

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação



Trabalho de Conclusão de Curso

**Sistema de Automação e Acionamento de Infraestruturas de Elevadores de
Nível para Perímetros de Irrigação**

Ricardo da Silveira dos Santos

Pelotas, 2021

Ricardo da Silveira dos Santos

Sistema de Automação e Acionamento de Infraestruturas de Elevadores de Nível para Perímetros de Irrigação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Gilson Simões Porciúncula

Coorientador: Luciano Anacker Leston

Pelotas, 2021

Ricardo da Silveira dos Santos

Sistema de Automação e Acionamento de Infraestruturas de Elevadores de Nível
para Perímetros de Irrigação

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 16 de dezembro de 2021

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gilson Simões Porciúncula (Orientador)

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Me. Luciano Anacker Leston (Coorientador)

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Sigmar de Lima (Coordenador do Curso de Engenharia de Controle e Automação)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Marcelo Lemos Rossi

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia

Dedico este trabalho às pessoas
que me apoiaram nesse trajeto
até a graduação em Engenharia
de Controle e Automação.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais Paulo e Salete pelo seu apoio e incentivo que me deram durante a minha vida acadêmica, onde fizeram vários sacrifícios para que eu pudesse chegar a minha formação.

A minha irmã Daniela pela companhia, apoio e atenção.

A minha namorada Miriane por me apoiar, incentivar e a me escutar nos momentos que estive com problemas e dificuldades.

Um agradecimento especial aos meus avós Aires, Seloy, Jesus e Celina, a minha Tia Samira, ao seu marido Ricardo e minha afilhada Ana Thereza, por abrirem as portas de suas casas e me acolheram com muito amor, carinho e atenção e me dando apoio durante o meu período de estudos.

Ao professor Gilson pela sua ajuda neste trabalho e por me inserir no mundo da pesquisa e da monitoria, algo que me fez amadurecer bastante na minha vida acadêmica. E aos demais professores por repassarem seus conhecimentos mesmo enfrentando problemas com falta de equipamentos e estrutura de ensino.

Aos meus colegas de curso pela companhia, apoio e incentivo em especial aos colegas Gabriel Tavares, Maria Paula e Guilherme Santos.

E a todos familiares e amigos que de alguma forma me ajudaram a chegar neste momento especial.

Resumo

DOS SANTOS, Ricardo da Silveira. **Sistema de Automação e Acionamento de Infraestruturas de Elevadores de Nível para Perímetros de Irrigação**. 2021. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) – Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

O objetivo deste trabalho é propor um sistema de automação e controle para elevadoras de nível de um perímetro de irrigação. As principais infraestruturas de irrigação de um perímetro são barragem, descarregadora de cheias com comportas, elevadoras de níveis de comportas, saltos e tomadas de água. Todas essas infraestruturas são utilizadas para o controle de nível e/ou vazão do sistema de irrigação. As elevadoras de nível têm como finalidade o controle do nível de água à montante do canal, permitindo que haja diferença de nível suficiente para que a água escoe até os canais secundários e lavouras adjacentes. Como estudo de caso utilizou-se as elevadoras de nível do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro. Elas são constituídas por uma comporta basculante, muros, alas e sistema de movimentação, com ajuste manual da altura, feito por meio de movimentação de uma manivela (volante), que está acoplada a um redutor, que traciona um cabo de aço ligado à comporta. Com a automação destas estruturas espera-se facilitar a operação, e com isso aumentar a eficiência de irrigação do perímetro. A proposta de automação e controle apresentada para as comportas das elevadoras de nível apresentada foi por meio de acionamento e controle de sistemas hidráulicos. Os resultados apresentados pelo protótipo físico desenvolvido em laboratório mostraram a viabilidade de controle do acionamento da comporta. O dimensionamento do sistema hidráulico indicou que para acionar as comportas das elevadoras de níveis é necessário um motor hidráulico de engrenagem, acionado por uma mini unidade de potência com uma vazão de 10,2l/min. Como projetos futuros propõe-se a implementação do sistema monitoramento e controle, integrando a automação de todas as infraestruturas do perímetro de irrigação do Arroio Duro.

Palavras-chave: Microcontrolador; CLP; AUD; Sistemas Hidráulicos.

Abstract

DOS SANTOS, Ricardo da Silveira. **Automation and Activation System of Level Elevator Infrastructures for Irrigation Perimeters** . 2021. 64f. Course Conclusion Work (Bachelor of Control and Automation Engineering) – Graduate Course in Control and Automation Engineering, Engineering Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2021.

The objective of this work is to propose an automation and control system for level elevators in an irrigation perimeter. The main Irrigation infrastructure of a perimeter are dams, spillway with floodgates, floodgates elevators, jumps and water intakes. All these infrastructures are used to control the level and/or flow of the irrigation system. Level elevators are intended to control the water level upstream of the channel, allowing for a sufficient level difference for water to drain to secondary channels and adjacent crops. As a case study, we will use the level elevators of the Arroio Duro Irrigation Perimeter. They consist of a tilting penstock, walls, wings and a movement system, with manual height adjustment, made by moving a crank (handwheel), which is coupled to a reducer, which pulls a steel cable connected to the penstock. The automation of these structures is expected to facilitate the operation, and thereby increase the perimeter irrigation efficiency. The proposal for automation and control presented for the gates of the level elevators presented was through the activation of hydraulic systems and controlled and monitored locally. The results presented by the physical prototype developed in the laboratory showed the feasibility of controlling the gate actuation in a local way. The dimensioning of the hydraulic system indicated that to activate the gates of the level elevators, a gear hydraulic motor is needed, driven by a mini power unit with a flow rate of 10,2l/min. As future projects, the implementation of the automation and control system in the Arroio Duro irrigation perimeter is proposed.

Key-words: Microcontroller; CLP; AUD; Hydraulic Systems.

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa da localização dos Canais do Perímetro AUD.	20
Figura 2 – Principais tipos de comportas	23
Figura 3 – Elevadora de nível do Perímetro AUD - duas comportas	24
Figura 4 – Elevadora de nível do Perímetro AUD - três comportas	24
Figura 5 – Desdobramento funcional de um sistema hidráulico	26
Figura 6 – Diagrama funcional do circuito hidráulico de acionamento	36
Figura 7 – Diagrama funcional do circuito hidráulico acionado manualmente	37
Figura 8(a) – Diagrama funcional do circuito hidráulico acionado por solenóide	38
Figura 8(b) – Diagrama funcional do circuito elétrico para acionamento do solenóide	38
Figura 9 – Diagrama de acionamento do motor elétrico	39
Figura 10 – Diagrama conceitual do circuito de controle via CLP ou microcontrolador	40
Figura 11 – Diagrama de programação ladder	41
Figura 12(a) – Protótipo da comporta na bancada hidráulica do Laboratório de automação industrial do CENG	43
Figura 12(b) – Unidade de potência e sistema de controle do protótipo	43
Figura 13 – Representação da estrutura de acionamento e distribuição das forças na comporta	45
Figura 14(a) – Diagrama do corpo livre da força resultante	46
Figura 14(b) – Diagrama do corpo livre da tensão na polia T	46
Figura 14(c) – Diagrama do corpo livre da tensão no cabo de acionamento	46
Figura 15 – Válvula de controle direcional 4/3 acionada por alavanca com trava	49
Figura 16(a) – Circuito hidráulico com VCD acionada por solenóide	50
Figura 16(b) – Válvula de Controle direcional (VCD) 4/3 de centro aberto negativo acionada por duplo solenóide	50
Figura 17(a) – Circuito com válvula de retenção pilotadas	51
Figura 17(b) – Foto da válvula de retenção pilotada na bancada	51

Figura 18(a) – Sistema eletrohidráulico componentes do protótipo da bancada	52
Figura 18(b) – Sistema eletrohidráulico implementação do circuito elétrico	52
Figura 19(a) – Circuito eletrônico de regulador de tensão	53
Figura 19(b) – Placa eletrônica com o circuito regulador de tensão e entradas e saídas a relé	53
Figura 20 – Circuito de controle utilizando microcontrolador	54
Figura 21(a) – Circuito para conectar os sensores 24V ao Arduino	55
Figura 21(b) – Circuito para conectar os solenóides da VCD ao Arduino	55
Figura 22(a) – Circuito hidráulico controlado por CLP	56
Figura 22(b) – Controlador Lógico Programável (CLP)	56
Figura 23 – Interface da implementação do diagrama ladder para o CLP	56

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Comprimento dos Canais de Irrigação	19
Tabela 2 – Comprimento dos Canais de drenagem	20
Tabela 3 – Quantidade de elevadoras de nível presente no canais	21

Lista de Quadros

Quadro 1 – Nomenclaturas de componentes hidráulicos	36
Quadro 2 – Códigos e Descrição funcional dos componentes do circuito elétrico	38
Quadro 3 – Códigos e Descrição funcional dos componentes do circuito de acionamento do motor elétrico	41
Quadro 4 – Códigos e Descrição funcional dos elementos do código ladder	41

SUMÁRIO

Resumo	7
Abstract	8
Lista de Figuras	9
Lista de Tabelas	11
Lista de Quadros	12
1 Introdução	15
1.1 Objetivos Geral	17
1.2 Objetivos Específicos	17
2 Revisão Bibliográfica	18
2.1 O Perímetro de Irrigação do Arroio Duro	18
2.2 Vertedouro e Comportas	21
2.2.1 Vertedouro de comporta basculante - Elevadoras de Nível	23
2.3 Sistemas hidráulicos	25
2.3.1 Componentes de um sistema hidráulico	25
2.4 Sistemas de Automação	29
2.4.1 Controladores Lógicos Programáveis	30
2.4.2 Microcontroladores	32
2.4.3 Sistemas de monitoramento	32
3 Definição do Projeto Conceitual do Sistema de Automação e Acionamentos das Estruturas Hidráulicas do Perímetro AUD	35
3.1 Sistema de Acionamento	35
3.2 Sistema de Automação	36
4 Proposta do Projeto do Sistema de Acionamento das elevadoras de nível do Perímetro de Irrigação	43
4.1 Protótipo	43
4.2 Sistema Hidráulico	44
4.2.1 Determinação do torque de acionamento	44
4.2.2 Determinação dos componentes do sistema de potência hidráulica	47
4.3 Sistema Hidráulico com comando manual	48
4.4 Sistema Eletrohidráulico	49
4.5 Sistema de comando utilizando Microcontrolador	52
4.6 Sistema de comando por CLP	55
5 Considerações Finais e Conclusões	57

Referências	58
APÊNDICES	60
APÊNDICE 1	60
APÊNDICE 2	61

1 Introdução

Neste trabalho primeiramente apresenta-se um estudo para um embasamento teórico do funcionamento de elevadores de nível utilizados em perímetros de irrigação e dos componentes utilizados neste sistema. Após realiza-se um levantamento dos princípios de solução de acionamento e de controle e de plataformas de interface de usuário. E por fim avalia-se e define-se as possíveis soluções que podem ser aplicadas ao sistema para um posterior dimensionamento dos componentes a serem utilizados.

Para manter a operação de sistemas de irrigação e drenagem de forma eficiente necessita-se do controle da vazão e dos níveis dos canais do perímetro de irrigação. Para isso é necessário, o controle das estruturas de irrigação do perímetro, tais como, comportas da descarregadora de cheias, comportas das elevadoras de nível, comportas de tomadas de água e saltos. (PAR-AUD, 2019)

Além disso, o controle automatizado das estruturas de irrigação do perímetro, poderá garantir um uso adequado do volume de água disponível no perímetro, contribuindo para um manejo mais justo e sustentável.

Neste trabalho utilizou-se como estudo de caso as elevadoras de nível do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro, constituídas por uma comporta basculante, muros, alas e sistema de movimentação. A maioria das comportas do perímetro possuem ajuste manual da altura, realizado por meio de movimentação de uma manivela (volante), esta manivela está acoplada a um redutor, que traciona um cabo de aço ligado à comporta. Esses ajustes podem ser diários e demandam de um operador para girar a manivela, alterando assim a inclinação da comporta e, conseqüentemente, sua altura e a do nível de água no canal. As tomadas de decisão para operá-las e sua utilização dependem do nível de água demandado no canal à montante.

Como proposta de automação das comportas das elevadoras de nível analisou-se os sistemas hidráulicos, estes apresentam bom desempenho na movimentação de dispositivos pesados ou que manipulam alguma massa, neste caso uma carga de água variável de acordo com o nível do canal. Além disso, os

sistemas hidráulicos permitem o controle de velocidade e posicionamento destes dispositivos.

Para a detecção do nível de água recomenda-se a utilização de sensores ultrassônicos e para detectar o percentual de abertura da comporta, sensores indutivos, como fim de curso .

Para o controle do sistema avaliou-se quatro tecnologias de controle: puramente hidráulico, eletrohidráulico e hidráulica com controle eletrônico por microcontrolador e por CLP.

Para o acionamento do sistema hidráulico dimensionou-se uma unidade de potência hidráulica, definindo uma bomba hidráulica, o volume do reservatório e o sistema de acionamento da bomba. Também será dimensionado os elementos de proteção utilizados no acionamento do motor elétrico que movimenta a bomba hidráulica.

No capítulo 1 deste trabalho apresenta-se a introdução do trabalho, definindo objetivos, justificativas e relevâncias do trabalho, assim como, propõem-se a estrutura de apresentação do trabalho como um todo.

No capítulo 2, uma revisão bibliográfica sobre os principais temas, metodologias, tecnologias e ferramentas utilizadas no trabalho, tais como, estruturas hidráulicas em perímetros de irrigação, sistemas hidráulicos e sistemas automação e controle.

Durante o capítulo 3, serão apresentadas a metodologia da pesquisa, os métodos e ferramentas utilizadas para implementar o sistema de automação e controle e o estudo de caso das comportas das elevadoras de nível do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro.

O Capítulo 4 apresenta o projeto de automação e controle proposto, apresentando o protótipo do sistema de acionamento e controle, o dimensionamento do sistema hidráulico, a implementação do sistema de controle no protótipo em laboratório e os resultados obtidos nos experimentos realizados.

E as considerações finais no capítulo 5 deste trabalho.

1.1 Objetivos Geral

O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento dos princípios de solução de acionamento e de controle, para a automatização dos elevadores de nível utilizados em perímetros de irrigação.

Para então apresentar uma proposta de automação e controle dos sistemas de comportas das elevadoras de nível dos canais de irrigação do Perímetro de irrigação do Arroio Duro, localizado no Município de Camaquã, no Estado do Rio Grande do Sul.

Com a implementação deste sistema de automação e controle das comportas das elevadoras de nível, pretende-se aumentar a segurança dos funcionários e consumidores, melhorar o controle e a precisão na atuação das infraestruturas hidráulicas e aumentar a eficiência de operação e gestão do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro.

1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo de apresentar uma proposta de Projeto para o Sistema de Controle e Acionamento das Elevadoras de Níveis do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

Apresentar uma revisão bibliográfica sobre sistemas de automação e Controle;

Dimensionar um sistema hidráulico para acionamento de comporta basculante;

Implementação do sistema de controle e acionamento em protótipo de laboratório.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica dos principais temas, tecnologias e ferramentas utilizadas neste trabalho.

2.1 O Perímetro de Irrigação do Arroio Duro

O Perímetro de Irrigação do Arroio Duro (Perímetro AUD), atualmente, gerenciado e operado pela Associação de Usuários do Arroio Duro (AUD) foi construído na década de 60, é responsável pela regularização da vazão do Arroio e armazenar água durante o inverno para ser utilizada na irrigação das áreas dos produtores durante a safra. (AUD)

O perímetro possui área irrigável de 21.000 hectares, contando com a seguinte infraestrutura comum de irrigação e drenagem: uma barragem com suas estruturas de controle de nível e vazão, uma estação de bombeamento, canais de irrigação, canais de drenagem, comportas descarregadora de cheias, comportas elevadoras de nível, saltos, tomadas de água, bueiros, sifões invertidos, etc. (PAR-AUD,2019)

A AUD tem por incumbência garantir de forma adequada, de acordo com os contratos anuais dos usuários, a irrigação e drenagem das áreas do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro. Para garantir o funcionamento do sistema de irrigação do perímetro de forma eficiente é necessário desenvolver de forma adequada as atividades de operação, manutenção e conservação do sistema.

O Perímetro de Irrigação do Arroio Duro está situado no município de Camaquã, estado do Rio Grande do Sul. O Município de Camaquã/RS está localizado na Serra do Sudeste (Encosta da Serra do Sudeste); faz parte da Região Centro-Sul; localiza-se a 30°, 51' de latitude Sul e 51° e 48' de longitude Oeste, situando-se à margem direita da Laguna dos Patos e à margem esquerda do Rio Camaquã, distante 127 Km da Capital do Estado - Porto Alegre, e 125 Km de Pelotas, ocupando uma área de aproximadamente 1.683 km². (Prefeitura Municipal de Camaquã)

Com o objetivo de tornar as terras aptas à agricultura, foi executada uma rede de canais que irrigavam cerca de 4.000ha de terras ocupadas com o cultivo do arroz. A montante foi construído o reservatório do arroio Duro, que visava regularizar a vazão, permitindo abastecer os açudes à jusante e armazenando cerca de 150 milhões de m³ de água. Com a construção da barragem do arroio Duro, foi possível irrigar cerca de 60.000ha de terras, tendo em vista as necessidades de cultura e tipos de solo. (PAR-AUD,2019)

Após a o canal principal da barragem, existe um conjunto de comportas reguláveis que fornece água para os canais principais, que apresentam ainda uma série de comportas, que estabilizam e mantêm o nível. O espaçamento das comportas reguladoras de nível foi estabelecido em função das características topográficas da área, bem como da necessidade do sistema dos canais secundários e terciários de irrigação.

O perímetro possui 6 canais principais de irrigação, cada um apresenta canais de nível secundário, terciário e quaternário, sendo que todos são acompanhados por canais de drenagem utilizados no manejo da irrigação, e para o reaproveitamento da água drenada, Figura 1. Em função do manejo anual de irrigação adotado, alguns canais podem estar desativados, dependendo da necessidade hídrica das lavouras, seja por alteração da área irrigada ou pela rotação de cultivo realizada. Os seis canais principais de irrigação (CI), denominados de CI-0, CI-1, CI-2, CI-3, CI-4 e CI-5. As Tabelas 1 e 2 apresentam o comprimento de cada canal.

Tabela 1 – Comprimento dos Canais de Irrigação (km)

Canal de Irrigação	Principal	Secundário	Terciário	Quaternário	Total
CI-AD	1,0	-	-	-	1,0
CI-BOMBA	3,8	-	-	-	3,8
CI-0	17,2	58,2	16,1	0,9	92,5
CI-1	26,0	32,3	19,7	7,1	85,0
CI-2	26,4	35,5	9,1	-	71,0
CI-3	22,4	42,2	14,9	0,2	79,6
CI-4	9,3	11,2	2,6	-	23,1
CI-5	11,1	14,5	4,5	-	30,1
Total	117,2	193,9	66,9	8,2	386,1

Fonte: PAR-AUD (2019)

Tabela 3 – Quantidade de elevadoras de nível presente nos canais

Canal	C-0	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	Total
Elevadoras de nível	9	13	7	9	2	-	40

Fonte: PAR-AUD (2019)

2.2 Vertedouro e Comportas

Vertedouro é uma obra projetada e construída com o objetivo de escoar o excesso da água acumulada pelo reservatório, evitando o risco do nível da água atingir a crista do reservatório ou barragem (SOUZA, SANTOS E BORTONI, 2009, p. 169).

Os parâmetros que constituem um vertedouro, de acordo com Porto (1988 apud KOHN, 2006) e (1988 apud RAIMUNDO, 2007), são:

- a) Crista ou soleira: é a parte superior da parede em que há contato com a lâmina d'água.
- b) Carga hidráulica sobre a soleira: é a diferença entre a cota da soleira e o nível de água a montante.
- c) Altura da soleira: é a distância entre a cota da soleira e a cota de fundo do reservatório ou canal.
- d) Largura da soleira: é a dimensão da soleira através da qual há o escoamento.

As comportas são dispositivos mecânicos utilizados para controlar vazões hidráulicas em qualquer conduto livre ou forçado e de cuja estrutura o conduto é independente para sua continuidade física e operacional (NBR 7259).

Uma comporta compõe-se basicamente de três elementos: tabuleiro, peças fixas e mecanismo de manobra (ERBISTE, 1987).

O tabuleiro é o componente principal da comporta que serve como anteparo à passagem da água e é constituído de paramento e vigamento. O paramento é a chapa de revestimento do tabuleiro que fica em contato com água. As vedações são geralmente constituídas de perfis de borracha aparafusadas ao paramento com o objetivo de estanqueidade (ERBISTE, 1987).

As peças fixas são os componentes que ficam embutidos no concreto e servem para guiar e alojar o tabuleiro e seus componentes básicos são: soleira, caminho de rolamento ou de deslizamento, guias laterais, contra guias, frontal, apoios de vedação e blindagem das ranhuras (ERBISTE, 1987).

Os Mecanismos de manobra, conforme a norma NBR 7259, classificam os tipos de comportas, segundo a sua movimentação em funcionamento, conforme disposto em:

- Comportas de translação: Aquelas que executam um movimento de translação. Podem ser do tipo de deslizamento ou do tipo de rolamento.
 - Deslizamento: Aquelas que, nas comportas de deslizamento, a estrutura principal (tabuleiro) se movimenta em suas guias ou peças fixas, simplesmente vencendo o atrito de deslizamento entre as partes fixas e móveis;
 - Rolamento: Aquelas que, nas comportas de rolamento, a estrutura principal (tabuleiro) se movimenta em suas guias ou peças fixas, vencendo o atrito entre as partes fixas e móveis por meio de rodas ou rolos.
- Comportas de rotação: Aquelas que executam um movimento de rotação em torno de um eixo fixo.
- Comportas de translo- rotação: Aquelas que executam um movimento de translação e rotação.

A Figura 2 descreve um esquema no qual é apresentando as variações de de tipos de comportas mais utilizadas.

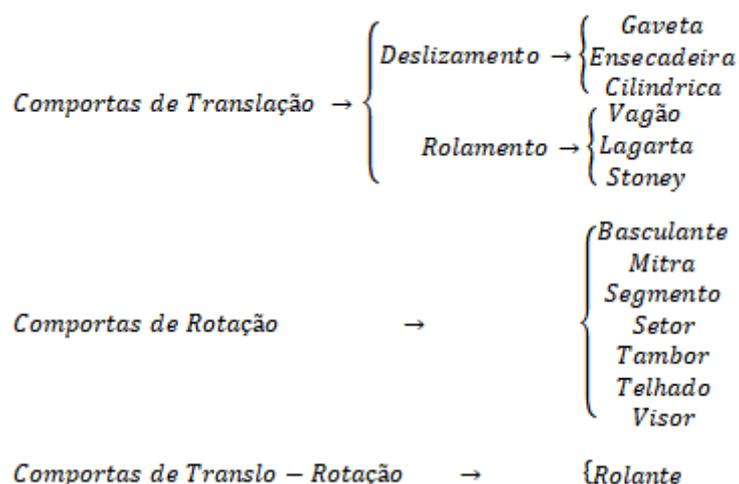


Figura 2 - Principais tipos de comportas (adaptado de NBR 7259)

Segundo Erbiste (1987), as comportas hidráulicas podem ser agrupadas de várias formas de acordo com suas características, obedecendo aos seguintes critérios de classificação: função, movimentação, descarga, composição do tabuleiro, localização e forma do paramento.

2.2.1 Vertedouro de comporta basculante - Elevadoras de Nível

Segundo a norma NBR 7259 a comporta basculante é uma comporta de rotação com paramento plano curvo, tendo a estrutura do tabuleiro fixada a mancais-suportes e eixo horizontal incorporado ao próprio tabuleiro. A pressão hidráulica é transmitida aos mancais-suportes e à estrutura do mecanismo de operação da comporta.

Os vertedores de comportas basculantes são obras maiores, pois elevam o nível da água ao longo do canal, realizando remanso a montante. Esses mecanismos possuem uma manopla manual para abertura e fechamento da comporta e podem apresentar mais de uma comporta em uma mesma obra. As Figuras 3 e 4 apresentam fotos dos vertedores com comporta basculante, as elevadoras de nível, encontradas no Perímetro da AUD.



Figura 3 - Elevadora de nível do Perímetro AUD - Duas comportas



Figura 4 - Elevadora de nível do Perímetro AUD - Três comportas

As elevadoras de nível são obras que têm como finalidade o controle do nível de água à montante do canal, permitindo que haja diferença de nível suficiente para que a água escoe até os canais secundários e lavouras adjacentes.

A maioria das elevadoras de nível do Perímetro AUD possuem ajuste manual da altura, que é feito por meio de movimentação de uma manivela que está

acoplada a um redutor, que traciona um cabo de aço ligado à comporta. A frequência dos ajustes pode ser diária e necessita de um operador para girar manualmente a manivela alterando, assim, a inclinação da comporta e conseqüentemente a sua altura. As tomadas de decisão para operá-las e sua utilização é dependente do nível de água demandado no canal à montante.

2.3 Sistemas hidráulicos

Sistemas hidráulicos são tecnologias onde a utilização de um fluido pressurizado (óleos minerais) em conjunto de elementos físicos que realizam transferência de energia, por meio do fluido, permitindo a transmissão e o controle de forças e movimentos. (PARKER, 1999)

Os sistemas hidráulicos conseguem apresentar uma rápida parada e inversão de movimento e variações micrométricas de velocidade e por trabalhar com fluidos ele se torna um sistema autolubrificante. Seus componentes apresentam uma fácil instalação e possuem um tamanho pequeno e pouco peso em relação à potência consumida e a alta potência que eles suportam, assim é um sistema seguro contra sobrecargas.

O funcionamento dos sistemas hidráulicos é determinado fundamentalmente pelas leis que regem o comportamento de fluidos confinados, uma delas é o Princípio de Pascal e o princípio da prensa hidrostática. (PARKER, 1999)

O Princípio de Pascal diz que se aplicarmos uma força externa for sobre uma parcela de área de um fluido confinado, a pressão decorrente será transmitida integralmente a todo o fluido confinado e à área do recipiente que o contém.

2.3.1 Componentes de um sistema hidráulico

Os grupos de um sistema hidráulico são: fonte de energia, grupo de geração, grupo de controle, grupo de atuação e grupo de ligação, conforme a Figura 5.

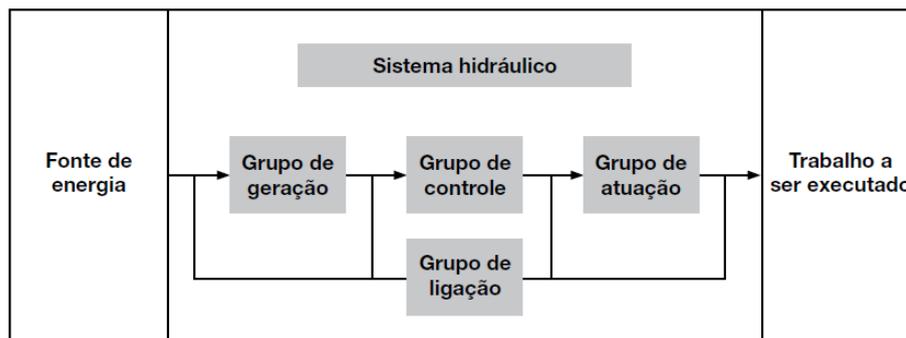


Figura 5 - Desdobramento funcional de um sistema hidráulico (PARKER, 1999)

A fonte de energia é responsável por fornecer energia mecânica, em forma de torque rotacional, para o grupo de geração. Ele é constituído geralmente por um motor elétrico ou motor à combustão.

O grupo de geração é responsável por transformar a energia mecânica em hidráulica e envia essa energia ao grupo de ligação. Neste grupo está presente a bomba hidráulica, reservatório e filtro.

O grupo de ligação é responsável por realizar as conexões entre os componentes, logo ele realiza a transferência de energia hidráulica pelo sistema. É constituído de conexões, tubos e mangueiras.

O grupo de controle realiza o controle da energia hidráulica, ele recebe energia hidráulica do grupo de ligação e conforme as características do componente ele pode enviar a energia para algum lugar específico, aumentar ou diminuir a pressão, vazão e etc. É constituído por válvulas de comando, controle, direcional e lógico.

O grupo de atuação é responsável por transformar potência hidráulica em mecânica. É constituído por atuadores lineares ou rotativos.

- Reservatórios hidráulicos:

A função de um reservatório hidráulico é conter ou armazenar o fluido hidráulico de um sistema. Ele consiste de quatro paredes (geralmente de aço), uma base abaulada, um topo plano com uma placa de apoio, quatro pés, linhas de sucção, retorno e drenos, plugue do dreno, indicador de nível de óleo, tampa para

respiradouro e enchimento, tampa para limpeza e placa defletora, também conhecida como Chicana.

A placa defletora impede que o fluido que retorna ao reservatório vá diretamente à linha de sucção, criando uma zona de repouso onde as impurezas maiores sedimentam, o ar sobe à superfície do fluido e dá condições para que o calor, no fluido, seja dissipado para as paredes do reservatório. Todas as linhas de retorno devem estar localizadas abaixo do nível do fluido e no lado do defletor oposto à linha de sucção.

- Filtro:

A função de um filtro é remover impurezas presentes no fluido hidráulico. Isto é feito forçando o fluxo do fluido a passar por um elemento filtrante que retém a contaminação. Os elementos filtrantes são divididos em tipos de profundidade e de superfície.

- Motor elétrico:

É uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica. Num sistema hidráulico ele é utilizado para fornecer energia mecânica à bomba, sendo responsável por realizar o giro da bomba.

- Bombas Hidráulicas:

As bombas são utilizadas nos circuitos hidráulicos para realizar a conversão da energia mecânica em energia hidráulica. A ação mecânica cria um vácuo parcial na entrada da bomba e permite que a pressão atmosférica force o fluido do tanque, através da linha de sucção, a penetrar na bomba. A bomba passará o fluido para a abertura de descarga, forçando-o através do sistema hidráulico.

As bombas são geralmente especificadas pela capacidade de pressão máxima de operação e pelo seu deslocamento volumétrico em uma determinada rotação por minuto.

A faixa de pressão de uma bomba é determinada pelo fabricante que é baseada na vida útil da bomba. Se uma bomba for operada com pressões superiores às estipuladas pelo fabricante, irá reduzir sua vida útil.

O Deslocamento volumétrico é a quantidade de líquido transferido durante uma rotação e é equivalente ao volume de uma câmara multiplicado pelo número de

câmaras que passam pelo pórtico de saída da bomba, durante uma rotação da mesma.

Teoricamente uma bomba deslocaria uma quantidade de fluido igual ao seu deslocamento em cada ciclo ou revolução. Mas na prática esse deslocamento é menor devido aos vazamentos internos, onde quanto maior a pressão maior será o vazamento da saída para a entrada da bomba ou para o dreno. Assim sua eficiência volumétrica é igual ao deslocamento real dividido pelo deslocamento teórico, dada em porcentagem.

- Mangueiras/Tubos:

Na transmissão hidráulica a energia é transmitida da bomba ao ponto de trabalho através de uma tubulação.

- Válvulas Limitadoras de pressão:

A pressão máxima do sistema pode ser controlada com o uso de uma válvula limitadora de pressão. Com a via primária da válvula conectada à pressão do sistema, saída da bomba, e a via secundária conectada ao tanque, o carretel no corpo da válvula é acionado por um nível predeterminado de pressão e neste ponto as vias primárias e secundárias são conectadas e o fluxo é desviado para o tanque. A base de operação dessas válvulas é um balanço entre pressão e força da mola. Assim a válvula pode assumir várias posições entre os limites de totalmente fechada a totalmente aberta.

- Válvulas de Controle Direcional (VDC):

As válvulas de controle direcional consistem em um corpo com passagens internas que são conectadas e desconectadas por uma parte móvel, que como na maior parte das válvulas hidráulicas, essa parte móvel é o carretel.

As válvulas de controle direcional são representadas nos circuitos hidráulicos através de símbolos gráficos. Para identificação da simbologia devemos considerar o seu número de posições, número de vias, posição normal, o tipo de acionamento.

O número de vias de uma válvula de controle direcional corresponde ao número de conexões úteis que uma válvula pode possuir. Nos quadrados representativos de posição podemos encontrar vias de passagem, vias de bloqueio ou a combinação de ambas, para sabermos o número de vias devemos considerar apenas a identificação de um quadrado.

Em sistemas hidráulicos a identificação das vias é feita a partir da Norma DIN 24300, onde a via de pressão é representada pela letra “P”, a via de retorno pela letra “T” e as vias de utilização pelas letras “A” e “B”

A Posição normal de uma válvula de controle direcional é a posição em que se encontram os elementos internos quando a mesma não foi acionada. Esta posição geralmente é mantida por força de uma mola.

O tipo de acionamento de uma válvula de controle direcional define a sua aplicação no circuito, estes acionamentos podem ocorrer por força muscular, mecânica, pneumática, hidráulica ou elétrica.

- Motores hidráulicos:

Os motores hidráulicos transformam a energia hidráulica em energia mecânica rotativa, que é aplicada ao objeto resistivo por meio de um eixo. Todos os motores consistem basicamente em uma carcaça com conexões de entrada e saída e em um conjunto rotativo ligado a um eixo.

2.4 Sistemas de Automação

Segundo Garcia Junior (2019) um sistema de automação pode apresentar 5 níveis de processos de operação, as principais funções comumente atribuídas a cada nível: A Medição e a Atuação permite a interface com o processo e transdução; A Aquisição e o Controle permitem o tratamento de variáveis, Aquisição de dados, Controle, Intertravamento, Sequenciamento, Alarmes etc; A Comunicação responsável pelo o gerenciamento dos recursos e meios, codificação, protocolos etc. A Supervisão permite a operação, e o monitoramento, o gerenciamento de Alarmes e Eventos, a aplicação de comandos e intervenções no sistema, a IHM etc; O Gerenciamento é responsável pela manipulação da Base de Dados, o controle operacional, a otimização dos processos, realizar simulação e Modelagem, etc.

Com o avanço da tecnologia o conceito de automatização surgiu na área de instrumentação de barragens. Sendo que para os instrumentos mais utilizados nestes empreendimentos, como indicadores de nível de água, piezômetros, inclinômetros e marcos superficiais existem as suas versões automatizadas e que devem ser utilizadas tanto na construção quanto na operação da barragem. A

correta leitura e interpretação dos resultados gerados pela instrumentação permite verificar as restrições que determinam a estabilidade da barragem, definindo níveis de alarmes para atuações de forma preventiva. O desenvolvimento de microcontroladores, dataloggers, e entre outros, a transmissão de dados via rádio, fibra ótica e até satélite propiciou um sistema de automatização da instrumentação de barragens e com a evolução de tecnologias para instrumentação, foram alcançados significativos avanços relacionados à coleta de dados, transmissão, processamento e análise de dados (QUISPE, FONTES e CARDOSO, 2018)

2.4.1 Controladores Lógicos Programáveis

O Controlador Lógico Programável (CLP) ou PLC do inglês *Programmable Logic Controller* é um equipamento de controle industrial microprocessado, criado com o intuito de substituir os quadros de comando há relés que apresentavam circuito lógico sequencial ou combinacional utilizados para o controle industrial, assim inicialmente efetuava especificamente o controle lógico de variáveis discretas, e atualmente usado para praticamente todos os tipos de controle (BEGA et al., 2006)(PRUDENTE, 2011).

O CLP funciona sequencialmente, captando o estado dos dispositivos ligados às suas entradas, operando a lógica de seu programa interno para determinar o estado dos dispositivos ligados às suas saídas. Quanto ao hardware de um Controlador Lógico Programável é constituído de três componentes fundamentais: unidade central, unidade de entrada/saída ou I/O e unidade de programação. (PRUDENTE, 2011)

A unidade de I/O refere-se às iniciais inglesas de Input (entrada) e Output (saída) e representa a interface entre a unidade central e a máquina ou dispositivo a ser controlado. A unidade de programação é o dispositivo que permite escrever o programa na memória do CLP, e pode ser feita através de um computador ou pelo teclado que vem embutido em alguns modelos CLPs. Já a unidade central é constituída pelas memórias de dados e de programa, pela unidade central de processamento (CPU) e pela fonte de alimentação.

As principais unidades de entrada/saída presentes no mercado são: módulo de entrada digital discreta (on/off), módulo de saída digital discreta (on/off), módulo de entrada analógica e módulo de saída analógica.

Os módulos de entradas digitais são utilizadas para conectar dispositivos cujo estado podem ser representados em um único bit, como por exemplo, botões, interruptores de posição, chaves, contatos de relés e outros. E os módulos de saídas digitais, são utilizadas para acionar dispositivos cujo estado podem ser representados em um único bit, como por exemplo, contatores, eletroválvulas, relés, solenóides e outros. (SILVEIRA e SANTOS, 2002).

Os módulos de entradas analógicas são utilizados para tratamento de grandezas físicas como, por exemplo, temperatura, pressão, velocidade, aceleração, entre outras. Estas grandezas normalmente são transformadas em grandeza elétrica por meio de dispositivos chamados de transdutores. E os módulos de saídas analógicas funcionam de maneira contrária aos módulos de entradas analógicas, ou seja, o CLP envia por meio do optoisolador, um sinal digital a um conversor analógico/digital. Podem ser utilizadas para o controle de válvulas, acionamento de motores, atuadores e outros. (PRUDENTE, 2011).

Com o propósito de estabelecer um padrão do modo pelo qual os softwares de programação pudessem processar seus comandos, manipular suas variáveis e sua própria estrutura de apresentação, foi criado um comitê internacional organizado para promover e criar a norma internacional IEC 61131. Tal norma refere-se ao desenvolvimento de recursos para a programação de dispositivos de controladores programáveis dentro de um sistema de automação (SILVEIRA e SANTOS, 2002).

A norma IEC61131-3 reconhece dois grandes grupos que representam o tipo de linguagem utilizada, cada qual contendo um conjunto de linguagens. Temos o grupo de Linguagens Textuais contendo a Lista de Instruções (IL - Instruction List) e o Texto Estruturado (ST - Structured Text). E o grupo de Linguagens gráficas contendo o Gráfico de Funções Sequenciais (SFC - Sequential Function Chart), o Diagramas de Contatos (LD - Ladder Diagram) e o Diagramas de Blocos de Funções (FBD - Function Block Diagram).

A linguagem ladder é uma linguagem gráfica que deriva do inglês que significa escada, pelo formato particular da sua representação, e de todas as

linguagens conhecidas, é a mais empregada no campo internacional para a programação do CLP, pois seus elementos gráficos se assemelham aos encontrados em diagramas e esquemas elétricos. O diagrama ladder é composto pela barra de alimentação (linha vertical esquerda) que comanda todos os elementos de input, pelo retorno comum ou massa (linha vertical direita) que conecta todas as variáveis de saída (output), pela zona de teste (ou zona de input) onde são programadas as lógicas de intertravamento segundo a lógica de evolução do processo e pela zona de ação (ou zona de output) destinada à variável de saída. (PRUDENTE, 2011).

2.4.2 Microcontroladores

O microcontrolador consiste em um único circuito integrado (CI) que reúne um núcleo de processador, memórias voláteis e não voláteis e diversos periféricos de entrada e de saída de dados. Ou seja, ele é um computador muito pequeno capaz de realizar determinadas tarefas de maneira eficaz e sob um tamanho altamente compacto. (LEE; SESHIA, 2017). Dentro do mercado atual, existem três grandes marcas que são bastante populares dentro do nicho de microcontroladores. São elas: a linha PIC da Microchip, a Intel MCS da Intel e o Atmel AVR da Atmel. A linha da Atmel é utilizada nas placas de Arduino, plataforma bastante popular entre estudantes devido à sua simplicidade e acessibilidade.

A programação dos microcontroladores pode ser feita em linguagem de máquina (Assembly). Cada microcontrolador possui diferenças em sua linguagem Assembly devido ao modo como são construídas cada arquitetura. Os microcontroladores também podem ser programados em linguagens de alto nível, como por exemplo C, C++, entre outras, ao programar em tais linguagens é necessário o uso de compiladores, utilizados para traduzir o código desenvolvido para a linguagem de máquina.

2.4.3 Sistemas de monitoramento

Um Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) ou, em Português, costuma-se traduzir como sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados

permite aos seus usuários coletar dados de instalações geograficamente distantes e enviá-los a uma central de operações.

Por definição, um sistema SCADA é uma solução tecnológica que permite aos seus usuários realizar remotamente mudanças de set-point em controladores de processo, como por exemplo, abrir e fechar válvulas, monitorar alarmes e trazer medições de locais geograficamente distribuídos para uma Central de Operações. Assim a aplicação de um sistema SCADA evita a presença constante de operadores em locais remotos, enquanto estes se encontrarem em situações normais de operação.

Segundo Garcia Junior (2019) as funções principais de um sistema SCADA podem ser descritas como:

- Monitoração, Supervisão e Atuação centralizadas sobre o processo: Estas funções são centralizadas devido ao fato de as mesmas serem realizadas a partir de uma central de operações;
- Operação (Interface Homem Máquina): Normalmente a IHM está localizada na central de operações e é ela quem permite ao operador realizar essa função;
- Controle Distribuído automático do processo: Todo o controle é feito de maneira distribuída para garantir a continuidade do processo caso haja falha em algum controlador e facilitando também a manutenção;
- Obtenção e Gerenciamento da Base de Dados do processo: É muito comum se ter bases de dados em sistemas SCADA, com as funções principais armazenar todos os dados do processo como medidas de variáveis, alarmes, eventos, entre outros;
- Manipulação dos dados da base: A correta manipulação dos dados permite obter informações relevantes do processo, mostradas ao operador nas IHM através de animações, gráficos históricos e em tempo real, tabelas, entre outros que são criados através do software supervisor. Permite também que se obtenham relatórios referentes ao processo dos mais diversos tipos, além de telas de alarme e de eventos ocorridos no processo;
- Otimização, Modelagem e Simulação do processo: É comum que sejam feitas otimizações no processo, refletindo de forma direta nas telas do supervisor.

As mudanças de telas decorrentes das otimizações são feitas pelos profissionais especializados e atualizadas em tempo real nas IHMs;

É muito comum existirem outros softwares rodando em conjunto com o supervisor, para que se permita criar modelos e simulações, como por exemplo prever possíveis falhas que possam a vir a acontecer na operação normal do processo, podendo assim antecipar as ações de controle e as devidas proteções.

3 Definição do Projeto Conceitual do Sistema de Automação e Acionamento das Estruturas Hidráulicas do Perímetro AUD

A maioria das elevadoras de nível do Perímetro da AUD são acionadas manualmente. A gestão do perímetro já tentou implementar um sistema de acionamento por motor elétrico, no entanto acontecia muitos furtos destes equipamentos, pois a maioria das elevadoras de nível ficam à beira de estrada e em regiões com pouca movimentação.

3.1 Sistema de Acionamento

A proposta deste trabalho de propor o acionamento por meio de sistema hidráulico, se justifica pois um motor hidráulico, a parte que ficaria mais exposta, é um componente menos atrativo funcionalmente, mais barato, além disso este componente será menor que um motor elétrico, chamando menos a atenção, podendo ainda ser enclausurado, o que não afetaria sua funcionalidade. Outro fator importante nessa escolha é a questão do torque, já que os sistemas hidráulicos são aplicados em sistemas que exigem grande força de trabalho, e a possibilidade de uma abertura parcial da comporta, pois o travamento do motor pode acontecer em toda a faixa de deslocamento da comporta apenas com o acionamento da válvula de controle direcional.

A Figura 6 apresenta um diagrama funcional do circuito hidráulico, de acordo com a Norma DIN 24300. O Quadro 1, apresenta a nomenclatura de cada componente.

A proposta de circuito hidráulico, Figura 6, apresenta algumas características fundamentais para o acionamento adequado das compostas das elevadoras de nível: Transmissão de movimento rotacional, com controle de torque, velocidade e posição. O torque do motor hidráulico (A1) é controlado a partir da regulação da válvula limitadora de pressão (p1). A velocidade de acionamento da comporta ou a rotação do motor hidráulico é controlado pelas válvulas de controle de fluxo unidirecional (a02) e (a03). E o posicionamento da comporta é controlado por meio da válvula controle direcional (VCD) 4/3 de centro fechado (a1), a qual permite o

acionamento de subida e descida co comporta, inversão no sentido do movimento e parada e qualquer faixa de subida ou descida, assim como, garantir abertura ou fechamento total.

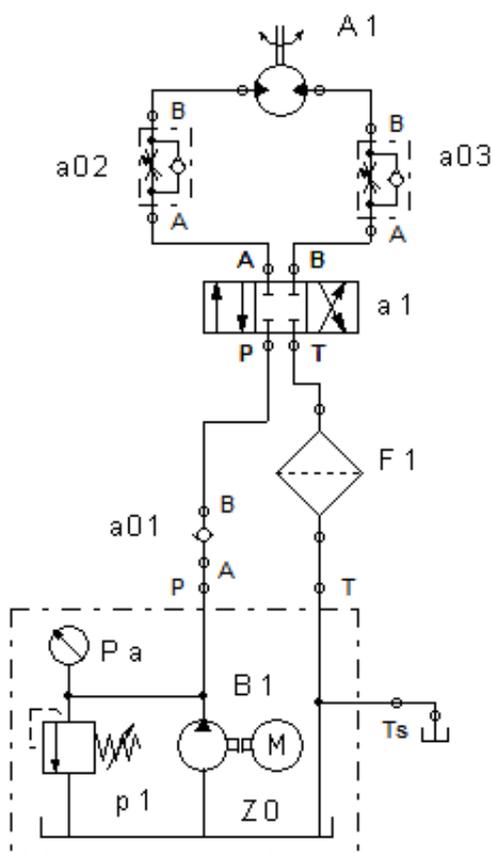


Figura 6 - Diagrama funcional do circuito hidráulico de acionamento

Legenda	
Z0	Reservatório de fluido hidráulico
B1	Bomba hidráulica
p1	Válvula limitadora de pressão
Pa	Manômetro
a01	Válvula de retenção
F1	Filtro
a1	Válvula de controle direcional 4/3 com centro fechado
a02 e a03	Válvula de controle de fluxo unidirecional
A1	Motor hidráulico de engrenagem

Quadro 1 - Nomenclaturas componentes hidráulicos

3.2 Sistema de Automação

Para o sistema de controle de posição da comporta a podem ser aplicados o controle manual, utilizando uma válvula direcional acionada por alavanca, onde o operador controla o posicionamento da válvula (acionamento sentido horário, acionamento sentido anti-horário ou fechada). Neste caso o sistema hidráulico puro,

utiliza-se a válvula de controle direcional (VCD) 4/3 com centro fechado com acionamento manual por alavanca conforme a Figura 7.

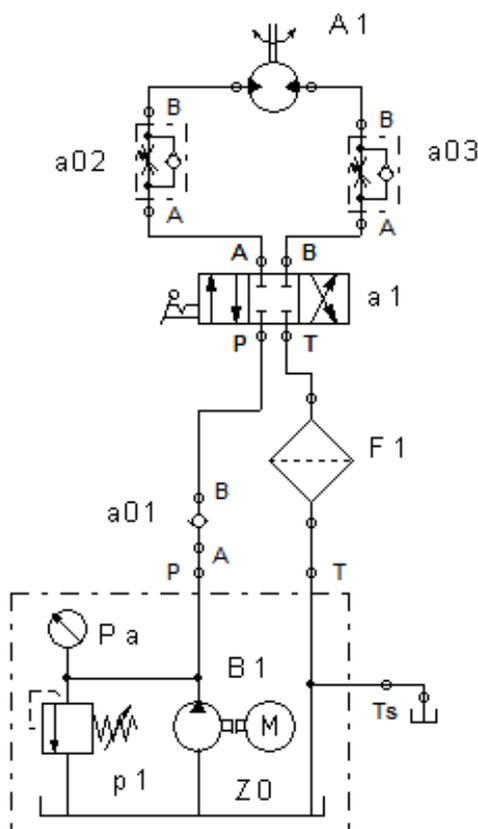


Figura 7 - Diagrama funcional do circuito hidráulico acionado manualmente.

Para a aplicação de um sistema de controle elétrico do posicionamento das comportas pode ser utilizado um sistema eletrohidráulico. Onde o sistema de acionamento da válvula de controle direcional é realizado por meio de um solenóide acionado por um circuito elétrico, conforme a Figura 8. O Quadro 2 apresenta os códigos e a descrição funcional dos componentes do circuito elétrico

Utiliza-se botões de pulso sem trava elétricos para os comandos, sensores de fim de curso para detectar a posição fechada e aberta, e a válvula direcional 4/3 com centro fechado com piloto duplo solenóide centrada por mola.

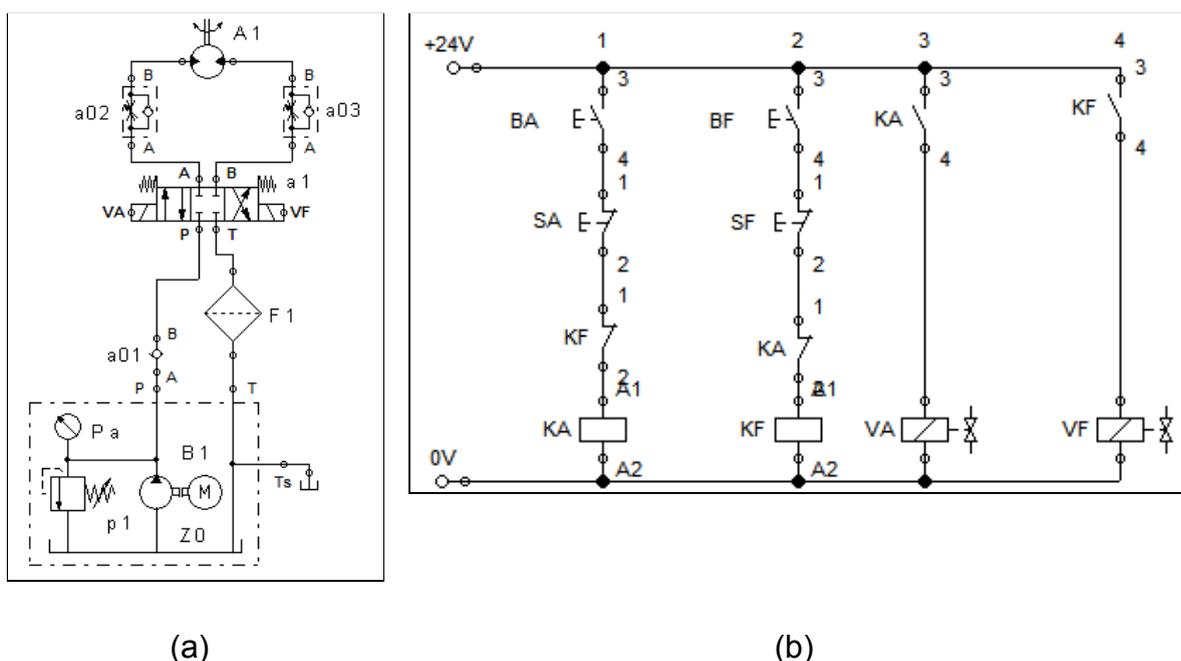


Figura 8 - Diagrama funcional (a) circuito hidráulico acionado por solenóide
(b) circuito elétrico para acionamento do solenóide

Quadro 2 - Códigos e Descrição funcional dos componentes do circuito elétrico

Código	Descrição funcional
BA	botão utilizado para abertura da comporta
SA	sensor fim de curso que detecta a comporta na posição 100% aberta
KA	contator auxiliar utilizada para o acionamento do solenóide S.A e para realizar o intertravamento com do circuito de fechar a comporta
BF	botão utilizado para fechar a comporta
SF	sensor fim de curso que detecta a comporta na posição 100% fechada
KF	contator auxiliar utilizada para o acionamento do solenóide S.F e para realizar o intertravamento com do circuito de abrir a comporta
VA	solenóide que pilota a válvula para o sentido de abertura da comporta
VF	solenóide que pilota a válvula para o sentido de fechamento da comporta.

O acionamento das comportas das elevadoras de nível são eventos temporários e de curto intervalo na maioria do tempo a comporta estará em uma posição de repouso, ou totalmente fechada ou com algum grau de abertura, e nestes casos a válvula VDC deve estar na posição normalmente fechada NF. Desta forma, o motor elétrico da bomba hidráulica deve ser acionado somente quando precisa-se acionar a comporta. A Figura 9 mostra o diagrama de acionamento do motor elétrico.

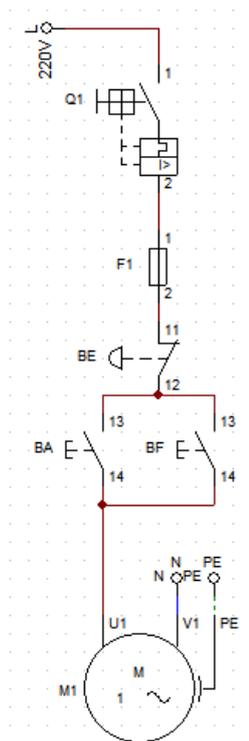


Figura 9 - Diagrama de acionamento do motor elétrico.

Pode ser aplicado um sistema controlado via CLPs ou via microcontroladores onde o sistema pode ser automático, após a definição do nível de água desejado. No sistema com CLP utiliza-se sensores e atuadores com alimentação em 24V e para o microcontrolador utiliza-se sensores e atuadores com alimentação em 3,3V ou 5V, dependendo do modelo escolhido. Caso seja utilizado equipamentos com tensões diferentes deverá ser utilizado algum circuito a relé, transistor, ampop entre outros para realizar as conversões de tensões.

O controlador deverá apresentar no mínimo quatro entradas digitais, uma entrada analógica e três saídas digitais. Os sensores fim de curso utiliza-se o de tipo indutivo, pelo fato do sensor somente captar a presença de objetos metálicos, assim

anula quase que 100% da captação de corpos estranhos que estejam presentes na água (caso esteja presente algum objeto metálico na água pode haver a detecção dele) somado o fato da estrutura da comporta ser de metal.

Para detectar o nível pode ser aplicado sensores de vareta e sensores ultra-sônicos. Utilizando os sensores de vareta a detecção poderá ser feita somente nas altura que elas foram colocadas, assim para obter-se vários pontos de detecção teríamos que aumentar a quantidade de sensores utilizados aumentando o custo do projeto. Para conseguirmos uma faixa maior de sinal e utilizar somente um componente, o uso do sensor ultra-sônico é o mais adequado. A Figura 10 apresenta um diagrama conceitual do circuito elétrico necessário para a inserção dos sinais de entrada e as conexões dos sinais de saída com o solenóide da válvula direcional. E o Quadro 3 apresenta os códigos e a descrição funcional dos componentes do circuito de acionamento do motor elétrico.

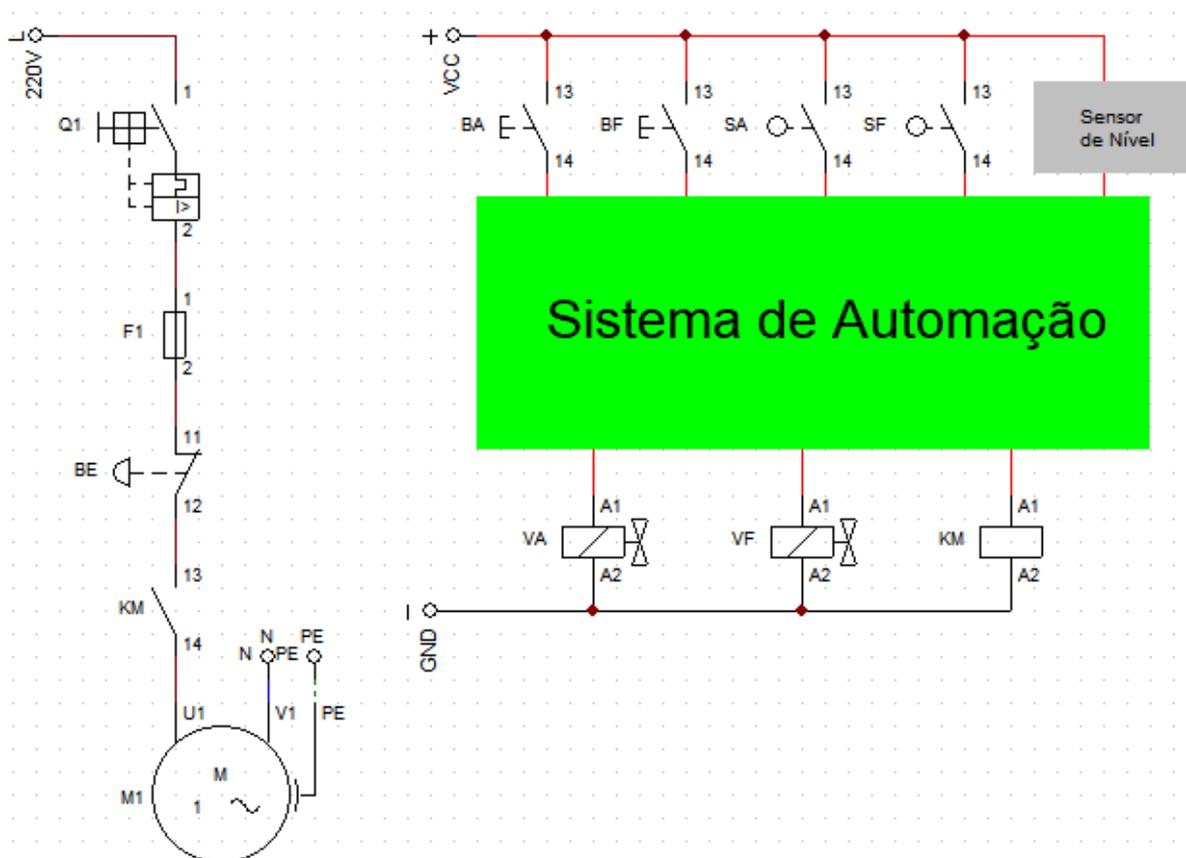


Figura 10 - Diagrama conceitual do circuito de automação via CLP ou microcontrolador

Quadro 3 - Códigos e Descrição funcional dos componentes do circuito de acionamento do motor elétrico

Código	Descrição funcional
BE	Botão de emergência
KM	Contator para acionamento do motor elétrico
Q1	Disjuntor termomagnético monofásico
F1	Fusível
M1	Motor elétrico que movimenta a bomba

O Apêndice 1 apresenta o programa a ser utilizado no microcontrolador em C++ .

A Figura 11 apresenta o diagrama ladder a ser utilizado no CLP. O Quadro 4 apresenta os códigos e a descrição funcional dos elementos do código ladder.

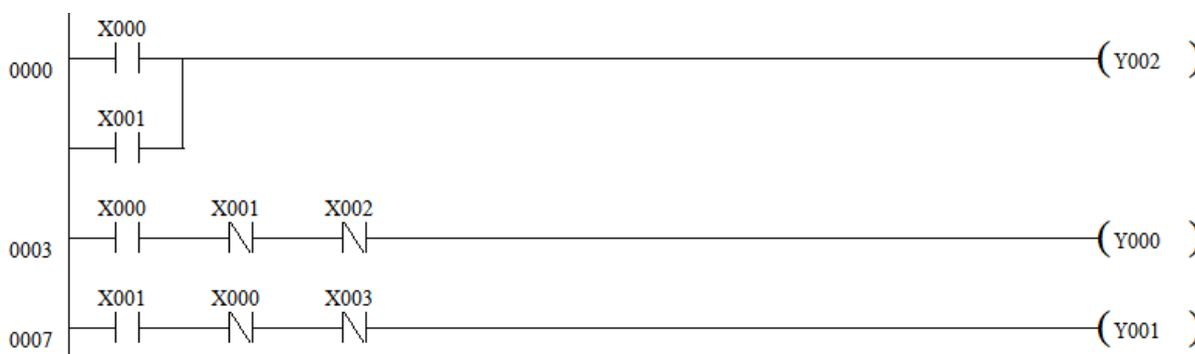


Figura 11 - Diagrama programação LADDER

Quadro 4 - Códigos e Descrição funcional dos elementos do código ladder

Código	Descrição funcional
X000	Entrada 0 do CLP conectado ao Botão BA
X001	Entrada 1 do CLP conectado ao Botão BF
X002	Entrada 2 do CLP conectado ao Sensor SA

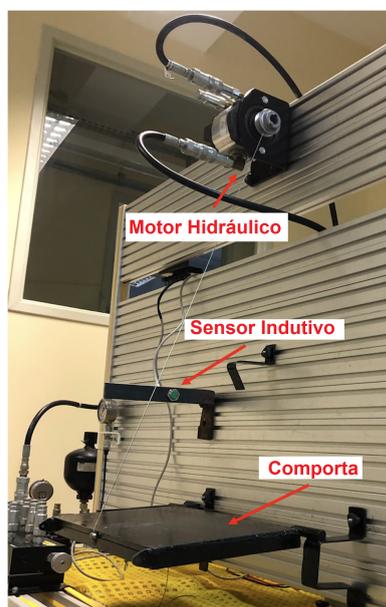
X003	Entrada 3 do CLP conectado ao Sensor SF
Y000	Saída 0 do CLP conectado ao Solenóide VA
Y001	Saída 1 do CLP conectado ao Solenóide VF
Y002	Saída 2 do CLP conectado ao Contator KM

4 Proposta do Projeto do Sistema de Acionamento das elevadoras de nível do Perímetro de Irrigação

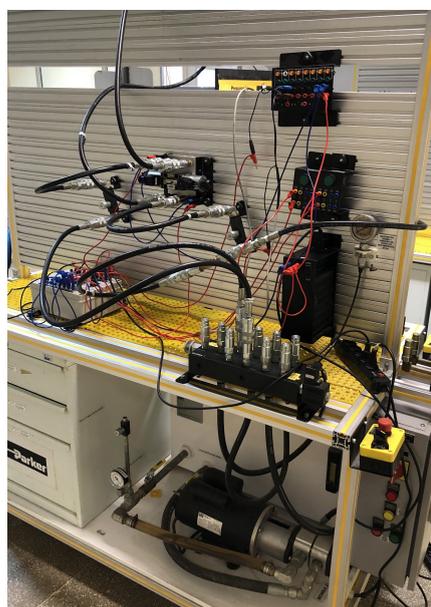
Para a avaliar as propostas de projeto do sistema de acionamento das comportas das elevadoras de nível foi montado um protótipo de um comporta em uma bancada hidráulica no Laboratório de Automação Industrial do Centro de Engenharias. Neste experimento começamos por sistema mais robusto e simples de acionamento, até chegarmos em sistemas mais complexos e completos, conforme apresentado abaixo.

4.1 Protótipo

O protótipo montado no laboratório, apresenta uma estrutura de comporta basculante, tracionada por um cabo de aço e acionada por um motor hidráulico. A unidade de potência do hidráulica utilizada é a da própria bancada hidráulica. A Figura 12 apresenta uma foto do protótipo e da unidade de potência hidráulica.



(a)



(b)

Figura 12 - Protótipo da comporta na bancada hidráulica do Laboratório de automação Industrial do CENG (a) Protótipo da comporta (b) Unidade de potência e sistema de controle do protótipo

4.2 Sistema Hidráulico

4.2.1 Determinação do torque de acionamento

Para a determinação do torque necessário para o acionamento da comporta de uma elevadora de nível do Perímetro da AUD, utilizou-se uma comporta específica como exemplo, pois cada comporta e a estrutura das elevadoras de nível variam de tamanho, de acordo com as medidas dos canais. Desta forma utilizou-se uma comporta com as seguintes medidas: 1,5m de altura (h) e 4m de comprimento (l).

Além das medidas da comporta utilizou-se os seguintes dados para a determinação das forças de atuações durante o acionamento da comporta:

- Aceleração gravitacional = $9,807\text{m/s}^2$ (g)
- Massa específica da água é 1000kg/m^3 ($\mu 1$).

Aplicando as leis da hidrostática para encontrar a força aplicada na comporta pela coluna de água temos que:

O centro de gravidade de um objeto retangular é encontrado no ponto dado na eq. 1.

$$(l/2 ; h/2) = (2 ; 0,75) = (lc ; hc) \quad (\text{eq. 1})$$

Desta forma, a força da água (F_a) aplicada sobre a comporta retangular é calculada pela eq. 2:

$$F_a = hc \cdot \mu 1 \cdot g \cdot h \cdot l \quad (\text{eq. 2})$$

$$F_a = 0,75 \times 1000 \times 9,807 \times 1,5 \times 4$$

$$F_a = 44131,5N$$

Foi considerado o próprio peso da comporta. A estrutura da comporta é feita em aço inox, utilizando a chapa com espessura de 6mm (e) e sabendo que a massa específica do aço inox é aproximadamente 7900kg/m^3 ($\mu 2$). A massa da comporta é dada na eq. 3.

$$m = \mu_2 \cdot h \cdot l \cdot e \quad (\text{eq. 3})$$

$$m = 7900 \times 1,5 \times 4 \times 0,006$$

$$m = 284,4 \text{ kg}$$

O peso, colocando um fator de 1,3 (f) para compensar o peso das barras de sustentação da comporta é dado na eq. 4:

$$P = m \cdot g \cdot f \quad (\text{eq. 4})$$

$$P = 284,4 \times 9,807 \times 1,3$$

$$P = 3.625,84 \text{ N}$$

A Figura 13 mostra uma representação de um diagrama da estrutura de acionamento e da distribuição das forças de atuação na comporta. Esta representação está baseada na estrutura das comportas das elevadoras de nível do Perímetro da AUD, conforme mostrado nas Figuras 3 e 4. A partir desta análise, partiu-se para definir a Tensão T2 que solicita o sistema de acionamento da comporta.

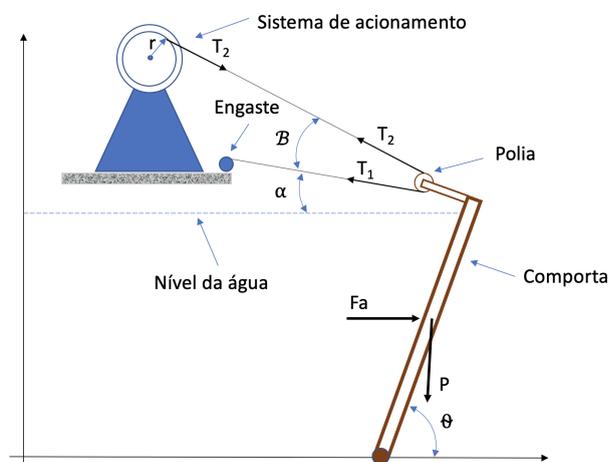


Figura 13 - Representação da estrutura de acionamento e distribuição das forças na comporta.

As Figuras 14 (a), (b) e (c) apresentam os diagramas de corpo livre para análise das solicitações no acionamento da comporta. A Figura 14(a), mostra a representação da definição da força resultante aplicada na comporta e as equações abaixo apresentam os cálculos envolvidos, onde P_c é o peso aplicado da comporta,

F_{ac} é a força da água aplicada na comporta e F_R é a força resultante aplicada na comporta é dada na eq. 5.

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{P}{\cos 10^\circ} & F_{ac} &= \frac{F_a}{\cos 80^\circ} & F_R &= F_{ac} - P_c \\
 PC &= \frac{3.625,84}{\cos 10^\circ} & F_{ac} &= \frac{44.131,5}{\cos 80^\circ} & F_R &= 254.143,18 - 3.681,78 \\
 PC &= \frac{3.625,84}{0,98481} & F_{ac} &= \frac{44.131,5}{0,17365} & F_R &= 250.461,40 \text{ N} \\
 PC &= 3.681,78 \text{ N} & F_{ac} &= 254.143,18 \text{ N} & & \text{(eq. 5)}
 \end{aligned}$$

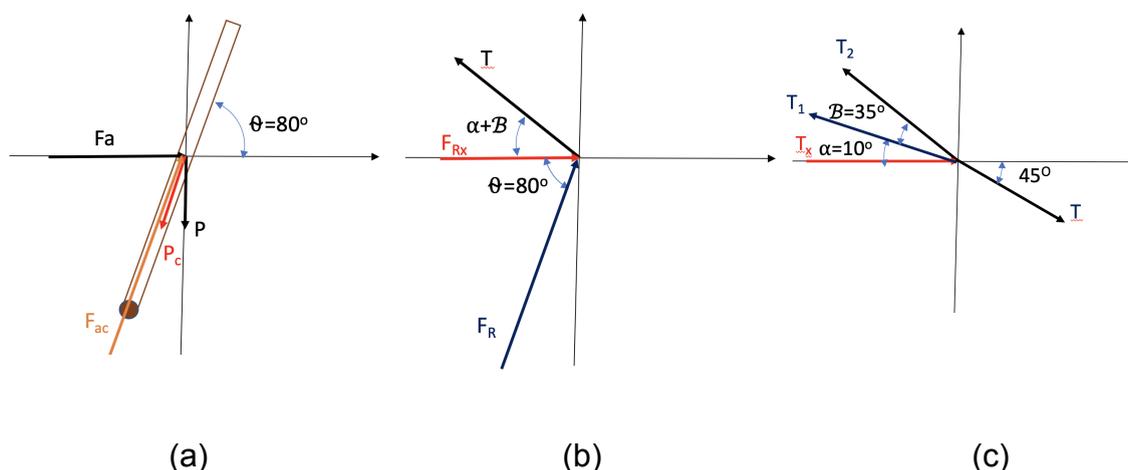


Figura 14 - Diagramas do corpo livre - (a) da força resultante F_R (b) da tensão na polia T (a) da tensão no cabo de acionamento T_2

A Figura 14(b), mostra a representação da definição da tensão aplicada na polia (T), a partir da força resultante da comporta F_R , na eq. 6 apresenta-se os cálculos envolvidos, onde F_{Rx} é a Força resultante rebatida no eixo x.

$$\begin{aligned}
 F_{Rx} &= F_R \cdot \cos \theta & T &= \frac{F_{Rx}}{\cos 45^\circ} \\
 F_{Rx} &= 250.461,40 \cdot \cos 80 & T &= \frac{43.492,17}{0,70711} \\
 F_{Rx} &= 250.456,69 \cdot 0,17365 & & \\
 F_{Rx} &= 43.492,17 \text{ N} & T &= 61.507,21 \text{ N (eq. 6)}
 \end{aligned}$$

A Figura 14(c), mostra a representação da definição das tensões aplicada nos cabos de acionamento T_1 e T_2 , a partir da tensão na polia T , as eq. 7 apresentam os cálculos envolvidos, onde T_x é a tensão T rebatida no eixo x .

$$\begin{aligned}
 T_x &= T \cdot \cos 45^\circ & T_1 &= \frac{T_x}{\cos 10^\circ} & T_2 &= T = 61.507,21 \text{ N} \\
 T_x &= 61.507,21 \cdot 0,70711 & & & & \text{(eq. 7)} \\
 T_x &= 43.492,17 \text{ N} & T_1 &= \frac{43.492,17}{0,98481} \\
 & & T_1 &= 44.163,10 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Desta forma, teremos uma tensão no cabo de acionamento de $T = 61.507,21$ N considerando que a polia do sistema de acionamento tem um diâmetro de 20 cm. O torque solicitado para acionar a comporta é dado pela eq. 8:

$$\begin{aligned}
 t &= T \cdot r \quad \text{(eq. 8)} \\
 t &= 61.507,21 \cdot 0,10 \\
 t &= 6.150,72 \text{ Nm} = 627,18 \text{ kgfm}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Determinação dos componentes do sistema de potência hidráulica

A unidade hidráulica será utilizada como exemplo a Unidade de energia hidráulica de deslocamento fixo D-PAK da Parker. Ela suporta uma pressão de trabalho máxima de 207bar, aceita uma rotação de trabalho entre 600 e 2200 rpm e apresenta um deslocamento volumétrico de 5,67cm³/rev (D) (PARKER). Por questão de segurança utilizaremos uma pressão de trabalho de 100 bar (p) e para movimentar a bomba um motor monofásico de 4 pólos a 60Hz que apresenta uma rotação de aproximadamente 1800rpm (n).

Assim o deslocamento volumétrico fornecido pela bomba é dado na eq. 9:

$$\begin{aligned}
 Q &= D \cdot n / 1000 \quad \text{(eq. 9)} \\
 Q &= 5,67 \times 1800/1000 \\
 Q &= 10,2 \text{ l/min}
 \end{aligned}$$

A potência do motor elétrico é dada pela eq. 10 (BOSH REXROTH):

$$P_{me} = p \cdot Q / 612 \text{ (eq. 10)}$$

$$P_{me} = 100 \times 10,2/612$$

$$P_{me} = 1,667kW \text{ ou } 2,266 \text{ cv}$$

Consultando o catálogo da Weg o motor que se adequa melhor a essas características é o W22 Monofásico com capacitor de partida com 4 polos e 3 cv de potencia que apresenta corrente nominal de 14,4A em 220V e rotação nominal de 1745 rpm.

O torque disponível no motor hidráulico utilizando este sistema de acionamento é dado pela eq. 11:

$$T_m = D_m \cdot p/2\pi \text{ (eq. 11)}$$

$$T_m = 5,67 \times 100/2\pi$$

$$T_m = 90,2kgfm$$

Como o torque disponibilizado pelo motor é menor que o torque necessário para movimentar a comporta teremos que usar uma caixa de redução conforme a eq. 12.

$$i = t/T_m \text{ (eq. 12)}$$

$$i = 627,18/90,2$$

$$i = 6,95$$

Por questões de segurança foi escolhido uma caixa de 10 para 1, assim o sistema não trabalhará no seu limite. Com a caixa dimensionada temos que a cada 10 voltas do motor hidráulico teremos 1 volta aplicada no eixo que traciona os cabos da comporta.

Para o circuito de proteção do motor utiliza-se um disjuntor monopolar termomagnético de 16 A e o fusível de 16A.

4.3 Sistema Hidráulico com comando manual

O primeiro sistema de controle do acionamento é proposto substituir o acionamento manual, força humana, por um sistema hidráulico. Para o comando de abertura e fechamento das comportas utiliza-se uma válvula de direcional com acionamento manual por alavanca.

O experimento foi montado no laboratório, conforme apresentado na Figura 12, utilizou-se o circuito hidráulico mostrado na Figura 7, com acionamento manual, utilizando uma válvula direcional de 3 posições e 4 vias, com centro fechado, acionada por alavanca com trava, a Figura 15 mostra uma foto desta válvula. O sistema apresentou o resultado esperado, onde ao movimentar a alavanca para as posições 1 e 3 a comporta abria e fechava e na posição 2 a comporta ficava parada.

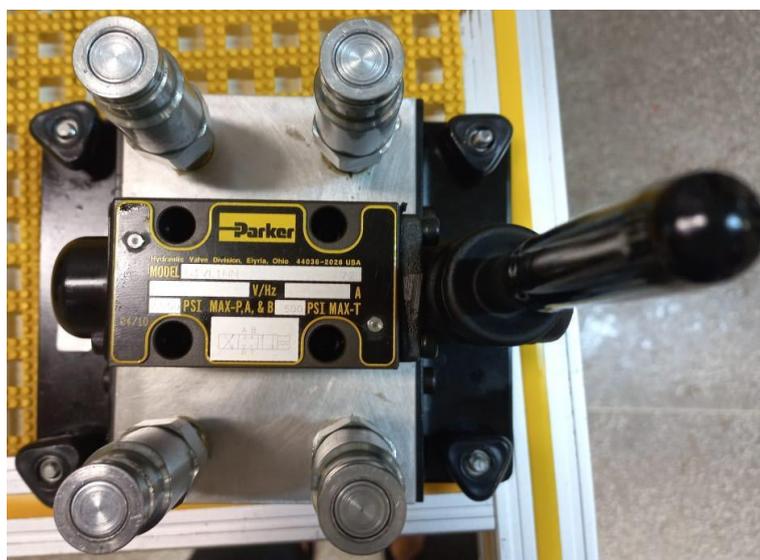


Figura 15 - Válvula de controle direcional 4/3 acionada por alavanca com trava.

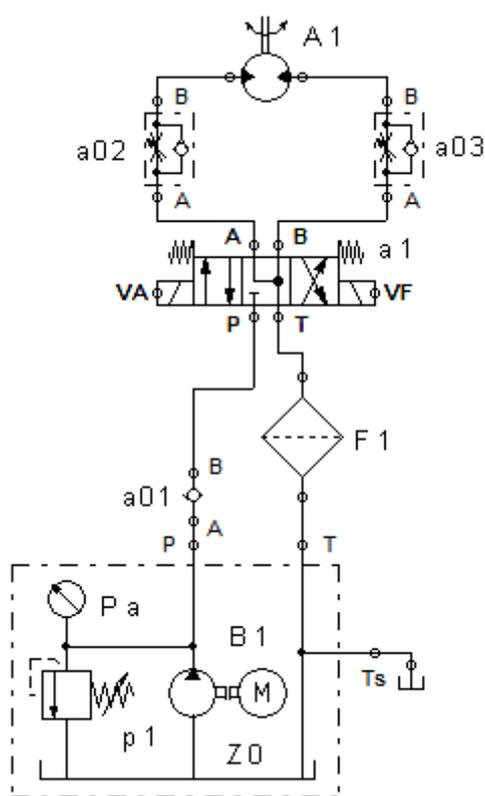
4.4 Sistema Eletrohidráulico

O segundo sistema de controle do acionamento é proposto os comandos de abertura e fechamento da comporta utilizando um circuito elétrico, onde os sinais de entrada são inseridos por meio de botões e sensores elétricos e os sinais de saídas enviados para os solenóides da válvula direcional, conforme Figura 8.

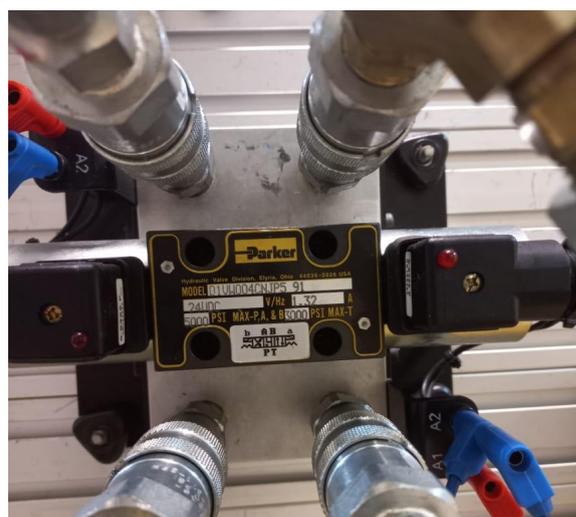
Para montar o sistema eletro hidráulico equivalente ao anterior, precisávamos de uma VCD 4/3 de centro fechado, no entanto, o laboratório não tem a disposição

uma válvula de duplo piloto solenóide com centro fechado, a única disponível apresenta o centro aberto negativo.

Desta forma, o circuito hidráulico foi alterado e o controle de acionamento da comporta passou a ser controlado por uma VCD 3/4 com centro aberto negativo acionada por duplo solenóide, A Figura 16 apresenta o diagrama do circuito hidráulico do sistema, assim como a foto da VCD utilizada.



(a)



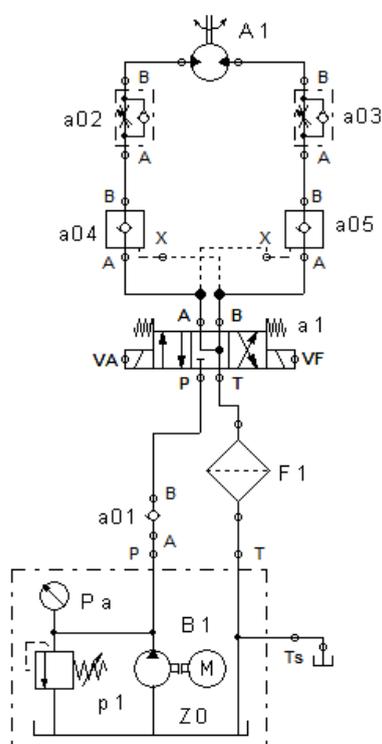
(b)

Figura 16 - (a) Circuito hidráulico com VCD acionada por solenóide. (b) Válvula de Controle Direcional (VCD) 4/3 de centro aberto negativo acionada por duplo solenóide

No entanto, com uma VCD com o centro aberto negativo, não garante a interrupção imediata do acionamento da comporta. Assim ao pressionar o botão de fechar ou de abrir a comporta irá se movimentar como o esperado, mas quando não pressionarmos nenhum botão a comporta deveria se manter parada, com esse tipo

de centro a força peso da comporta traciona o cabo, que conseqüentemente movimenta o eixo do motor e gira as engrenagens interna jogando o fluido para o reservatório, fazendo com que a comporta se abra sozinha.

Para tentar solucionar este problema com os equipamentos disponíveis no laboratório utilizou-se um circuito com válvulas de retenção pilotadas, método utilizado em cilindros hidráulicos (atuadores lineares). A Figura 17 mostra o diagrama funcional do circuito hidráulico utilizando as válvulas de retenção pilotadas (a04) e (a05) e uma foto da válvula. No entanto, durante o experimento conclui-se que para o motor hidráulico o método utilizado não é 100% confiável.



(a)



(b)

Figura 17 - (a) Circuito hidráulico com válvula de retenção pilotadas. (b) Foto da Válvula de retenção pilotada na bancada.

Como o experimento anterior não obteve-se os resultados esperados, voltou-se para o circuito inicial, conforme Figura 16(a), sem as válvulas de retenção pilotada. Para detectar a abertura e o fechamento total da comporta foram instalados

os e sensores indutivos de fim de curso. Mecanicamente se a comporta estiver 100% aberta, o cabo de aço estará totalmente tensionado, e se o motor girar para qualquer um dos dos sentidos a comporta do protótipo irá se fechar. Como o objetivo é utilizar um sentido de giro para abertura e o outro para o fechamento, os fim de cursos se tornam de suma importância para garantir a lógica de acionamento da comporta. A Figura 18(a) mostra os elementos do protótipos da bancada e a Figura 18(b) mostra a implementação do circuito elétrico do sistema eletrohidráulico.

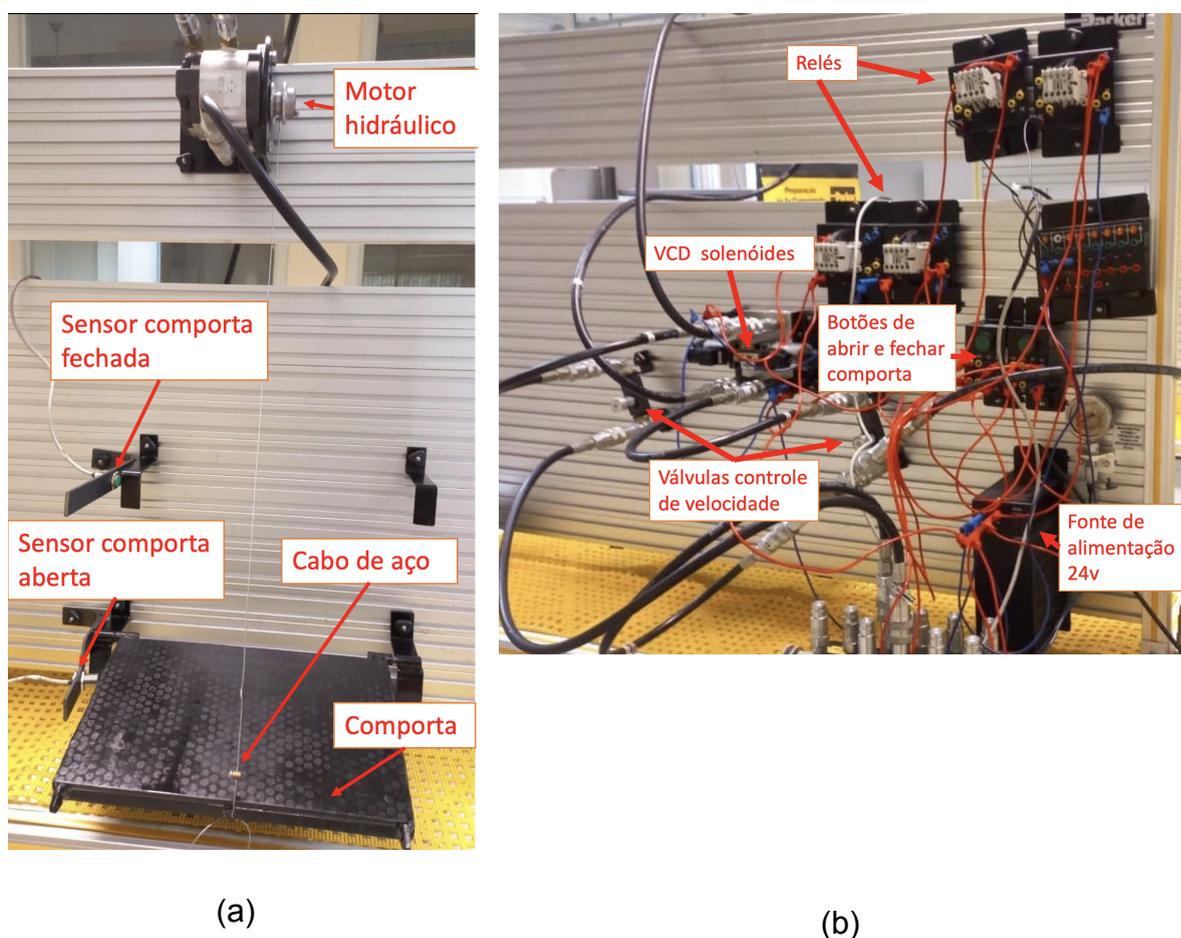


Figura 18 - Sistema eletrohidráulico (a) componentes do protótipo da comporta; (b) implementação do circuito elétrico.

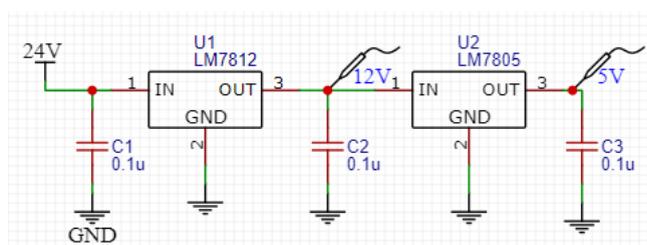
4.5 Sistema de comando utilizando Microcontrolador

Para o microcontrolador utilizamos a placa de prototipagem Arduino Uno. O Arduino Uno é uma placa microcontrolada baseada no ATmega328P que possui 14

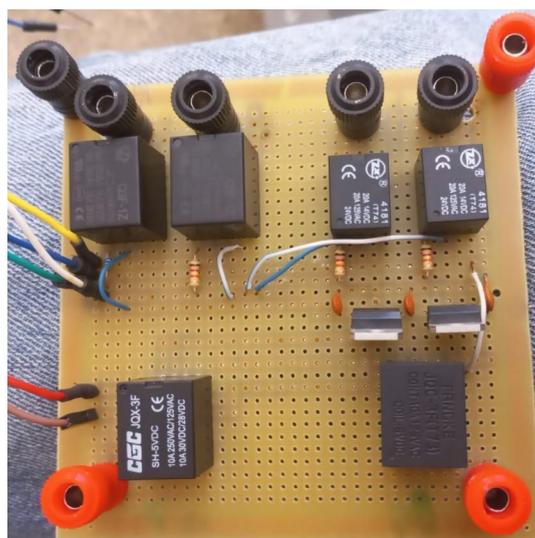
pinos de I/O (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um ressonador de cerâmica de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação em 12V, um conector ICSP e um botão de reinicialização .

Com o uso do microcontrolador temos um problema com a tensão de trabalho, os sensores e atuadores disponíveis no laboratório trabalham com 24V e o microcontrolador utilizado trabalha com uma tensão de 5V em suas entradas e saídas.

Assim foi projetado e utilizado um circuito com reguladores de tensão LM7812 e LM7805, conforme Figura 19(a) o primeiro utilizado para rebaixar a tensão de 24V para 12V e o segundo utilizado para rebaixar a tensão de 12V para 5V para que possamos ligar junto ao Arduino. Após desenvolveu-se uma placa eletrônica, apresentada na Figura 19(b).



(a)



(b)

Figura 19 - (a) Circuito eletrônico de regulador de tensão (b) Placa eletrônica com o circuito regulador de tensão e entradas e saídas a relé.

Após desenvolvido um circuito utilizando relés para captar os sinais de entrada e para enviar os sinais de saída, de forma simplificada as conexões conforme o circuito apresentado na Figura 20.

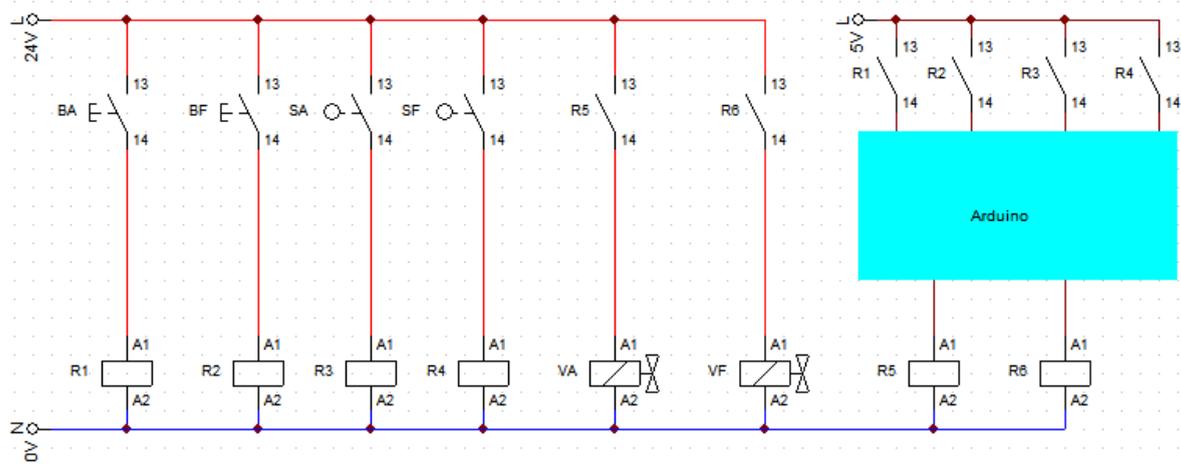


Figura 20 - Circuito de controle utilizando microcontrolador

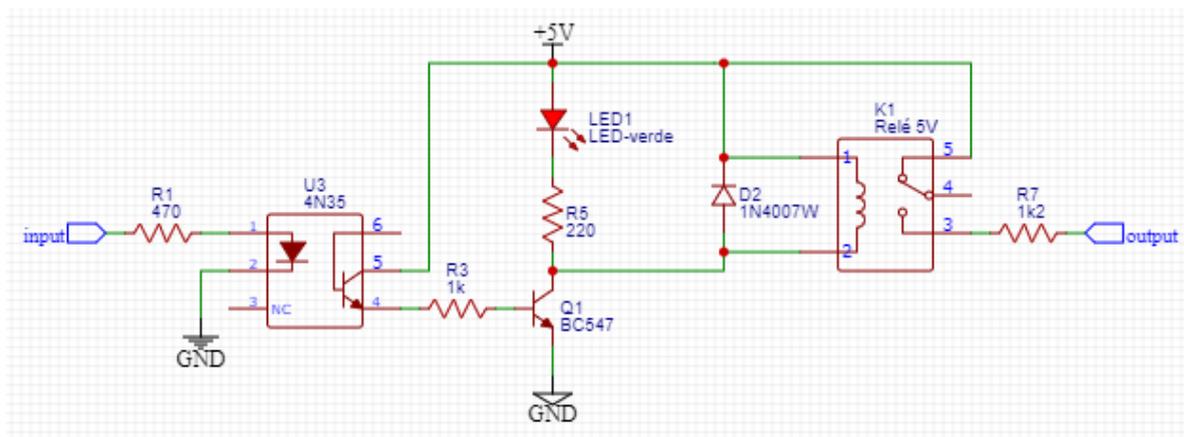
Para limitar a corrente na entrada do Arduino foram colocados resistores de 1,2K.

Ao realizar o teste com a placa projetada, conforme foto da Figura 17(b) ela apresentou o funcionamento desejado. Ao rodar o programa de teste no Arduino sem realizar as conexões das entradas e das saídas apresentou o resultado esperado. Ao conectar todo o sistema o Arduino detectava sinais falso positivo ou falso negativo.

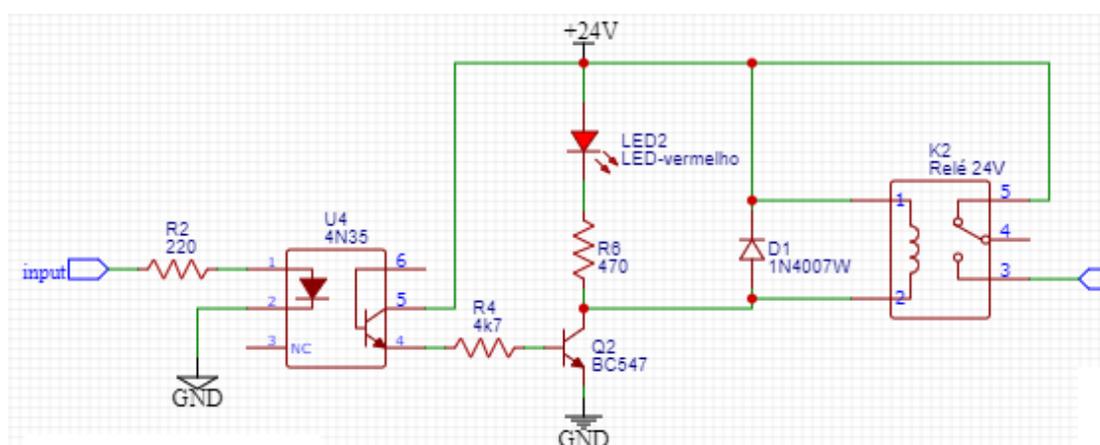
O apêndice II apresenta o código em C++ utilizado para o teste.

Realizando diversos experimentos não conseguiu-se detectar a causa do problema. Supôs que o problema poderia ser ruído causado pela quantidade excessiva de indutores presente no circuito.

Para tentar diminuir algum possível ruído foi implementado em paralelo a alimentação um capacitor de 10uF e projetado um circuito utilizando optoacopladores conforme apresentado na Figura 21.



(a)



(b)

Figura 21 - (a) Circuito para conectar os sensores 24v ao Arduino; (b) Circuito para conectar os solenóides da VCD ao Arduino

Com as modificações feitas no sistema ainda continuo apresentando sinais falso positivo e falso negativo. Como no laboratório não tem a disposição de sensores alimentados a 5V. Desta forma, optou-se em utilizar o um sistema controlado por CLP.

4.6 Sistema de comando por CLP

Com o CLP utilizamos o mesmo circuito de força do eletrohidráulico. O CLP disponível no laboratório é o TPW 03-30HR-A, Figura 22(b), ele apresenta entradas

e saídas digitais e comunicação serial RS485, para conectar ao computador utilizei um conversor serial USB. A Figura 22(b) apresenta os componentes utilizados neste protótipo.

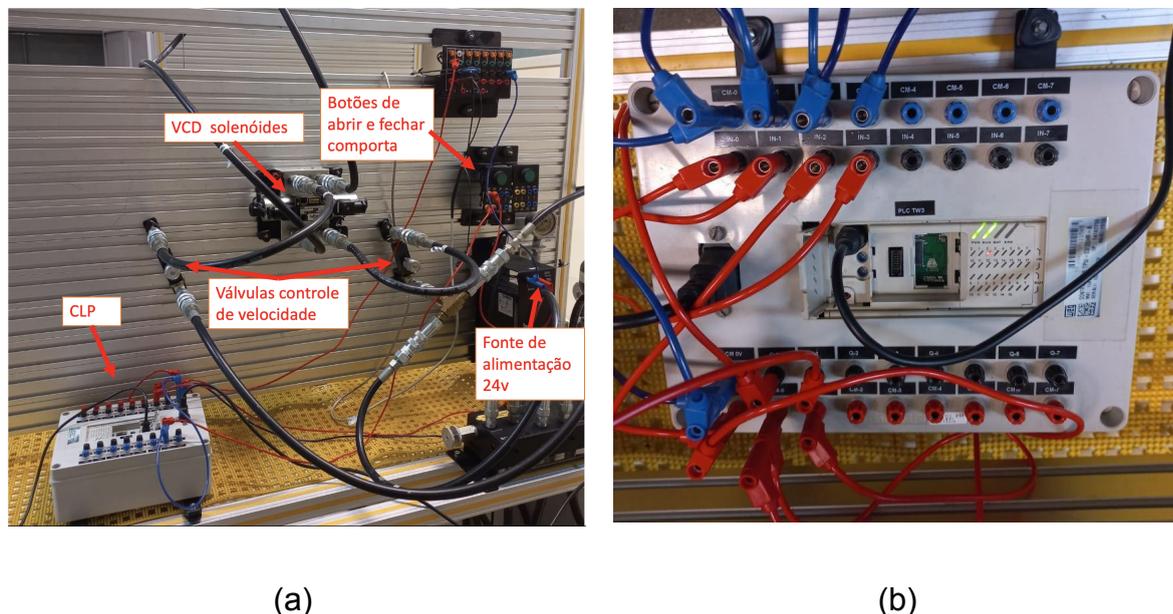


Figura 22 - (a) Circuito hidráulico controlado por CLP (b) Controlador Lógico Programável (CLP)

Baseado no circuito de acionamento elétrico da Figura 8(b), chegamos ao seguinte código ladder:

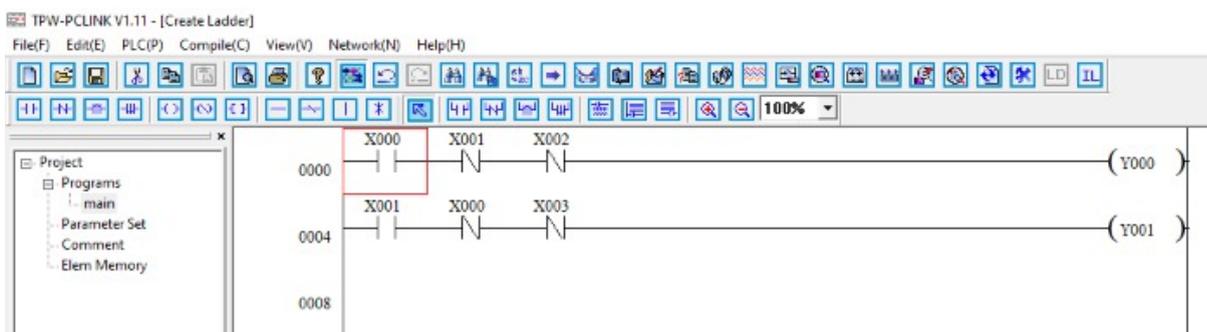


Figura 23 - Interface da implementação do diagrama Ladder para o CLP

Após gravar o código no CPL e realizar as conexões dos sensores e dos solenóides foram realizados os testes de funcionamento que apresentaram os resultados esperados.

5 Considerações Finais e Conclusões

Com o protótipo desenvolvido no laboratório foram apresentadas três opções que obtiveram o resultado esperado e que pode ser aplicado em campo para a substituição da abertura das comportas com a força humana.

No sistema a ser implementado é recomendado utilizar um sistema de comando local ligado paralelamente ao de acionamento remoto, também recomenda-se o uso de um gerador de energia elétrica. Assim, quando ocorrer algum problema na rede de comunicação ou falta rede de energia elétrica há a possibilidade de se efetuar o acionamento das estruturas.

Caso venha a ocorrer a falha no sistema de geração de energia, pode-se ser utilizado um sistema de bomba hidráulica acionado por um motor de combustão móvel, desconectando as mangueiras do sistema local e conectando-se nesse sistema móvel. E como último recurso, para caso venha a ocorrer de todos os sistemas apresentarem falhas, utiliza-se a abertura de forma manual, como já é utilizado atualmente.

Para o quesito segurança e proteção dos componentes a construção de uma casa de comando junto as elevadores de nível, algo que irá diminuir a deterioração causada por chuvas, ventos e etc. E aproveitando a rede de internet pode ser implementado também um sistema de monitoramento por câmeras que pode ser utilizado para verificar se o comando remoto foi recebido e aplicado na elevadora de nível e também há a possibilidade de verificar se tem alguém tentando furtar os equipamentos.

Para os trabalhos futuros será realizado os ajustes no circuito que conecta os sensores ao microcontrolador e pretende-se implementar um controlador on-off com histerese, para que a comporta se movimente até detectar o nível de água desejado e implementar o comando remoto, inicialmente com a comunicação serial USB e posteriormente aplicar uma comunicação via internet no protótipo. Após concluir os ensaios em laboratório será apresentado a AUD os métodos desenvolvidos neste trabalho para a escolha do modelo a ser implementado, em algumas estruturas inicialmente como teste e se apresentar resultados satisfatórios aplicar em todas as estruturas do perímetro de irrigação.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7259: comportas hidráulicas terminologia**. Rio de Janeiro, 2001.

AUD. **A barragem**, AUD, Camaquã-RS. Disponível em: <<http://aud.org.br/barragem.php>>. Acesso em: 12 de nov. 2021

BOSH REXROTH, **Compact power modules DL series**. Disponível em: <https://www.boschrexroth.com/en/web/xc/myrexroth/media-directory/-/document_library/view_document/>. Acesso em: 01 dez. 2021

E.A.LEE; SESHIA, S. **Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach**. [S.I.]: MIT Press, 2017.

ERBISTE, Paulo Cesar F. **Comportas hidráulicas**. Rio de Janeiro: 1. ed. Campus, 1987.

FILIPPO FILHO, Guilherme. **Automação de processos e de sistemas**. São Paulo Erica 2014 1 recurso online ISBN 9788536518138.

GARCIA JUNIOR, Evaldo. **Introdução a sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados, SCADA**. Rio de Janeiro Alta Books 2019 1 recurso online ISBN 9788550807744.

KOHN, Eduardo. **Vertedor do tipo labirinto**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11122006-142016/pt-br.php>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

PAR-AUD. **ESTUDO E AVALIAÇÃO DO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO DO ARROIO DURO**. PAR-AUD, Pelotas-RS, nov. 2019

PAR-AUD. **PROPOSTA DE REVITALIZAÇÃO DO PERÍMETRO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO DO ARROIO DURO**. PAR-AUD, Pelotas-RS, nov. 2019

PARKER, Training, **Apostila Tecnologia Hidráulica Industrial**, M2001-1 BR. Jacareí: Parker Hannifin Corporation, 1999, 158 p.

PARKER, **D-PAK Fixed Displacement Hydraulic Power Units**. Disponível em: <<https://ph.parker.com/br/pt/d-pak-fixed-displacement-hydraulic-power-units-0-9-2-7-gpm>>. Acesso 01 dez. 2021

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMAQUÃ. **Localização**. Prefeitura Municipal de Camaquã, Camaquã-RS. Disponível em: <<https://www.camaqua.rs.gov.br/portal/servicos/1004/localizacao/>>. Acesso em: 13 de nov. 2021

PRUDENTE, Francisco. **Automação industrial PLC: teoria e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

RAIMUNDO, Ana Paula. **Estruturas hidráulicas utilizadas em reservatórios de controle de cheias**. 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14012008-113931/pt-br.php>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SILVEIRA, Paulo R. da; SANTOS, Winderson E. dos. **Automação e controle discreto**. 4. Ed. São Paulo: Érica, 2002.

SOUZA, Zulcy de; SANTOS, Afonso H. M; BORTONI, Edson da C. **Centrais hidrelétricas: implantação e comissionamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

STEVAN JUNIOR, Sergio Luiz. **Automação e instrumentação industrial com Arduino teoria e projetos**. São Paulo Erica 2015 1 recurso online ISBN 9788536518152.

WEG, **W22 Motor Elétrico Monofásico**. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hf8/h6e/WEG-w22-motor-eletrico-monofasico-50069982-brochure-portuguese-web.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

```

//configurações iniciais
void setup()
{
  //define os pino de entrada
  pinMode(2, INPUT); // botão de abrir
  pinMode(3, INPUT); //botão de fechar
  pinMode(4, INPUT); //sensor fim de curso posição aberta da comporta
  pinMode(5, INPUT); //sensor fim de curso posição fechada da comporta
  pinMode(A0, INPUT); //sensor ultrassonico

  //define os pino de saída
  pinMode(10, OUTPUT); //aciona o motor da bomba hidráulica
  pinMode(11, OUTPUT); //saída do solenóide para abrir a comporta
  pinMode(12, OUTPUT); //saída do solenóide para fechar a comporta

  //comunicação com o computador via serial usb
  Serial.begin(9600);

  delay (2000); //delay utilizado para atrasar a inicialização do programa e conseguir
  abrir o monitoramento
  // cria as variáveis para detectar o estado dos botões e sensores recebem zero
  porque o sistema começa em repouso
  int estado_bot_abre = 0;
  int estado_bot_fecha = 0;
  int estado_sen_comp_abe = 0;
  int estado_sen_comp_fec = 0;
  float nivel_agua = 0.0;
}

void loop()
{
  estado_bot_abre = digitalRead(2); //captura o estado do botão ( se está
  pressionado ou não)
  estado_bot_fecha = digitalRead(3); //captura o estado do botão ( se está
  pressionado ou não)
  estado_sen_comp_abe = digitalRead(4); //captura o estado do sensor
  estado_sen_comp_fec = digitalRead(5); //captura o estado do sensor
  nivel_agua = analogRead(A0); //detecta o nível de agua aplicar calculo de
  conversão de bits para a unidade de medida

  Serial.println("Nível da água: %f", nivel_agua); //mostra o nível de água no canal

```

```

    if(estado_bot_abre == HIGH && estado_sen_comp_abe == LOW &&
estado_bot_fecha == LOW)
    {
        digitalWrite(10, HIGH); //acionamento do motor
        digitalWrite(11, HIGH); //comporta abrindo
        Serial.println("comporta abrindo");
    }
    else
    {
        digitalWrite(10, LOW); //desliga o motor
        digitalWrite(11, LOW); //parar de abrir
    }

    if(estado_bot_fecha == HIGH && estado_sen_comp_fec == LOW &&
estado_bot_abre == LOW)
    {
        digitalWrite(10, HIGH); //acionamento do motor
        digitalWrite(12, HIGH); //comporta fechando
        Serial.println("comporta fechando");
    }
    else
    {
        digitalWrite(10, LOW); //desliga o motor
        digitalWrite(12, LOW); //parar de fechar
    }

    if (estado_sen_comp_abe == HIGH && estado_sen_comp_fec == LOW)
    {
        Serial.println("comporta aberta");
    }
    if (estado_sen_comp_fec == HIGH && estado_sen_comp_abe == LOW)
    {
        Serial.println("comporta fechada");
    }
    if (estado_sen_comp_fec == HIGH && estado_sen_comp_abe == HIGH)
    {
        Serial.println("falha nos sensores fim de curso");
    }
}

```

APÊNDICE 2

```

//configurações iniciais
void setup()
{
    //define os pino de entrada
    pinMode(2, INPUT); // botão de abrir
    pinMode(3, INPUT); //botão de fechar

```

```

pinMode(4, INPUT); //sensor fim de curso posição aberta da comporta
pinMode(5, INPUT); //sensor fim de curso posição fechada da comporta

//define os pino de saída
pinMode(11, OUTPUT); //saída do solenóide para abrir a comporta
pinMode(12, OUTPUT); //saída do solenóide para fechar a comporta

//comunicação com o computador via serial usb
Serial.begin(9600);

}

void loop()
{
  delay (2000); //delay utilizado para atrasar a inicialização do programa e conseguir
  abrir o monitoramento
  // cria as variáveis para detectar o estado dos botões e sensores recebem zero
  porque o sistema começa em repouso
  int estado_bot_abre = 0;
  int estado_bot_fecha = 0;
  int estado_sen_comp_abe = 0;
  int estado_sen_comp_fec = 0;

  if(estado_sen_comp_fec == 0 && estado_sen_comp_abe == 0 &&
  estado_bot_fecha == 0 && estado_bot_abre == 0) //teste para verificar se o arduino
  está gravando os valores nas variáveis
  {
    while (1) //loop infinito
    {
      Serial.println("gravado com sucesso entrou em loop");
      //teste de funcionamento das entradas
      estado_bot_abre = digitalRead(2); //captura o estado do botão ( se está
      pressionado ou não)
      estado_bot_fecha = digitalRead(3); //captura o estado do botão ( se está
      pressionado ou não)
      estado_sen_comp_abe = digitalRead(4); //captura o estado do sensor
      estado_sen_comp_fec = digitalRead(5); //captura o estado do sensor

      if (estado_bot_abre == HIGH) //testa se está sendo pressionado e envia a
      mensagem conforme o seu estado
      {
        Serial.println("M1: botão de abrir apertado");
        delay (100);
      }
      else
      {
        Serial.println("M1: botão de abrir solto");
        delay (100);
      }
    }
  }
}

```

```

    if (estado_bot_fecha == HIGH) //testa se está sendo pressionado e envia a
mensagem conforme o seu estado
    {
        Serial.println("M2: botão de fechar apertado");
        delay (100);
    }
    else
    {
        Serial.println("M2: botão de fechar solto");
        delay (100);
    }

    if (estado_sen_comp_abe == HIGH && estado_sen_comp_fec == LOW) // teste
dos sensores fim de curso
    {
        Serial.println("M3: comporta aberta");
        delay (100);
    }
    if (estado_sen_comp_fec == HIGH && estado_sen_comp_abe == LOW)
    {
        Serial.println("M3: comporta fechada");
        delay (100);
    }
    if (estado_sen_comp_fec == LOW && estado_sen_comp_abe == LOW)
    {
        Serial.println("M3: comporta com abertura parcial");
        delay (100);
    }
    if (estado_sen_comp_fec == HIGH && estado_sen_comp_abe == HIGH)
    {
        Serial.println("M3: posição impossível");
        delay (100);
    }

    //teste de funcionamento das saídas
    digitalWrite(11, HIGH); //comporta abrindo
    Serial.println("M4: comporta abrindo");
    delay(100);
    digitalWrite(11, LOW); //parar de abrir
    Serial.println("M5: comporta parada");
    delay(100);
    digitalWrite(12, HIGH); //comporta fechando
    Serial.println("M6: comporta fechando");
    delay(100);
    digitalWrite(12, LOW); //parar de fechar
    Serial.println("M7: comporta parada");
    delay(100);
}

```

```
}  
else  
{  
  Serial.println("erro na gravação das variáveis");  
}  
}
```