

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE  
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL



HIARLEY MARTINS LIRA

**SISTEMA DIDÁTICO DE TANQUES ACOPLADOS PARA ENSINO DE  
CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Cajazeiras  
2023

HIARLEY MARTINS LIRA

**SISTEMA DIDÁTICO DE TANQUES ACOPLADOS PARA ENSINO DE  
CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Tecnologia em  
Automação Industrial do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
como parte dos requisitos para a obtenção do  
grau de Tecnólogo em Automação Industrial

Orientador: Prof. Dr. Leandro Luttiane da Silva  
Linhares

Cajazeiras  
2023

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva

Catálogo na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

L768s IFPB/CZ	<p>Lira, Hiarley Martins. Sistema didático de tanques acoplados para ensino de controle e automação / Hiarley Martins Lira. - 2023.</p> <p>46f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo Automação Industrial) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.</p> <p>Orientador(a): Prof. Dr. Leandro Luttiane da Silva Linhares.</p> <p>1. Controle e automação - Ensino. 2. Didática. 3. Sistema de controle de fluxo. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p> <p>CDU: 681.5(043.2)</p>
------------------	---



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

HIARLEY MARTINS LIRA (201712030003)

SISTEMA DIDÁTICO DE TANQUES ACOPLADOS PARA ENSINO DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito para obtenção do Título de  
**Tecnólogo em Automação Industrial**, pelo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia da Paraíba - Campus Cajazeiras.

Aprovado em 24 de março de 2023.

**Membros da Banca Examinadora:**

Leandro Luttiane da Silva Linhares  
IFPB - Unidade Acadêmica de Informática

Abinadabe Andrade Silva  
IFPB - Unidade Acadêmica de Industria

Gemierson Valois da Mota Candido  
IFPB - Unidade Acadêmica de Industria

Luan Carvalho Santana de Oliveira  
IFPB - Unidade Acadêmica de Industria

Documento assinado eletronicamente por:

- Leandro Luttiane da Silva LinharesPROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICQ em 05/04/2023 14:08:09.
- Luan Carvalho Santana de OliveiraPROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICQ em 05/04/2023 14:11:56.
- Abinadabe Silva Andrade DIRETOR(A) GERAL - CD2 - DG-CZ em 05/04/2023 14:44:42.
- Gemerson Valois da Mota CandidoPROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICQ em 08/04/2023 15:26:54.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/04/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse [hps://suap.ifpb.edu.br/autencar-documento/](https://suap.ifpb.edu.br/autencar-documento/) e forneça os dados abaixo:

Código 413443  
Verificador: c24edbb909  
Código de Autenticação:



Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CAJAZEIRAS / PB, CEP 58.900-000  
<http://ifpb.edu.br> - (83) 3532-4100

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

Nikola Tesla.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho com gratidão aos meus familiares, cujo incentivo e apoio foram essenciais ao longo da minha jornada acadêmica, ajudando-me a alcançar meus objetivos.

Também dedico este trabalho aos meus estimados professores, cuja orientação e introdução na área da pesquisa científica despertaram em mim um profundo fascínio e dedicação por esse campo do conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e para o término desta etapa de grande importância em minha vida. Cada um deixou sua marca em minha história, caminhando ao meu lado desde o início até o fim da minha graduação. Seus esforços, apoio e presença significaram muito para mim. Obrigado a todos por fazerem parte dessa jornada e por tornarem esse momento tão especial.

Expressar minha gratidão ao meu orientador, que me acompanhou em todas as etapas deste trabalho, ou IFPB Cajazeiras pelo espaço que fornece aos alunos, grato também aos professores que, de forma exemplar, transmitiram seu conhecimento, contribuindo para a minha formação e desenvolvimento pessoal. Sou grato a todos eles por me ajudarem a me tornar quem eu sou hoje

Expresso minha gratidão ao meu orientador, que me acompanhou durante todas as etapas deste trabalho, assim como ao IFPB Campus Cajazeiras, por fornecer um ambiente propício para o desenvolvimento acadêmico dos alunos. Também sou extremamente grato aos professores que, de maneira exemplar, compartilharam seu conhecimento, contribuindo para a minha formação e desenvolvimento pessoal. Agradeço a todos eles por terem me ajudado a me tornar a pessoa que sou hoje

Agradeço de forma especial à minha família pelo apoio dedicado à realização deste trabalho e conclusão de minha formação. O suporte e encorajamento que recebi de vocês foram essenciais para alcançar esse marco em minha vida.

Sou grato aos meus amigos mais próximos por compartilharmos momentos inesquecíveis vividos durante minha formação, pelo apoio constante e por tudo o que aprendemos juntos. Cada um deles sabe o quão significativo é o papel que desempenham em minha vida

Por fim agradeço a Deus por ter colocado cada uma dessas pessoas em meu caminho. Agradeço por toda a sabedoria e orientação que guiaram meus estudos, iluminando meu caminho rumo ao conhecimento.

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho consiste em desenvolver um sistema didático de nível de tanques duplos acoplados de pequeno porte que possa vir a ser utilizado no IFPB – *Campus* Cajazeiras/PB – como ferramenta de apoio à aprendizagem e ao desenvolvimento de pesquisas científicas. Uma das grandes motivações para a escolha dessa temática é a dificuldade que há ao acesso a experimentos práticos que complementem a formação acadêmica dos alunos, sendo assim, o desenvolvimento desta proposta proporciona a os estudantes e pesquisadores oportunidades práticas de aprendizado de temas relevantes da área profissional. O sistema possui tanques interconectados que são alimentados por bombas submersas e monitorados por sensores, o seu funcionamento se baseia no princípio da implementação de métodos de controle através da programação de um microcontrolador Arduino, que é capaz de controlar o fluxo de vazão das bombas obtendo assim uma série de comportamentos distintos e de possibilidades possíveis. Apesar do desenvolvimento do *software* ter permanecido incompleto, este trabalho atingiu o seu objetivo principal, criando a estrutura necessária para o desenvolvimento de várias atividades acadêmicas, com inclusive o próprio desenvolvimento do *software* de controle sendo uma delas. Dessa forma, a conclusão deste projeto representa um êxito significativo na construção de um sistema didático de nível de tanques, tornando-se uma ferramenta valiosa para o ensino e aprimoramento dos conhecimentos dos decentes do curso de Engenharia de Controle e Automação.

**Palavras-Chave:** Sistema didático. Aprendizagem. Controle de fluxo.

## **ABSTRACT**

The main objective of this work is to develop a didactic system of small-scale coupled dual-tank level that can potentially be used at IFPB - Campus Cajazeiras/PB - as a tool to support learning and scientific research. One of the major motivations for choosing this theme is the difficulty in accessing practical experiments that complement students' academic education. Therefore, the development of this proposal provides students and researchers with practical opportunities to learn relevant topics in the professional field. The system consists of interconnected tanks that are fed by submerged pumps and monitored by sensors. Its operation is based on the implementation of control methods through programming an Arduino microcontroller, which is capable of controlling the flow rate of the pumps, thereby achieving a variety of distinct behaviors and possibilities. Although the software development remained incomplete, this work achieved its main objective by creating the necessary structure for the development of various academic activities, including the development of the control software itself. Thus, the conclusion of this project represents a significant success in constructing a didactic dual-tank level system, becoming a valuable tool for teaching and enhancing the knowledge of students in the field of Control and Automation Engineering.

**Keywords:** Didactic system. Learning. Flow control.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de nível de tanques duplos acoplados. ....	17
Figura 2 - Sistema de nível de tanques utilizado por Sousa (2014). ....	22
Figura 3 - Placa de desenvolvimento Arduino UNO.....	26
Figura 4 - Frente da placa de desenvolvimento Arduino DUE .....	27
Figura 5 - Página inicial da Arduino IDE 2.0.....	30
Figura 6 - Monitor serial recebendo mensagens de 'Helo World' da placa Arduino.....	30
Figura 7 - Interface do monitor serial .....	31
Figura 8 - Sensor de pressão MPX5010DP .....	32
Figura 9 - Bomba submersível <i>bilge pump</i> .....	34
Figura 10 - Ponte H com driver L298n .....	35
Figura 11 - Esquema de tanques acoplados proposto por Sousa (2014). ....	37
Figura 12 - Sistema didático montado.....	38
Figura 13 - Diagrama do circuito .....	40
Figura 14 - Obtenção da equação característica da reta de calibração do sensor MPX5010DP .....	42

## **LISTA TABELAS**

Tabela 1 - Comparativo entre principais características do Arduino UNO e DUE.....	28
Tabela 2 - Dados de referência e leituras obtidas no processo de calibração do sensor .....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS

CC - Corrente contínua.

IFPB - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba.

IoT - *Internet of Things*.

PID - *Proporcional Integrativo Derivativo*.

PWM - *Pulse Width Modulation*.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>7</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA TABELAS .....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>13</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>14</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1 Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 SISTEMAS DE CONTROLES DE NÍVEL .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 PLATAFORMA ARDUINO .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1 Placas de desenvolvimento Arduino .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2 Arduino IDE.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3 DISPOSITIVOS DE CONTROLE E MONITORAMENTO.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.1 Sensor de pressão MPX10.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.2 Sistema de bombeamento.....</b>	<b>33</b>
<b>3 MÉTODOS, TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 TANQUES DE NÍVEL.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 CIRCUITOS DE CONTROLE E ACIONAMENTO .....</b>	<b>39</b>

<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o seu surgimento, os sistemas automatizados são utilizados para substituir a ação do homem em diferentes tipos de tarefas, tendo como principais motivações o aumento da segurança em ambiente profissional, conforto, obtenção de produtos de melhor qualidade, aumento de produção e benefícios econômicos (CARVALHO, 2010, ONOFRE FILHO, 2011). Essas características tornaram a utilização dos sistemas automáticos de controle indispensáveis para os mais diferentes sistemas da indústria e de nosso dia a dia.

Um sistema de controle é constituído por um conjunto de dispositivos, tais como sensores, controladores e atuadores (OGATA, 1998, DORF, 2001). O seu principal objetivo é fazer com que, a partir de um sinal de controle adequado, o valor de uma determinada variável de processo siga um sinal de referência. Este sinal estabelece valores desejados para esta variável com o intuito de se obter um maior rendimento de produção, reduzindo custos e melhorando a qualidade de produtos.

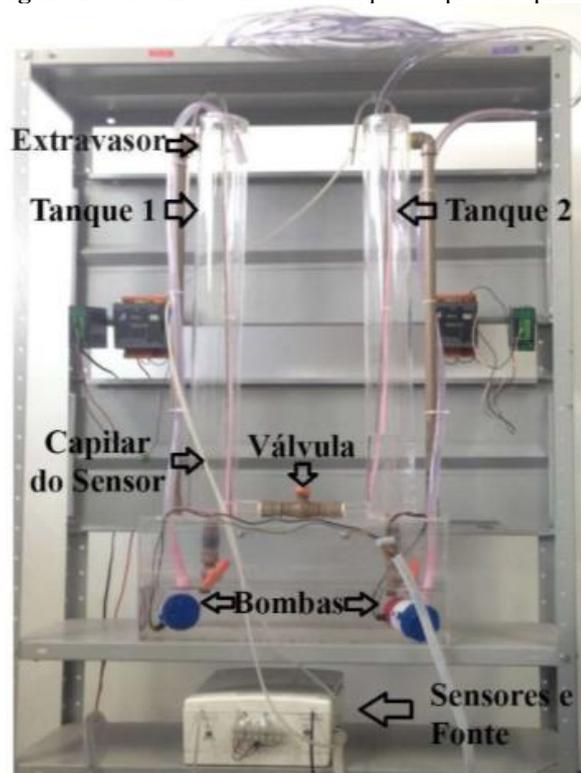
Devido a sua importância na sociedade atual, o ensino de Controle e Automação é efetuado em diferentes cursos do ensino superior nacional. Entre estes, podem ser citados os cursos de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Elétrica, Engenharia de Computação, Engenharia Química, Mecatrônica, Tecnologia em Automação, entre outros. Muitas vezes, o ensino nas disciplinas se limita ao estudo teórico e à realização de simulações, faltando ao aluno a experiência prática, mesmo que em escala reduzida e/ou simplificada. Há no mercado empresas como a Quanser, Smar e Amatrol que ofertam sistemas didáticos de excelente qualidade, entretanto há um preço alto a se pagar por eles.

Neste contexto, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema didático de nível de pequeno porte que possa ser utilizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFPB), *Campus Cajazeiras* – PB, como ferramenta de auxílio ao ensino e aprendizagem de Controle e Automação, assim como, no desenvolvimento de pesquisas científicas da área. O sistema didático poderá ser utilizado para colocar em prática conceitos de projeto e síntese de controladores, modelagem matemática, identificação de sistemas dinâmicos, aplicação de técnicas de inteligência artificial, entre outros. A literatura científica demonstra que os sistemas de nível são amplamente utilizados

em trabalhos de diferentes níveis de ensino (trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses) e em artigos publicados em congressos e periódicos (RAMOS, 2008; DA FONSECA, 2012; SOUSA, 2014; TRIGUEIRO e LIRA, 2014; LINHARES *et al.*, 2015; LINHARES, 2015).

Neste trabalho, pretende-se desenvolver um equipamento, utilizando plataformas abertas (*open source*) de *hardware* e *software*, que permita o seu uso em diferentes configurações, dando condições que um mesmo conteúdo de ensino ou pesquisa possam ser aplicados em um mesmo sistema didático, mas em um contexto de sistema dinâmico diferente. O sistema a ser desenvolvido tem como base o sistema de nível de tanques duplos acoplados apresentado na Figura 1, o qual foi utilizado nos trabalhos de Sousa (2014), Coelho *et al.* (2018) e Santana (2019). Entretanto, para este trabalho, pretende-se projetar e construir um sistema de menor porte a fim de reduzir os custos de desenvolvimento.

**Figura 1** - Sistema de nível de tanques duplos acoplados.



Fonte: SANTANA (2019)

Com o intuito de organizar o desenvolvimento do sistema didático de nível proposto, pode-se dividi-lo em três componentes principais: estrutura de tanques, componente de

*hardware* e componente de *software*. A estrutura de tanques será composta pelos tanques em acrílico do sistema, válvulas, tubulações e reservatório de líquidos. O componente de *hardware* será constituído por sensores, atuadores, circuitos de acionamento e condicionamento de sinais e o dispositivo eletrônico que irá gerenciar o funcionamento do *hardware*, um Arduino Due. O componente de *software* será formado por uma aplicação *desktop* que permitirá o envio de comandos para o sistema de nível, recebimento de dados e acompanhamento do funcionamento do sistema a partir de uma interface amigável. Este componente também pode ser chamado de Sistema de Supervisão.

Após a conclusão do desenvolvimento de todos os componentes do sistema didático de nível, pretende-se realizar alguns experimentos práticos utilizando o equipamento produzido. A intenção é aplicar algum algoritmo de controle e método de identificação de sistemas dinâmicos em algumas das possíveis configurações permitidas pelo sistema didático proposto, comprovando, assim, a sua funcionalidade.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com a tecnologia cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, os sistemas de Controle e Automação ganham destaque não somente nos inúmeros ramos da indústria, mas também em equipamentos que nos fornecem conforto, segurança e redução de custos. Isto torna-se ainda mais claro quando ao pensarmos que em um futuro próximo, a Indústria 4.0 e o uso abundante da Internet das Coisas (*IoT*, do inglês *Internet of Things*) será algo bastante natural na sociedade.

Nesta perspectiva, o profissional da área de Controle e Automação torna-se ainda mais relevante. Durante a sua formação acadêmica, muitas vezes, falta ao ainda estudante a aplicação de muitos conceitos relevantes em experimentos práticos. A prática em processos reais é de difícil acesso, pois as empresas preferem não correr o risco de ter algum prejuízo financeiro devido a algum equívoco de operação. Mesmo quando o acesso é permitido, este ocorre de forma bastante restrita. Em alguns casos, até mesmo o contato com estas empresas não é simples, pois a região geográfica em que o campus se localiza não oferece muitas opções e oportunidades.

Existem sistemas didáticos no mercado que muito se assemelham a alguns processos reais, contendo, inclusive, os mesmos equipamentos que serão encontrados na prática profissional do discente. Entretanto, quanto mais próximo dessa realidade, maior é o custo necessário para se adquirir tais sistemas. Uma alternativa econômica e bastante relevante também para o ensino e pesquisa é a utilização de simulações (TRIGUEIRO e LIRA, 2014). Entretanto, isso afasta um pouco os estudantes e pesquisadores de alguns aspectos que somente são vivenciados com os experimentos práticos: ajustes em sensores, sinais ruidosos, presença de não-linearidades, interferências externas indesejadas, características peculiares de um determinado equipamento/dispositivo, entre outros. Ao lidar com estes problemas, adquire-se experiência no tratamento destes fenômenos.

Este projeto propõe, então, o desenvolvimento de um sistema de nível de pequeno porte em plataforma aberta (*open source*), que, quando concluído, oferecerá a discentes e pesquisadores inúmeras possibilidades de aplicações práticas, de consolidação de conceitos e aprendizagem, aproximando o discente de alguns aspectos práticos de sua futura profissão. O controle de nível de líquidos em tanques é amplamente utilizado nas plantas industriais e a sua importância para o ensino e pesquisa pode ser verificado pela quantidade de trabalhos baseados em sistemas semelhantes ao que está sendo aqui proposto.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho consiste em desenvolver um sistema didático de nível de tanques duplos acoplados de pequeno porte que possa vir a ser utilizado no IFPB – *Campus Cajazeiras/PB* – como ferramenta de apoio à aprendizagem e ao desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas, principalmente, para a área de Engenharia de Controle e Automação. A partir do sistema dinâmico proposto, será possível abordar, posteriormente ao desenvolvimento deste trabalho, diferentes temas de estudo e pesquisa, tais como: modelagem matemática de sistemas, identificação de sistemas, projeto e sintonia de diferentes tipos de controladores, desde os tradicionais controladores Proporcional, Integrativo e Derivativo (PID), passando pelos controladores avançados do tipo adaptativo e preditivo, até os chamados controladores inteligentes.

A flexibilidade de configuração do sistema didático proposto permitirá que em um único equipamento inúmeros conceitos teóricos possam ser aplicados experimentalmente em diferentes estudos de caso, uma vez que cada configuração constitui um sistema dinâmico específico com características próprias de ordem e não linearidade.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

- Definir precisamente a arquitetura geral do sistema, estabelecendo a função de cada um dos componentes do projeto – *hardware* (microcontrolador, sensores, elementos de acionamento, bombas de sucção, entre outros), estrutural (tanques, reservatório, válvulas e tubulações) e *software* (sistema de supervisão para acompanhamento do funcionamento do sistema);
- Construir a estrutura física do sistema didático de nível;
- Implementar o *hardware* do sistema, sendo capaz de colocar em funcionamento o sistema de nível e dar o suporte necessário para a interligação entre os componentes estrutural e de software por meio de um protocolo de comunicação;
- Desenvolvimento do componente de *software* do sistema didático de nível (sistema de supervisão);
- Demonstrar a utilidade do sistema desenvolvido com alguns experimentos práticos envolvendo a síntese de controladores e/ou identificação de sistemas dinâmicos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Durante o desenvolvimento deste trabalho se fez necessário adquirir novos conhecimentos que seriam úteis no decorrer do desdobramento da confecção do protótipo. Este capítulo reúne alguns trabalhos e informações úteis que facilitam o entendimento do modo de operação do dispositivo construído e que servem de base teórica para definição de parâmetros do mesmo.

### 2.1 SISTEMAS DE CONTROLES DE NÍVEL

Um dos primeiros sistemas automáticos baseados em retroalimentação consistiam em mecanismos baseados em boias para realizar o controle de nível de líquidos. Por volta de 250 a.C., Philon inventou um lampião de óleo que utilizava um regulador de boia com o objetivo de manter o nível do óleo combustível. No primeiro século d.C., Heron de Alexandria, matemático e mecânico grego, publicou um livro denominado *Pneumatica* que já descrevia algumas formas iniciais de mecanismos de nível de água por meio de reguladores de boia (TRIGUEIRO e LIRA, 2014; DORF e BISHOP, 2001).

Desde então, os sistemas evoluíram juntamente com os avanços tecnológicos e os sistemas de controle nível de líquidos tornaram-se um dos tipos mais importantes nas unidades industriais (CAMPOS e TEIXEIRA, 2010). O sistema de controle de nível de líquidos é amplamente utilizado por diversos setores da indústria, principalmente da química, petroquímica, farmacêutica, nuclear e de celulose (GOSSMANN, 2002).

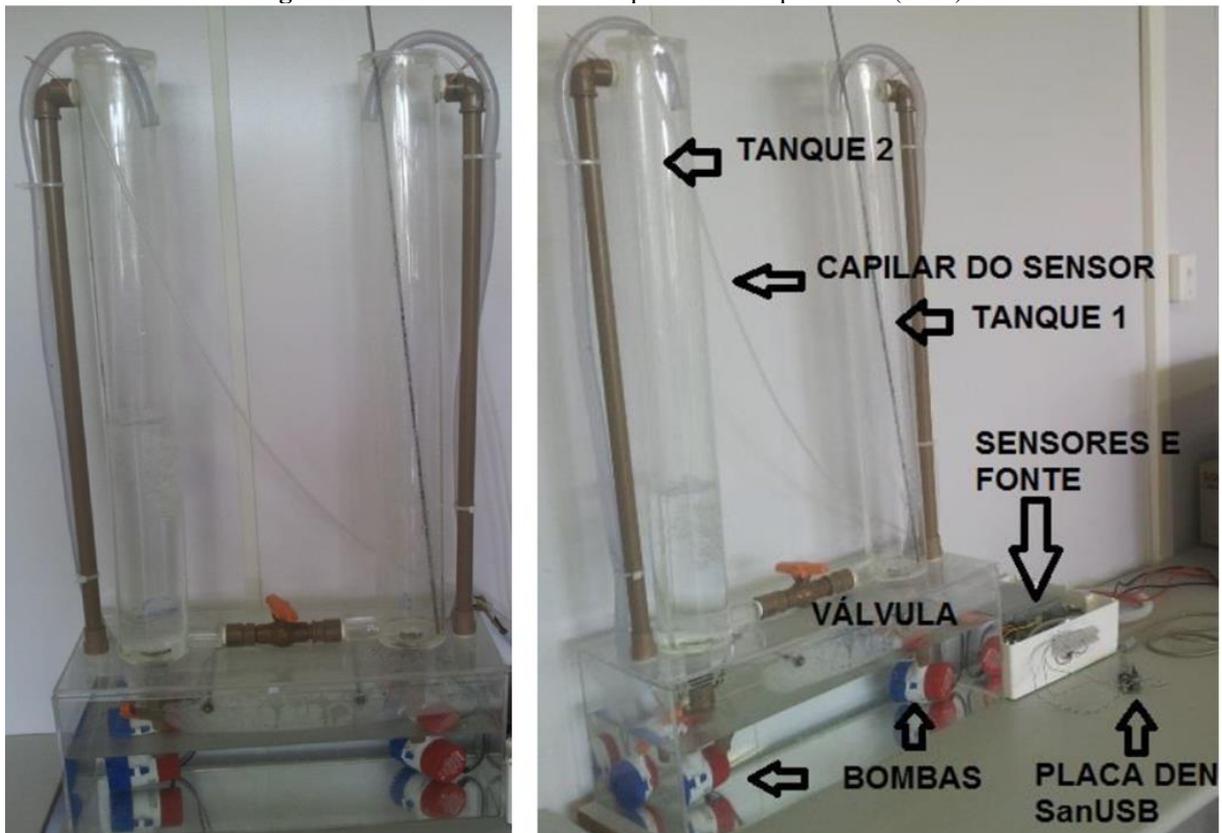
Na literatura científica é possível encontrar diversos trabalhos de Controle e Automação que foram desenvolvidos a partir do estudo de técnicas aplicadas em sistemas didáticos de nível de pequeno porte. Isto se deve ao fato da importância dos sistemas de nível e a simplicidade para se construir estes tipos de sistemas, que, em geral, são compostos por um único tanque, ou por um conjunto de tanques acoplados em diferentes configurações.

Bauchspies, Guimarães e Gosmann (2003) descreveram um laboratório remoto de propósito educacional em que um usuário pode controlar e visualizar um sistema de nível de

líquidos de tanques acoplados por meio de um navegador web. Sousa (2014) utilizou em seu trabalho um controlador PID multivariável com acoplamento entre malhar em um sistema de nível formado por um conjunto de dois tanques acoplados. Mendes (2004) realizou experimentos de controle no domínio da frequência em um sistema didático de nível microcontrolado de segunda ordem composto por dois tanques acoplados. Linhares *et al.* (2015) propuseram a aplicação de uma rede neural do tipo *Fuzzy Wavelet Neural Network* (FWNN) modificada para uso em problemas de identificação de sistemas dinâmicos não lineares. Como estudo de caso, foi utilizado um sistema de nível de líquidos composto por um único tanque de múltiplas seções.

O sistema didático de nível de líquidos que se pretende desenvolver neste projeto terá como base o utilizado no trabalho de Sousa (2014). As imagens da Figura 2 ilustram este sistema base.

**Figura 2** - Sistema de nível de tanques utilizado por Sousa (2014).



Fonte: Sousa (2014)

Como pode ser observado na Figura 2, o sistema didático de nível proposto possuirá dois tanques interconectados. Os tanques serão construídos em acrílico e no fundo de cada um deles haverá um orifício de escoamento de líquido. Associado a cada um dos tanques haverá uma bomba de sucção que ocasionarão o fluxo do líquido armazenado em um reservatório inferior para o interior dos tanques. Entre os dois tanques haverá uma válvula que pode impedir o fluxo de líquido entre estes quando fechada, desconectando-os. A medição do nível de líquido no interior do tanque poderá ser realizada indiretamente por sensores de pressão diferencial.

De acordo com a estrutura apresentada, será possível utilizar o sistema em diferentes configurações. Isto fornece a flexibilidade de se realizar atividades práticas com um único tanque isolado, ou com os dois tanques desconectados e operando de forma simultânea, ou com os dois tanques interligados e com o acionamento de apenas uma das bombas habilitado, ou com os dois tanques interligados e a duas bombas em funcionamento. Assim, poderão ser realizados estudos que envolvem projeto e sintonia de controladores, modelagem, identificação, entre outros, em diferentes tipos de contextos.

Para avaliar a aplicabilidade do sistema didático de nível proposto por este projeto em experimentos de Controle e Automação, serão aplicados um método de controle e outro de identificação de sistemas dinâmicos. Dorf e Bishop (2001) definem os sistemas de controle como sendo a interconexão de componentes, formando uma configuração de sistema que produzirá uma resposta desejada. Pode-se afirmar que o objetivo de um sistema de controle consiste em manter as variáveis de um processo em valores pré-determinados a partir da execução de um algoritmo de controle que toma suas ações de acordo com medidas de variáveis realizadas em tempo real. Os componentes básicos de um sistema de controle automático retroalimentado ou em malha fechada são:

- *Sistema/Processo*: sistema dinâmico que tem uma(s) de sua(s) variável(is) controlada(s) por ação de um controlador. Exemplo: vaso separador vertical que se deseja controlar o nível de líquido em seu interior (ou altura de coluna líquida);

- *Elemento sensor*: dispositivo responsável por obter medições da variável do sistema a ser controlada. Essa informação é disponibilizada para o controlador. Exemplo: sensor medidor de nível do tipo ultrassônico;
- *Sinal de referência (set-point)*: valor desejado (ou de referência) para a saída do sistema. No controlador, este valor é comparado com o valor medido da variável controlada do sistema. Exemplo: nível de líquido desejado em 150 cm;
- *Controlador*: dispositivo definido por algum algoritmo de controle. Em geral, neste elemento é calculado o chamado erro de controle, diferença entre o valor de referência e o valor medido da variável a ser controlada. A partir do erro de controle, o controlador irá emitir um sinal de controle com o objetivo de reduzir/eliminar o erro de controle, ou seja, levar o valor da saída do sistema para o valor de referência. Exemplo: controladores Proporcional, Derivativo e Integrativo (PID);
- *Atuador*: Dispositivo que recebe o sinal de controle e tem a capacidade de modificar os valores/estados das grandezas físicas do sistema, como a variável a ser controlada. Exemplo: bomba de sucção de líquidos.

As técnicas de modelagem podem ser agrupadas em duas categorias principais: modelagem fenomenológica (ou modelagem matemática) e identificação (LYJUNG e GLAD, 1994). Na primeira das abordagens, os modelos matemáticos são obtidos tendo como base os principais fenômenos envolvidos no processo, usando-se, para isso os princípios básicos da física de conservação de massa e energia, quantidade de movimento, entre outros. Na segunda categoria encontram-se as técnicas capazes de modelar processos a partir de dados experimentais. Este tipo de modelagem é normalmente conhecido como identificação de sistemas (LYJUNG, 1987).

A identificação de sistemas dinâmicos possui papel relevante em diversos problemas da área de Engenharia de Controle e Automação, tais como: supervisão, previsão ou predição, desenvolvimento de sistemas de inferência, projetos de sistemas de controle, entre outros. A possibilidade de obter modelos de sistemas complexos a partir de dados medidos dos sistemas em operação é o grande atrativo para a aplicação de ferramentas de identificação. O livro de Aguirre (2000) é uma boa fonte de estudo de diversas técnicas de identificação para sistemas

lineares e não lineares. Outra área que tem destaque em problemas de identificação é a de inteligência artificial (LINHARES, 2010; LINHARES, 2015).

## 2.2 PLATAFORMA ARDUINO

A plataforma Arduino é um conjunto de ferramentas e *softwares* disponibilizados e mantidos pela empresa Arduino que projeta, fabrica e suporta as suas soluções e as disponibilizam para o público geral com a missão de tornar vidas melhores a prover o acesso à tecnologia para qualquer pessoa (ARDUINO, 2021).

O primeiro lançamento do Arduino ocorreu em 2005 na Itália com o modelo serial Arduino e desde então novos modelos mais robustos foram lançados com as mais variadas dimensões e poder de processamento para atender todos os tipos de públicos (UNICAMP, 2022).

Atualmente a plataforma Arduino está bastante desenvolvida, de modo que todo processo construtivo de novos projetos podem ser realizados dentro da plataforma sem necessidade de tecnologias desenvolvidas por terceiros, por exemplo, ao se adquirir uma placa de desenvolvimento Arduino a mesma pode ser programada via IDE própria fornecida pela Arduino.cc, além disso, a plataforma Arduino possui uma comunidade extremamente ativa que esta a alimentar continuamente o catálogo de novos projetos desenvolvidos com a mesma, de modo que podem ser facilmente replicados ou sirvam de base para o desenvolvimento de ideias inovadoras, existe até mesmo uma plataforma IoT própria que permite através de poucos cliques desenvolver uma aplicação de internet das coisas com facilidade. Portanto, devido a todas as facilidades que a plataforma Arduino possui, optou-se por utiliza-la como uma das ferramentas principais para o desenvolvimento deste trabalho.

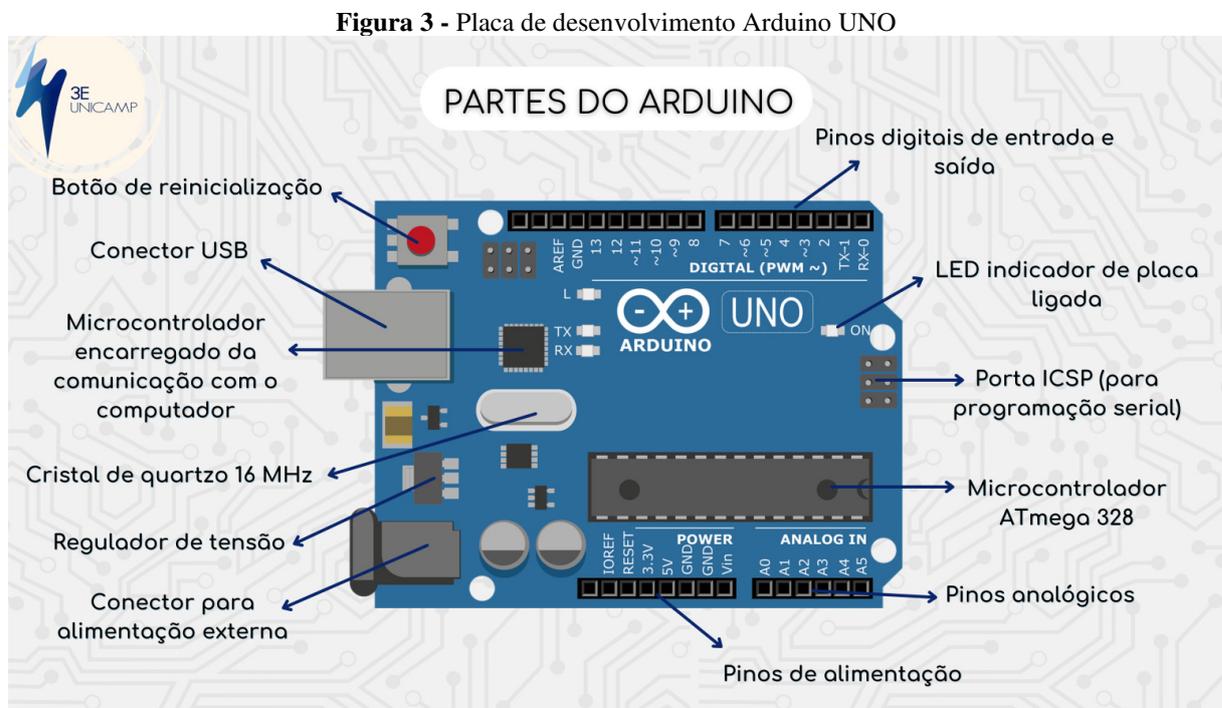
### 2.2.1 Placas de desenvolvimento Arduino

Uma placa Arduino possui uma série de componentes necessários para o seu funcionamento, geralmente, nos referimos a placa Arduino como microcontrolador Arduino, porém, isso não bem verdade, o microcontrolador é apenas mais um dos componentes

utilizados na construção da placa Arduino, mas não o único. Unicamp (2022) diz que a placa Arduino é composta por:

- Microcontrolador – o mais conhecido é o ATmega 328, presente no Arduino Uno – que realiza o controle das operações e instruções dadas à placa;
- Clock gerado pelo cristal oscilador, geralmente de 16 MHz, responsável por fornecer um ritmo para as atividades do microcontrolador;
- Módulo de comunicação com um computador, composto por uma entrada USB e um microcontrolador dedicado, serve para fazer upload de um código para o Arduino;
- Conector de alimentação da placa.

A figura 3 abaixo nos mostra um modelo de placa de desenvolvimento Arduino amplamente comercializado atualmente, trata-se do Arduino UNO, o modelo mais conhecido desenvolvido e mantido pela empresa Arduino. Na imagem podemos visualizar a construção da mesma, evidenciando-se a disposição dos componentes utilizados para o seu funcionamento e também o chip do microprocessador utilizado na mesma, neste caso o ATmega 328.

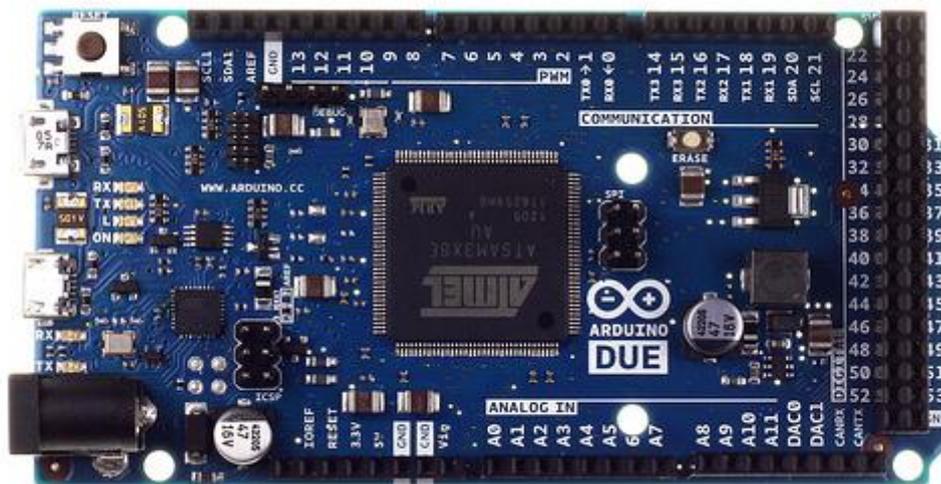


Fonte: UNICAMP, 2022.

Existe uma série de microcontroladores diferentes embutidos nas placas Arduino que são utilizados para aplicações diferentes, fatores como frequência de operação, memória flash e quantidade de portas programáveis, impactam respectivamente em velocidade de execução de comandos, tamanho do código carregado na memória interna e quantidade de dispositivos de entrada e saídas que podem ser operados simultaneamente, o que define o modelo de placa Arduino a ser utilizada é se as características de utilização da mesma atendem os pre requisitos necessários para sua aplicação.

Neste trabalho se fez necessário o uso de uma quantidade considerável de processamento, tendo em vista que é pretendido realizar em tempo real várias leituras de parâmetros através de dispositivos sensores acoplados no protótipo e posteriormente plotar gráficos para análise dos resultados, para tal, optou-se pela utilização da placa de desenvolvimento Arduino DUE. Esta placa apresenta características construtivas muito semelhantes a outros modelos produzidos pela empresa Arduino como por exemplo a placa de desenvolvimento Arduino Mega. A figura 4 abaixo nos mostra o Arduino DUE e as suas características visuais de caráter construtivo da placa.

**Figura 4 - Frente da placa de desenvolvimento Arduino DUE**



Fonte: LIMA, 2014.

O Arduino DUE é uma placa microcontrolada equipada com um chip SAM3X8E 32-bit Arm Cortex da fabricante de chip's Atmel. Dentre os diferenciais que esta placa oferece e que serviram de base para se trabalhar com a mesma foi o seu alto desempenho quando

comparada a os outros membros da família Arduino. A tabela 1 abaixo nos mostra um pequeno comparativo de algumas características entre a placa Arduino DUE e a placa Arduino UNO. A segunda por sua vez, é o modelo mais conhecido das placas de desenvolvimento Arduino e conseqüentemente mais comercializado, por este motivo a mesma foi utilizada como base para comparação de características.

**Tabela 1** - Comparativo entre principais características do Arduino UNO e DUE

<b>Arduino DUE x Arduino UNO</b>		
<b>Placa</b>	<b>Arduino UNO</b>	<b>Arduino DUE</b>
Microcontrolador	ATMega 328P	AT91SAM3X8E
Memória Flash	32 kb	512 kb
Frequência	16 MHz	84 MHz
Pinos E/S	14	54
Pinos PWM	6	12
Pinos analógicos	6	12

Fonte: Autoria própria (2023).

Como podemos observar na tabela 1 acima, o Arduino DUE possui características valiosas se comparadas com outros modelos de placas de desenvolvimento Arduino, além das já citadas o Arduino DUE também é indicada em atividades que necessitam de captura e processamento de áudio, ou seja, processamento digital de sinais, e controle de vários motores (LIMA, 2014).

### **2.2.2 Arduino IDE**

Sistemas embarcados como no caso de placas microcontroladas necessitam de um *software* especial permita que o conjunto de instruções (código) seja desenvolvido e enviado para a memória interna do dispositivo. Uma vez carregado o microcontrolador passa a executar o conjunto de instruções definidos pelo programador, a este software especial nos damos o nome de ambiente de desenvolvimento integrado, ou, IDE.

Uma IDE, (do inglês *Integrated Development Environment*) é uma aplicação que permite que o usuário, conhecidos como programadores, desenvolvam de maneira eficiente

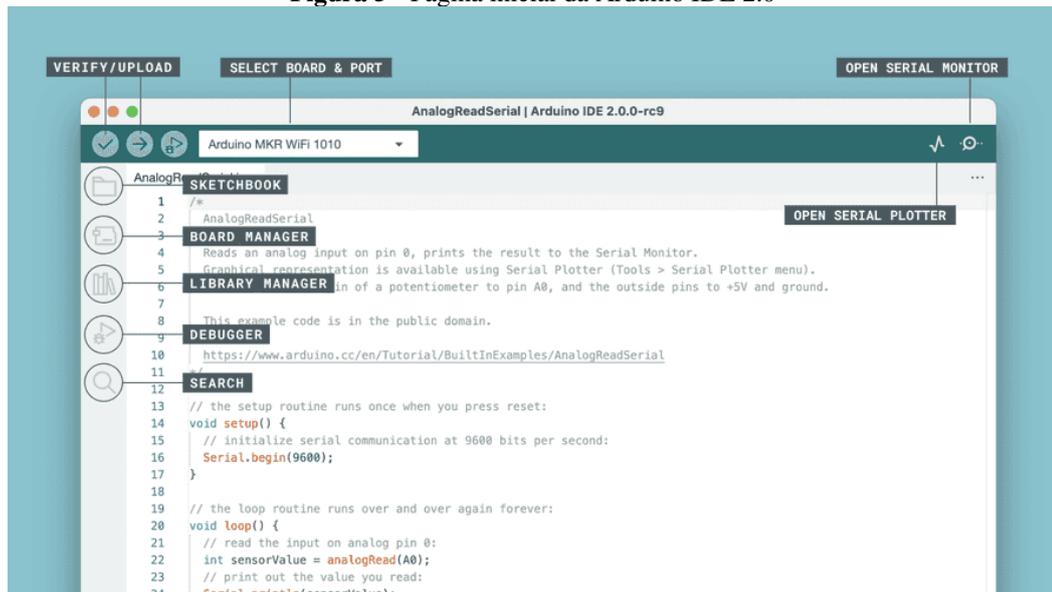
um código para determinada aplicação. Esta aplicação conta com ferramentas que elevam a produtividade do desenvolvedor, como por exemplo, recursos de edição de código, compilação e testes, tudo em um só lugar (SERVICES, 2023).

Existem dois tipos principais de IDE's, as em nuvem e as locais, as IDE's hospedadas em nuvem podem ser acessadas de qualquer lugar desde que a máquina a qual o desenvolvedor utilize tenha acesso a nuvem onde o *software* está hospedado, já as IDE's locais são programas adquiridos via web, em que são instalados em uma máquina específica para uso do programador, geralmente usuário personaliza as mesmas para que elas fiquem de acordo com os gostos pessoais. Independente da forma como o acesso a IDE é realizado, as ferramentas disponibilizadas costumam ser em sua maioria as mesmas (SERVICES, 2023).

A Arduino disponibiliza gratuitamente uma IDE própria, a mesma conta com diversas ferramentas que auxilia o desenvolvedor a criar elaborados códigos para serem utilizados em placas microcontroladas. A Arduino IDE é de código aberto, isso permite que o *download* e instalação sejam totalmente gratuitos, além de abrir portas para que terceiros possam modificar livremente o *software*, permitindo assim que o IDE englobe mais dispositivos suportados como é o caso das populares placas de desenvolvimento ESP da Espressif Systems que desenvolve suas próprias bibliotecas e as integra com a Arduino IDE (TORRES, 2013).

Atualmente a Arduino IDE está na sua versão 2.0 e trabalha com linguagens de programação baseadas em C e C++. Na sua versão 2.0 foram apresentadas melhorias que diferem da sua versão clássica, como uma interface aprimorada, maior velocidade e recursos como preenchimento automático e sincronização de esboços com a *Arduino IOT Cloud*. A figura 5 abaixo nos mostra a interface inicial da Arduino IDE 2.0 com ênfase nos principais ícones e funcionalidades fornecidas pela mesma (SÖDERBY, 2022).

**Figura 5** - Página inicial da Arduino IDE 2.0

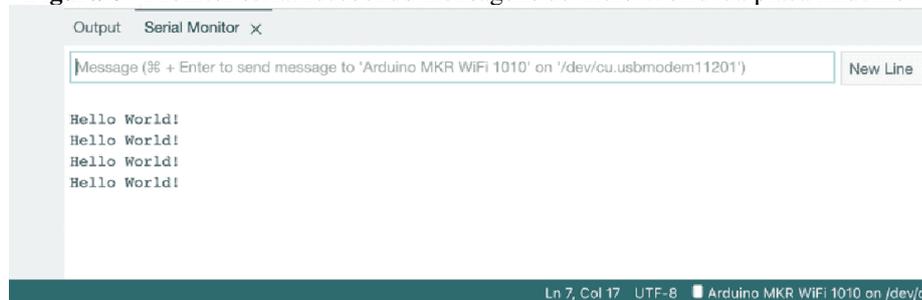


Fonte: SÖDERBY (2022).

A Arduino IDE conta com dois recursos nativos que são de extrema relevância: O monitor serial e o serial plotter. Ambas ferramentas como os nomes sugerem, funcionam através da comunicação serial entre o dispositivo e a máquina a qual ele está conectado via USB.

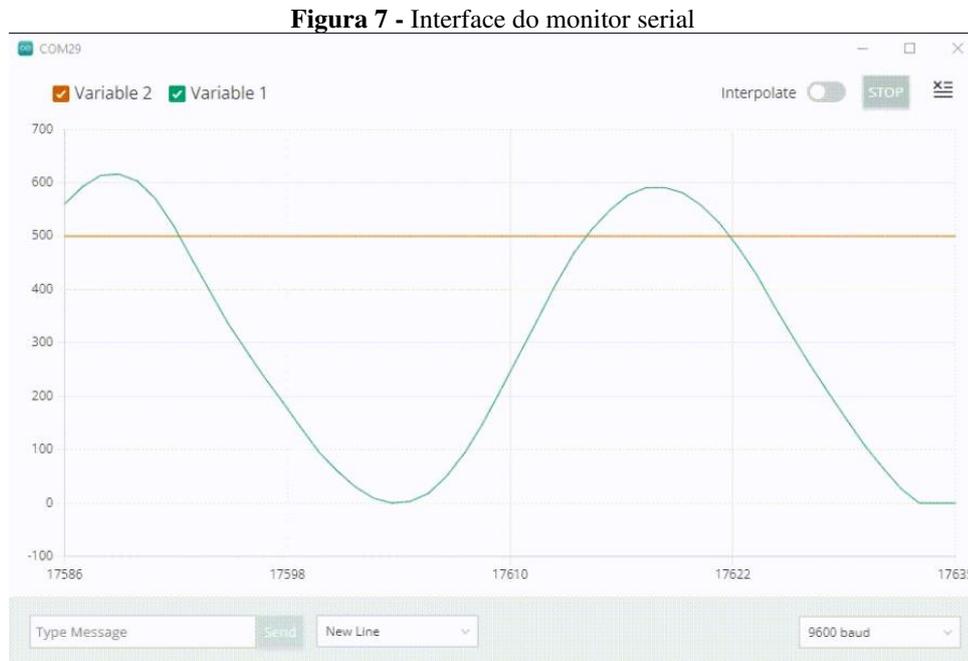
O monitor serial é uma ferramenta que permite o *streaming* de dados em sua placa em forma de texto, ou seja, é possível fazer o microcontrolador enviar periodicamente sinais como leitura de sensores ou estado de dispositivos controlados pela mesma, e até mesmo mensagens de aviso ou de funcionamento regular da placa (SÖDERBY, 2022). A figura 6 nos mostra um pequeno exemplo dessa comunicação sendo realizada, onde diretamente na Arduino IDE é possível visualizar mensagens recebidas via serial.

**Figura 6** - Monitor serial recebendo mensagens de 'Helo World' da placa Arduino



Fonte: SÖDERBY (2022).

O plotter serial possui o mesmo princípio de funcionamento do monitor serial, porém, trata-se de uma ferramenta de visualização gráfica que permite que os dados colhidos sejam visualizados em tela, sendo possível monitorar diversas variáveis simultaneamente ou apenas determinados tipos (SÖDERBY, 2022). A figura 7 nos mostra a interface de monitoramento disponibilizada pelo plotter serial.



Fonte: SÖDERBY (2022).

### 2.3 DISPOSITIVOS DE CONTROLE E MONITORAMENTO

A confecção deste projeto contou com a utilização de alguns componentes essenciais na coleta dos dados como sensores, e mecanismos de atuação para que haja a adequação do sistema com base nas simulações proposta.

O Arduino DUE já discutido nas seções anteriores é o dispositivo responsável por processar os dados obtidos pelos sensores e acionar os atuadores durante o ciclo de simulações, nesta seção, iremos discutir um pouco sobre os mecanismos que de fato tornam este ciclo possível.

### 2.3.1 Sensor de pressão MPX10

Os sensores de pressão da série MPX são fabricados pela NXP Semiconductors, e dependendo do modelo e das características do mesmo, é possível aferir pressão diferencial, absoluta ou manométrica. O uso destes dispositivos pode variar de acordo com a aplicação indo de sistemas simples como em caixas d'água, como em locais que demandam mais atenção e complexidade como o caso na aplicação de respiradores hospitalares (FORNELL, 2020).

A popularidade da série de sensores de pressão MPX vêm crescendo ao longo dos últimos anos, muito disso se deve ao fato da sua versatilidade e construção compacta. Devido a essas características apresentadas o mesmo vem sendo utilizado em indústrias automotivas ou biomédicas, ou em casos mais simples como aplicações educativas e por entusiastas em seus pequenos projetos pessoais (FORNELL, 2020).

Existem vários modelos distintos de sensores MPX porém o modelo específico utilizado aqui foi o MPX5010DP, o qual pode ser visualizado na figura 8 abaixo, este sensor em específico faz parte de uma séries de sensores de pressão de silício monolítico projetados com o intuito de atender uma ampla gama de aplicações, senso capaz de medir vários fluídos distintos como água, ar ou óleo (SEMICONDUCTORS, 2012).

**Figura 8** - Sensor de pressão MPX5010DP



Fonte: SEMICONDUCTORS (2012).

Optou-se por pela escolha deste modelo devido a sua versatilidade e facilidade de uso, além de se integrar perfeitamente com a plataforma Arduino. O mesmo apresenta uma tensão de alimentação de 5V e a sua precisão de 5% para mais ou para menos dos valores obtidos. Outras características pertinentes do sensor de pressão MPX5010DP é o seu caráter analógico e a capacidade de medir pressão de fluidos de forma diferencial, ou seja, a diferença de pressão que é medida entre dois pontos distintos.

### 2.3.2 Sistema de bombeamento

Um mecanismo importante aqui desenvolvido é o sistema de bombeamento dos tanques, que são os mecanismos que de fato irão atuar para que as condições de simulação sejam atendidas e para tal esse sistema é composto por bombas submersas para realizar o fluxo do fluido e suas respectivas interfaces de comando que neste caso é realizada pelo módulo ponte H L298n o qual falaremos mais adiante.

A parte principal do sistema de bombeamento é composto pelas bombas submersas que serão responsáveis por elevar o fluido para os tanques superiores, para tal, optou-se pela utilização da bomba submersível *bilge pump*. A *bilge pump* é construída com materiais resistentes corrosão e projetada para funcionar totalmente submersa, uma de suas principais aplicações é para o esgotamento de porões de embarcações, daí deriva-se o seu nome<sup>1</sup>. A figura 9 abaixo ilustra o modelo utilizado.

---

<sup>1</sup> *Bilge pump* pode ser traduzida para o português como bomba de porão.

**Figura 9 - Bomba submersível *bilge pump***



Fonte: Autoria própria (2023).

Alguns dados característicos importantes estão presentes na *bilge pump*, como a sua tensão de operação que é de 12 Volts CC com uma corrente de trabalho de aproximadamente 2 A. O modelo utilizado apresenta uma ótima vazão para a aplicação desejada, que por sua vez é de 350 GPH (galões por hora) ou aproximadamente 22 L/min (NÁUTICA, 2022).

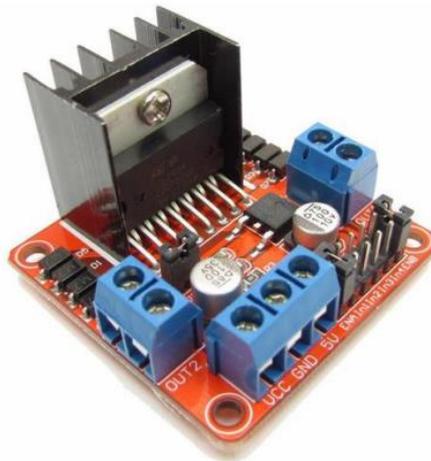
Em projetos que contam com cargas a serem acionadas, é comum a presença de dois circuitos distintos: O circuito de comando e o circuito de carga. O circuito de comando compreende toda a parte lógica do sistema, neste caso representado pelo Arduino DUE e os sensores utilizados. Já os circuitos de comando são as linhas elétricas que de fato iram acionar cargas para o fomento dos objetivos pretendidos. Essa divisão se faz necessária porque um dispositivo como um microcontrolador não possui a potência necessária para acionar grandes cargas e utilizando esta aplicação como exemplo, seria impossível para Arduino fornecer os 2 A necessários para o acionamento de uma das bombas, danificando assim os equipamentos. Para que o comando e as cargas se comuniquem é necessária uma interface que seja capaz de acionar e conseqüentemente suportar correntes elétricas mais altas a partir de comandos realizados por pequenos sinais elétricos, neste âmbito surge o emprego de uma das mais conhecidas interfaces que é o driver L298N ou, quando o mesmo está preparado em um módulo também é conhecido como ponte H.

Guimarães (2018), descreve a ponte H como um circuito que serve para variar o sentido da corrente em uma determinada carga, bem como, controlar sua potência. O módulo

ponte H permite que alimentações externas sejam inseridas no circuito, para que assim se possa suprir as cargas de acordo com as necessidades das mesmas, sendo assim, o papel do microcontrolador será de apenas enviar sinais para os pinos de controle, que por sua vez funcionam com pequenos sinais de tensão de 5V, que é a tensão de operação disponível nos pinos do microcontrolador Arduino.

Este módulo possui algumas características que o tornam bastante popular, como a possibilidade de se controlar a rotação de motores, que é uma aplicação vital para quem deseja movimentar rodas de carros autônomos ou aplicar movimentos bidirecionais em outras utilizações. Uma outra característica importante deste módulo é a capacidade de se controlar a velocidade de motores através da variação da tensão imposta aos mesmos utilizando-se de um controle PWM. Para esta utilização, apesar das possibilidades possíveis com esta ferramenta, o módulo ponte H foi utilizado apenas para servir como interface de comunicação para se integrar os circuitos de acionamento e comando aqui utilizados (GUIMARÃES, 2018). A figura 9 abaixo nos mostra o modelo de ponte H aqui utilizado.

**Figura 10 - Ponte H com driver L298n**



Fonte: Curtocircuito (2023).

O módulo ponte H possui algumas características de funcionamento que valem apenas aqui ressaltar, como a tensão que o mesmo é capaz de fornecer a no máximo duas cargas com as quais o mesmo pode trabalhar que é uma tensão de 5 à 35 V CC e uma corrente de trabalho um pouco acima dos 2 A. O módulo é relativamente barato e de fácil utilização, o que o torna ainda mais atrativo para aquisição e posterior utilização.

### **3 MÉTODOS, TÉCNICAS, INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema didático de tanques duplos acoplados de pequeno porte, destinado a ser utilizado no IFPB Campus Cajazeiras/PB. A proposta tem como intuito proporcionar métodos de ensino e pesquisa mais intuitivos, visando facilitar o aprendizado e ampliar as possibilidades de exploração.

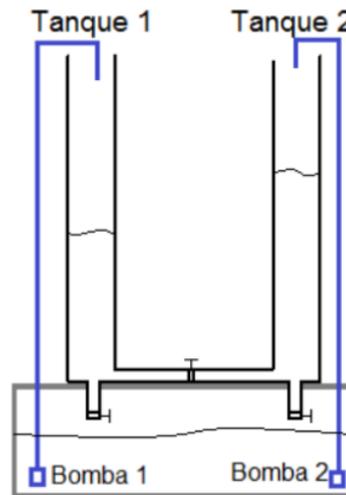
O próximo capítulo abordará a constituição do trabalho, incluindo o estudo de sistemas semelhantes, a composição dos materiais utilizados, as dimensões dos tanques utilizados neste trabalho e a integração da estrutura com o circuito de controle.

#### **3.1 TANQUES DE NÍVEL**

Como citado anteriormente, um dos principais objetivos deste trabalho é a criação de um sistema didático de níveis de tanques interconectados, para que o mesmo sirva de base para estudos e pesquisas científicas ou didáticas.

O desenvolvimento de sistemas de controle de nível de reservatórios não é algo recente, dito isto, é possível se encontrar vários sistemas similares em trabalhos acadêmicos, o que diferencia estas experiências distintas em sua maioria é o tipo de controle proposto ou a aplicação final almejada. Sousa (2014) em seu trabalho implementou e analisou o controle de um tanque duplo com acoplamento entre malhas, e para tal o autor propôs um sistema visualmente interessante, o qual pode ser visualizado na figura 10 abaixo.

**Figura 11 - Esquema de tanques acoplados proposto por Sousa (2014).**



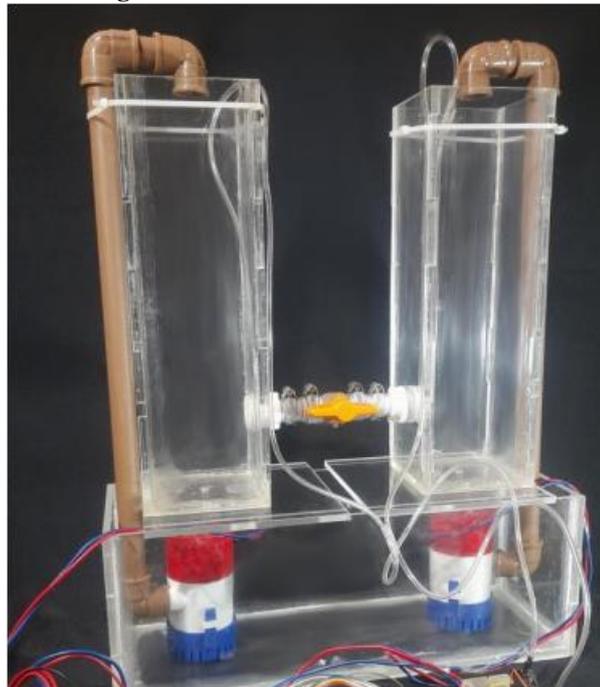
Fonte: Sousa (2014).

Conforme pode ser visualizado acima, o sistema possui três compartimentos principais, dois deles, caracterizados pelas torres verticais são onde de fato será imposto o controle de nível e poderá facilmente ser visualizado ao longo do experimento, além disso, o sistema proposto ainda conta com um reservatório inferior onde são posicionadas as bombas submersas que serão acionadas conforme os parâmetros da simulação proposta para inferir o fluído nos reservatórios verticais. Nas seções anteriores foi citado que o trabalho apresentado por Sousa (2014) serviria de base para a realização dos objetivos aqui propostos, uma das características replicadas foi a disposição dos tanques apresentadas pelo autor, que se mostrou bastante atrativa e eficaz.

Os tanques construídos foram pensados para se utilizar matérias do mais baixo custo possível dentro da qualidade e segurança exigida para aplicação e para isso optou-se pela utilização do acrílico como principal material. A escolha do acrílico se deve ao fato de não possuir altos custos de aquisição e possuir uma trabalhabilidade muito mais facilitada em comparação ao vidro por exemplo, que exige cuidados especiais, além disso, pretende-se que o fluído utilizado seja água destilada, sendo assim com o acrílico não haverá corrosão no material ou riscos de se manchar as paredes dos reservatórios ao longo do tempo, o que também se evidencia com o uso do vidro, mas a resistência elevada do acrílico em detrimento do vidro se mostrou uma troca vantajosa. A construção dos tanques seguiu alguns parâmetros como por exemplo garantir que o reservatório da base tenha mais volume do que as torres

verticais somadas, para que assim se possa garantir que os mesmos possam ser cheios completamente sem correr o risco de o reservatório da base secar, além disso, a entrada de fluídos das bombas não estão no mesmo nível da base do tanque reservatório, portanto essa diferença de altura deve ser compensada com o fluido a qual se pretende inserir no sistema. A figura 12 nos mostra o sistema didático montado para a aplicação, nele evidencia-se os reservatórios utilizados e o posicionamento das bombas submersíveis e suas respectivas tubulações.

**Figura 12 - Sistema didático montado**



Fonte: Autoria própria (2023).

Os tanques verticais são idênticos e possuem dimensões de 8,5 x 8,5 x 31 cm e cada um tem a capacidade máxima de 2240 cm<sup>3</sup> de volume de fluído, juntos possuem uma capacidade máxima de 4480 cm<sup>3</sup>. O tanque reservatório da base possui dimensões de 38,5 x 14 x 14 cm e uma capacidade máxima de 7546 cm<sup>3</sup>, volume suficiente para encher os reservatórios verticais e ainda permanecer com uma quantidade considerável armazenada.

### 3.2 CIRCUITOS DE CONTROLE E ACIONAMENTO

Além dos tanques onde serão aplicados os controles dos fluidos é necessário se preparar todo o esquema elétrico que vai ser responsável pelo funcionamento dos dispositivos de atuação e a alimentação e transmissão de sinais da parte lógica desenvolvida com o microcontrolador Arduino DUE.

O circuito de comando pretendido é composto com uma fonte externa adequada as necessidades do projeto, projeto esse que conta com duas bombas submersíveis para o fluxo dos fluídos utilizados durante as simulações, como já comentado anteriormente, a corrente elétrica bem como o nível de tensão necessário para o acionamento dos circuitos das bombas, excedem e muito a capacidade oferecida pelo microcontrolador Arduino DUE, portanto a utilização de fonte externa se faz necessário. Além da fonte externa existe a presença da ponte H L298N que como já dito, é responsável pela interface entre o controle e os comandos recebidos pelo microcontrolador.

Uma característica da ponte H é que quando a mesma está sendo utilizada com uma fonte externa, existe a possibilidade de se utilizar um conector presente na mesma que trabalha como saída de alimentação de 5 V, este conector pode ser utilizado para por exemplo, alimentar o microcontrolador responsável pelo envio dos comandos da lógica pretendida, fazendo com que assim não necessite de duas fontes distintas para o circuito, é justamente essa possibilidade que será utilizada para uma montagem elétrica mais simplificada. Uma vez tendo alimentado o microcontrolador, a alimentação dos sensores se torna algo fácil, já que devido as pequenas correntes exigidas pelos mesmos é possível alimentá-los através do próprio microcontrolador.

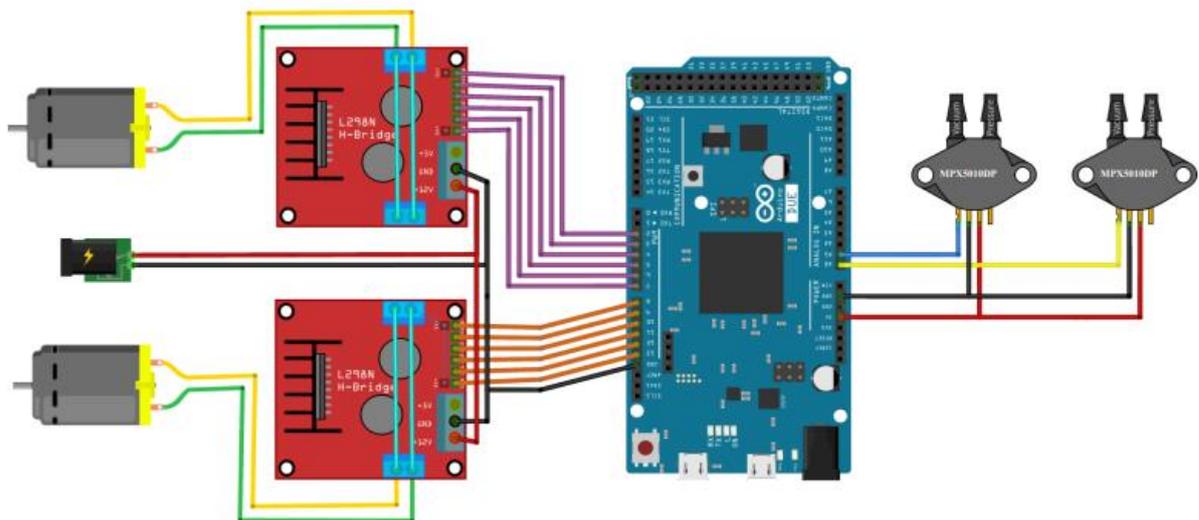
Um detalhe importante a ser comentado foi a necessidade de utilização de duas pontes H no projeto final do circuito, já que a corrente de acionamento máxima da mesma é de 2 A, enquanto a corrente de acionamento de cada bomba submersível é de aproximadamente 1,8 à 2 A, fazendo com que a ponte H trabalhe no seu limite de operação. Nesta situação não é possível utilizar as mesmas em um único módulo de ponte H.

Existe um artifício no uso de pontes H que é conhecida como ponte H paralela, essa técnica consiste em ligar o canal A e o canal B entre si de cada módulo, fazendo-os atuar

como um canal único. Esta forma de utilização é aplicada quando se necessita aumentar a corrente de utilização do módulo, fazendo assim a corrente do mesmo dobrar, em detrimento de se perder um canal para acionamento de uma segunda carga. Esta técnica foi aqui aplicada para que evite que as pontes H utilizadas não sejam danificadas por picos de corrente advindas das bombas submersíveis, e ao mesmo tempo não force as mesmas ao seu limite de capacidade de corrente.

Considerando a corrente de pico exigida pelas bombas, o circuito foi projetado de forma que cada ponte H em paralelo controlasse individualmente uma das bombas. No diagrama da figura 13, é visível a disposição da montagem, em que os motores representados na foto correspondem às bombas localizadas no fundo do tanque.

**Figura 13 - Diagrama do circuito**



Fonte: Autoria própria (2023).

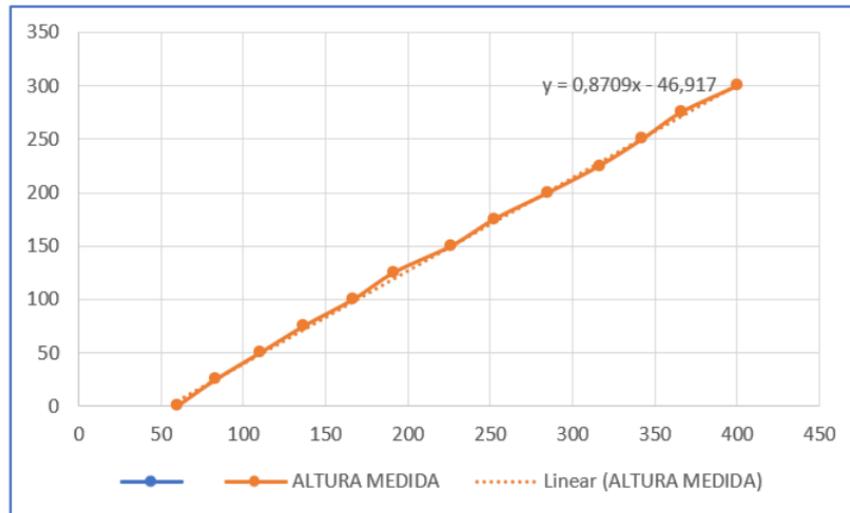
## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas seções iniciais deste documento foram definidos os objetivos gerais e específicos deste trabalho. O objetivo geral consiste na construção de um sistema didático de nível de tanques para a posterior utilização como sistema didático. A proposta ainda aborda objetivos específicos que complementam o objetivo geral, cujo as mesmas encontram-se bem definidas na seção 1.2 e 1.2.1 deste documento.

Devido a imprevistos durante a execução do projeto alguns objetivos específicos foram atingidos parcialmente, como o caso do fomento do *software* necessário para o funcionamento do protótipo sem a necessidade de se iniciar uma programação do zero. Apesar de ser uma etapa importante, a mesma não veio a comprometer o objetivo geral ou a execução final do proposto, pois devido as características da plataforma Arduino que foi escolhida para gerenciar o *software* de simulações, o desenvolvimento deste *software* pode ser aplicado também como uma atividade didática aos alunos que posteriormente usufruirão do protótipo, isto é possível pois o perfil do profissional formado em Engenharia de Controle e Automação, requer experiência com atividades relacionadas a uso, funcionamento e programação de microcontroladores, portanto, o cumprimento parcial deste objetivo específico não prejudica grandemente a sua execução.

No que tange a construção do sistema didático de nível de tanques é possível afirmar que este objetivo foi concluído totalmente, com a finalização total de toda a estrutura necessária para a atuação do mesmo como ferramenta didática. O material utilizado o acrílico, mostrou-se bastante resistente e eficaz em conter o fluido utilizado, que neste caso foi a água.

Embora o desenvolvimento do *software* não tenha sido completamente desenvolvido, todos os itens e componentes necessários para o funcionamento do hardware eletrônico foram totalmente implementados. Apesar dos empecilhos, foram realizados testes abrangentes de calibração dos sensores MPX5020DP utilizados no protótipo, os resultados colhidos resultaram em dados significativos para a pesquisa. A figura 14 abaixo nos mostra uma reta de calibração obtida através de testes realização com o sensor especificado para obtenção da equação da reta característica do mesmo.

**Figura 14** - Obtenção da equação característica da reta de calibração do sensor MPX5010DP

Fonte: Autoria própria (2023).

A tabela 1 abaixo, nos mostra os dados utilizados para a geração do gráfico presente na figura 14, onde a coluna intitulada “altura medida” representa as alturas fixas do tanque vertical do sistema, o qual foi utilizado como referência para a sua calibração. As leituras Min. E Máx. são os valores de oscilação apresentados durante a leitura do sensor, posteriormente a obtenção destes valores, foi calculado a média para ser utilizada como valores de referência na geração da equação da reta.

**Tabela 2 - Dados de referência e leituras obtidas no processo de calibração do sensor**

SENSOR MPX5010DP			
ALTURAS FIXAS DO TANQUE (mm)	LEITURAS (mm)		
	MIN.	MÁX.	LEITURA MÉDIA DO SENSOR
0	58	62	60
25	81	86	83,5
50	109	112	110,5
75	135	139	137
100	165	169	167
125	190	193	191,5
150	224	229	226,5
175	250	255	252,5
200	282	289	285,5
225	314	319	316,5
250	340	345	342,5
275	363	369	366
300	398	403	400,5

Fonte: Autoria própria (2023).

Os testes de calibração permitiram a validação do desempenho do modelo de sensores escolhido para utilização, fornecendo informações valiosas para futuras melhorias e otimizações. Embora o desenvolvimento do *software* tenha ficado incompleto, é importante ressaltar que as etapas aqui concluídas fornecem uma base sólida para o desenvolvimento futuro do mesmo, tendo em vista que todos os componentes necessários já se encontram inseridos no mesmo.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho estabeleceu e alcançou os seus objetivos estabelecidos, apesar dos imprevistos que afetaram parcialmente a conclusão de um dos objetivos específicos, no caso, o desenvolvimento completo do *software*, essas limitações não comprometeram significativamente a conclusão final do projeto. A escolha da plataforma Arduino como base para o desenvolvimento do estudo, facilitou o fomento de uma solução de caráter didático, já que os próprios modelos de microcontroladores Arduino possuem uma abordagem bastante acadêmica, senso assim, é possível utilizar o processo de programação do mesmo para estes fins.

A estrutura dos tanques desenvolvidas foi completamente construída, e as suas características oferecem suporte para vários tipos de atividades a serem desenvolvidas como mesmo. Os componentes eletrônicos utilizados mostraram-se confiáveis, como por exemplo a aferição da confiabilidade presente nos sensores MPX5010DP, mostrando que os mesmos são plenamente capazes de serem utilizados não somente em sistemas didáticas, mas também em estruturas comerciais com uma elevada precisão.

Dessa forma, a conclusão deste projeto representa um êxito significativo na construção de um sistema didático de nível de tanques que é capaz de ser utilizado como uma ferramenta valiosa para o ensino e aprimoramento dos conhecimentos dos docentes do curso de Engenharia de Controle e Automação. O trabalho realizado até o momento estabelece uma base sólida para pesquisas futuras e o aprimoramento contínuos do sistema, possibilitando sua utilização como uma importante contribuição educacional e técnica na área, que são plenamente capazes de culminarem em outros projetos de pesquisas atrelados a trabalhos de conclusão de curso.

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.
- ARDUINO. Sobre o Arduino. 2021. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/about>. Acesso em: 13 jan. 2023.
- ALONSO, J. et al. Autonomous vehicle control systems for safe crossroads. Transportation research part C: emerging technologies, v. 19, n. 6, p. 1095-1110, 2011.
- BAUCHSPIES, A.; GUIMARÃES, B.; GOSMANN, H. L. Remote experimentation on a three coupled water reservoirs. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 2003, Rio de Janeiro.
- BROSLER, R. O. Controlador PID utilizando microcontrolador PIC. 2014. 89 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.
- CAMPOS, M. C. M. M., TEIXEIRA, H. C. G. Controles Típicos de Equipamento e Processos Industriais. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.
- CARVALHO, A.; SOUSA, A. L.; FRANCISCO, L. E. S. Identificação e controle fuzzy de uma planta didática de nível. In: VII SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA (SEGeT), Resende/RJ, 2010.
- CURTO, H. Scrum: teoria e princípios. NetProject. Disponível em: <https://netproject.com.br/blog/scrum-teoria-e-principios/>. Acesso em: 11 de jul. de 2020.
- DA FONSECA, D. G. V. Modelagem e controle adaptativo de uma planta didática de nível com instrumentação industrial. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado em Automação e Sistemas; Engenharia de Computação; Telecomunicações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- DE SOUSA, R. M. et al. Desenvolvimento de um protótipo de robô móvel de baixo custo para práticas de ensino e pesquisa. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, [S.l.], n. 38, p. 77-86, fev. 2018. ISSN 2447-9187.
- DESSOLDI, F. Método Scrum – Um resumo de tudo o que você precisa saber. Medium, 2019. Disponível em: <https://medium.com/reprogramabr/scrum-um-breve-resumo-f051e1bc06d9>. Acesso em: 10 de jul. de 2020.
- DORF, R. C.; BISHOP, R. H. Sistemas de controle modernos. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

FORNELL. SENSORES DE PRESSÃO (LINHA MPX). 2020. Disponível em: <https://blog.fornell.com.br/2020/02/14/sensores-de-pressao-linha-mpx/>. Acesso em: 10 maio 2023.

GUIMARÃES, Fábio. Ponte H – O que é e como funciona. 2018. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/ponte-h-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 12 maio 2023.

LIMA, Thiago. Arduino Due. 2014. Disponível em: <https://embarcados.com.br/arduino-due/>. Acesso em: 16 jan. 2023.

LINHARES, Leandro Luttiane da Silva. Sistema Híbrido de Inferência Baseado em Análise de Componentes Principais e Redes Neurais Artificiais Aplicado a Plantas de Processamento de Gás Natural. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Automação e Sistemas; Engenharia de Computação; Telecomunicações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

LINHARES, L. L. S. et al. A nonlinear system identification approach based on fuzzy wavelet neural network. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, v. 28, n. 1, p. 225-235, 2015.

LINHARES, L. L. S. Critério de correntropia no treinamento de redes fuzzy wavelet neural networks para identificação de sistemas dinâmicos não lineares. 2015. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPgEEC), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

LJUNG, L.; GLAD, T. Modeling od dynamic systems. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc., 1994.

LJUNG, L. System identification - theory for the user. New Jersey, USA: Prentice-Hall International, 1987.

MENDES, R. G. R. Sistema de nível de líquidos de segunda ordem didático com microcontrolador PIC 18F252 – experimentos de controle no domínio da frequência. 2004. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

NÁUTICA, Diamond. Bomba de Porão de 350 GPH de 12 Volts – Bilge Pump. 2022. Disponível em: <https://diamondnautica.com.br/product/bomba-de-porao-de-350-gph-de-12-volts-bilge-pump/>. Acesso em: 12 maio 2023.

OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

ONOFRE FILHO, M. P. Lógica fuzzy para controle de pH em um processo petrolífero. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Automação e Sistemas; Engenharia de Computação; Telecomunicações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

RAMOS, A. P.; WENSE, G. L. B. Sistema didático de nível de líquidos. 2008. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

RODRIGUES, E. Os pilares do Scrum. Gestão de Projetos na Prática por Eli Rodrigues, 2016. Disponível em: <<https://www.elirodrigues.com/2016/06/08/os-pilares-do-scrum/>>. Acesso em: 10 de jul. de 2020.

SEMICONDUCTORS, Nxp. Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated. 2012. Disponível em: <https://br.mouser.com/datasheet/2/302/MPX5010-3139395.pdf>. Acesso em: 10 maio 2023.

SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J. The Scrum guide. The definitive guide to Scrum: the rules of the game. Scrum guides, 2017. Disponível em <<https://www.scrumguides.org/>>. Acesso em: 10 de jul. de 2020.

SERVICES, Amazon Web. O que é um IDE? Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/ide/>. Acesso em: 17 jan. 2023.

SÖDERBY, Karl. Introdução ao Arduino IDE 2.0. 2022. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/getting-started-ide-v2>. Acesso em: 17 jan. 2023.

SOUSA, D. L. Controle PID multivariável de um tanque duplo com acoplamento entre as malhas. 2014. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

TORRES, Victor. O que é a IDE do Arduino?! 2013. Disponível em: <http://www.natalnet.br/ura/?p=438>. Acesso em: 17 jan. 2023.

TRIGUEIRO, T. C.; LIRA, V. V. SimTank – um simulador de nível de líquido em tanques. Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, [S.l.], n. 24, p. 112-120, jun. 2014.

UNICAMP, 3E. Arduino: entenda mais sobre essa versátil plataforma. 2022. Disponível em: <https://3eunicamp.com/arduino-entenda-mais-sobre-essa-versatil-plataforma/>. Acesso em: 13 jan. 2023.

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Documento de TCC

**Assunto:** Documento de TCC  
**Assinado por:** Hiarley Martins  
**Tipo do Documento:** Anexo  
**Situação:** Finalizado  
**Nível de Acesso:** Ostensivo (Público)  
**Tipo do Conferência:** Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Hiarley Martins Lira, ALUNO (201712030003) DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL - CAJAZEIRAS**, em 31/05/2023 22:46:48.

Este documento foi armazenado no SUAP em 31/05/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 843117  
Código de Autenticação: cfbc83c367

