



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LEONARDO JOSE BARBOSA DE CASTRO

**AUTOMAÇÃO DA MEDIÇÃO E CONTROLE DOS NÍVEIS DE PH E CLORO DA
ÁGUA USANDO SISTEMA EMBARCADO**

FORTALEZA

2022

LEONARDO JOSE BARBOSA DE CASTRO

AUTOMAÇÃO DA MEDIÇÃO E CONTROLE DOS NÍVEIS DE PH E CLORO DA
ÁGUA USANDO SISTEMA EMBARCADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Daher.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C351a Castro, Leonardo José Barbosa de.

Automação da medição e controle dos níveis de pH e cloro da água usando sistema embarcado / Leonardo José Barbosa de Castro. – 2022.

67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Sérgio Daher.

1. Automação. 2. Estação de tratamento de água. 3. NodeMCU. I. Título.

CDD 621.3

LEONARDO JOSE BARBOSA DE CASTRO

AUTOMAÇÃO DA MEDIÇÃO E CONTROLE DOS NÍVEIS DE PH E CLORO DA
ÁGUA USANDO SISTEMA EMBARCADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sérgio Daher (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Arthur Plínio de Souza Braga
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Larissa Pacheco Montenegro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial a minha mãe e minha vó, que sempre acreditaram em mim e me deram todo o suporte necessário na minha vida.

À minha namorada, por estar ao meu lado nos momentos bons e ruins da minha trajetória acadêmica.

Aos meus amigos que me incentivaram a buscar sempre meus objetivos.

Aos meus colegas de curso, com quem dividi momentos de extrema alegria e de extrema tristeza, momentos de risos e momentos de estudo, fazendo essa jornada um pouco menos difícil.

Ao professor Dr. Sérgio Daher, pela disponibilidade de encarar a realização deste trabalho ao meu lado.

RESUMO

Este trabalho inicialmente realiza uma explanação sobre os processos em uma ETA (Estação de Tratamento de Água), tratando de suas importâncias individualmente, dando ênfase nos processos de que envolvem o controle dos valores de cloro e pH. Em seguida, é tratado sobre elementos que estão presente em uma estação de tratamento de água para a realização de seus processos, são eles o analisador TW-54 e a bomba de dosagem magnética *CONCEPT Plus*. Tendo em vista estes equipamentos e suas utilizações, foi desenvolvido um sistema que permite fazer a automação do controle da injeção quantidades de substâncias que alteram a concentração de cloro e pH da água, utilizando a placa NodeMCU Lua ESP-12E para realizar a parte inteligente do processo. Ainda, foram propostos dispositivos para que se consiga realizar interação entre os integrantes do sistema, sendo estes o MAX485ESA, que permite a comunicação entre o analisador TW-54 e a placa NodeMCU Lua ESP-12E, o relé de estado sólido OMRON G3MB-202P, que permite com que o sinal de comando enviado pela placa seja capaz de controlar a bomba de dosagem magnética *CONCEPT Plus*, e para a proteção desta contra sobrecorrentes, o fusível de cerâmica 1,6 A 250 V da série *Simon 31*. Por conta da necessidade de comunicação entre NodeMCU e analisador, foi tratado sobre o protocolo de comunicação *modbus*, utilizado nesta comunicação, e sobre os padrões físicos desta comunicação. Por fim, foi realizada a simulação utilizando o Simulador *Modbus Slave*, que permite simular os registradores do analisador TW-54, simulando este, e um circuito que permitiu observar os comandos que seriam mandados para bombas de dosagem mediante a mudança de valor nos registradores do simulador.

Palavras-chave: Automação; Estação de tratamento de água; NodeMCU.

ABSTRACT

This work initially provides an explanation of the processes in an ETA (Water Treatment Station), dealing with their importance individually, emphasizing the processes that involve the control of chlorine and pH values. It then deals with elements that are present in a water treatment plant to carry out its processes, they are the TW-54 analyzer and the CONCEPT Plus magnetic dosing pump. Bearing in mind these equipments and their uses, a system was developed that allows for the automation of injection control quantities of substances that change the chlorine concentration and pH of the water, using the NodeMCU Lua ESP-12E board to perform the intelligent part of the process. Also, devices were proposed to be able to perform interaction between the members of the system, these being the MAX485ESA, which allows communication between the TW-54 analyzer and the NodeMCU Lua ESP-12E board, the OMRON G3MB-202P solid state relay, which allows the command signal sent by the board to be able to control the CONCEPT Plus magnetic metering pump, and to protect it against overcurrents, the 1.6 A 250 V ceramic fuse of the Simon 31 series. need for communication between NodeMCU and analyzer, it was discussed about the modbus communication protocol, used in this communication, and about the physical standards of this communication. Finally, the simulation was performed using the Modbus Slave Simulator, which allows simulating the registers of the TW-54 analyzer, simulating it, and a circuit that allowed observing the commands that would be sent to metering pumps by changing the value in the registers of the simulator.

.

Keywords: Automation; Water treatment station; NodeMCU.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de Tratamento da Água.	21
Figura 2 - Analisador TW-54	22
Figura 3 - <i>Display TW-54 Digimed.</i>	24
Figura 4 - Borneira da placa principal.....	25
Figura 5 - Visão geral da Bomba de Dosagem Magnética <i>CONCEPT Plus</i>	27
Figura 6 - Estrutura do sistema.	29
Figura 7 - Módulo NodeMCU Lua ESP-12E.....	30
Figura 8 - Módulo MAX485ESA.	31
Figura 9 - Ligação do CI MAX485 para conversão de TTL/RS485.	31
Figura 10 - Módulo OMRON G3MB-202P.....	32
Figura 11 - Conexão de um relé de estado sólido.....	33
Figura 12 - Fusível de cerâmica 1,6 A.....	33
Figura 13 - Composição e descrição do <i>frame Modbus RTU</i>	38
Figura 14 - Composição e descrição do <i>frame Modbus ASCII</i>	38
Figura 15 - Composição e descrição do <i>frame Modbus TCP</i>	39
Figura 16 – Filtragem dos ruídos.....	40
Figura 17 - Topologia barramento e <i>daisy chain</i>	41
Figura 18 - RS-485 em modos full-duplex e half-duplex.	41
Figura 19 - Sinal diferencial.....	42
Figura 20 - Níveis de tensão do transmissor e sensibilidade do receptor.	42
Figura 21 - Forma de onda e representação dos bits.....	43
Figura 22 - Níveis lógicos definidos.....	44
Figura 23 - Fluxograma do código de programação.....	47
Figura 24 - Conversão de endereço hexadecimal para decimal do primeiro alarme. 48	
Figura 25 - Tela inicial do <i>Software Simulador Modbus Slave</i>	48
Figura 26 - Esquemático da simulação.	49
Figura 27 - Janela <i>slave definition</i> configurada.	50
Figura 28 - Janela <i>connection setup</i> configurada.....	50
Figura 29 - Registrador de todos os alarmes desligados.	51
Figura 30 - Todos os LEDs ligados.	51
Figura 31 - <i>Frame</i> de envio de dados.....	51

Figura 32 - Registrador de alarme de cloro baixo ligado.....	52
Figura 33 - Desligamento do LED verde.	52
Figura 34 - <i>Frame</i> de envio de dados.....	52
Figura 35 - Registradores de alarme de cloro baixo ligado e alarme de pH baixo ligado.	53
Figura 36 - Desligamento do LED verde.	53
Figura 37 - <i>Frame</i> de envio de dados.....	54
Figura 38 - Registrador de alarme de pH baixo ligado.	54
Figura 39 - Desligamento do LED vermelho.....	55
Figura 40 - <i>Frame</i> de envio de dados.....	55
Figura 41 - Registrador de alarme de pH alto ligado.....	55
Figura 42 - Desligamento do LED amarelo.	56
Figura 43 - <i>Frame</i> de envio de dados.....	56
Figura 44 - Circuito utilizado.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Registradores <i>Modbus</i>	26
Quadro 2 - Especificações técnicas da bomba de dosagem magnética <i>CONCEPT Plus</i>	27
Quadro 3 - Especificações técnicas do Módulo NodeMCU Lua ESP-12E.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações TW-54 <i>Digimed</i>	23
Tabela 2 - Conectores/fusíveis.....	25
Tabela 3 - Dados elétricos de uma bomba de dosagem magnética <i>CONCEPT Plus</i>	27
Tabela 4 - Especificações técnicas do módulo OMRON G3MB-202P.	32
Tabela 5 - Códigos ASCII.....	36
Tabela 6 - Códigos de função Modbus.....	39
Tabela 7 - Níveis de entrada e saída para a versão padrão TTL Standard.....	45
Tabela 8 - Séries TTL.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa.....	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	16
1.3 Organização do Trabalho.....	16
2 AUTOMAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	18
2.1 Automação	18
2.2 Estação de Tratamento de Água	19
2.2.1 Parâmetros da Água.....	19
2.2.2 Etapas de Tratamento da Água.....	20
2.2.3 Analisador TW-54	22
2.2.3.1 <i>Display TW-54 Digimed</i>	23
2.2.3.2 <i>Borneira da placa principal</i>	24
2.2.3.3 <i>Registradores Modbus</i>	26
2.2.4 Bomba de Dosagem Magnética CONCEPT Plus.....	26
2.3 Proposta de automação em uma ETA	28
3 DESCRIÇÃO	29
3.1 NodeMCU Lua ESP-12E	29
3.2 MAX485ESA	31
3.3 Relé de estado Sólido OMRON G3MB-202P.....	32
3.4 Fusível de cerâmica 1,6 A (Amperes) 250 V (Volts) da série <i>Simon 31</i>	33
3.5 Interação entre analisador TW-54 e NodeMCU Lua ESP-12E	34
4 COMUNICAÇÃO	35
4.1 Protocolo de Comunicação	35

4.1.1 Protocolo de Comunicação <i>Modbus</i>	35
4.1.1.1 Principais versões do protocolo <i>Modbus</i>	36
4.1.1.1.1 <i>Modbus ASCII</i>	36
4.1.1.1.2 <i>Modbus RTU</i>	37
4.1.1.1.3 <i>Modbus TCP/IP</i>	37
4.1.1.2 Frame de comunicação <i>Modbus</i>	37
4.1.1.2.1 Formato do <i>frame Modbus RTU</i>	38
4.1.1.2.2 Formato do <i>frame Modbus ASCII</i>	38
4.1.1.2.3 Formato do <i>frame Modbus TCP</i>	38
4.1.1.3 Códigos de função <i>Modbus</i>	39
4.2 Padrão de comunicação	40
4.2.1 RS-485	40
4.2.2 TTL	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1 Dificuldades apresentadas e soluções	46
5.2 Resumo da programação da placa NodeMCU	46
5.3 Conversão de endereço hexadecimal para decimal	47
5.4 Simulador <i>Modbus Slave</i>	48
5.5 Simulação de funcionamento	48
5.5.1 Todos os alarmes desligados	50
5.5.2 Alarme Cloro Baixo Ligado	52
5.5.3 Alarme Cloro Baixo Ligado e Alarme pH Baixo Ligado	53
5.5.4 Alarme pH Baixo Ligado	54
5.5.5 Alarme pH Alto Ligado	55
6 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58
ANEXO A – IMAGEM DA BANCADA	62

ANEXO B – PROGRAMA COMENTADO	63
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial para o ser humano, seja para o consumo, higiene, atividades domésticas, lazer, entre outras finalidades.

Entretanto, nota-se a necessidade de um tratamento especial para que este bem não venha a causar problemas a seus consumidores. Diversas doenças como Febre Tifoide, Cólera, diarreias, esquistossomose e até Hepatite podem ser adquiridas com o contato com água contaminada. Além de microrganismos transmissores de doenças a água está sujeita a detritos, contaminações por ferro, areia, lodo, sedimentos e muitos resíduos que podem trazer prejuízos à saúde humana. esta contaminação pode acontecer na água que se bebe, no consumo de alimentos cozinhados ou lavados com águas poluídas.

Desta forma, é de responsabilidade das companhias de água e esgoto de cada região entregar uma que esteja em conformidade com as orientações do Ministério da Saúde, por meio da Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, define a quantidade mínima, a frequência em que as amostras de água devem ser coletadas e os limites permitidos.

Assim surgem a Estação de Tratamento de Água, local que possui equipamentos que tem como finalidade reduzir a concentração de poluentes na água e, principalmente, eliminar os materiais orgânicos e micro-organismos patogênicos para o seu consumo conferindo à água os padrões de potabilidade exigido.

Diante disso, para uma maior confiabilidade e redução de custos, se faz que os equipamentos possam atuar de uma forma automatizada. Assim, este trabalho tem o objetivo de desenvolver um projeto que automatize o processo de controle as quantidades de substâncias inseridas na água que influenciam na sua concentração de cloro e no seu pH.

1.1 Justificativa

O sistema de tratamento de água, assim como outros sistemas, busca uma maior eficiência em relação aos seus processos, diminuindo custos e reduzindo a margem de erros cometidos por humanos. Surge a necessidade de automatizar suas atividades, utilizando soluções de baixo custo.

Diante disso, as companhias de água e esgoto possuem setores responsáveis pelo desenvolvimento dessas soluções. A CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) também vem buscando este aprimoramento, identificou a necessidade de fazer com que o processo de controle do cloro e pH da água que passa por estação de tratamento de água.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é automatizar o processo de injetar substâncias que são responsáveis por alterar a concentração de cloro e pH da água por meio de uma placa de desenvolvimento que se comunicará com um analisador, de onde será recebida as informações necessárias para realizar os comandos.

1.2.2 Objetivos específicos

Podem ser destacados os objetivos específicos a seguir:

1. Desenvolver, utilizando uma placa de desenvolvimento, uma solução capaz de realizar uma comunicação *modbus* com um analisador de água;
2. Esta mesma solução deve emitir um sinal de controle de acionamento de bombas de dosagem baseados nas informações obtida do analisador de água;
3. Propor os demais equipamentos utilizados no processo de automação pretendido;
4. Analisar os resultados obtidos com o auxílio de simulador.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho está dividido em seis capítulos.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema, sua justificativa, bem como seus objetivos gerais e específicos.

O segundo capítulo trata sobre automação. Além disso, este capítulo abrange a importância da estação de tratamento de água, seus processos e seus equipamento presentes.

O terceiro capítulo apresenta a descrição de cada elemento utilizado neste projeto.

O quarto capítulo apresenta a fundamentação teórica sobre o processo de comunicação utilizado, descrevendo o protocolo de comunicação utilizado e seus padrões físicos.

O quinto capítulo é destinado a analisar os resultados de simulações nas diversas que o sistema pode encontrar.

O sexto capítulo apresenta as conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 AUTOMAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Para que se haja a compreensão da proposta realizada neste trabalho, é necessário o conhecimento sobre o que é automação (subtópico 2.1), o que é uma ETA (subtópico 2.2), bem como os parâmetros analisados nela (subtópico 2.2.1), suas etapas de tratamento (subtópico 2.2.2) e equipamentos presentes na mesma (subtópicos 2.2.3 e 2.2.4).

2.1 Automação

De acordo com Ribeiro (2001), a automação é a troca do trabalho humano ou animal por máquina. É a execução de máquina ou sistema automaticamente ou por controle remoto, com a mínima mediação do operador humano.

A caracterização de automação compreende a ideia de utilizar a potência elétrica ou mecânica para mobilizar algum tipo de máquina. Deve acrescer à máquina algum tipo de inteligência para que ela efetue sua função de forma mais hábil e com vantagens de segurança e econômicas.

Todavia, a automação segundo Parede e Gomes (2013), apresenta vantagens e desvantagens, como vantagens pode-se citar que, maior produtividade; otimização de espaço nas fábricas; melhoria na qualidade do produto final; alto MTBF (tempo médio entre falhas); baixo MTTR (tempo de máquina parada); maior segurança para os operadores; menor consumo de energia; maior confiabilidade; fácil manutenção. Entretanto, como desvantagens, a máquina tem limitações, como, capacidade delimitada de tomar decisões; deve ser programada ou ajustada para controlar sua operação de formas especificadas; precisa de calibração periódica para garantir sua exatidão nominal; requer manutenção eventual para assegurar que sua precisão nominal não se degrade.

Na automação industrial, vários mecanismos de acionamento e movimentação podem ser aplicados. Alguns exemplos destes componentes são os hidráulicos, elétricos, mecânicos e pneumáticos.

Segundo Roggia e Fuentes (2016), fundamentalmente, a automação industrial pode ser fragmentada em duas modalidades quanto aos tipos de processos: processos da manufatura e processos contínuos. Os processos da manufatura são

aqueles em que há grande movimentação mecânica de partes. O exemplo mais clássico é a indústria automobilística, nesse tipo de processo as grandezas mais comuns são força, velocidade e deslocamento. Por outro lado, os processos contínuos são personalizados pela pouca movimentação mecânica de partes. Uma estação de tratamento de água, é um exemplo. As grandezas mais comuns nos processos contínuos são temperatura, vazão e pressão.

2.2 Estação de Tratamento de Água

Uma ETA confere que a água que passa através de seu sistema tenha padrões de potabilidade ao consumo humano. Visando a redução de poluentes na água, bem como a isenção de materiais orgânicos e micro-organismos patogênicos para o seu consumo.

Para que este processo seja realizado são analisados parâmetros da água, que possibilitam concluir sobre a qualidade final da mesma, são eles: cloro e cloroamoniação, turbidez, cor, pH (Potencial Hidrogeniônico), coliformes e flúor.

2.2.1 Parâmetros da Água

De acordo com a SABESP¹ (Saneamento Básico do Estado de São Paulo) os parâmetros da água são:

Cloro: É um agente adicionado durante o tratamento, com a finalidade de extinguir bactérias e outros micro-organismos que podem estar presentes na água. O produto que será destinado consumidor deve conter, pelos critérios do Ministério da Saúde, uma concentração mínima de 0,2 mg/l (miligramas por litro) de cloro residual.

Turbidez: É o parâmetro pelo qual se mede a oposição da água à passagem de luz. Ocorre devido a presença de partículas flutuando na água. A turbidez é uma medida de aspecto estético de aceitação ou rejeição do produto,

¹ SABESP. **Qualidade da água tratada.** Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=40#:~:text=%C3%89%20um%20par%C3%A2metro%20que%20deve,%2C0%20a%209%2C5>. Acesso em: 8 nov. 2021.

devendo o produto final a ser distribuído não ultrapasse o valor de 5,0 NTU (Unidade Turbidimétrica Nefelométrica).

Cor: Semelhante a turbidez, a cor é um parâmetro de aspecto estético de aceitação ou rejeição do produto, indica a existência de partículas dissolvidas na água. O valor máximo permitido deste parâmetro no produto final é de 15,0 U.C. (Unidade de Cor).

pH: É um fator que determina se a água é ácida ou alcalina. Deve ser acompanhado com o objetivo de melhorar os processos de tratamento e preservar as tubulações contra corrosões ou entupimentos. Esse parâmetro não traz riscos sanitários e a faixa recomendada de pH na água destinada à população é de 6,0 a 9,5.

Coliformes: São realizadas análises para identificar uma eventual contaminação por estas bactérias que, em geral, vivem no intestino de animais de sangue quente.

Flúor: É um elemento químico que possui características que auxiliam na proteção dos dentes contra a cárie. Por conta disto, este é adicionado à água que será distribuída para a população.

Desta forma, o sistema de tratamento da água é dividido em etapas que buscam corrigir cada parâmetro da água, são elas: pré-cloração, pré-alcalinização, coagulação, floculação, decantação, filtração, pós-alcalinização, desinfecção e fluoretação

2.2.2 Etapas de Tratamento da Água

Segundo a SABESP² as etapas de tratamento da água (figura 1) são:

² SABESP. **Tratamento de água.** Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>. Acesso em: 08 nov. 2021.

Figura 1 - Etapas de Tratamento da Água.



Fonte: SABESP, Tratamento de água.³

Pré-cloração (1): De início, é adicionado cloro à água que foi retirada de uma fonte natural. Permitindo a retirada de matéria orgânica e metais.

Pré-alkalinização (2): Em seguida, para que haja uma adequação do pH da água que está sendo tratada aos valores sugeridos pela norma, entre 6,0 e 9,5, é realizada a adição de cal ou soda.

Coagulação (3): Nesta etapa, a água é pulverizada com sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, seguidamente acontece uma agitação intensa da mesma. Assim, promovendo uma aglomeração das partículas sólidas.

Floculação (4): Após a coagulação, é realizada uma mistura lenta da água, as partículas sólidas aglutinam formando flocos maiores, facilitando a filtração nas próximas fases do processo.

Decantação (5): Nesta fase, a água é mantida em repouso por um tempo específico. Para que, por efeito da gravidade, os flocos maiores se depositem no fundo do tanque.

Filtração (6): Posteriormente, a água atravessa uma série de filtros formados por areia, pedra e carvão. Eles são responsáveis por reter a sujeira que restou da fase de decantação.

³ SABESP. **Tratamento de água**. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>. Acesso em: 08 nov. 2021.

Pós-alkalinização (7): Novamente é realizada a correção do pH da água. Para evitar a corrosão ou incrustação das tubulações, visando a preservação da rede de esgotos.

Desinfecção (8): Nesta etapa, é aplicado ozônio ou cloro no líquido antes da distribuição da água fornecida. Garantindo que o produto final chegue livre de bactérias e vírus até a população.

Fluoretação (9): É uma etapa que, apesar de não ser obrigatória, tem grande relevância para a política de saúde pública brasileira. O flúor é adicionado à água, uma substância que é capaz de prevenir a cárie.

Este trabalho foca nas etapas (representadas na figura 1) que fazem a correção de pH e Cloro (etapas 1,2,7 e 8), levando em consideração a presença de analisadores de água que permitem analisar esses valores e a presença de bombas dosadoras que injetam substâncias que alteram os mesmos.

2.2.3 Analisador TW-54

De acordo com seu manual, o TW-54 *Digimed* (ilustrado na figura 2) trabalha com sistema de fluxo de amostra, permitindo o monitoramento contínuo de parâmetros da água. Realizando de forma automática a medição de pH e por meio de cálculo é encontrado o valor da concentração de cloro.

Figura 2 - Analisador TW-54



Fonte: DIGIMED. Manual de Instruções Analisador de Cloro Amperométrico TW-54. Soft. 2.5. Man. 220. Rev. 04.

Possui um eletrodo de ORP (Oxydation Reduction Potential), eletrodo de pH, um eletrodo de inox e um sensor de temperatura, todos dentro de uma câmara de fluxo, sendo submetidos a um fluxo contínuo.

Utilizando um *software* dedicado é possível fazer a estimativa do valor da concentração de cloro livre baseado nos valores de pH e ORP.

Na tabela 1 tem-se as especificações do TW-54 *Digimed*.

Tabela 1 - Especificações TW-54 *Digimed*.

Analizador	TW-54
Aplicação	Cloro Total
Faixa de medição cloro	0 a 3 ppm **
Faixa de medição pH	0 a 12
Faixa de medição mV	0 a ± 2000 mV
Precisão relativa	$\pm 0,1$ ppm
Limite de Detecção	0,1
Limite de Quantificação	0,2
Cálculo	Estimado
Temperatura da amostra	1 a 60°C
Transmissor	
Saída Digital	RS-485
Controlador	
ON-OFF/PWM	3 contatos NA (3 ^a / 250 Vca)
Geral	
Indicação local	Display Gráfico
Grau de proteção	IP-67
Dimensões (LA)	800 x 700mm
Alimentação elétrica	90 a 240 Vca (50/60 Hz)
Potência consumida	2,5 VA
Peso	5,7 Kg

Fonte: DIGIMED. Manual de Instruções Analisador de Cloro Amperométrico TW-54. Soft. 2.5. Man. 220. Rev. 04.

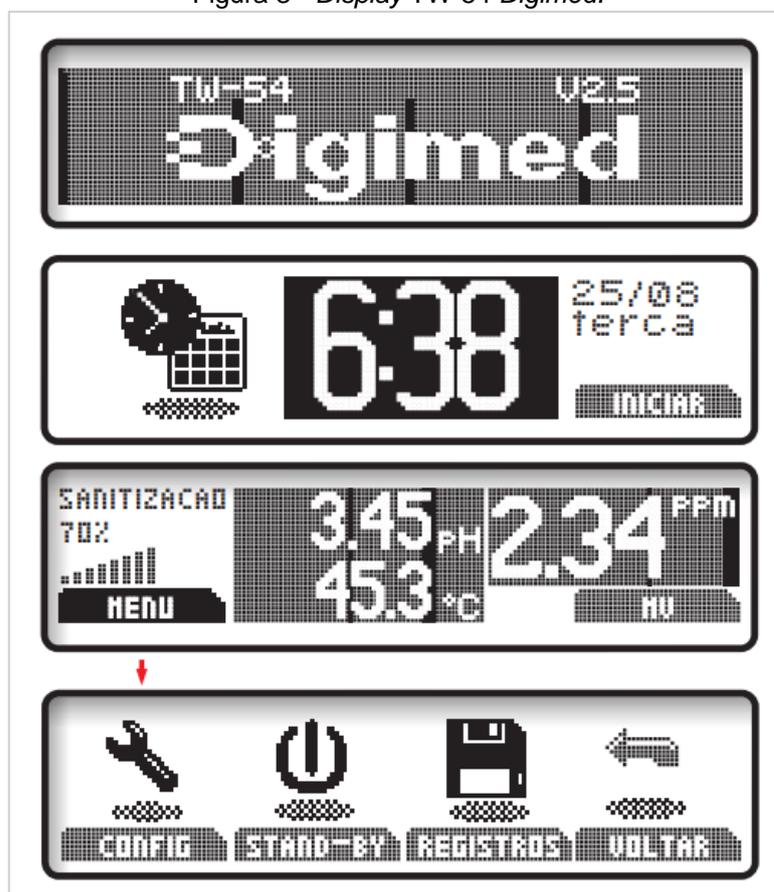
2.2.3.1 Display TW-54 *Digimed*

As medições realizadas dos valores de ORP, pH, concentração de cloro total, temperatura e razão de sanitização são disponibilizados no *display* gráfico do equipamento, no segundo retângulo. Ainda, encontra-se o horário, data e dia da

semana, no terceiro retângulo do display. No quarto retângulo é possível observar o ícone de configuração, onde são estabelecidos os níveis adequados de cloro pH.

Na figura 3 é possível visualizar este *display*:

Figura 3 - Display TW-54 Digimed.

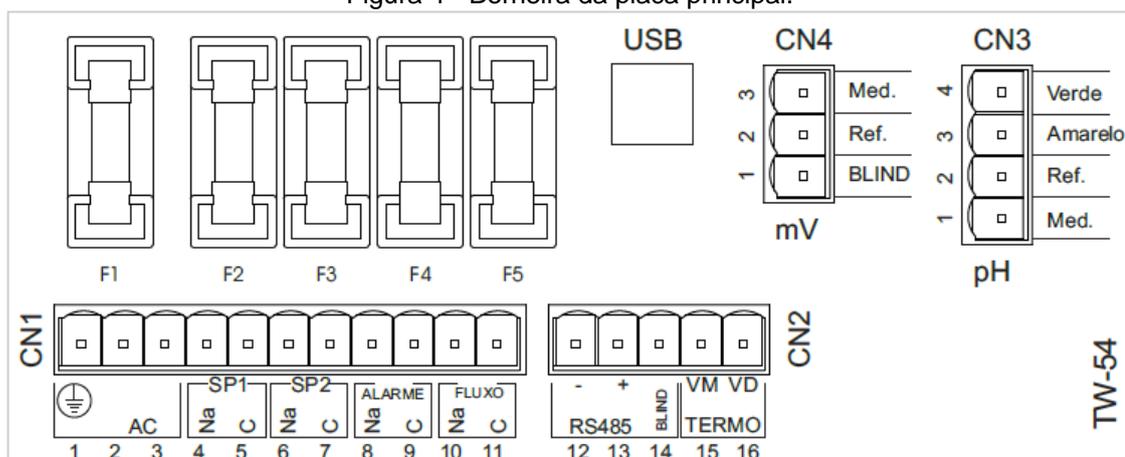


Fonte: DIGIMED. Manual de Instruções Analisador de Cloro Amperométrico TW-54. Soft. 2.5. Man. 220. Rev. 04.

2.2.3.2 Borneira da placa principal

Na figura 4 pode-se visualizar a borneira da placa principal:

Figura 4 - Borneira da placa principal.



Fonte: DIGIMED. Manual de Instruções Analisador de Cloro Amperométrico TW-54. Soft. 2.5. Man. 220. Rev. 04.

Abaixo tem-se a tabela 2 de conectores/fusíveis:

Tabela 2 - Conectores/fusíveis

Conector CN1	
Pinos	Conexões
1	Aterramento de Proteção
2 e 3	Alimentação Elétrica
4 e 5	S1 - Set Point 1
6 e 7	S2 - Set Point 2
8, 9	Alarme
10 e 11	Detector de Fluxo

Conector CN2	
Pinos	Conexões
12 e 13	Saída Transmissora RS-485
14	Blindagem RS-485
15 e 16	Termocompensador

Conector CN3	
Pinos	Conexões
1	Aterramento de Referência
2	Conexão do Eletrodo de pH
3 e 4	Thermocompensador

Conector CN4	
Pinos	Conexões
1	Aterramento de Referência
2 e 3	Conexão do Eletrodo de Redox

Fusíveis	
Fusíveis	
F1	Fusível Geral
F2	Fusível do Set-Point 1
F3	Fusível do Set-Point 2
F4	Fusível da saída de alarme
F5	Fusível da saída

Fonte: DIGIMED. Manual de Instruções Analisador de Cloro Amperométrico TW-54. Soft. 2.5. Man. 220. Rev. 04.

2.2.3.3 Registradores Modbus

No quadro 1 tem-se os Registradores *Modbus* utilizados neste trabalho, estes endereços indicam se os valores de cloro e pH estão superiores ou inferiores aos adequados:

Quadro 1 - Registradores *Modbus*.

Endereço	Variável	Tipo	Descrição	Configuração	Unidade	R/W
0x0149	Alm.cloro_baixo	Byte	Alarme Cloro Baixo		--	R/W
0x014A	Alm.cloro_alto	Byte	Alarme Cloro Alto		--	R/W
0x014B	Alm.pH_baixo	Byte	Alarme pH Baixo		--	R/W
0x014C	Alm.pH_alto	Byte	Alarme pH Alto		--	R/W

Fonte: DIGIMED. Manual de Instruções Analisador de Cloro Amperométrico TW-54. Soft. 2.5. Man. 220. Rev. 04.

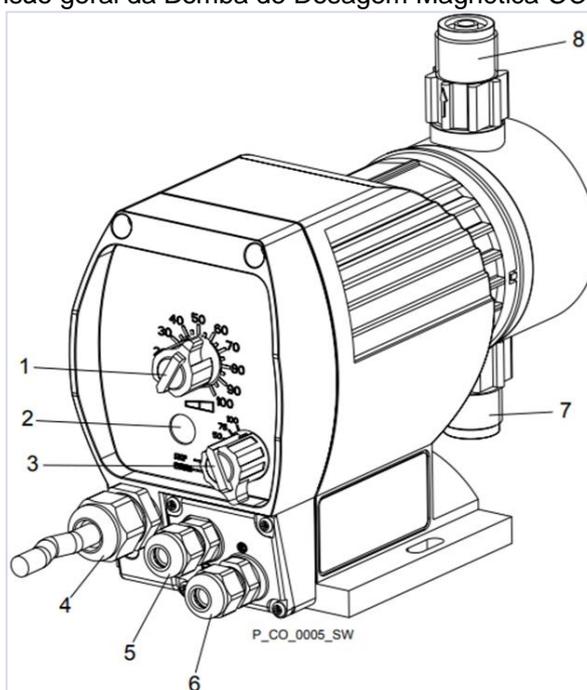
2.2.4 Bomba de Dosagem Magnética CONCEPT Plus

Uma bomba dosadora é um equipamento que permite a liberação de uma determinada quantidade de fluido em sistema, como por exemplo: tratamento de água, cloração de piscinas ou em sistemas industriais.

Neste trabalho, são utilizadas para injetar substâncias que façam a correção de cloro e pH para os valores adequados.

Na figura 5, nota-se uma visão geral da Bomba de Dosagem Magnética *CONCEPT Plus*.

Figura 5 - Visão geral da Bomba de Dosagem Magnética *CONCEPT Plus*.



Fonte: PROMINENT. Manual Bomba de dosagem magnética *CONCEPTplus* CNPb. 2006.

No quadro 2 tem-se as especificações técnicas da bomba de dosagem magnética *CONCEPT Plus*.

Quadro 2 - Especificações técnicas da bomba de dosagem magnética *CONCEPT Plus*.

Especificações técnicas	
1	Botão de ajuste do comprimento do curso
2	Indicação de falha/funcionamento
3	Interruptor multifunções
4	Cabo de rede
5	Conector "Ativação externa"
6	Conector "Interruptor de nível"
7	Válvula de aspiração
8	Válvula reguladora da pressão

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na tabela 3, tem-se os dados elétricos de uma bomba de dosagem magnética *CONCEPT Plus*.

Tabela 3 - Dados elétricos de uma bomba de dosagem magnética *CONCEPT Plus*.

Indicação	180 H/min	240 H/min
Potência nominal	11,1 ... 10,5 W	14,3 ... 13,4 W
Corrente I eff	0,4 ... 0,2 A	0,46 ... 0,22 A
Corrente de pico	1,5 A	1,5 A
Fusível*	1,6 AT	1,6 AT

Fonte: PROMINENT. Manual Bomba de dosagem magnética *CONCEPTplus* CNPb. 2006.

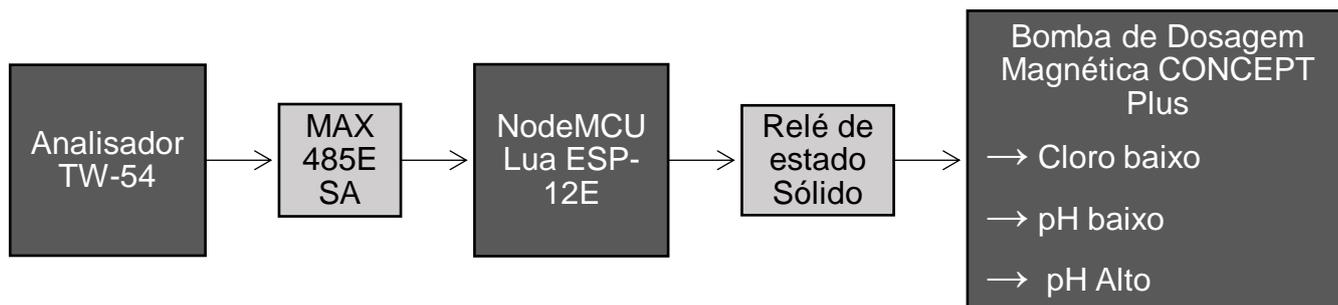
2.3 Proposta de automação em uma ETA

Diante do que foi apresentado, este trabalho irá desenvolver um sistema que permita utilizar os equipamentos presentes em uma ETA e fazer com que se relacionem e desempenhem seus papéis de uma forma automatizada, para que haja constantemente a adequação dos valores de cloro e pH na água que está sendo tratada, este sistema está descrito no capítulo 3.

3 DESCRIÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os elementos presentes na estrutura do sistema deste estudo. A figura 6 mostra o as etapas a serem seguidas para a realização do processo, desde o monitoramento dos parâmetros da água as bombas de dosagem que injetam substâncias que alteram estes parâmetros.

Figura 6 - Estrutura do sistema.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O analisador TW-54 é a primeira etapa do projeto onde os valores de pH e cloro da água são lidos. Em seguida, por meio do módulo MAX485ESA, é realizada a comunicação com o NodeMCU Lua ESP-12E, que por sua vez, baseado nas informações recebidas do analisador, se os alarmes dos valores de pH e cloro indicam que estes estão ou não dentro das faixas adequadas, baseados nesses alarmes enviará um sinal de comando liga/desliga para a bomba de dosagem magnética *CONCEPT Plus*, que podem injetar alguma substância para adequar os valores ao ideal, se necessário, o sinal de comando passará pelo relé de estado sólido OMRON G3MB-202P para a conversão dos valores de tensão adequados, este sistema possui três bombas de dosagem, cada uma com uma finalidade diferente, são elas: corrigir valor de cloro baixo, corrigir valor de pH baixo e corrigir valor de pH alto. A bomba que corrige o valor de cloro terá prioridade em relação as que corrigem valor de pH, devido ao seu processo acontecer primeiro dentro de uma ETA.

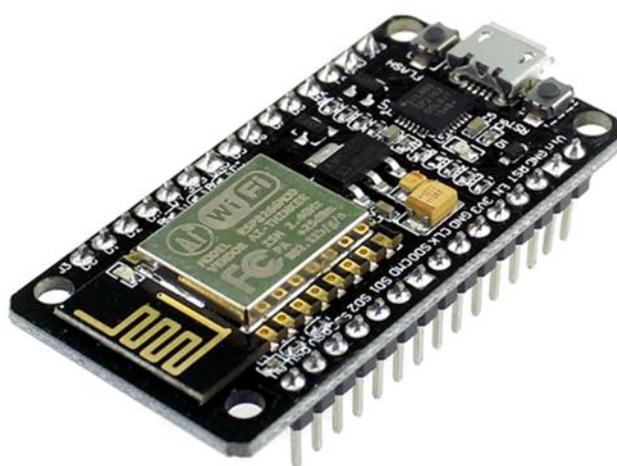
3.1 NodeMCU Lua ESP-12E

De acordo com Oliveira (2017), o NodeMCU Lua ESP-12E (ilustrado na figura 7) é uma placa de desenvolvimento *open-source* (código aberto) de baixo custo e fácil programação, podendo ser usada a IDE do arduino ou LUA para este fim, por meio da comunicação via cabo micro-usb. Seu início de comercialização foi em 2014,

ganhou destaque por características como suporte integrado a redes WiFi, tamanho reduzido e baixo consumo de energia. O que torna uma placa bastante utilizada em projetos que utilizem comunicação WiFi.

Segundo Kolban (2016) o microcontrolador ESP8266, utilizado na placa, é produzido pela empresa *Espressif Systems*. Este foi desenvolvido como solução de uma rede Wifi independente que se oferece com uma ponte entre microcontrolador e Wifi.

Figura 7 - Módulo NodeMCU Lua ESP-12E.



Fonte: Oliveira (2017).

No quadro 3 tem-se as especificações técnicas do Módulo NodeMCU Lua ESP-12E.

Quadro 3 - Especificações técnicas do Módulo NodeMCU Lua ESP-12E.

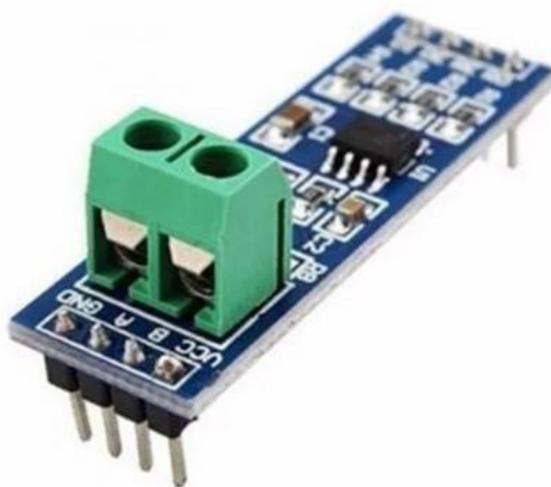
Especificações	
Microcontrolador	ESP8266
Versão do módulo	V2
Tensão dos Pinos Digitais	3,3 V
Tensão do Pino Analógico	1,0 V
Wireless padrão	802.11 b/g/n
Memória flash	4 MB

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2 MAX485ESA

O módulo MAX485ESA é um conversor de dados de TTL (Lógica transistor-transistor) para RS485 (*Recomendad Standart-485*) ou vice-versa (conforme ilustrado na figura 8). Comumente utilizado em plataformas de prototipagem em aplicações, como, por exemplo, sistemas de computadores e de automação. Desta forma, permitindo com que haja comunicação entre o Módulo NodeMCU Lua ESP-12E e o Analisador TW-54 por meio do protocolo Modbus.

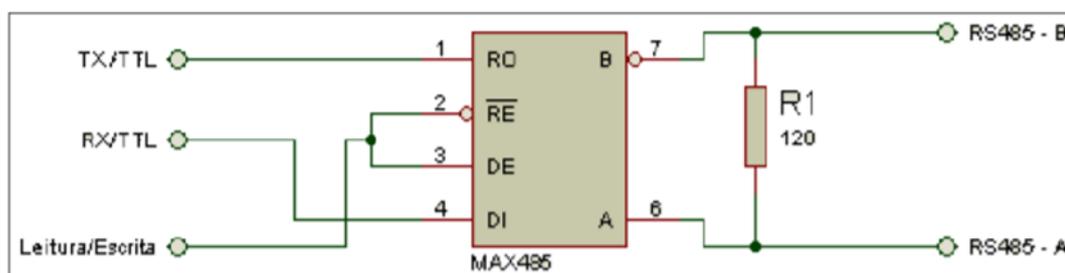
Figura 8 - Módulo MAX485ESA.



Fonte: Baú da Eletrônica.⁴

Na figura 9 nota-se a ligação do CI (Circuito Integrado) MAX485 para conversão de TTL/RS485.

Figura 9 - Ligação do CI MAX485 para conversão de TTL/RS485.



Fonte: Andrade (2013).

⁴ BAU DA ELETROICA. **Conversor de Dados TTL Para RS485 - CDT11**. Disponível em: https://www.baudaeletronica.com.br/conversor-de-dados-ttl-para-rs485-cdt11.html?gclid=Cj0KCQiA9OiPBhCOARIsAI0y71D_x8JTUfHwhNv6ntkvraPSX9pk22ZD2F4YsdiAGYom34ZQht1ppMlaAIKZEALw_wcB. Acesso em: 03 fev. 2022.

3.3 Relé de estado Sólido OMRON G3MB-202P

Um relé de estado sólido ou SSR (*Solid State Relay*) é um componente utilizado para o acionamento de uma carga de maior potência a partir em relação a um sinal de menor potência. Conforme Silva (Apostila eletrônica de potência, s.d.), diferente dos relés eletromecânicos, os SSRs não possuem partes mecânicas móveis, podendo operar em grandes velocidades, em relação a um relé eletromecânico.

O módulo OMRON G3MB-202P (ilustrado na figura 10) permite fazer o controle de uma carga AC (*Alternating Current*) por meio de um sinal DC (*Direct Current*), permitindo com que um pino digital da placa de desenvolvimento utilizada seja capaz de comandar a ativação ou desativação da bomba dosadora.

Figura 10 - Módulo OMRON G3MB-202P.



Fonte: ROBOCORE.⁵

Na tabela 4, tem-se as especificações técnicas do módulo OMRON G3MB-202P.

Tabela 4 - Especificações técnicas do módulo OMRON G3MB-202P.

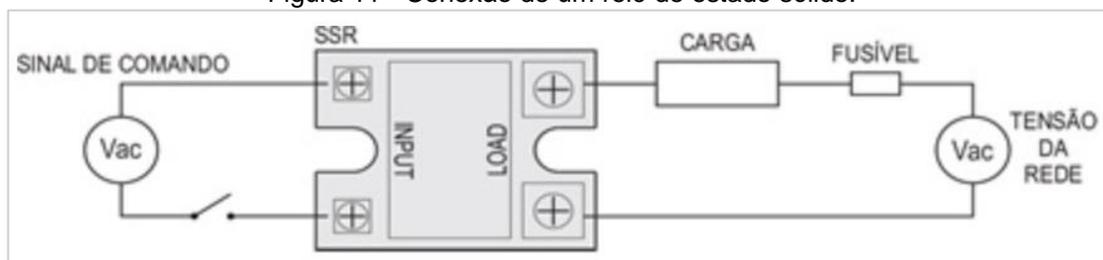
Especificações técnicas	
Sinal de controle de entrada de tensão desligado (<i>High</i>)	3 a 5V
Sinal de controle de entrada de tensão ligado (<i>Low</i>)	0 a 2.5V
Tensão suportada	240VAC
Corrente suportada	2A
Temperatura de trabalho	-25° C a +70° C

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

⁵ ROBOCORE. **Módulo Relé de Estado Sólido SSR**. Disponível em: <https://www.robocore.net/atuador-rele/modulo-rele-de-estado-solido-ssr>. Acesso em: 04 fev. 2022.

Na figura 11 tem-se uma conexão de um relé de estado sólido, nota-se que as conexões são simples, necessitando somente duas ligações para a execução do relé: um sinal de comando e uma ligação com a carga.

Figura 11 - Conexão de um relé de estado sólido.



Fonte: RAMOEL (2019).⁶

3.4 Fusível de cerâmica 1,6 A (Amperes) 250 V (Volts) da série *Simon 31*

O fusível é um dispositivo de proteção que possui um filamento interno, que ao ser percorrido por uma corrente maior que a especificada acaba se rompendo e interrompendo o circuito.

O fusível proposto é do tipo temporizado, conforme ilustrado na figura 12. É utilizado para corrente de 1,6 amperes de intensidade e 250 volts. Tornando-se adequado ao sistema, tendo em vista que a corrente de pico da bomba é de 1,5 A.

Figura 12 - Fusível de cerâmica 1,6 A.



Fonte: SIMON.⁷

⁶ RAMOEL. **Relé de estado sólido: funcionamento e vantagens**. 2019. Disponível em: <https://blog.rhmateriaiseletricos.com.br/como-funciona-um-rele-de-estado-solido/>. Acesso em: 04 fev. 2022.

⁷ SIMON. **Fusível de cerâmica 1,6 A 250 V~ tipo temporizado e de tamanho 5 x 20 mm**. S.d. Disponível em: <https://www.simonelectric.com/pt/31928-31-fusivel-ceramica-16-250-v-tipo-temporizado-tamanho-5-x-20-mm.html>. Acesso em: 04 fev. 2022.

3.5 Interação entre analisador TW-54 e NodeMCU Lua ESP-12E

A realização da comunicação entre analisador TW-54 e NodeMCU Lua ESP-12E é feita por meio do protocolo de comunicação modbus, com os padrões físicos RS-485 e TTL. Desta forma, existe a necessidade de se explicar mais sobre as suas definições e características no capítulo 4.

4 COMUNICAÇÃO

Para realizar a comunicação entre o analisador TW-54 e o NodeMCU Lua ESP-12E, foi utilizado o protocolo de comunicação *modbus*, por meio dos padrões RS-485 e TTL.

4.1 Protocolo de Comunicação

Segundo Falbriard (2002, p. 63), “os protocolos utilizados em redes de comunicação definem conjuntos de regras que coordenam e asseguram o transporte das informações úteis entre dois ou mais dispositivos”.

Os protocolos são elaborados por algoritmos, orientações bem estipuladas para desempenhar uma função. Para se comunicarem, os protocolos são aplicados em duas ou mais máquinas em rede. Há diversos protocolos no mundo, nos quais oferecem vários serviços em uma comunicação de computadores. De acordo com Rios (2011), os serviços de rede são os serviços oferecidos em uma rede de computadores. Estes serviços conseguem ser concedidos por muitos protocolos.

4.1.1 Protocolo de Comunicação *Modbus*

Modbus é um protocolo de comunicação serial que foi desenvolvido e publicado, no ano de 1979, pela *Modicon* (Atualmente pertencente ao grupo *Schneider Electric*), permitindo a troca de informações entre dispositivos inteligentes. Onde um dispositivo solicita informações, chamado de *Modbus Master* (Mestre), e outros dispositivos que fornecem informações, chamados de *Modbus Slaves* (Escravos).

É um protocolo amplamente utilizado na comunicação entre dispositivos de controle e automação industrial, isso ocorre devido a alguns de seus aspectos como: seu desenvolvimento foi específico para aplicações industriais, domínio público e não cobrança de direitos autorais, simples utilização e manutenção e possibilidade de comunicação entre diferentes fabricantes.

Todos os dispositivos possuem um endereço único. Se tratando de comunicação serial, apenas o dispositivo mestre poderá iniciar uma comunicação. Já em redes *Ethernet*, os comandos de comunicação podem ser enviados por qualquer

dispositivo, entretanto, em geral, um dispositivo envia comandos, sendo utilizado como mestre.

4.1.1.1 Principais versões do protocolo Modbus

4.1.1.1.1 Modbus ASCII

Esta versão do protocolo utiliza caracteres ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) na comunicação. Este código foi desenvolvido visando padronizar os códigos para caracteres alfanuméricos (letras, sinais, números e acentos), conforme ilustrado na tabela 5.

Tabela 5 - Códigos ASCII.

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	@	96	60	`
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[ENG OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

Fonte: TechTudo (2015).⁸

No padrão ASCII cada unidade de 8 bits transmite como dois caracteres ASCII. Neste padrão pode haver até um segundo entre os caracteres sem que haja um erro na comunicação. Seus frames de comunicação começam por “.” e finalizam por “CR/LF”.

⁸ TECHTUDO. **O que é o código ASCII e para que serve?** 2015. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2015/02/o-que-e-o-codigo-ascii-e-para-que-serve-descubra.gh.html>. Acesso em: 29 jan. 2022.

4.1.1.1.2 Modbus RTU

O *Modbus RTU (Remote Terminal Unit)* é a implementação mais utilizada do protocolo *Modbus*, faz uso de uma versão binária compacta dos dados para comunicação serial. Desta forma, A opção RTU oferece melhor rendimento de dados do que o ASCII devido à sua densidade de caracteres. Após os *bytes* de comando e dados existe um código de checagem cíclica redundante (CRC) com o objetivo de garantir a confiabilidade dos dados. Os frames de comunicação são transmitidos de forma contínua sem espaços de tempo entre os *bytes*.

4.1.1.1.3 Modbus TCP/IP

Este padrão surgiu com a necessidade de lidar com a utilização dos protocolos *Ethernet* em aplicações industriais. Faz uso da internet para o transporte de dados dos dispositivos utilizando redes TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*). Devido ao TCP/IP garantir a integridade dos dados, não há necessidade de cálculo de checagem.

4.1.1.2 Frame de comunicação Modbus

É possível encontrar na composição de um frame de comunicação no protocolo *Modbus* as seguintes partes:

Endereço: Utiliza-se o endereço zero (0) para o dispositivo mestre e para os demais dispositivos (escravos), os quais serão alvo da comunicação, terão endereço entre 1 e 247;

Código de função: Por meio da função é possível alterar o valor de registradores de um dispositivo, fazer uma leitura ou controle de uma porta de I/O e solicitar o envio de valores contidos nos registradores dos dispositivos;

Dados: Informações transmitidas na comunicação;

Checksum: Permite que os dispositivos identifiquem as falhas de comunicação.

4.1.1.2.1 Formato do *frame Modbus RTU*

Na figura 13 a seguir está a composição do *frame Modbus RTU* e sua descrição:

Figura 13 - Composição e descrição do *frame Modbus RTU*.

Campo	Comprimento (bits)	Descrição
Início	28	Tempo de pelo menos 3 ½ caracteres de silêncio
Endereço	8	Endereço do dispositivo
Função	8	Código do comando, ex.: ler bobina, escrever em registro
Dados	$n \times 8$	Dados comunicados, depende da mensagem.
CRC	16	Cyclic redundancy check – (Checksum)
Fim	28	Tempo de pelo menos 3 ½ caracteres de silêncio entre frames

Fonte: ALFACOMPBRASIL, 2019.⁹

4.1.1.2.2 Formato do *frame Modbus ASCII*

Na figura 14 a seguir está a composição do *frame Modbus ASCII* e sua descrição:

Figura 14 - Composição e descrição do *frame Modbus ASCII*.

Campo	Comprimento (bytes)	Descrição
Início	1	Inicia com ":" (valor hexa na tabela ASCII = 3A)
Endereço	2	Endereço do dispositivo
Função	2	Código do comando, ex.: ler bobina, escrever em registro
Dados	$n \times 2$	Dados comunicados, depende da mensagem
LRC	2	Checksum (Longitudinal redundancy check)
Fim	2	Carriage return – line feed (CR/LF) (valores ASCII 0D e 0A)

Fonte: ALFACOMPBRASIL, 2019.⁹

4.1.1.2.3 Formato do *frame Modbus TCP*

Na figura 15 a seguir está a composição do *frame Modbus TCP* e sua descrição:

⁹ ALFACOMPBRASIL. **Modbus – Como funciona o protocolo de comunicação mais utilizado na automação industrial.** 2019. Disponível em: <https://alfacomp.net/2019/02/27/protocolo-modbus/>. Acesso em: 21 jan. 2022.

Figura 15 - Composição e descrição do *frame Modbus TCP*.

Campo	Comprimento (bytes)	Descrição
Identificador de transação	2	Para sincronização entre mensagens entre servidor e cliente
Identificador de protocolo	2	0 para Modbus/TCP
Comprimento	2	Número de bytes restantes neste frame
Identificador da unidade	1	Endereço do escravo (255 se não utilizado)
Função	1	Código do comando, ex.: ler bobina, escrever em registro
Dados	<i>n</i>	Dados comunicados, depende da mensagem

Fonte: ALFACOMPBRASIL, 2019.⁹

4.1.1.3 Códigos de função Modbus

A seguir está a tabela 6 com os códigos de função Modbus, onde, os mais utilizados são os códigos 3 e 16.

Tabela 6 - Códigos de função Modbus.

Tipo de função		Nome da função	Código	
Acesso a dados	Acesso a bit	Entradas físicas	Leitura de entrada discreta	2
		Bits internos ou bobinas físicas	Leitura de bobina	1
			Escrita de bobinas simples	5
			Escrita de múltiplas bobinas	15
	Variáveis 16-bit	Registros de entrada físicas	Leitura de registros de entrada	4
			Leitura de múltiplos registros retentivos	3
		Registros internos ou de saídas físicas	Escrita de registro retentivo	6
			Escrita de múltiplos registros retentivos	16
			Leitura/escrita de múltiplos registros	23
			Mascarar registro	22
			Leitura de uma FIFO	24
	Acesso a arquivos	Leitura de arquivo	20	
		Escrita de arquivo	21	
Diagnóstico	Leitura de status de excessão		7	
	Diagnóstico		8	
	Contador de Get Com Event		11	
	Log de Get Com Event		12	
	Reportar o ID do escravo		17	
	Identificação de dispositivo		43	
Outros	Transporte de interface encapsulada		43	

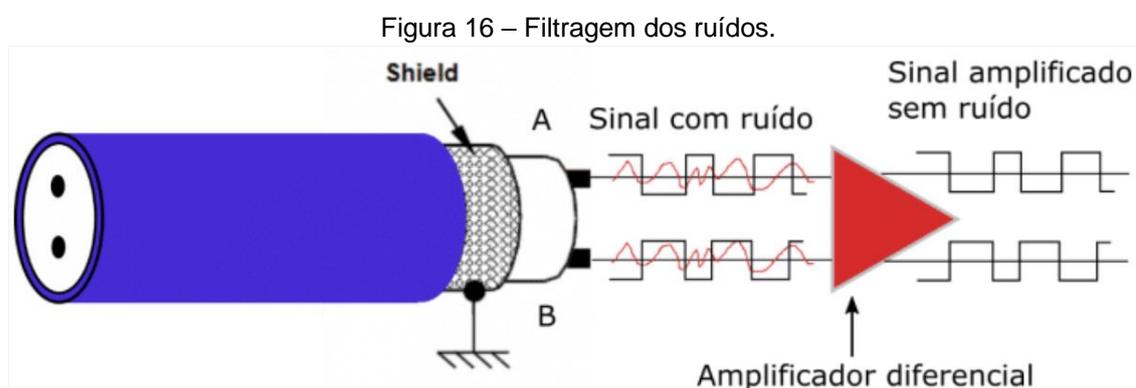
Fonte: ALFACOMPBRASIL, 2019.⁹

4.2 Padrão de comunicação

4.2.1 RS-485

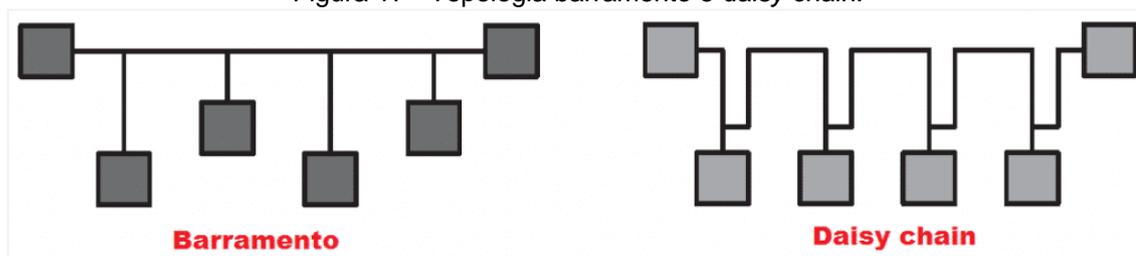
Aprovado em 1983 pela EIA (*Electronics Industries Association*), segundo Freitas (2017), o padrão RS-485 (*Recommandad Standart-485*) é um meio de transmissão de dados por cabeamento, no qual define que a ligação física deve ser constituída por um par de fios trançados. Esse padrão é amplamente adotado pela indústria, dentre seus locais de aplicações pode-se citar: automação industrial, laboratórios, equipamentos médicos, robótica, embarcações e variadas outros. As propriedades mecânicas dos conectores elétricos não são acometidas pelo padrão, logo, é exequível a aplicação de variados tipos de acordo com a necessidade de uso.

O padrão é vigoroso a interferência, visto que o aproveitamento estratégico do sinal diferencial possibilita uma filtragem efetiva dos ruídos captados ao longo do comprimento do cabo, conforme ilustrado na figura 16. Mais um benefício do sinal diferencial é a sua imunidade a variação do potencial de terra dos variados dispositivos da rede, dado que a comunicação não é afetada por pequenas variações no potencial de terra (FREITAS, 2017).



Fonte: Freitas (2017).

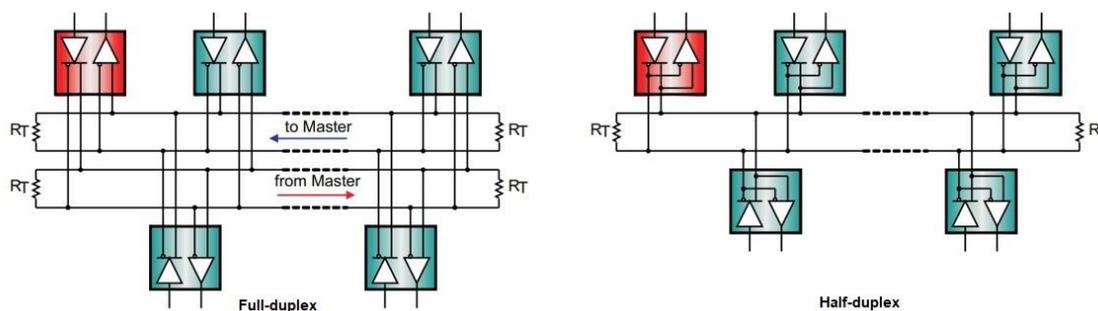
A topologia empregada pela comunicação RS-485 é a de barramento ou sua variante *daisy chain*, ilustradas na figura 17, onde possibilita inclusão e remoção de dispositivos sem interferir em outros que já estejam em uso.

Figura 17 - Topologia barramento e *daisy chain*.

Fonte: Freitas (2017).

Com relação ao modo de operação, o RS-485 pode operar em dois modos, *half-duplex* ou *full-duplex*, conforme figura 18, onde o primeiro faz uso de um par de cabos padrão e o *full-duplex* de dois pares de cabos. No modo *half-duplex* as operações de envio ou recebimento de dados não podem ser realizadas simultaneamente, uma vez que é possível utilizar apenas uma operação por vez no barramento. E no modo *full-duplex* é viável o envio e recebimento de dados conjuntamente. Entretanto, o modo *half-duplex* prepondera na maioria das aplicações industriais devido seu baixo custo de implantação e excelente velocidade.

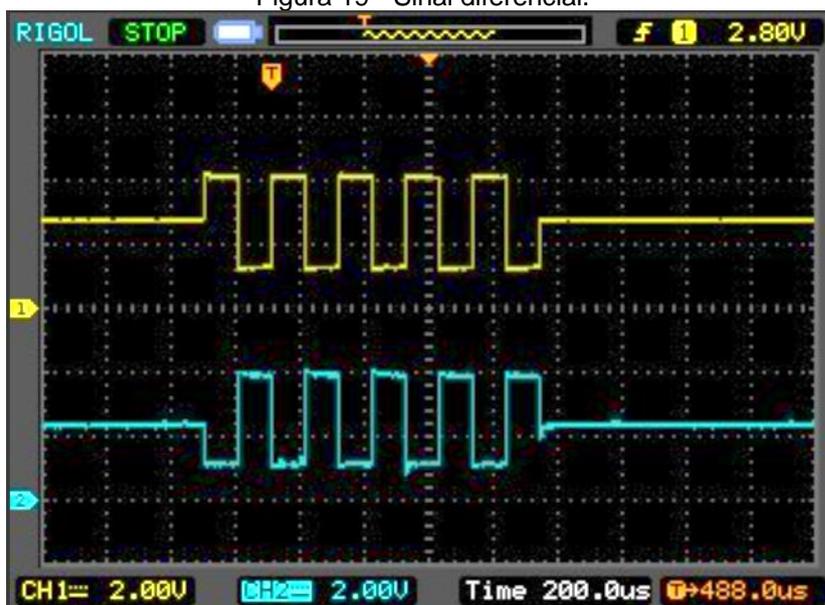
Figura 18 - RS-485 em modos full-duplex e half-duplex.

Fonte: KUGELSTADT (2016).¹⁰

A comunicação RS-485 estabelece um sinal diferencial de tensão entre o par de fios, representado na figura 19, no qual o transmissor apresenta uma tensão de no mínimo 1.5v/-1.5v e o receptor deve possuir uma sensibilidade de no mínimo 200mv/-200mv.

¹⁰ KUGELSTADT, T. **The RS-485 Design Guide**. Texas Instruments. February 2008–Revised October 2016. Disponível em: https://www.ti.com/lit/an/slla272d/slla272d.pdf?ts=1643422915959&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com.hk%252F. Acesso em: 21 jan. 2022.

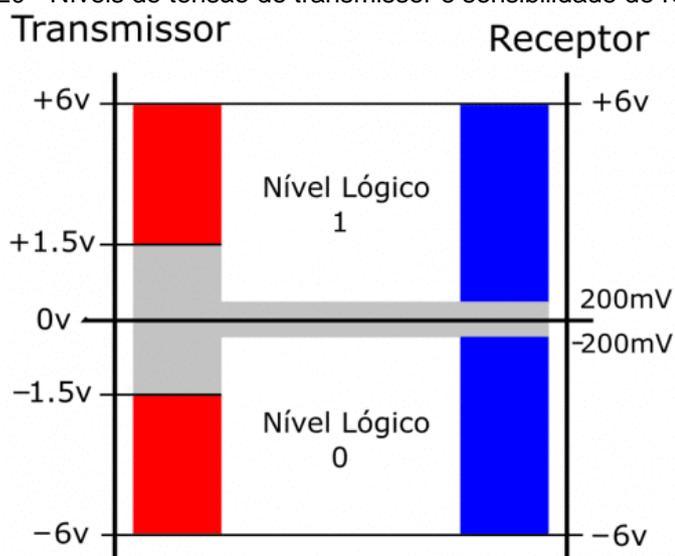
Figura 19 - Sinal diferencial.



Fonte: Sealevel (2012).¹¹

No sinal diferencial um fio transmite o sinal positivo e o outro fio transmite sinal negativo, nomeados respectivamente de sinal A e sinal B, ou também chamados como “+” e “-”, conforme ilustrado a figura 20. Desse modo pode-se extinguir possíveis ruídos apresentados no decorrer da transmissão dos dados. Conforme essas especificações, a resistência interna dos dispositivos precisa ser de no mínimo 12K Ω (Kiloohm).

Figura 20 - Níveis de tensão do transmissor e sensibilidade do receptor.

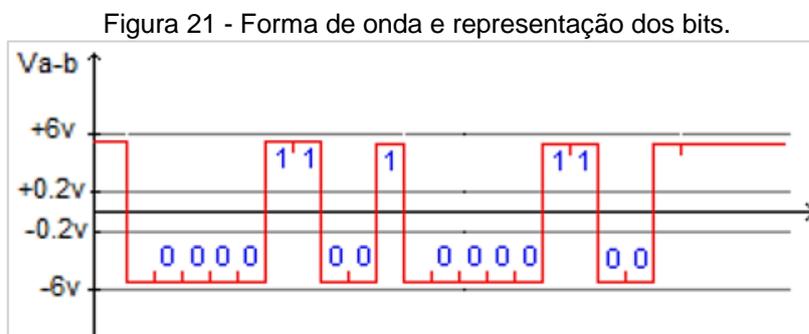


Fonte: Freitas (2017).

¹¹ SEALEVEL. **Interfaces elétricas seriais**. 2012. Disponível em:

<https://www.sealevel.com/support/serial-electrical-interfaces/>. Acesso em: 21 jan. 2022.

O sinal diferencial tem o proveito de apresentar um alto nível de imunidade a interferências, possibilitando que a rede atinja grandes distâncias de comunicação. Na figura 21 nota-se a forma de onda e representação dos bits.



Fonte: Freitas (2017).

O uso do fio terra juntamente com o cabo de sinal não é obrigatório, pois o sinal é diferencial, entretanto a norma TIA/EIA-485 (Telecommunications Industry Association / Electronic Industries Association) especifica que a máxima diferença de potencial entre os dispositivos da rede precisa estar entre $-7V$ e $+12V$.

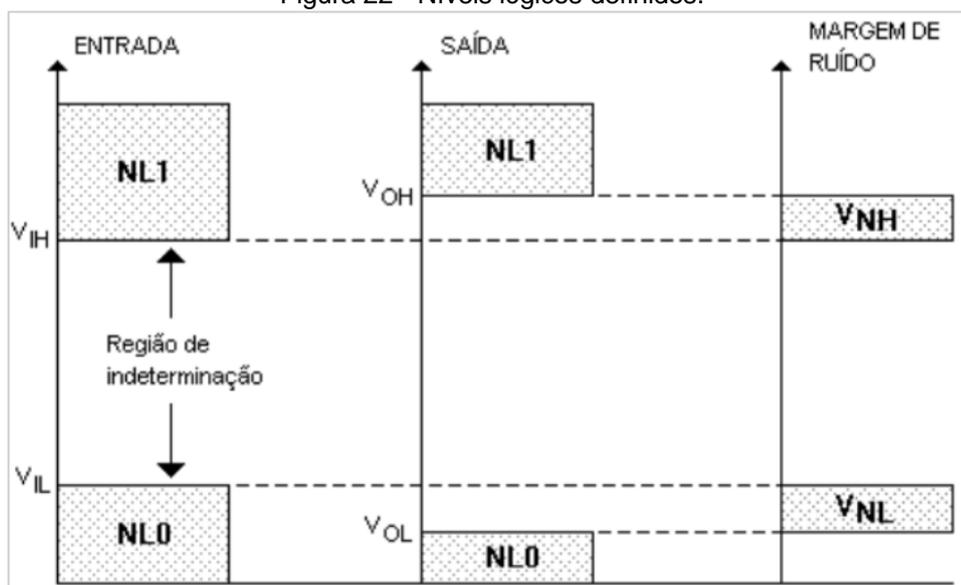
4.2.2 TTL

Lógica transistor-transistor (TTL) é uma classe de circuitos digitais estabelecidos com base em transistores de junção bipolar (BJT) e resistores. As funções de porta lógica e de amplificação são executadas por transistores (em contraste com a lógica *Resistor-Transistor* (RTL) e a lógica *Diodo-Transistor* (DTL)). TTL é estimado por ser uma família difundida de circuitos integrados (CI) aplicada em muitas finalidades como computadores, controle industrial, teste de equipamentos e instrumentos, eletrônica de consumidor, sintetizadores, dentre outros.

O atributo mais relevante desta família é o fato dela ser alimentada com uma tensão de 5 Volts. Desse modo, para as partes desta família o nível lógico 0 é sempre a falta de tensão ou 0 V enquanto que o nível lógico 1 é sempre uma tensão de +5 V.

Os níveis lógicos para serem estimados precisam estar dentro de faixas bem determinadas, conforme figura 22.

Figura 22 - Níveis lógicos definidos.



Fonte: STUDOCU, Resumo sobre TTL e CMOS para a materia de Eletronica Digital I.¹²

Conforme visto na figura 22, há uma faixa de tensão de entrada onde o componente TTL não identifica os níveis lógicos 0 e 1, tendo que, portanto, ser evitada em projetos de circuitos digitais. Na qual: VNL (*Voltage Noise Low*) = margem de ruído ou imunidade a ruído na entrada de um circuito lógico para nível lógico 0. VNH (*Voltage Noise High*) = margem de ruído ou imunidade a ruído na entrada de um circuito lógico para nível lógico 1. VIL (*Voltage Input Low*) = tensão necessária na entrada do circuito para nível lógico 0. VIH (*Voltage Input High*) = tensão necessária na entrada do circuito para nível lógico 1. VOL (*Voltage Output Low*) = tensão na saída do circuito para nível lógico 0. VOH (*Voltage Output High*) = tensão na saída do circuito para nível lógico 1. Para definir o VNL e VNH tem-se: No nível lógico 1: VNH = VOH (mínimo) – VIH (mínimo); no nível lógico 0: VNL = VIL (máximo) – VOL (máximo) os níveis de entrada e saída para a versão padrão TTL Standard, conforme tabela 7:

¹² STUDOCU. **Resumo sobre TTL e CMOS para a materia de Eletronica Digital I.** Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/instituto-federal-de-educacao-ciencia-e-tecnologia-do-espirito-santo/eletronica-digital-i/ttl-e-cmos-1-resumo-sobre-ttl-e-cmos-para-a-materia-de-eletronica-digital-i/14581691>. Acesso em: 21 jan. 2022.

Tabela 7 - Níveis de entrada e saída para a versão padrão TTL Standard.

TTL Standard		
Parâmetros	Valores	Unidade
V_{IL}	máx: 0,8	V
V_{OL}	máx: 0,4	V
V_{IH}	min: 2,0	V
V_{OH}	min: 2,4	V
I_{OL}	16	mA
I_{IL}	1,6	mA
I_{OH}	400	μ A
I_{IH}	40	μ A

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em razão dos avanços nos processos de manufatura apareceram várias ramificações na família TTL resultando em várias sub-famílias ou séries. A Tabela 8 lista cada uma destas séries, as quais surgiram a partir da década de 90, com o prefixo utilizado para identificar os vários CIs de uma mesma família pertencentes a cada sub-família ou série, consumo de potência e tempo de retardo. A diferença entre os dispositivos de cada uma das séries TTL residem em suas características elétricas, como dissipação de potência, tempo de retardo e velocidade de comutação. Eles não diferem na disposição de seus pinos ou nas operações lógicas realizadas por seus circuitos internos.

Tabela 8 - Séries TTL.

Séries TTL	Prefixo	Hex NOT	Potência Dissipada por porta (mW)	Tempo de Atraso (ns)
TTL padrão	74	7404	10	10
TTL de baixa potência	74L	74L04	1	33
TTL de alta velocidade	74H	74H04	23	6
TTL Schottky	74S	74S04	20	3
TTL Schottky de baixa potência	74LS	74LS04	2	10
TTL Schottky avançada	74AS	74AS04	7	1,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será discutido acerca das dificuldades encontradas para a para a implementação do projeto e como foram contornadas, resultados obtidos sobre a comunicação *modbus* e o sinal de comando das bombas de dosagem.

5.1 Dificuldades apresentadas e soluções

Devido a pandemia as atividades presenciais em qualquer ETA ficaram restritas. Ainda, os trabalhos na CAGECE se mantiveram em home office durante o período de desenvolvimento deste trabalho. Os materiais desejáveis não estavam disponíveis.

Desta forma, buscou-se alternativas para a obtenção de resultados, foi utilizado o Simulador *Modbus Slave*, simulando o que seria o analisador TW-54, este permite com que haja uma comunicação *modbus* com outro dispositivo que faça o papel de master, sendo realizada a comunicação com a placa de desenvolvimento do projeto, que estava programada para esta função dentro da comunicação.

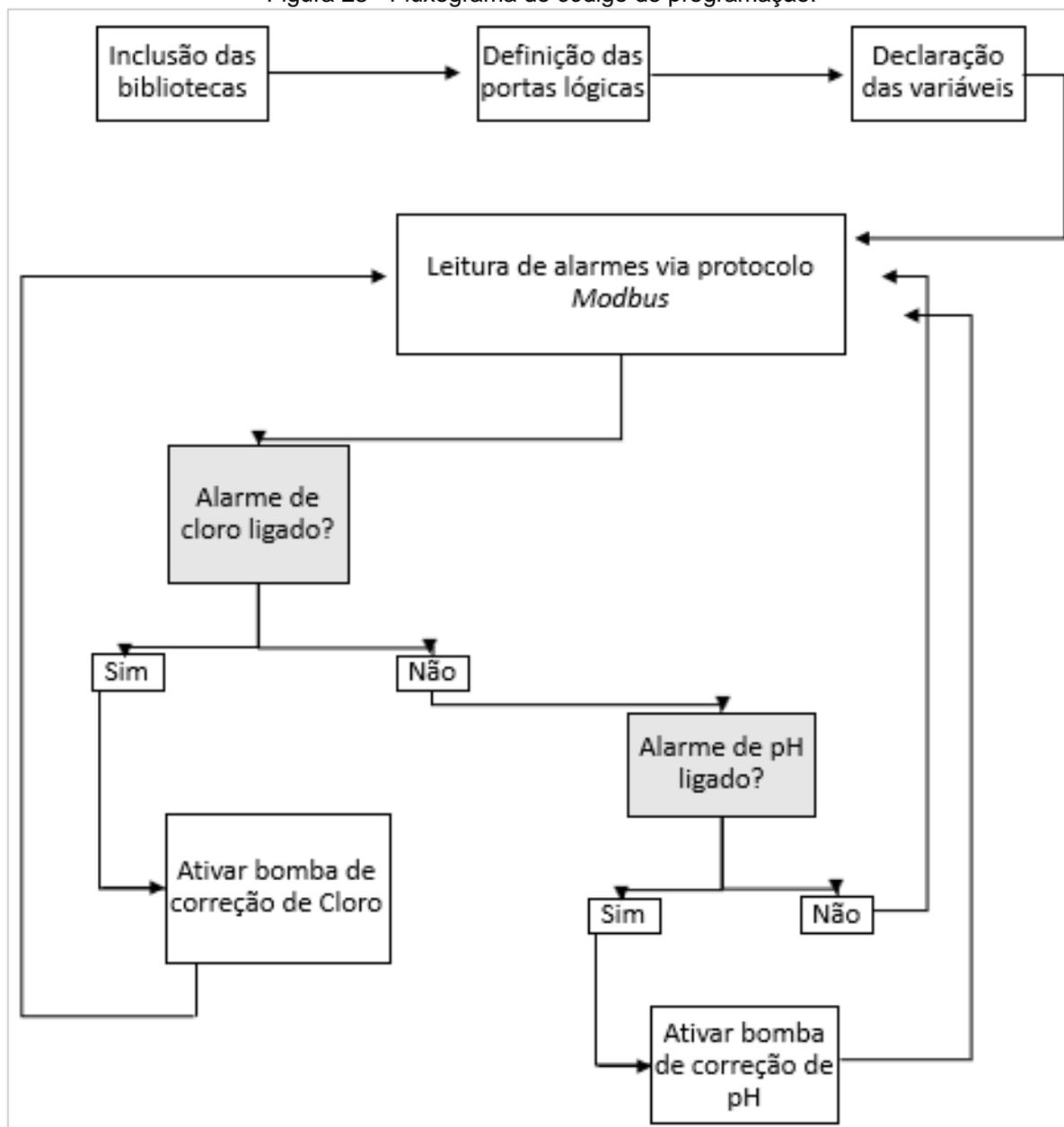
Além disso, esta placa tem o papel de enviar o sinal de comando das bombas dosadores, este sinal foi evidenciado por meio de LEDs (*Light Emitting Diode*), ou seja, o comportamento destes LEDs será igual ao das bombas de dosagem, logo, dentro desta simulação aqueles representam estas, permitindo visualizar como se comportam os sinais de comando de acordo com os valores lidos nos registradores de um *slave*, é possível visualizar como estes LEDs estão conectados a placa de desenvolvimento por meio do Anexo A.

5.2 Resumo da programação da placa NodeMCU

A programação (Anexo B) inicia fazendo a inclusão da biblioteca que permite a comunicação *modbus*, posteriormente, é realizada a definição das portas lógicas de envio de comandos para as bombas de dosagem e o pino de controle para a comunicação, em seguida, é feita a declaração das variáveis, onde algumas são apenas auxiliares e outras recebem os valores lidos na comunicação, então é realizada a comunicação via protocolo *modbus* onde são recebidos parâmetros de registradores de um *slave*, estes parâmetros são valores de alarmes que posteriormente serão analisados para tomar a decisão de qual será o sinal de

comando enviado, ou seja, se algum parâmetro analisado estiver fora do adequado, será enviado um sinal de acionamento para a bomba de dosagem responsável por sua correção.

Figura 23 - Fluxograma do código de programação.

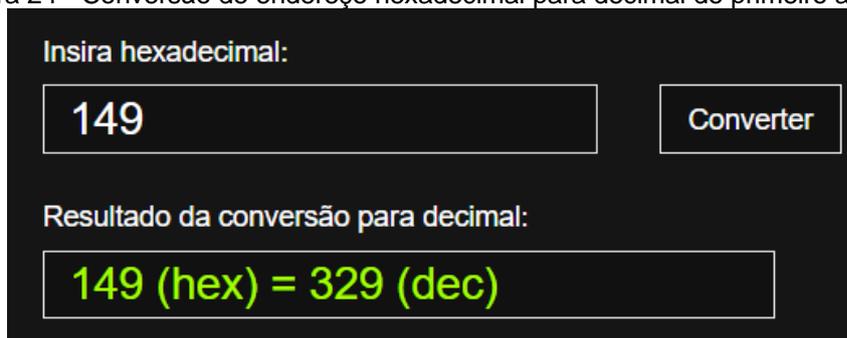


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.3 Conversão de endereço hexadecimal para decimal

Por preferência de se trabalhar com números decimais no simulador e no código, preferiu-se converter o endereço do primeiro registrador a ser lido para decimal, conforme ilustrado na figura 24, os outros registradores o sucederão.

Figura 24 - Conversão de endereço hexadecimal para decimal do primeiro alarme.



Insira hexadecimal:

149

Converter

Resultado da conversão para decimal:

149 (hex) = 329 (dec)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.4 Simulador *Modbus Slave*

O Simulador *Modbus Slave* permite com que se faça uma simulação *modbus* o utilizando como um *slave* e manipulando seus registradores conforme a necessidade do sistema.

A figura 25 mostra a tela inicial do *software*, onde é possível visualizar os registradores e os valores inseridos nos mesmos.

Figura 25 - Tela inicial do *Software Simulador Modbus Slave*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5 Simulação de funcionamento

Como citado anteriormente, foi utilizado LEDs para evidenciar os sinais enviados pela placa de desenvolvimento para o controle de acionamento das bombas

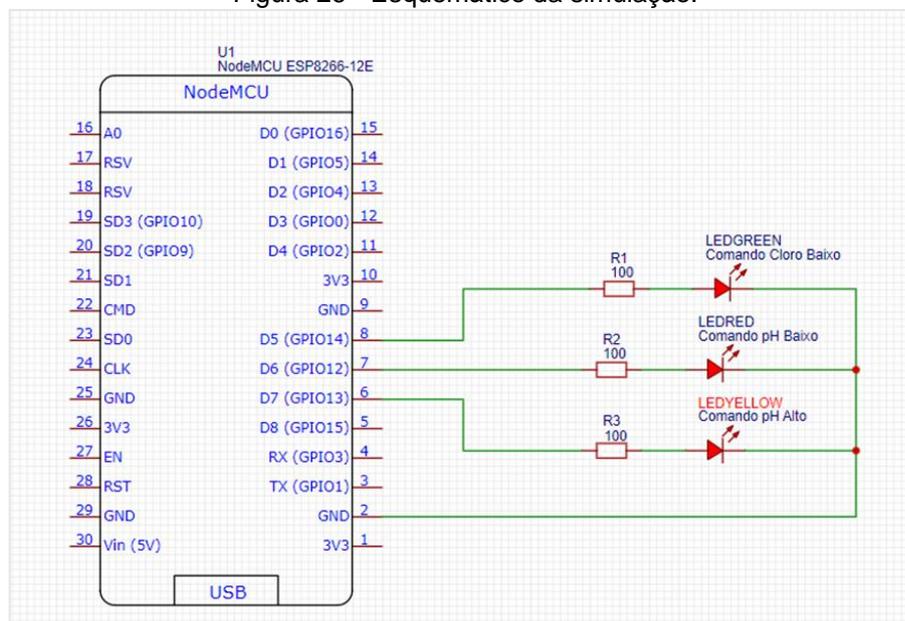
dosadoras, ao passo que quando o LED está desligado, é devido a sua porta lógica está em nível lógico baixo e quando está ligado, o nível lógico da porta está alto.

Foram simuladas cinco situações: todos os alarmes desligados, alarme cloro baixo ligado, alarme cloro baixo ligado e alarme pH baixo ligado, alarme pH baixo ligado, por fim, alarme pH alto ligado.

Devido a característica do relé de estado sólido proposto, a bomba dosadora será ligada com nível lógico baixo, ou seja, LED apagado e desligada em nível lógico alto, LED ligado. Foi associado ao pino GPIO (*General Purpose Input/Output*) 14 (D5) o comando de cloro baixo, utilizou-se um LED verde para representar o acionamento, foi associado ao pino GPIO 12 (D6) o comando de pH baixo, utilizou-se um LED vermelho para representar o acionamento e foi associado ao pino GPIO 13 (D7) o comando de pH baixo, utilizou-se um LED amarelo para representar o acionamento.

A seguir, na figura 26 temos a figura do esquemático utilizado:

Figura 26 - Esquemático da simulação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O Simulador *Modbus Slave* precisa ser configurado de acordo com as definições de *slave* e configurações de comunicação utilizadas.

A figura 27 a seguir mostra a janela *slave definition* configurada.

Figura 27 - Janela *slave definition* configurada.

Slave Definition

Slave ID:

Function:

Address mode
 Dec Hex

Address: PLC address = 40330

Quantity:

View

Rows
 10 20 50 100 Fit to Quantity

Hide Name Columns PLC Addresses (Base 1)
 Address in Cell

Error Simulation

Skip response Insert CRC/LRC error (Not when using)
 Return exception 06, Busy

[ms] Response

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A figura 28 mostra a janela *connection setup* configurada.

Figura 28 - Janela *connection setup* configurada.

Connection Setup

Connection:

Serial Settings

Mode
 RTU ASCII

Flow Control
 DSR CTS RTS Toggle
 [ms] RTS disable delay

TCP/IP Server

IP Address: Port:

Any Address Ignore Unit ID IPv4 IPv6

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.1 Todos os alarmes desligados

Todos os registradores de alarme (figura 29) estão com valor 0, indicando não haver problemas em relação aos valores de pH e cloro da água. Assim, todos os LEDs ficam ligados, indicando que nenhuma bomba dosadora será acionada.

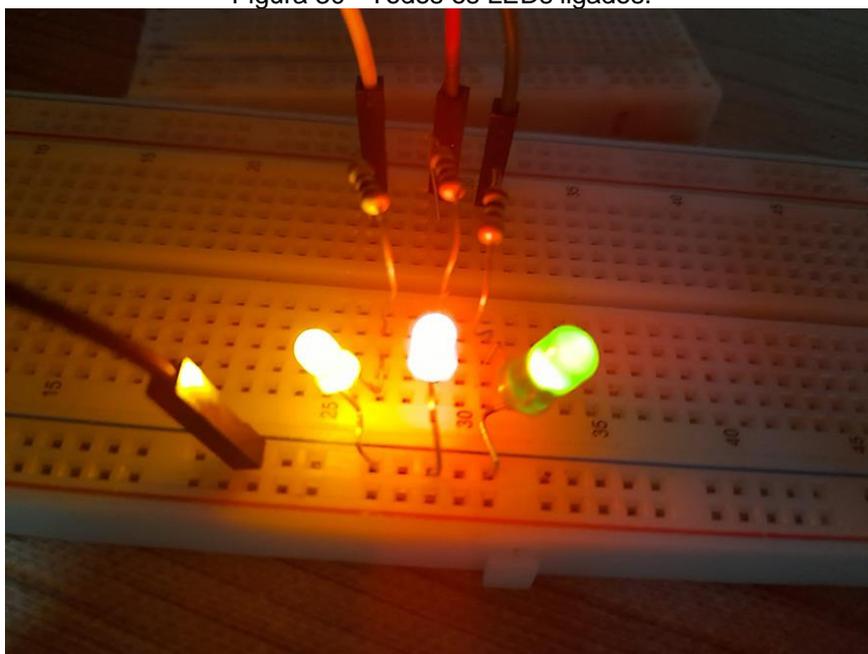
Figura 29 - Registrador de todos os alarmes desligados.

	Name	00320	Name	00330
0			Alm. Cloro Alto	0
1			Alm. pH Baixo	0
2			Alm. pH Alto	0
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9	Alm. Cloro Baixo	0		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A figura 30 ilustra a simulação com todos os LEDs ligados.

Figura 30 - Todos os LEDs ligados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ainda, é possível visualizar o *frame* de envio de dados do simulador, conforme figura 31.

Figura 31 - *Frame* de envio de dados.

```
Tx:000005-01 03 08 00 00 00 00 00 00 00 00 95 D7
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.2 Alarme Cloro Baixo Ligado

Foi inserido o valor 1 no registrador de alarme de cloro baixo ligado (figura 32), simulando esta situação. Diante disso, observou o desligamento do LED verde, situação que indica um acionamento da bomba dosadora responsável por injetar uma substância que solucione o problema.

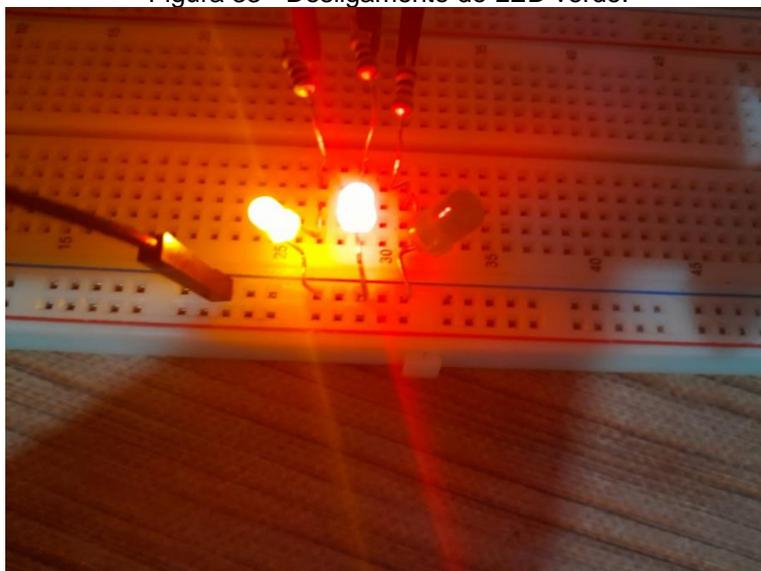
Figura 32 - Registrador de alarme de cloro baixo ligado.

	Name	00320	Name	00330
0			Alm. Cloro Alto	0
1			Alm. pH Baixo	0
2			Alm. pH Alto	0
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9	Alm. Cloro Baixo	1		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A figura 33 ilustra a simulação com o desligamento do LED verde.

Figura 33 - Desligamento do LED verde.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ainda, é possível visualizar o *frame* de envio de dados do simulador, conforme figura 34.

Figura 34 - *Frame* de envio de dados.

```
Tx:000017-01 03 08 00 01 00 00 00 00 00 00 85 17
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.3 Alarme Cloro Baixo Ligado e Alarme pH Baixo Ligado

Foi inserido o valor 1 nos registradores de alarme de cloro baixo ligado e alarme de pH baixo ligado (figura 35), simulando esta situação. Diante disso, observou o desligamento do LED verde, foi projetado um a prioridade de solucionar problemas de cloro antes de problemas de pH, desta forma haverá o acionamento da bomba dosadora responsável por injetar uma substância que solucione o problema de cloro, após o problema solucionado, será acionada a bomba dosadora responsável pelo problema de pH baixo.

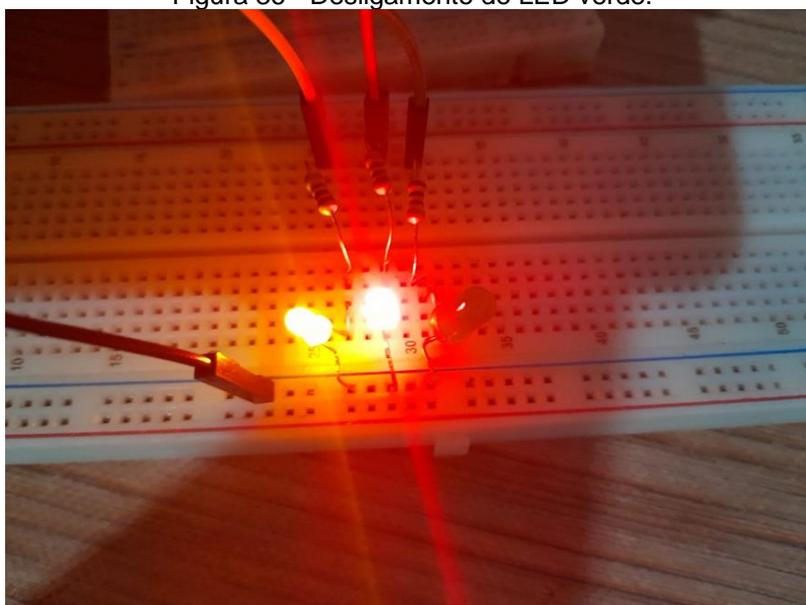
Figura 35 - Registradores de alarme de cloro baixo ligado e alarme de pH baixo ligado.

	Name	00320	Name	00330
0			Alm. Cloro Alto	0
1			Alm. pH Baixo	1
2			Alm. pH Alto	0
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9	Alm. Cloro Baixo	1		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A figura 36 mostra a simulação com o desligamento do LED verde.

Figura 36 - Desligamento do LED verde.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ainda, é possível visualizar o *frame* de envio de dados do simulador, conforme figura 37.

Figura 37 - *Frame* de envio de dados.

Tx:000020-01 03 08 00 01 00 00 00 01 00 00 D4 D7

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.4 Alarme pH Baixo Ligado

Já nesta situação, simula o problema de cloro já ter sido extinto, restando o pH baixo (figura 38) e foi inserido o valor 1 no registrador de alarme de pH baixo ligado. Diante disso, observou o desligamento do LED vermelho, situação que indica um acionamento da bomba dosadora responsável por injetar uma substância que solucione o problema.

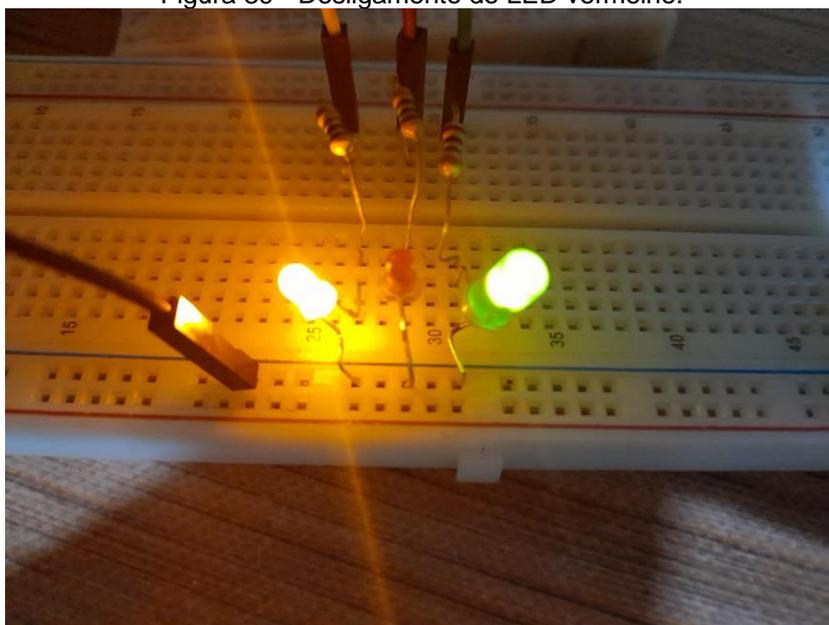
Figura 38 - Registrador de alarme de pH baixo ligado.

	Name	00320	Name	00330
0			Alm. Cloro Alto	0
1			Alm. pH Baixo	1
2			Alm. pH Alto	0
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9	Alm. Cloro Baixo	0		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A figura 39 mostra a simulação com o desligamento do LED vermelho.

Figura 39 - Desligamento do LED vermelho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ainda, é possível visualizar o *frame* de envio de dados do simulador, conforme figura 40.

Figura 40 - *Frame* de envio de dados.

```
Tx:000002-01 03 08 00 00 00 00 01 00 00 C4 17
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.5.5 Alarme pH Alto Ligado

Foi inserido o valor 1 no registrador de alarme de pH alto ligado (figura 41), simulando esta situação. Diante disso, observou o desligamento do LED amarelo, situação que indica um acionamento da bomba dosadora responsável por injetar uma substância que solucione o problema.

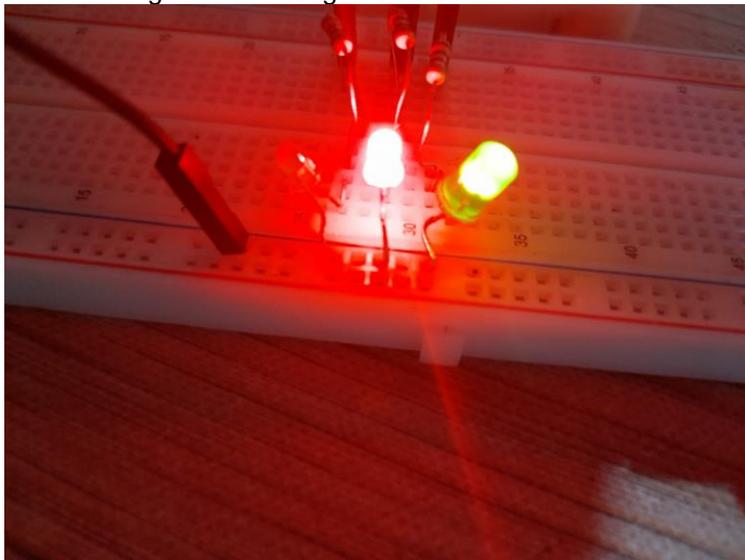
Figura 41 - Registrador de alarme de pH alto ligado.

	Name	00320	Name	00330
0			Alm. Cloro Alto	0
1			Alm. pH Baixo	0
2			Alm. pH Alto	1
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9	Alm. Cloro Baixo	0		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A figura 42 mostra a simulação com o desligamento do LED amarelo.

Figura 42 - Desligamento do LED amarelo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Ainda, é possível visualizar o *frame* de envio de dados do simulador, conforme figura 43.

Figura 43 - Frame de envio de dados.

```
Tx:000018-01 03 08 00 00 00 00 00 00 00 01 54 17
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

6 CONCLUSÃO

Os resultados finais obtidos foram bastante satisfatórios com a proposta inicial do projeto. Foi elaborado um código para a placa NodeMCU Lua ESP-12E, tornando-o capaz de realizar uma comunicação *modbus*, funcionando como um *master* e, em seguida, envia comandos por meio de uma porta lógica.

Esse resultado foi observado durante a realização dos testes, em cinco situações diferentes, sendo elas: todos os alarmes desligados, com o cloro baixo, com o cloro e pH baixos, somente pH baixo e pH alto. O sistema se mostrou suficiente nos diversos cenários.

Como proposta de trabalho futuro, seria de grande valia fazer os experimentos em um sistema totalmente físico. Tendo em vista que este trabalho elaborou uma plataforma de monitoramento, como melhoria do projeto, poderia ser realizada a alteração do código para a leitura de um maior número de registradores, podendo utilizar estas informações para um sistema de controle de pH e cloro mais refinado, ainda, seria possível a incrementação de mais atuadores em conjunto à placa NodeMCU Lua ESP-12E, como, por exemplo, um display para evidenciar os valores lidos, uma memória externa para o armazenamento de dados em caso de desenergização, um RTC (*Real Time Clock*) para ser possível identificar o horário que os dados foram enviados, outra sugestão seria a utilização do módulo Wi-fi da placa para enviar para a internet dos valores obtidos da sua comunicação, podendo ser utilizado um banco de dados, possibilitando um monitoramento remoto.

REFERÊNCIAS

ALFACOMPBRASIL. **Modbus – Como funciona o protocolo de comunicação mais utilizado na automação industrial.** 2019. Disponível em:

<https://alfacomp.net/2019/02/27/protocolo-modbus/>. Acesso em: 21 jan. 2022.

ANDRADE, L. G. M. **Sistema de controle de dispositivos remotos via rede GSM/GPRS.** 2013. 142 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2013.

BAU DA ELETRONICA. **Conversor de Dados TTL Para RS485 - CDT11.**

Disponível em: [https://www.baudaeletronica.com.br/conversor-de-dados-ttl-para-rs485-](https://www.baudaeletronica.com.br/conversor-de-dados-ttl-para-rs485-cdt11.html?gclid=Cj0KCQiA9OiPBhCOARIsAl0y71D_x8JTUfHwhNv6ntkvraPSX9pk22ZD2F4YsdiAGYom34ZQht1ppMlaAIKZEALw_wcB)

[cdt11.html?gclid=Cj0KCQiA9OiPBhCOARIsAl0y71D_x8JTUfHwhNv6ntkvraPSX9pk22ZD2F4YsdiAGYom34ZQht1ppMlaAIKZEALw_wcB](https://www.baudaeletronica.com.br/conversor-de-dados-ttl-para-rs485-cdt11.html?gclid=Cj0KCQiA9OiPBhCOARIsAl0y71D_x8JTUfHwhNv6ntkvraPSX9pk22ZD2F4YsdiAGYom34ZQht1ppMlaAIKZEALw_wcB). Acesso em: 03 fev. 2022.

DIGIMED. **Manual de Instruções Analisador de Cloro Amperométrico TW-54.**

Soft. 2.5. Man. 220. Rev. 04.

FALBRIARD, C. **Protocolos e aplicações para redes de computadores.** São Paulo: Érika, 2002.

FREITAS, C. M. **Redes de comunicação em RS-485,** 2017. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/redes-de-comunicacao-em-rs-485/#>. Acesso em: 10 dez. 2021.

KOLBAN, N. **Kolban's Book on ESP8266.** 2016. Disponível em:

https://leanpub.com/ESP8266_ESP32. Acesso em: 20 jan. 2022.

KUGELSTADT, T. **The RS-485 Design Guide**. Texas Instruments. February 2008– Revised October 2016. Disponível em:
https://www.ti.com/lit/an/slla272d/slla272d.pdf?ts=1643422915959&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com.hk%252F. Acesso em: 21 jan. 2022.

MATTEDE, H. **O que é relé de estado sólido?** S.d. Disponível em:
<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-rele-de-estado-solido/>. Acesso em: 04 fev. 2022.

NOVA ELETRONICA. **Conheça o Relé de Estado Sólido**. S.d. Disponível em:
<http://blog.novaeletronica.com.br/conheca-o-rele-de-estado-solido/>. Acesso em: 04 fev. 2022.

OLIVEIRA, G. **NodeMCU – Uma plataforma com características singulares para o seu projeto IoT**. 2017. Disponível em:
<https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/nodemcu/nodemcu-uma-plataforma-com-caracteristicas-singulares-para-o-seu-projeto-iot>. Acesso em: 29 jan. 2022.

OLIVEIRA, R. R. **Uso do microcontrolador ESP8266 para automação residencial**. 2017. 42 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

PAREDE, I. M.; GOMES, L. E. L. **Eletrônica: automação industrial**. Série Eletrônica, v. 6. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

PEREIRA, D. A. R. **Projeto de um sistema de automação industrial para uma indústria de produtos saneantes**. 2015. 85 p. Trabalho de conclusão de curso

(Graduação em Engenharia Automotivada) - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2015.

PROMINENT. **Manual Bomba de dosagem magnética CONCEPTplus CNPb.**

2006. Disponível em:

<https://www.prominent.com.br/resources/OperatingInstructions/Portuguese/23490/20190520-OM-Concept-Plus-PT.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

RAMOEL. **Relé de estado sólido: funcionamento e vantagens.** 2019. Disponível

em: <https://blog.rhmateriaiseletricos.com.br/como-funciona-um-rele-de-estado-solido/>. Acesso em: 04 fev. 2022.

RIBEIRO, M. A. **Automação Industrial.** 4ª edição. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria, 2001.

RIOS, R. O. **Protocolos e serviços de redes.** Colatina: CEAD / Instituto Federal do Espírito Santo, 2011.

ROBOCORE. **Módulo Relé de Estado Sólido SSR.** Disponível em:

<https://www.robocore.net/atuador-rele/modulo-rele-de-estado-solido-ssr>. Acesso em: 04 fev. 2022.

ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação Industrial.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016.

SABESP. **Qualidade da água tratada.** Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaId=40#:~:text=%C3%89%20>

um%20par%C3%A2metro%20que%20deve,%2C0%20a%209%2C5. Acesso em: 8 nov. 2021.

SABESP. **Tratamento de água**. Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>. Acesso em: 8 nov. 2021.

SEALEVEL. **Interfaces elétricas seriais**. 2012. Disponível em:

<https://www.sealevel.com/support/serial-electrical-interfaces/>. Acesso em: 21 jan. 2022.

SILVA, J. P. **Apostila eletrônica de potência**, s.d. Disponível em:

http://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/Apostila-Eletronica-Potencia-IFRN.pdf. Acesso em: 24 jan. 2022.

STUDOCU. **Resumo sobre TTL e CMOS para a materia de Eletronica Digital I**.

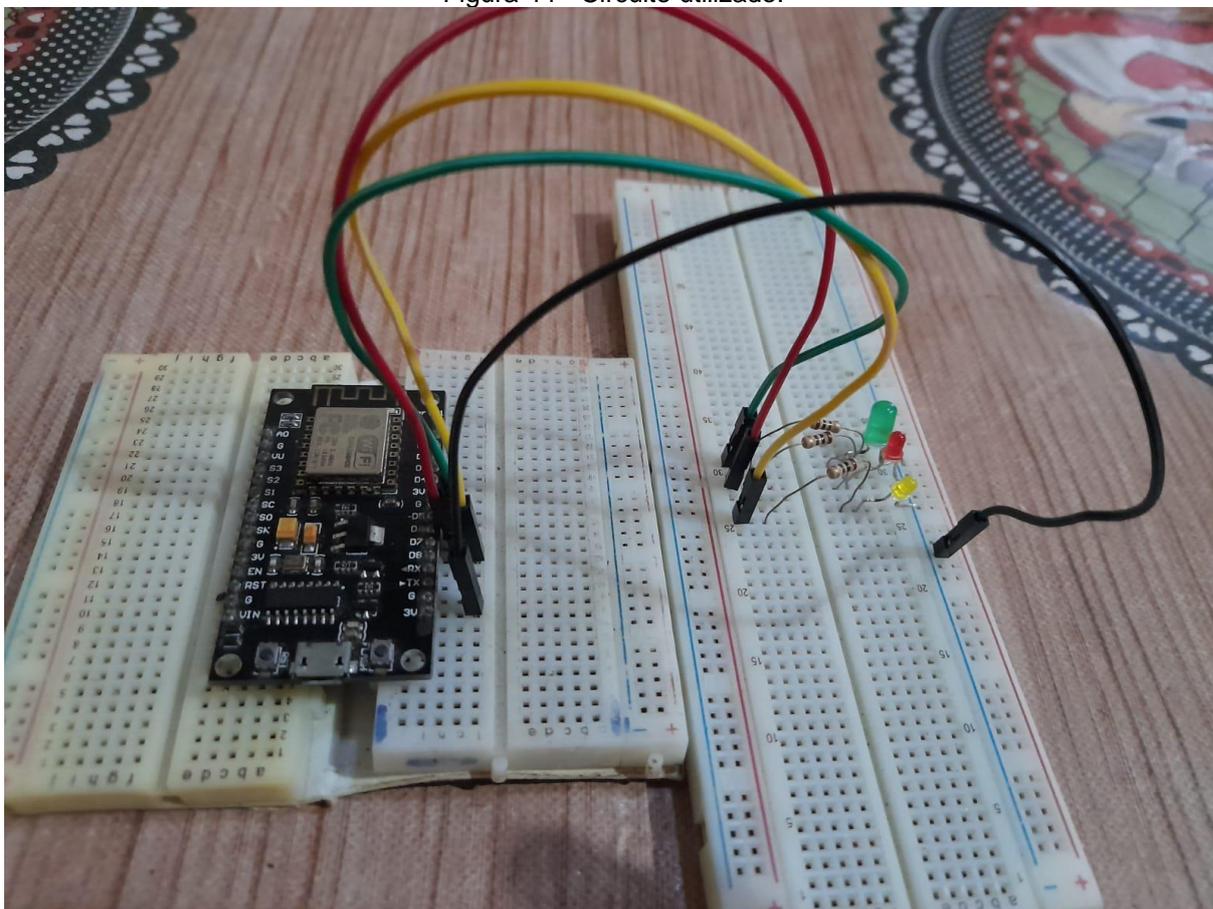
Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/instituto-federal-de-educacao-ciencia-e-tecnologia-do-espírito-santo/eletronica-digital-i/ttl-e-cmos-1-resumo-sobre-ttl-e-cmos-para-a-materia-de-eletronica-digital-i/14581691>. Acesso em: 21 jan. 2022.

TECHTUDO. **O que é o código ASCII e para que serve?** 2015. Disponível em:

<https://www.techtodo.com.br/noticias/2015/02/o-que-e-o-codigo-ascii-e-para-que-serve-descubra.gh.html>. Acesso em: 29 jan. 2022.

ANEXO A – IMAGEM DA BANCADA

Figura 44 - Circuito utilizado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

ANEXO B – PROGRAMA COMENTADO

/* PROGRAMA NODEMCU LUA ESP-12E

* AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DE PH E CLORO DA ÁGUA

* LEONARDO J. B. CASTRO

* 2022

* Este programa tem como princípio fazer a leitura dos alarmes do analisador TW-54 que se relacionam com os níveis de cloro e pH e, em seguida, envia um sinal de liga/desliga para as bombas de dosagem, fazendo a correção dos valores, se necessário

*/

// Inclusão das Bibliotecas

#include <ModbusMaster.h> // biblioteca para comunicação modbus, como master

//Definação das portas lógicas

#define MAX485_DE 2 // Pino de controle RS-485 (D4)

#define MAX485_RE_NEG 2 //Pino de controle RS-485 (D4)

#define alm_cloro_baixo 14 // Pino acionamento da bomba de cloro baixo (D5)

```
#define alm_pH_baixo 12 // Pino acionamento da bomba de cloro baixo (D6)
#define alm_pH_alto 13 // Pino acionamento da bomba de cloro baixo (D7)
```

```
// Declaração de variáveis;
```

```
uint8_t result; // Variável auxiliar para verificação da comunicação modbus
```

```
static uint32_t i; // Variável auxiliar para
```

```
uint8_t j;
```

```
uint16_t data[3]; // Vetor de recebimento de dados modbus
```

```
byte cloro_baixo = 0, cloro_alto = 0, pH_baixo = 0, pH_alto = 0; // variáveis
```

```
;
```

```
// Inicializaçãp do objeto ModbusMaster
```

```
ModbusMaster node;
```

```
// Funções de Pinos de controle de comunicação
```

```
void preTransmission()
```

```
{  
  
    digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 1); // Pino de controle em nível lógico alto  
    digitalWrite(MAX485_DE, 1); // Pino de controle em nível lógico alto  
}  
  
void postTransmission()  
  
{  
  
    digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 0); // Pino de controle em nível lógico baixo  
    digitalWrite(MAX485_DE, 0); // Pino de controle em nível lógico baixo  
}  
  
void setup()  
  
{  
  
    pinMode(alm_cloro_baixo, OUTPUT); // definição de pino com saída digital  
    pinMode(alm_pH_baixo, OUTPUT); // definição de pino com saída digital  
    pinMode(alm_pH_alto, OUTPUT); // definição de pino com saída digital  
    pinMode(MAX485_RE_NEG, OUTPUT); // definição de pino com saída digital  
    pinMode(MAX485_DE, OUTPUT); // definição de pino com saída digital  
  
    // Iniciar o modo de recepção  
    digitalWrite(MAX485_RE_NEG, 0);  
    digitalWrite(MAX485_DE, 0);
```

```
// A comunicação Modbus funciona a 19200 bauds
Serial.begin(19200);

// Modbus slave ID 1
node.begin(1, Serial);

// Os retornos de chamada nos permitem configurar o transceiver RS485
corretamente
node.preTransmission(preTransmission);
node.postTransmission(postTransmission);
}

void loop()
{
  i++; // incrementa a cada loop

  // define a palavra 0 do TX buffer como menos significativa
  node.setTransmitBuffer(0, lowWord(i));

  // define a palavra 1 do TX buffer como mais significativa
  node.setTransmitBuffer(1, highWord(i));

  // Lê 4 registros começando do endereço (329)
  result = node.readHoldingRegisters(329, 4);
```

```
if (result == node.ku8MBSuccess) // Se a a comunicação funcionar
{
  for (j = 0; j < 4; j++)
  {
    data[j] = node.getResponseBuffer(j); // Vetor data recebe valores enviados pela
    comunicação
  }
}

else {
  Serial.println("Falha na conexao MODBUS"); // Em caso de falha na comunicação
}

// Transferindo valores para variáveis didáticas
cloro_baixo = data[0];
pH_baixo = data[2];
pH_alto = data[3];
delay(500);

//Setagem das portas de controle das bombas caso algum alarme esteja ativado
if (cloro_baixo == 1) // Se o alarme setado indicar valor do cloro estiver baixo
{
  Serial.print (" Cloro Baixo ");
```

```
digitalWrite(alm_cloro_baixo, LOW); // Ativação da bomba de cloro baixo
delay(5000); // Permanece ligada por 5 segundos

}

else {

digitalWrite(alm_cloro_baixo, HIGH); // Senão, bomba de cloro baixo fica desligada

    if (pH_baixo == 1) // Se o alarme setado indicar valor do pH estiver baixo
    {
        Serial.print (" PH Baixo ");

        digitalWrite(alm_pH_baixo, LOW); // Ativação da bomba de pH baixo
        delay(5000); // Permanece ligada por 5 segundos

    }

    else {

        digitalWrite(alm_pH_baixo, HIGH); // Senão, bomba de pH baixo fica
desligada

    }

    if (pH_alto == 1) // Se o alarme setado indicar valor do pH estiver altoo
    {

        Serial.print (" PH Alto ");

        digitalWrite(alm_pH_alto, LOW); // Ativação da bomba de pH alto
        delay(5000); // Permanece ligada por 5 segundos

    }

}
```

```
}  
else {  
    digitalWrite(alm_pH_alto, HIGH); // Senão, bomba de pH alto fica desligada  
}  
  
}  
}
```