-acopladores-opticos-art108.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

BRASIL, Alex N. **BOMBAS - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO**. In: BRASIL, Alex N.. **Máquinas Termohidráulicas de fluxo**. Itaúna: Universidade de Itaúna, 2010. Cap. 3. p. 62-90. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4015/capitulo3_bombas_classificacaoedescricao.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2018.

BROCKVELD JUNIOR, Sergio Luis. **Aula – medição de nível aula**. Santa Catarina: Instituto Federal, 2017. Disponível em: <<http://docente.ifsc.edu.br/sergio.brockveld/MaterialDidatico/Instrumentação/Aula - Medição de Nível.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

CASILLO, Danielle. **Automação e controle sistemas supervisórios**. Mossoró: Video, 2010. 32 slides, color. Disponível em: <[http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/166/arquivos/Automacao_e_Control_2010_2/Automação e Controle - Supervisorio.pdf](http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/166/arquivos/Automacao_e_Control_2010_2/Automação_e_Control_2010_2_Supervisorio.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2018.

CORDEIRO, Roberto Batista. **Custos e benefícios com o reúso da água em condomínios residenciais: um desenvolvimento sustentável**. 2009. 156p. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis e Financeiras) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2009.

COSTA E SILVA, CLAUDIO BARREIROS, 2004. **“Incerteza na medição de vazão: uma técnica simples, mas poderosa, para aumentar a produtividade, minimizar desperdícios e reduzir vazamentos para o meio ambiente”**, Petrobrás, boletim técnico.

COSTA, R. H. P. G. Água, matéria-prima primordial á vida. *In*: TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P.G. (Orgs) **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2007. Cap. 1, p. 1-12.

DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de engenharia ambiental**. 3. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2016.

DELMÉE G., Jean. **Manual de medição de vazão**. 3. ed. – 2003; Editora: Edgard Blucher Ltda.

DIAS, Diogo Lopes. **Conceito de Ph**. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/conceito-ph.htm>>. Acesso em 8 de abril de 2018.

ENASA ENGENHARIA (Org.). **Determinação da turbidez pelo método nefelométrico**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/determinacao-da-turbidez/>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H.; LEDIN, A. **A characteristics of grey wastewater**:. urban water, v. 4, n. 1, p. 58 - 104, 2002.

FREITAS, Aline Cristina Garcia de. **Água para Reúso Industrial: Revisão e Propostas para a Indústria**. 2016. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial, Centro Paula Souza Faculdade de Tecnologia de Franca “dr. Thomaz Novelino”, Franca, 2016. Disponível em: <<http://arquivos.biblioceteps.com.br/a/92942.pdf?v=201619070407>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

FRANÇA, Fernando A. **Instrumentação e medidas: grandezas mecânicas**. Campinas: Unicamp, 2007. 249 p. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Instrumentacao_Medidas_Grandezas_Mecanicas.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2018.

FERNANDES, Claudio Luis Magalhães et al. Sistema Supervisório. In: FERNANDES, Claudio Luis Magalhães et al. **Sistemas eletroeletrônicos industriais**. São Paulo: Senai, 2014. Cap. 8. p. 250-260. (Eletroeletrônica).

Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Imprensa Oficial do Estado, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2018.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.22, n.63, p. 131-158, jun. 2008.

Hirakawa, A. R.; Saraiva, A. M.; Cugnasca, C. E. **Autômatos adaptativos aplicados em automação e robótica**. Revista IEEE América Latina. Vol. 5, Num. 7. Novembro 2007.

INSTITUTO DE FISICA GLEB WATAGHIN (Brasil, Campinas). **Aula 5: Capacitância**. Campinas: Vídeo, 2014. 23 slides, color. Disponível em: <<http://midia.cmais.com.br/assets/file/original/bc19adc4984d1dd3d06412d78fe66d166e7c3514.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

INSTRUMENTS, Texas. **CD405xB CMOS Single 8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer With Logic-Level Conversion**. 2017. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4053b-mil.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2018.

JEFFERSON, et al. **Technologies for domestic wastewater recycling**. urban water. 1, p. 285-292, 1999.

LABORATÓRIO PROLAB. **Saiba como é o funcionamento do pHmetro**. Disponível em: <http://www.prolab.com.br/blog/saiba-como-e-o-funcionamento-phmetro/>. Acesso em: 8 de abril de 2018.

LAZZAROTTO, Paulo Ricardo Rodrigues. **Reúso de águas cinzas: implantação do sistema em prédio residencial**. 2013. 118p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013.

LEITE, Anderson Galdino; FERNANDES, Cláudio Luís Magalhães. Dispositivos eletropneumáticos e eletro-hidráulicos: Elementos de trabalho dos sistemas eletropneumáticos e eletro-hidráulicos. In: LEITE, Anderson Galdino; FERNANDES, Cláudio Luís Magalhães. **Sistemas eletroeletrônicos industriais: Instalação**. São Paulo: Senai-sp Editora, 2014. Cap. 6. p. 125-133. (Eletroeletrônica)

MANUAL DE NORMALIZAÇÃO DE PROJETO DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO - FATEC SBCAMPO. **Material didático para utilização nos projetos de trabalho de graduação dos cursos de tecnologia em automação industrial e informática**. São Bernardo do Campo: Fatec, 2017.

MARCH, J. G.; GUAL, M.; OROZCO, B. F. **Experiences on graywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain)**: desalination. v.164, n. 3, p. 241 - 247, 2004.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. 222p. Dissertação (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MENDONÇA, P. A. O. **Reúso de água em edifícios públicos. O caso da escola politécnica**. 2004. 162p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Universidade Federal da Bahia. Bahia, 2004.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5 ed. Porto Alegre. McGraw-Hill, 2015.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC.. **PIC18F2455/2550/4455/4550 data sheet**. EUA: Microchip, 2009. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F2455>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Conceitos gerais de comunicação serial**. Disponível em: <<http://digital.ni.com>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Water reuse**: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater; Washington, D.C., 2012.

NOLDE, E. **Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin**: urban water. v. 1, n. 4, p. 275 - 284, 1999.

PENIDO, Édilus de Carvalho Castro; TRINDADE, Ronaldo Silva. **Microcontroladores**. Ouro Preto: Instituto Federal de Educação, 2013. 80 p. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifmg/tecnico_automacao_industrial/microcontroladores.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2018.

PERFECT CONNECTION (Rio de Janeiro). **Princípios de funcionamento de um detector de gás**: Sensores de um detector de gás. Disponível em: <<http://acessopercon.com.br/percon/sensores-de-gas-principios-e-tecnologias/>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

PETRUZELLA, Frank D. Dispositivos de controle de saída. In: PETRUZELLA, Frank D. **Controladores lógicos programáveis**. 4. ed. Nova Iorque: Mc Graw Hill, 2014. Cap. 6. p. 107-108.

SEVERINO, A.J. **Metodologia do trabalho científico**. 24. Ed. São Paulo: Cortez, 2018.

SILVERA, Yuri Estevan. **Projeto, desenvolvimento e validação de uma unidade remota modbus microcontrolada**. 2013. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SMAR. Artigo: **Medição de vazão**. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index169.html>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

TECMUNDO. **O que é Código ASCII**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais**: Fundamentos e Aplicações. 4. ed. São Paulo: Érica, 2005. 223 p.

VIRTUOUS TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO. **Temperatura**. Disponível em: <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Termometria/temperatura.php>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

VISHAY SEMICONDUCTORS. **4N25, 4N26, 4N27, 4N28 Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection**. Disponível em: <<https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

Weber, F.; Raul. **Fundamentos de arquitetura de computadores**. Vol. 8 - 2009; Editora: Bookman. 2009.

GLOSSÁRIO

Coliformes Fecais - “Os coliformes fecais, subgrupo dos coliformes totais, são encontrados em grandes quantidades nos intestinos e nas fezes de humanos e em animais de sangue quente. A presença de coliforme fecais na água potável indica um maior risco, em comparação à presença de coliformes totais, de que organismos causadores de doenças também podem estar presentes. [...]” (METACALF e EDDY , 2015, p. 156).

Coliformes Totais - “O grupo coliforme de bactérias é comumente encontrado no solo ou na vegetação, e nos intestinos e nas fezes de humanos e de animais de sangue quente. De uma maneira geral, os coliformes são patogênicos. Quando os coliformes totais são detectados na água potável, a presença é considerada uma indicação de organismos patogênicos causadores de doenças estão potencialmente presentes. [...]” (METACALF e EDDY, 2015, p. 156).

Demanda Bioquímica de Oxigênio de Cinco Dias, a 20°C [DBO_{5,20}] - “Quantidade de oxigênio consumido para estabilizar bioquimicamente o material orgânico biodegradável contido no esgoto, sob condição aeróbia, no teste de incubação durante cinco dias, a 20°C.” (ABNT, NBR 13969:1997, p.03).

Demanda Química de Oxigênio, [DQO] - Quantidade de oxigênio consumida para oxidação da matéria orgânica contida no esgoto, estimada através da reação química, utilizando o dicromato de potássio como reagente, sob condição ácida e quente.” (ABNT, NBR 13969:1997, p.03).

Sólidos Suspensos Totais (SST) - “Parte dos ST retidos em um filtro com um tamanho de poro específico, medido após ter secado a uma temperatura determinada [105 °C].” (METACALF e EDDY , 2015, p. 73).

Sólidos Totais (ST) - “O resíduo remanescente após uma amostra de esgoto ter sido evaporada e secada a uma temperatura especificada [103 °C a 105 °C].” (METACALF e EDDY , 2015, p. 73).

Turbidez - “É uma medida das propriedades de reflexão de luz de uma solução contendo partículas suspensas e coloidais. [...]” (METACALF e EDDY, 2015, p. 83).

APÊNDICE – CÓDIGO FONTE DO PROJETO

```

/* ----- PROGRAMAÇÃO TCC - REV 1.0 -----

- CONTROLE DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA APLICADO A CONDOMINIOS RESIDENCIAIS -

AUTOR: Yago José Barros Caetano

DATA DE CRIAÇÃO: 17/11/2018 (REV 2.0)

///////////////////////////////// DESCRIÇÃO DAS REVISÕES //////////////////////////////////

- REV 1.0 --> 1º VERSÃO DO PROGRAMA, DESTINADO PARA A EXECUÇÃO DO CONTROLE
DO PROCESSO.
01/07/2018 a 07/07/2018 - ELABORAÇÃO E TESTE DOS CÓDIGOS DE
LEITURA DOS SENSORES ULTRASSÔNICOS
09/07/2018 - ELABORAÇÃO DO CÓDIGO DE CONTROLE BASE
12/10/2018 - INSERÇÃO DOS COMANDOS DE COMUNICAÇÃO RS485
///////////////////////////////// BIBLIOTECAS //////////////////////////////////

testes de leitura de sensor ultrasônico - adequar ao valor correto de leitura de acordo com as configurações de
frequencia */

#include <HCR04.h> /* biblioteca responsável pela leitura do sensor ultrasônico
Funções da biblioteca:
- Leitura do sensor --> HCSR04_Read()
- Inicialização da leitura --> HCSR04_Init(mode) */

#include <DS1307_I2C_lib.h> /* Biblioteca utilizada para realizar a leitura e controle
do RTC */

///////////////////////////////// DEFINIÇÃO DAS SAÍDAS //////////////////////////////////

#define SOLE PORTB.F4 /* Saída responsável por acionar a entrada do multiplexador
de controle das valvulas solenoides*/

#define V9 PORTD.F3 // Saída responsável por acionar a valvula solenoide V9
#define BOMB1 PORTD.F2 //Saída responsável por acionar a bomba 1 ( PROCESSO DE FILTRAGEM)
#define BOMB2 PORTA.F4 // Saída responsável por acionar a bomba 2 (MISTURADOR)
#define BIOD PORTC.F1 //Saída responsável por acionar o biodisco
#define O1 PORTE.F0
#define O2 PORTE.F1
#define O3 PORTE.F2 /*Saídas responsáveis por controlar o multiplexador dos sensores de vazão*/
#define STRB PORTD.F5 //Pino STROBE do Shift Register
#define CLK PORTD.F6 //Pino CLOCK do Shift Register

#define TRIG PORTB.F5 /*Saída responsável por acionar o trigger dos sensores
ultrassônicos */

#define Q1 PORTD.F0
#define Q2 PORTD.F1 /*Saídas responsáveis por controlar o multiplexador dos
sensores ultrasônicos ( O2" - O1") */
#define de PORTD.F4 // Habilita o MAX485 a enviar ou receber dados
//de HIGH -----> HABILITA O ENVIO; de LOW -----> HABILITA A RECEPÇÃO
///////////////////////////////// DEFINIÇÃO DAS ENTRADAS //////////////////////////////////

#define TURB PORTA.F0 //Sensor de Turbidez
#define PH1 PORTA.F1 //Sensor de PH1
#define PH2 PORTA.F2 //Sensor de PH2
#define VAZ PORTC.F2 //Sensores de Vazão
#define ECHO PORTB.F2 //Echo dos sensores ultrasônicos
#define HIP PORTA.F5 //SENSOR 'BOIA' RESERVATÓRIO DO HIPOCLORITO

/* FALTA ADICIONAR O SENSOR DE TEMPERATURA*/

```

```
////////////////////////////////// VARIÁVEIS UTILIZADAS //////////////////////////////////
```

```
int B,num,pulsos;
float vazao,Valor_PH1,Valor_PH2,TURBIDEZ,valor_turb,volume,volume_r,aux;
unsigned distancia;
unsigned niv_preset,nivel_min;
unsigned short duty;
bit f_rx,a_resp,tg1,controle_check,u_check;
char controle,dia,horas,minutos,dia_r,horas_r,minutos_r,tipo_inf,uart_rd,cont;
char mensagem[20],leitura[20],leitura1[20];
////////////////////////////////// DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS //////////////////////////////////
/*
```

distancia - Variável global responsável por armazenar o valor calculado em mm da distancia medida pelos sensores ultrassônicos.

vazao - Variável global do tipo Float, responsável por armazenar o valor da vazão.

niv_preset - Variável global responsável por armazenar o nível máximo dos tanques

nivel_min - Variável global responsável por armazenar o nível mínimo dos tanques

valor_PH1 - Variável global responsável por armazenar o valor em binário do PH da água

controle - Variável global do tipo char, responsável por armazenar um valor corresponde a ação a ser executada

--- onde:

(1) - executa o controle automático do processo

*/

```
////////////////////////////////// FLAGS UTILIZADAS //////////////////////////////////
```

```
bit etapa1,etapa2,etapa3,etapa4,etapa5,etapa6,etapa7,teste;
```

```
////////////////////////////////// SUBROTINAS //////////////////////////////////
```

```
void interrupt() //Subrotina de interrupções
{
  PORTC.F1 = 0x01;
  if(CCP1IE_bit)
  {
    if(CCP1IF)
    {
      pulsos++;
      CCP1IF_bit = 0;
    }
  }

  if(PIR1.RCIF) //INTERRUPÇÃO COMUNICAÇÃO RS485
  {
    if(a_resp)
    {
      UART1_Read_Text(leitura1,"<STX>",20);
      //uart_rd = UART1_Read();
      PIR1.RCIF = 0;
      a_resp = 0x00;
    }
    else
    {
      uart_rd = UART1_Read();
      //de = 1;
      //UART1_Write_Text("entrou na interrupcao");
      //UART1_Read_Text(leitura,"[STX]",20);
      //uart_rd = UART1_Read();
    }
  }
}
```

```

        PIR1.RCIF = 0;
    }
}

/*void checksum(char mensagem1[20])
{
    char i,j,k,l;

while(!f_rx)
{
    //aguarda chegar uma mensagem...
    if (controle_check)
    {

    }
    else
    {
        aux_check = strcmp(leitura1,mensagem1);
        if(aux_check == 0)
        {
            UART1_Write(2);
            UART1_Write_Text("OK");
            UART1_Write(3);
            a_resp = 0;
            f_rx = 1;
            aux_check = 1;
        }
        else
        {
            i++;
            if( i==255)
            {
                j++;
            }
            if(j==255)
            {
                k++;
            }
            if( k == 255)
            {
                l++;
            }
            if(l==20)
            {
                UART1_Write_Text("ERRO");
                a_resp = 0;
                leitura1[20] = "0";
                f_rx =1;
            }

        }
        //compara as strings
    }
}
}*/
/* definições: se tipo inf == a, envia string
genéricos, se tipo inf == b, envia valores relacionados
a leitura do sensor de TURBIDEZ, se função == c,
envia valores referente a leitura do sensor de PH,
se tipo inf == d, efetua o envio das informações relacionados
a leitura de sensores ultrassonicos. se tipo inf == e, efetua
o envio das informações do biodisco */
void comunicacao(char tipo_inf, char seletor,char mensagem[20])
{
    //strcpy(leitura1, " "); //apaga a string do checksum

```

```

//char start[6] = "START";
switch (tipo_inf)
{
case 'a':    //mensagens padrões
    de = 1;
    delay_ms(100);
    UART1_Write(2);
    UART1_Write_Text(mensagem);
    UART1_Write(3);
    delay_ms(100);
    de = 0;
    break;

case 'b':    //sensor de turbidez

    de = 1;
    delay_ms(100);
    UART1_Write(2);
    UART1_Write(84);
    UART1_Write_Text(mensagem);
    UART1_Write(3);
    delay_ms(100);
    de = 0;
    break;

case 'c':    //sensor de ph

    de = 1;
    delay_ms(100);
    if(seletor == 1) //sensor ph1
    {
        UART1_Write(2);
        UART1_Write(80);
        UART1_Write(72);
        UART1_Write_Text(mensagem);
        UART1_Write(3);
        delay_ms(100);
        de = 0;
        break;
    }
    if(seletor == 2) //sensor ph2
    {
        UART1_Write(2);
        UART1_Write(80);
        UART1_Write(73);
        UART1_Write_Text(mensagem);
        UART1_Write(3);
        delay_ms(100);
        de = 0;
        break;
    }
    else
    {
        break;
    }

case 'd':    //sensor ultrassônico
    de = 1;
    delay_ms(100);

    if(seletor == 1) //sensor 1
    {
        UART1_Write(2);
        UART1_Write(85);
        //UART1_Write(77);
        UART1_write(33);
    }
}

```

```
UART1_Write_Text(mensagem);
UART1_Write(3);
delay_ms(100);
de = 0;
break;
}
else
{
if(seletor == 2) //sensor 2
{
de = 1;
delay_ms(100);
UART1_Write(2);
UART1_Write(85);
// UART1_Write(77);
UART1_Write(34);
UART1_Write_Text(mensagem);
UART1_Write(3);
delay_ms(100);
de = 0;
break;
}
else
{
if(seletor == 3)//sensor 3
{
de = 1;
delay_ms(100);
UART1_Write(2);
UART1_Write(85);
// UART1_Write(77);
UART1_Write(36);
UART1_Write_Text(mensagem);
UART1_Write(3);
delay_ms(100);
de = 0;
break;
}
else
{
if(seletor == 4) // sensor 4
{
de = 1;
delay_ms(100);
UART1_Write(2);
UART1_Write(85);
// UART1_Write(77);
UART1_Write(37);
UART1_Write_Text(mensagem);
UART1_Write(3);
delay_ms(100);
de = 0;
break;
}
else
{
if(seletor == 5) //sensor 5
{
de = 1;
delay_ms(100);
UART1_Write(2);
UART1_Write(85);
// UART1_Write(77);
UART1_Write(38);
UART1_Write_Text(mensagem);
UART1_Write(3);
}
```

```
        delay_ms(100);
        de = 0;
        break;
    }
}
}
}
}
case 'e': // Biodisco
de = 1;
delay_ms(100);
UART1_Write(2);
UART1_Write(66);
UART1_Write(79);
UART1_Write_Text(mensagem);
UART1_Write(3);
delay_ms(100);
de = 0;
break;

case 'f': // sensor de vazão
if(seletor == 1) //sensor 1
{
    de = 1;
    delay_ms(100);
    UART1_Write(2);
    UART1_Write(86);
    UART1_Write(39);
    UART1_Write_Text(mensagem);
    UART1_Write(3);
    delay_ms(100);
    de = 0;
}
if(seletor == 2) //sensor 2
{
    de = 1;
    delay_ms(100);
    UART1_Write(2);
    UART1_Write(86);
    UART1_Write(44);
    UART1_Write_Text(mensagem);
    UART1_Write(3);
    delay_ms(100);
    de = 0;
}
if(seletor == 3) //sensor 3
{
    de = 1;
    delay_ms(100);
    UART1_Write(2);
    UART1_Write(86);
    UART1_Write(45);
    UART1_Write_Text(mensagem);
    UART1_Write(3);
    delay_ms(100);
    de = 0;
}
if(seletor == 4) //sensor 4
{
    de = 1;
    delay_ms(100);
    UART1_Write(2);
    UART1_Write(86);
    UART1_Write(42);
    UART1_Write_Text(mensagem);
```

```

        UART1_Write(3);
        delay_ms(100);
        de = 0;
    }
    if(seletor == 5) //sensor 5
    {
        de = 1;
        delay_ms(100);
        UART1_Write(2);
        UART1_Write(86);
        UART1_Write(43);
        UART1_Write_Text(mensagem);
        UART1_Write(3);
        delay_ms(100);
        de = 0;
    }
    break;

default:
    de = 1;
    delay_ms(100);
    UART1_Write_Text("comando desconhecido !");
    delay_ms (100);
    return;

    break;
}
}
}
void leitura_ultrasson() //Subrotina de leitura dos sensores ultrassônicos
{
    distancia = HCSR04_Read();
    aux = distancia;
    //INTToStr(distancia,leitura);          //leitura vazão
    //comunicacao('c',1,leitura);
    volume = (((190-aux)/10)*20*26.5)/1000);
    delay_ms(100);
}
void leitura_vazao()
{
    pulsos = 0x00;
    CCP1IE_bit = 0x01; //Habilita interrupção pelo modulo CCP
    delay_ms(500);     //original 1000
    CCP1IE_bit = 0x00; //Desabilita interrupção pelo modulo CCP
    vazao = pulsos/4;  // original : 1/8
}
void solenoides(char id)
{
    char end;
    switch(id)
    {
        case 1:
            end = 1;
            break;

        case 2:
            end = 0x02;
            break;

        case 3:
            end = 0x04;
            break;

        case 4:

```

```
        end = 0x08;
        break;

    case 5:
        end = 0x10;
        break;

    case 6:
        end = 0x20;
        break;

    case 7:
        end = 0x40;
        break;

    case 8:
        end = 0x80;
        break;
    case 9:
        end = 0x81;
        break;

    default:
        end = 0;
        break;
}
SOLE = end.F0;
delay_ms(10);
CLK = 1;
delay_ms(10);
CLK = 0;
SOLE = end.F1;
delay_ms(10);
CLK = 1;
delay_ms(10);
CLK = 0;
SOLE = end.F2;
delay_ms(10);
CLK = 1;
delay_ms(10);
CLK = 0;
SOLE = end.F3;
delay_ms(10);
CLK = 1;
delay_ms(10);
CLK = 0;
SOLE = end.F4;
delay_ms(10);
CLK = 1;
delay_ms(10);
CLK = 0;
SOLE = end.F5;
delay_ms(10);
CLK = 1;
delay_ms(10);
CLK = 0;
SOLE = end.F6;
delay_ms(10);
CLK = 1;
delay_ms(10);
CLK = 0;
SOLE = end.F7;
delay_ms(10);
CLK = 1;
```

```

delay_ms(10);
CLK = 0;
STRB = 1;
delay_ms(10);
STRB = 0;
}

void leitura_ph(char i)
{
switch(i)
{
case 1:
if(ADC_Read(1) < 524)
{
Valor_PH1 = ( 7.00 +((524 - ADC_Read(1))/(37)));
}
if(ADC_Read(1) > 524)
{
Valor_PH1 = ( 7.00 -((ADC_Read(1) - 524)/(37)));
}
FloatToStr(Valor_PH1,leitura); //leitura vazão
comunicacao('c',1,leitura);
delay_ms(100);
break;

case 2:
if(ADC_Read(2) < 512)
{
Valor_PH2 = ( 7.00 +((512 - ADC_Read(2))/(34)));
}
if(ADC_Read(2) > 512)
{
Valor_PH2 = ( 7.00 -((ADC_Read(2) - 512)/(34)));
}
FloatToStr(Valor_PH2,leitura); //leitura vazão
comunicacao('c',2,leitura);
delay_ms(100);
break;

default:
break;
}
}

//////////////////////////////////// ROTINA PRINCIPAL //////////////////////////////////////

void main() //CALCULO DO PERIODO DO TM2 = (PR2+1)*Ciclo de Máquina * Prescaler == 1,2Khz
{
char i;
INTCON = 0xC0; //Habilita interrupções globais e de periféricos
CMCON = 0x07; //Desabilita as comparações
CCP1CON = 0x05; // Habilita módulo CCP1 para captura de borda de subida

ADCON1 = 0x0A; /* Desabilitar a leitura analógica do PORTB, mantendo a Leitura
no PORTA, seleciona VDD e VSS como referencia do conversor */
T1CON = 0x21; // Configura o Timer 1
TRISA = 0xEF; // Configura todos os pinos do PORTA como entradas , com excessão de RA4
TRISB = 0x0F; // Configura todos os pinos do PORTB
TRISC = 0xBD; /* Configura todos os pinos do PORTC como entradas, com excessão
//de RC1 e RC6 */
TRISD = 0x00; // Configura todos os pinos do PORTD como saídas
TRISE = 0xF8; // Configura o PORTE
HCSR04_Init(1); // Inicializa a biblioteca HCR04
Delay_ms(100); // Delay de 100ms
I2C1_Init(100000); //inicia I2C c/ freq 100kHz
delay_ms(100);
UART1_Init(9600);
}

```

```

    PIE1.RCIE = 1;    //HABILITA INTERRUPTÃO PELA UART
    ADC_Init();
    etapa1,etapa2,etapa3,etapa4,etapa5 = 0; //zera as flags
    de = 1;
    UART1_Write_Text("SUPERVISÃO E CONTROLE DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE REÚSO
    APLICADO A CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS");
    UART1_Write_Text("REVISAO 1.0");
    delay_ms(100);
    de = 0;
    PR2 = 0xFF;      //configura PR2 com 255
    CCPR2L = 127;
    T2CON = 0x07;    // Configura Timer 2 com prescaler 1:16
    CCP2CON = 0x0C; //Habilita módulo CCP2 para PWM
    //solenoides(9);
    //PWM2_Init(5000);
    PIR1.RCIF = 0;
    a_resp = 0;
    etapa1 = 0;
    etapa2 = 0;
    etapa3 = 0;
    etapa4 = 0;
    etapa5 = 0;
    etapa6 = 0;
    // uart_rd = 0;
    T2CON.F2 = 1;    //Habilita Timer 2
    CCPR2L = 255;    //define duty cycle em 50%
    controle = 1;
    solenoides(0);
    BOMB1 = 0;
    BOMB2 = 0;
    de = 0;

while(1)//loop infinito
{
    if(uart_rd == 's')
    {
        controle = 1;
    }
    else
    {

        switch(controle)
        {
            case 1:
                de = 1;
                delay_ms(100);
                UART1_Write_Text("xxxetapa 1");
                delay_ms(100);
                de = 0;
                etapa1 = 1; //seta flag etapa1
                break;

            case 2: //CONDIÇÕES DE TESTES///// TESTES DO RTC ////////////
                BOMB1 = 0;
                BOMB2 = 0;
                solenoides(5);
                /* delay_ms(3000);
                solenoides(6);
                delay_ms(3000);
                solenoides(5);
                delay_ms(3000);
                solenoides(4);
                delay_ms(3000);
                solenoides(2);
                delay_ms(3000);
                solenoides(1);

```

```

        delay_ms(3000);
        // BOMB1 = 1;
        //delay_ms(3000);
        /* BOMB1 = 0;
        BOMB2 = 1;
        delay_ms(3000);
        BOMB2 = 0;
        O1 = 1;
        O2 = 1;
        O3 = 1;
        */

    break;

default:

    break;
}

while (etapa1) //TANQUE DE ARMAZENAGEM
{
    Q1 = 0;
    Q2 = 0;
    delay_ms(1000);
    leitura_ultrasson();
    delay_ms(1000);
    controle = 0;
    niv_preset = 6; //direciona o multiplexador (tanque 1)
    leitura_ultrasson (); // leitura do sensor ultrassonico
    FloatToStr(volume, leitura);
    comunicacao('d',1,leitura);
    if ( volume >= niv_preset) // se o tanque estiver cheio
    {
        solenoides(0); //desliga solenoides
        etapa2 = 1; // seta flag 2
        etapa1 = 0; // reseta a flag 1
        etapa3 = 0;
        etapa4 = 0;
        etapa5 = 0;
        etapa6 = 0;
    }
    else //senão
    {
        solenoides(9); // liga solenoide v1

        O1 = 0;
        O2 = 0;
        O3 = 0; //direciona o multiplexador vazão
        leitura_vazao();
        FloatToStr(vazao,leitura); //leitura vazão
        comunicacao('f',1,leitura);
    }
}
dia_r = read_I2C_DS1307_Dia(); //salva o dia atual;
horas_r = read_I2C_DS1307_Horas(); //salva a hora atual;
minutos_r = read_I2C_DS1307_segundos(); //salva os minutos;
/// TANQUE 1 CHEIO ///
while (etapa2)
{
    de = 1;
    UART1_Write_Text("etapa 2");
    de = 0;
    dia = read_I2C_DS1307_Dia(); //efetua a leitura do dia
    horas = read_I2C_DS1307_Horas(); //efetua a leitura das horas
    minutos = read_I2C_DS1307_segundos(); // efetua a leitura dos minutos
}

```

```

//if((horas - horas_r)> 0)          //adequação para horarios depois da meia noite
//{
// horas = horas+24;                //soma 24 ao valor de horas atual
//}
/* if(((horas - horas_r) == 12) && (minutos - minutos_r) == 0) //deu as 12hrs máximas?
//{
solenoides(7); //Ativa valvula solenoide para descarte de água
etapa2 = 0; //reseta a flag 2
/* INSERIR FLAG DE ERRO//////////////////////////////////// */
//}

//else
//{
de = 1;
UART1_Write_Text("armazenamento");
de = 0;
nivel_min = 3;
Q1 = 0;
Q2 = 0;          //direciona o multiplexador sens ultrass (tanque 1)
distancia = 0;
leitura_ultrasson ();
volume_r = volume;
FloatToStr(volume_r, leitura);
de = 1;
UART1_Write_Text(leitura);
de = 0;
de = 1;
UART1_Write_Text(" -- volume atualizado :");
de = 0;

//do          //faça
//{
leitura_ultrasson (); // leitura do sensor ultrassonico do tanque de armazenamento
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',1,leitura);
solenoides(6);          //liga solenoide
O1 = 1;          //direciona multiplexador vazão
O2 = 0;
O3 = 0;          //direciona multiplexador vazão
leitura_vazao();
FloatToStr(vazao,leitura); //leitura vazão
comunicacao('f',2,leitura);
UART1_Write_Text(leitura);
de = 0;
delay_ms(4000);
solenoides(0);
//}
while( volume >= (volume_r - 0.25) )
{ //enquanto o tanque não estiver vazio dosagem de 2L para biodisco
leitura_ultrasson (); // leitura do sensor ultrassonico do tanque de armazenamento
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',1,leitura);
etapa3 = 0;          //seta flag
etapa2 = 0;          //reseta flag
etapa1 = 0;
etapa4 = 0;
etapa5 = 0;
etapa6 = 0;
}
etapa3 = 1;          //seta flag
etapa2 = 0;          //reseta flag
etapa1 = 0;
etapa4 = 0;
etapa5 = 0;

```

```

etapa6 = 0;
/*solenoides(5); //retirar daqui para baixo
UART1_Write_Text("FIM ARMAZENAMENTO");
controle = 0;
Q1 = 1; //RETIRAR
Q2= 0;
leitura_ultrasson (); // leitura do sensor ultrassonico do tanque de armazenamento
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',2,leitura);
delay_ms(1000);
leitura_ultrasson (); // leitura do sensor ultrassonico do tanque de armazenamento
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',2,leitura);
delay_ms(1000);
leitura_ultrasson (); // leitura do sensor ultrassonico do tanque de armazenamento
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',2,leitura);
solenoides(0); */
//}
}
}
write_I2C_DS1307_Minutos(0);
write_I2C_DS1307_Segundos(0);
dia_r = read_I2C_DS1307_Dia(); //salva o dia atual;
horas_r = read_I2C_DS1307_Horas(); //salva a hora atual;
minutos_r = read_I2C_DS1307_segundos(); //salva os minutos atuais;

while(etapa3) //BIODISCO
{
de = 1;
UART1_Write_Text("biodisco");
de = 0;
Q1 = 1; //direciona Multiplex Sens Ultrass
Q2 = 0;
delay_ms(500); //zera o valor de distancia;
leitura_ultrasson();
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',2,leitura);
delay_ms(200);
Q1 = 0; //direciona Multiplex Sens Ultrass
Q2 = 0;

delay_ms(200); //zera o valor de distancia;
leitura_ultrasson();
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',1,leitura);
delay_ms(100);
dia = read_I2C_DS1307_Dia(); //efetua a leitura do dia
horas = read_I2C_DS1307_Horas(); //efetua a leitura das horas
minutos = read_I2C_DS1307_segundos(); // efetua a leitura dos minutos
T2CON.F2 = 1; //Habilita Timer 2
CCPR2L = 170;
nivel_min = 3; //define duty cycle em 50%
/* if((horas - horas_r)> 0) //adequação para horarios depois da meia noite
{
horas = horas+24; //soma 24 ao valor de horas atual
} */
if(((minutos - minutos_r) == 30))
// atingiu o tempo de espera do biodisco? */
{
CCPR2L = 255; //desabilita o PWM
Q1 = 1; //direciona Multiplex Sens Ultrass
Q2 = 0;
distancia = 0;
}
}
}

```

```

delay_ms(500);           //zera o valor de distancia;
leitura_ultrasson();
volume_r = volume;

//do                     //faça..
//{
solenoides(5); //aciona solenoide
leitura_ultrasson(); //efetua a leitura do sensor ultrassonico
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',2,leitura);
delay_ms(7000);

//direciona multiplex valv solenoide
//}
//while(volume <= (volume_r + 0.35) ); //enquanto o tanque 2 não estiver cheio
//delay_ms(500);
leitura_ultrasson(); //efetua a leitura do sensor ultrassonico
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',2,leitura);
//if(volume <= (volume_r + 0.50))
de = 1;
UART1_Write_Text("fim bio");
de = 0;
solenoides(0);
Q1 = 0; //Lê O PRIMEIRO TANQUE
Q2 = 0;
leitura_ultrasson();
if(volume <= nivel_min) //o tanque anterior está vazio?
{
    etapa4 = 1; //seta flag 4
    etapa3 = 0; //reseta flag 3
    etapa2 = 0;
    etapa1 = 0;
    etapa5 = 0;
    etapa6 = 0;
    etapa7 = 0;
}
else
{
    etapa2 = 1; //volta para o descarte de água para biodisco
    etapa3 = 0;
    etapa1 = 0;
    etapa4 = 0;
    etapa5 = 0;
    etapa6 = 0;
    etapa7 = 0;
    write_I2C_DS1307_Minutos(0);
    write_I2C_DS1307_Segundos(0);
    minutos_r = read_I2C_DS1307_segundos();
}
}
else //senão
{
    solenoides(0);
    // PWM2_Start();
    // PWM2_Set_Duty(100);
}
}
write_I2C_DS1307_Minutos(0);
write_I2C_DS1307_Segundos(0);
dia_r = read_I2C_DS1307_Dia(); //salva o dia atual;
horas_r = read_I2C_DS1307_Horas(); //salva a hora atual;
minutos_r = read_I2C_DS1307_segundos(); //salva os minutos atuais;

```

```

while(etapa4) // DECANTAÇÃO
{
de = 1;
UART1_Write_Text("decantacao");
de = 0;
dia = read_I2C_DS1307_Dia(); //efetua a leitura do dia
horas = read_I2C_DS1307_Horas(); //efetua a leitura das horas
minutos = read_I2C_DS1307_segundos(); // efetua a leitura dos minutos

    if((horas - horas_r)> 0)          //adequação para horarios depois da meia noite
    {
        horas = horas+24;          //soma 24 ao valor de horas atual
    }

if((minutos - minutos_r) == 15)
{ //atingiu o tempo de decantação?
    nivel_min = 3;
    Q2 = 1;          //direciona Multiplex sens Ultrassonico (tanque 3)
    Q1 = 0;
    leitura_ultrasson();          //efetua a leitura do sensor ultrassonico
    FloatToStr(volume, leitura);
    comunicacao('d',3,leitura);
    if(volume <= nivel_min)      //tanque está VAZIO?
    {
        distancia = 0;          //zera o valor da distancia
        Q1 = 1;          //direciona Multiplex Sens Ultrass
        Q2 = 0;          //direciona Multiplex Sens Ultrass
        nivel_min = 2;
        do                //faça
        {

            leitura_ultrasson();          //lê o sensor ultrassonico
            FloatToStr(volume, leitura);
            comunicacao('d',2,leitura);
            solenoides(4);          //liga valvula solenoide
            O2 = 1;          //direciona multiplex sens vazão
            O1 = 0;
            O3 = 0;
            leitura_vazao();
            FloatToStr(vazao,leitura);          //leitura vazão
            comunicacao('f',3,leitura); //lê o sensor de vazão
            //BOMB1 = 1;          //liga a bomba
        }
        while(volume >= nivel_min); //enquanto o tanque não está vazio
        solenoides(0);          //desliga a solenoide
        O1 = 0;
        O2 = 0;
        O3 = 0;          //direciona multiplex sens vazão
        etapa5 = 1;          //seta flag5
        etapa4 = 0;
        etapa2 = 0;
        etapa3 = 0;
        etapa1 = 0;
        etapa6 = 0;
        etapa7 = 0;          //reseta flag4
    }
    else
    {
        solenoides(0);          //desliga a solenoide
        O1,O2,O3 = 0;          //direciona multiplex sens vazão
    }
}
else
{
    solenoides(0);          //desliga a solenoide
}
}

```

```

    O1,O2,O3 = 0;           //direciona multiplex sens vazão
  }
}
write_I2C_DS1307_Minutos(0);
write_I2C_DS1307_Segundos(0);
dia_r = read_I2C_DS1307_Dia(); //salva o dia atual;
horas_r = read_I2C_DS1307_Horas(); //salva a hora atual;
minutos_r = read_I2C_DS1307_segundos();

while(etapa5) //etapa 5
{
  de = 1;
  delay_ms(100);
  UART1_Write_Text("etapa_5");
  delay_ms(100);
  de = 0;
  Q2 = 1;           //direciona Multiplex sens Ultrassonico (tanque 3)
  Q1 = 0;
  nivel_min = 2;
  leitura_ultrasson(); //efetua a leitura do sensor ultrassonico
  FloatToStr(volume, leitura);
  comunicacao('d',3,leitura);
  if(volume >= nivel_min)
  {
    do
    {
      solenoides(0);
      minutos = read_I2C_DS1307_segundos(); // efetua a leitura dos minutos
      leitura_ph(1);

      if(Valor_PH1 < 7,5 && Valor_PH1 > 6,86)
      {
        BOMB2 = 0;
        //LIGA MISTURADOR
      }
      else
      {
        if(HIP = 1)
        {
          V9 = 1;
          BOMB2 = 1;
        }
        BOMB2 = 0;
      }

      leitura_ultrasson(); //efetua a leitura do sensor ultrassonico
      FloatToStr(volume, leitura);
      comunicacao('d',3,leitura);
//VERIFICA O NIVEL DO PH DENTRO DE 10 MIN EXECUTA UMA AÇÃO
//executa uma série de ações
    }
  }
  while((minutos - minutos_r) <= 40);
  V9 = 0;
  BOMB2 = 0;
  Q2 = 1;
  Q1 = 1;           //DIRECIONA PARA O SENSOR 4
  leitura_ultrasson(); //efetua a leitura do sensor ultrassonico
  intToStr(volume, leitura);
  comunicacao('d',4,leitura);
  if( volume >= nivel_min) //próximo tanque está vazio?
  {
    do
    {
      solenoides(2);
      Q2 = 1;
      Q1 = 0;           //DIRECIONA PARA O SENSOR 3
    }
  }
}

```

```

leitura_ultrasson();          //efetua a leitura do sensor ultrassonico
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',3,leitura);
O2 = 1;
O1 = 1;
O3 = 0;
leitura_vazao();
FloatToStr(vazao,leitura);    //leitura vazão
comunicacao('f',4,leitura);

}
while(volume >= nivel_min);
etapa6 = 1;
etapa5 = 0;
etapa1 = 0;
etapa2 = 0;
etapa4 = 0;
etapa3 = 0;
solenoides(0);
}
else
{
  solenoides(0);
}
}
}

dia_r = read_I2C_DS1307_Dia(); //salva o dia atual;
horas_r = read_I2C_DS1307_Horas(); //salva a hora atual;
minutos_r = read_I2C_DS1307_minutos(); //salva os minutos atuais;
while (etapa6)
{
  cont = 0;
  leitura_ph(2);
  TURBIDEZ = ADC_Read(0);
  valor_turb = ((TURBIDEZ/860)*100);
  FloatToStr(valor_turb,leitura);
  comunicacao('b',1,leitura);
  Q1= 1;
  Q2 = 1; //DIRECIONA PARA O SENSOR 4
  leitura_ultrasson();          //efetua a leitura do sensor ultrassonico
  FloatToStr(volume, leitura);
  comunicacao('d',4,leitura);
  O3 = 1;
  O2 = 0;
  O1 = 0;
  do
  {
    leitura_ph(2);
    TURBIDEZ = ADC_Read(0);
    valor_turb = ((TURBIDEZ/860)*100);
    FloatToStr(valor_turb,leitura);
    comunicacao('b',1,leitura);
    Q1= 1;
    Q2 = 1; //DIRECIONA PARA O SENSOR 4
    leitura_ultrasson();          //efetua a leitura do sensor ultrassonico
    FloatToStr(volume, leitura);
    comunicacao('d',4,leitura);
    cont++;
    delay_ms(100);
  }
  while(cont <= 50);
  solenoides(0);
  do
  {

```

```

solenoides(9);
leitura_ultrasson(); //efetua a leitura do sensor ultrassonico
FloatToStr(volume, leitura);
comunicacao('d',4,leitura);
leitura_vazao();
FloatToStr(vazao,leitura); //leitura vazão
comunicacao('f',5,leitura);
}
while(volume >= nivel_min);
etapa1 = 1;
etapa2 = 0;
etapa3 = 0;
etapa4 = 0;
etapa5 = 0;
etapa6 = 0;
/* if(uart_rd = 'l')
{
    while(volume >= nivel_min)
    {

        etapa7 = 1;
        etapa6 = 0;
        solenoides(1);
        leitura_ultrasson(); //efetua a leitura do sensor ultrassonico //LIGA MISTURADOR
        comunicacao('d',4,leitura);
        leitura_vazao();
        FloatToStr(vazao,leitura); //leitura vazão
        comunicacao('f',5,leitura);
    }
    etapa7 = 1;
    etapa6 = 0;
}
/* COMPARAÇÕES COM OS VALORES PRÉESTABELECIDOS DE ÁGUA
//CASO OK: LIBERE PARA CONSUMO
//CASO NEGATIVO: DESCARTE */
}
}
}

```