

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Engenharias - CEng**  
**Curso de Engenharia de Produção**



Trabalho de Conclusão de Curso II

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACIONAMENTOS:**  
de comportas de elevadoras de nível para Perímetro de Irrigação.

**Carlos Vinicius Marcondes Dijan Domenico**

Pelotas, 2022

**Carlos Vinicius Marcondes Dijan Domenico**

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACIONAMENTOS:**  
de comportas de elevadoras de nível para Perímetro de Irrigação.

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:  
Prof. Dr. Gilson Porciúncula

Pelotas, 2022

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACIONAMENTOS:**  
de comportas de elevadoras de nível para Perímetro de Irrigação.

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

Data da defesa: 08/06/2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gilson Porciúncula .....(Orientador)  
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. Alejandro Martins Rodriguez.....(Banca)  
Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. Ádamo de Souza Araújo.....(Banca)  
Doutor em Ciência e tecnologia de sementes pela Universidade Federal de Pelotas.

**Dedico este trabalho à minha mãe Angélica, ao meu pai Jonathan, aos meus familiares pela motivação, e aos professores pelo apoio e contribuição, tornando possível esta conclusão de curso.**

## **Agradecimentos**

Neste momento, quero agradecer primeiramente ao universo por todas as probabilidades de me permitir continuar a trabalhar e estudar, e pela oportunidade que estou tendo. Pelo amor e paciência de meus queridos pais. Vencemos mais uma etapa de nossas vidas. Agradeço por todo apoio. Toda a motivação e confiança que depositaram em mim.

Agradeço em especial ao meu professor orientador amigo Gilson Porciúncula, por toda paciência, empenho e ajuda para que este trabalho se tornasse possível. E também pelos ensinamentos que vão além da graduação. Obrigado.

Agradeço aos professores Alejandro Martins Rodriguez e Adamo Araújo pela aceitação do convite de avaliação na banca de defesa do TCC 2.

Agradeço aos meus pais que fizeram de tudo e mais um pouco durante todo esse período de estudos para que minha graduação fosse possível.

Agradeço aos amigos e colegas de faculdade que diretamente ou indiretamente participaram na conclusão deste trabalho.

## **PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACIONAMENTOS:** de comportas de elevadoras de nível para Perímetro de Irrigação.

### Resumo

DOMENICO, Carlos. **Projeto de Desenvolvimento de Sistema de Acionamentos:** de comportas de elevadoras de nível para Perímetro de Irrigação. Orientador Gilson Porciúncula. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso II (Bacharelado Engenharia de Produção) - Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto conceitual para automatizar o sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível do perímetro de irrigação do Arroio Duro. Este perímetro de irrigação, 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. A automação do acionamento das comportas de elevadoras de nível visa otimizar o sistema, deixando o mesmo mais eficiente e mais eficaz, melhorando o acionamento e sua viabilidade energética e econômica.

Para o desenvolvimento do projeto conceitual serão utilizados métodos e ferramentas da metodologia de desenvolvimento de produtos, adaptando a mesma para a automação do sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível.

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. Elas são constituídas por uma comporta basculante, muros, alas e sistema de movimentação. Atualmente, o acionamento é feito, na maioria das vezes, por meio de movimentação de uma manivela manual acoplada a um redutor, que traciona um cabo de aço ligado à comporta.

Com a proposta de uma nova concepção para o sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível, espera-se aumentar a eficiência do sistema, melhorar a ergonomia e segurança na operação de controle do nível dos canais.

Palavras-chave: Comportas. Elevadoras de nível. Automação. Projeto Conceitual.

## Abstract

DOMENICO, Carlos. **Drive System Development Project: from level elevator gates to Irrigation Perimeter** Advisor Gilson Porciúncula. 2022. Course Conclusion Work II (Bachelor of Production Engineering) - Engineering Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

The present work aims to develop a conceptual project to automate the drive system of the level elevator gates of the Arroio Duro irrigation perimeter. This irrigation perimeter, built in the 1960s, is responsible for regulating the flow of the Arroio and storing water during the winter to be used to irrigate the farmers' areas during the harvest. The automation of the activation of level elevator gates aims to optimize the system, making it more efficient and effective, improving the activation and its energy and economic viability.

For the development of the conceptual project, methods and tools of the product development methodology will be used, adapting it to the automation of the drive system of the level elevator gates.

The level lifts are intended to control the water level upstream of the channel, allowing a sufficient level difference for the water to flow to the secondary channels and adjacent crops. They consist of a tilting gate, walls, wings and a movement system. Currently, the activation is done, most of the time, by moving a manual crank coupled to a reducer, which pulls a steel cable connected to the gate.

With the proposal of a new concept for the drive system of the level elevator gates, it is expected to increase the efficiency of the system, improve ergonomics and safety in the channel level control operation.

Keywords: Floodgates. Level elevators. Automation. Conceptual Design.

## Sumário

<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>
<b>2 Objetivos</b>	<b>11</b>
<b>3 Justificativa</b>	<b>11</b>
<b>4 Limitações</b>	<b>12</b>
<b>5 Revisão da Literatura</b>	<b>12</b>
5.3 Elevadoras de Nível	15
5.3.1 Comportas	16
5.4 Sistemas Automáticos	18
<b>6 Metodologia</b>	<b>22</b>
<b>7 Projeto Informacional</b>	<b>23</b>
7.1 Definição do problema	23
7.2 Análise de ciclo de vida do produto	24
7.3 Atributos de projeto	24
7.4 Usuários	25
7.5 Necessidade dos Usuários	26
7.6 Requisitos dos Usuários	27
7.7 Requisitos de projeto	28
7.8 Diagrama de Mudge e hierarquização dos requisitos de cliente	29
7.9 Casa da Qualidade - QFD	31
7.10 Especificações de projeto	32
<b>8 Projeto Conceitual</b>	<b>33</b>
8.1 Estrutura Funcional	33
8.2 Princípio de Soluções	36
8.3 Seleção dos Princípios de soluções	38
8.4 Geração das concepções alternativas	39
8.4 Seleção da concepção	44
<b>9 Análise de Dados e Discussão dos Resultados</b>	<b>45</b>
<b>10 Considerações Finais</b>	<b>46</b>
<b>11 Referências</b>	<b>48</b>

## 1 Introdução

A prática da irrigação fornece um manejo de água de forma artificial, garantindo assim condições ideais para o desenvolvimento das culturas. Com isso, é possível obter um aumento de produtividade, obter produtos com maior qualidade e ainda, há possibilidade de viabilizar o crescimento de culturas quando as condições pluviométricas não são favoráveis para tal, ou em épocas de eventos extremos, como por exemplo, estiagens prolongadas. Assim sendo, na existência de infraestrutura e manejo adequado, é possível obter maior segurança e sucesso nas atividades agrícolas (PEREIRA, 2014).

Segundo Pontes et al. (2013), um perímetro público de irrigação nada mais é que uma área delimitada pelo estado que possui implantações de projetos públicos de agricultura irrigada em locais que apresentam solos férteis, condições climáticas favoráveis e disponibilidade hídrica. Além disso, possuem infraestruturas que favorecem os cultivos agrícolas.

O Perímetro de Irrigação do Arroio Duro é responsável pela regularização da vazão do Arroio Duro e por armazenar água durante o inverno, que será utilizada durante a safra. O Perímetro possui área irrigável de 21.000 hectares e foi construído na década de 60. Começou a operar no ano de 1967 e possui uma infraestrutura comum pública, construída e administrada pelo DNOS até o ano de 1990. A partir do ano de 1991, começou a ser gerido pela Associação dos Usuários do Arroio Duro (AUD), em convênio com o Ministério da Integração Nacional. Entre as obras de arte presentes ao longo do Perímetro, pode-se encontrar pontes, tomadas d'água, elevadoras de nível, saltos, bueiros, comportas, entre outros (PORCIÚNCULA; DAMÉ; TEIXEIRA-GRANDA, 2019).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a agropecuária é a atividade principal responsável pelo uso da água. De acordo com a entidade, 70% de toda a água consumida no mundo é utilizada na irrigação das lavouras, número que se eleva para 72% no caso do Brasil, que é um país com forte produção nesse setor da economia. Ainda segundo a FAO, a agricultura é o setor da economia que mais necessita da imposição de medidas de redução do consumo de água, pois cerca de 60% de toda a água empregada na irrigação estaria sendo perdida por desperdício. Assim, os mesmos estudos apontam que uma redução

de 10% dessa perda seria o suficiente para abastecer o dobro da população mundial atual, em termos de média estatística (BRAZIL ESCOLA, 2021).

Sabendo que a água é um insumo fundamental para assegurar o desenvolvimento econômico e social de um país. A racionalização de seu uso apresenta-se como alternativa de baixo custo e de curto prazo de implantação. Em alguns casos, significativas economias podem ser obtidas apenas com mudanças de procedimentos e de hábitos, além de impactar positivamente o meio ambiente.

Este trabalho tem a finalidade de desenvolver um projeto conceitual para automação do sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível do perímetro de irrigação do Arroio Duro, localizado na cidade de Camaquã-RS. Essa otimização, visa modernizar o sistema de acionamento, deixando o mesmo mais eficiente e mais eficaz, melhorando o acionamento e sua viabilidade ergonômica e desta forma melhorando o manejo da água no perímetro de irrigação.

Para o desenvolvimento do projeto serão utilizados métodos e ferramentas da metodologia de desenvolvimento de produtos, adaptando a mesma para a modernização do sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível deste perímetro. O Projeto de desenvolvimento de produto (PDP) consiste de um conjunto de atividades que, a partir das necessidades do mercado e das capacidades tecnológicas, procura chegar às especificações de um produto e de seu processo de produção. Além disso, envolve atividades de lançamento, acompanhamento e descontinuidade do produto no mercado (ROZENFELD et al, 2006). Segundo Bauch (2004), o PDP consiste em uma coleção de atividades que a empresa utiliza para converter sua tecnologia e idéias em um fluxo de produtos, o qual atenda às necessidades dos consumidores e aos objetivos estratégicos da empresa.

Quando se trata de desenvolvimento de soluções é habitual a adoção de metodologias para o projeto de produtos e equipamentos mais adequados às necessidades dos seus usuários (ROZENFELD et al., 2006; BACK, et al., 2008; BAXTER, 2011).

## **2 Objetivos**

Neste tópico serão apresentados o objetivo geral e objetivos específicos deste trabalho.

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo central deste trabalho é abordar e aplicar os métodos e ferramentas da metodologia de desenvolvimento de produto, nas fases de projeto informacional e projeto conceitual, para a projeção de um sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível do perímetro de irrigação do Arroio Duro.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são divididos em quatro partes:

Realizar uma revisão bibliográfica sobre os Sistemas de Acionamentos de Comportas de Elevadoras de Nível;

Apresentar o processo de aplicação da Metodologia de Desenvolvimento de Produto para Sistemas Automáticos;

Desenvolver o Projeto Informacional e Conceitual do Sistema de Acionamento das Comportas de Elevadoras de Nível;

Avaliar a concepção proposta.

## **3 Justificativa**

No perímetro de irrigação de Arroio Duro, o acionamento das comportas de elevadoras de nível é um sistema com tecnologia da década de 60 e atualmente apresenta um acionamento manual na maioria das comportas, ou seja, o sistema de acionamento depende da disponibilidade e do esforço dos operadores para o controle do nível dos canais. Sabendo disso, há uma necessidade de modernização desse sistema de acionamento, cuja sua realização contribuirá positivamente para uma melhor eficiência, eficácia, ergonomia e segurança operacional, além de, melhorar o manejo da água e a confiabilidade do sistema.

#### **4 Limitações**

Os limites encontrados ao longo do desenvolvimento desse trabalho de conclusão estão presente na Fase de Projeto Informacional, que por motivos do atual momento de Pandemia, não nos permitiu levantar todas as informações por meio de diagnóstico presente, análise de documentos e do funcionamento do sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível desse estudo.

Dessa forma, foi utilizado referências bibliográficas e o relatório: Estudo e avaliação do perímetro público de irrigação do arroio duro, realizado em 2019 e utilizado até o momento desse trabalho de conclusão.

#### **5 Revisão da Literatura**

Essencial à vida, a água, recurso finito de valor inestimável, é um elemento necessário ao consumo humano, animal e vegetal e também a diversas atividades humanas, como geração de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, irrigação, navegação, recreação, turismo, aquicultura, piscicultura, pesca, assimilação e condução de esgoto, etc, tendo sua disponibilidade diminuída, gradativamente nos últimos tempos, devido ao crescimento populacional, à expansão das fronteiras agrícolas e à degradação do meio ambiente (Lima et al, 1999).

A agricultura irrigada é a principal responsável pelo consumo da água dentro do setor agrícola, porém é uma técnica eficaz no aumento da produção de alimentos (Lima et al, 1999). Atualmente, estima-se que 55,0% da água destinada à irrigação perde-se antes de atingir a zona radicular das culturas, devido às baixas eficiências na condução (15,0%), distribuição (15,0%) e aplicação (25,0%) dos sistemas (CHRISTOFIDIS, 2002); portanto, é aconselhável que se dê preferência por sistemas pressurizados de irrigação que utilizem a água de forma mais eficiente.

No caso de sistema de irrigação superficial por inundação, como o utilizado no Perímetro de Irrigação do Arroio Duro, um bom Sistema de Acionamento de Comportas contribuirá para o melhor manejo da água no canal, podendo ter sistemas de controle de nível combinados com o sistema de acionamento das comportas, desta forma, a abertura e o fechamento das comportas estará sincronizado com a demanda de vazão dos canais. Nesse sentido, buscar a modernização desses sistemas é

relevante no que se diz respeito à viabilidade econômica e ambiental de todo o perímetro de irrigação.

## **5.1 Sistemas de Irrigação**

A irrigação é uma técnica agrícola que tem como principal finalidade levar água à cultura no tempo e quantidade adequada para que a mesma expresse seu potencial produtivo de maneira economicamente viável.

Os diversos sistemas de irrigação disponíveis atualmente no mercado dão aos produtores acesso a uma moderna tecnologia, que juntamente com manejo equilibrado da adubação e tratamentos culturais, reúnem todas as condições para que as culturas expressem seu real potencial produtivo. Atualmente, os insumos, água e nutrientes podem caminhar juntos, sendo possível disponibilizá-los ao sistema solo-planta, ao mesmo tempo, através da fertirrigação, com vantagens (PORCIÚNCULA; DAMÉ; TEIXEIRA-GRANDA, 2019).

A escolha do sistema de irrigação deve basear-se em análise técnico-econômica, levando-se em consideração o tipo de solo, topografia, clima, cultura, custo do equipamento, energia, qualidade de água disponível, mão-de-obra, etc.

Dentre os principais tipos de irrigação, destaca-se seis técnicas: Irrigação de superfície; Irrigação localizada; Irrigação por aspersão; Pivô central; Fertirrigação; Micro aspersão e Irrigação por gotejamento. Para saber qual a melhor técnica a se utilizar, deve-se estudar o local, o solo, o clima, a quantidade de água necessária e planejar a construção das infraestruturas necessárias.

O tipo de irrigação utilizada no Perímetro de Irrigação do Arroio Duro é o de irrigação por superfície, mas especificamente a irrigação por inundação, muito utilizada na cultura do arroz. A Figura 1 mostra uma fotografia de uma área de cultivo de arroz com irrigação por inundação.

**Figura 1**– Exemplos de Irrigação por inundação.

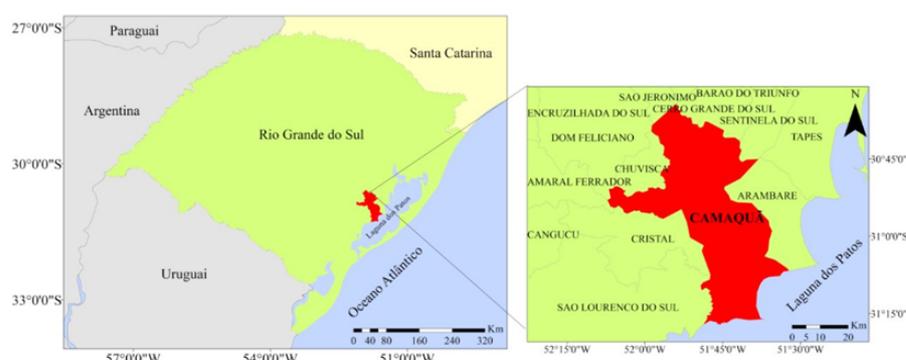


Fonte: Agronegociointerior (2020).

## 5.2 Perímetro de Irrigação do Arroio Duro

O Perímetro de Irrigação do Arroio Duro, localizado no município de Camaquã, conforme mostra a Figura 2, 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 (PORCIÚNCULA; DAMÉ; TEIXEIRA-GRANDA, 2019).

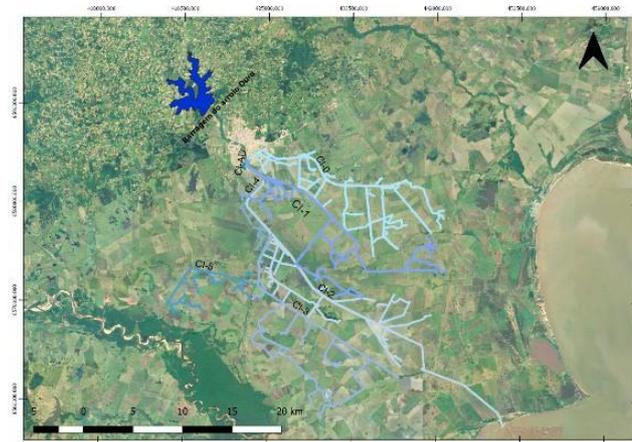
**Figura 2**– Localização do município de Camaquã no Estado de Rio Grande do Sul



Fonte: Porciúncula; Damé; Teixeira-Granda (2019)

O Perímetro possui área irrigável limitada a 21.000 hectares, contando com a seguinte infraestrutura comum de irrigação e drenagem: uma barragem, duas estações de bombeamento, 264 quilômetros de canais de drenagem, 371 quilômetros de canais de irrigação, 35 comportas elevadoras de nível, 334 estruturas de operação, 1.427 tomadas d'água parcelares, 12 pontilhões e duas estações de bombeamento instaladas no Rio Camaquã (PORCIÚNCULA; GIUSEPPE, 2019). A Figura 3 mostra a estrutura de canais do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro.

**Figura 3 – Mapa atualizado do Perímetro Irrigação do Arroio Duro**



Fonte: Porciúncula; Damé; Teixeira-Granda (2019)

### 5.3 Elevadoras de Nível

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 na abertura das comportas, 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 o nível de água do canal. As tomadas de decisão para operá-las e sua utilização é dependente do nível de água demandado no canal à montante. As Figuras 4a e 4b mostram fotos de duas elevadoras de nível do perímetro AUD.

**Figura 4- a)** Elevadoras de nível do Perímetro AUD; **b)** Elevadora com três comportas



a)



b)

Fonte: Porciúncula; Damé; Teixeira-Granda (2019)

### 5.3.1 Comportas

As comportas são dispositivos mecânicos utilizados para controlar vazões hidráulicas em qualquer conduto livre ou forçado e de cuja estrutura do 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.
  1. 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;
  2. 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.

O Quadro 1 descreve um esquema no qual é apresentando as variações de tipos de comportas mais utilizadas.

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.

**Quadro 1** - Principais tipos de comportas (adaptado de NBR 7259)

Comportas de Transição	Deslizamento	Gaveta
		Ensecadeira
		Cilíndrica
	Rolamento	Vagão
		Lagarta
		Stoney
Comportas de Rotação	Basculante	
	Mitra	
	Segmento	
	Setor	
	Tambor	
	Telhado	
	Visor	
Comportas de Translo- Rotação	Rolante	

**Fonte:** Autor (2022)

No perímetro de irrigação desse estudo, são utilizadas comportas de rotação basculantes que realizam a liberação e retenção da passagem da água do perímetro. Quanto ao funcionamento, pode permitir ou não permitir a vazão e a variação do nível d'água do canal. Quando totalmente fechada garante que o nível máximo d'água do canal seja atingido e quando parcialmente fechada rebaixa este nível.

## **5.4 Sistemas Automáticos**

A automação é um sistema de controle empregado em processos automáticos, que controlam os mecanismos para seu próprio funcionamento, fazendo medições e introduzindo correções, sem a necessidade da interferência frequente de humanos. A automação de tarefas tem como objetivo identificar atividades repetitivas feitas de forma manual e criar soluções, como softwares e aplicativos.

A concepção de sistema de acionamento da comporta proposto neste trabalho tem a finalidade de regular, interromper ou liberar o escoamento através do canal, possibilitando a implementação de sistema de controle automático, apenas sendo necessário acionar o botão que as comportas irão realizar o movimento de rotacional de abertura ou fechamento.

### **5.4.1- 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).

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).

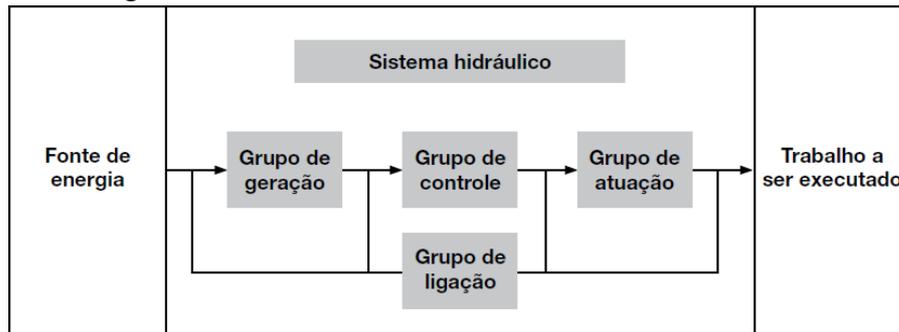
O Princípio de Pascal diz que se aplicarmos uma força externa for sobre uma parcela de área de um fluido confinado, a pressão decorrente será transmitida integralmente a todo o fluido confinado e à área do recipiente que o contém.

Os sistemas hidráulicos conseguem apresentar uma rápida parada e inversão de movimento e variações 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.

### 5.4.1.1 Componentes de um sistema hidráulico

Os sistemas hidráulicos podem ser definidos por: grupo de geração, grupo de controle, grupo de atuação e grupo de ligação, conforme a Figura 6.

**Figura 6** - Desdobramento funcional de um sistema hidráulico



**Fonte:** (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, também conhecida como Unidade de Potência e Condicionamento Hidráulico (UPCH) 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.

- Atuador linear:

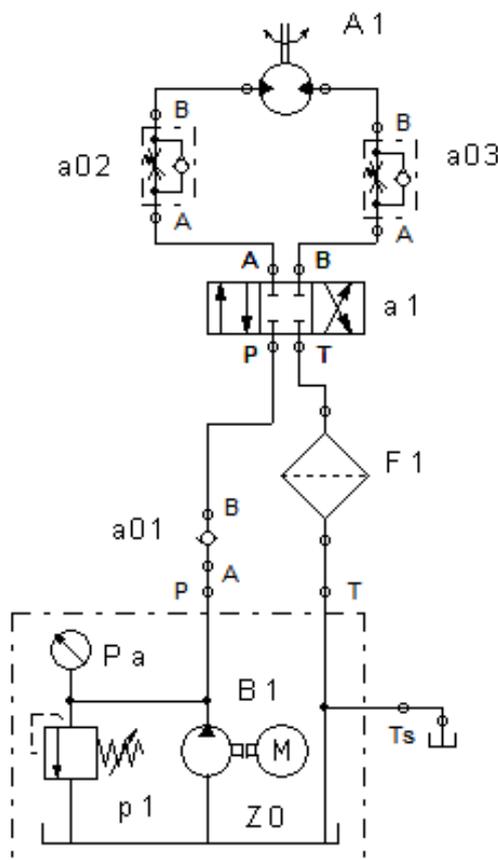
Um atuador linear é um dispositivo que move uma carga em linha reta, sendo um componente fundamental em sistemas de acionamentos e no controle de movimento.

- Atuador rotativo:

Os atuadores hidráulicos rotativos são componentes que possuem a função de movimentar objetos em rotacionalmente, disponibilizando velocidade angular e torque.

Os circuitos do sistemas hidráulicos são representados por diagramas funcionais/estruturais de acordo com a norma ISO1219. A Figura 7 mostra um circuito básico de sistema hidráulico e a nomenclatura de cada componente do circuito.

**Figura 7 - Circuito básico de sistema hidráulico**



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

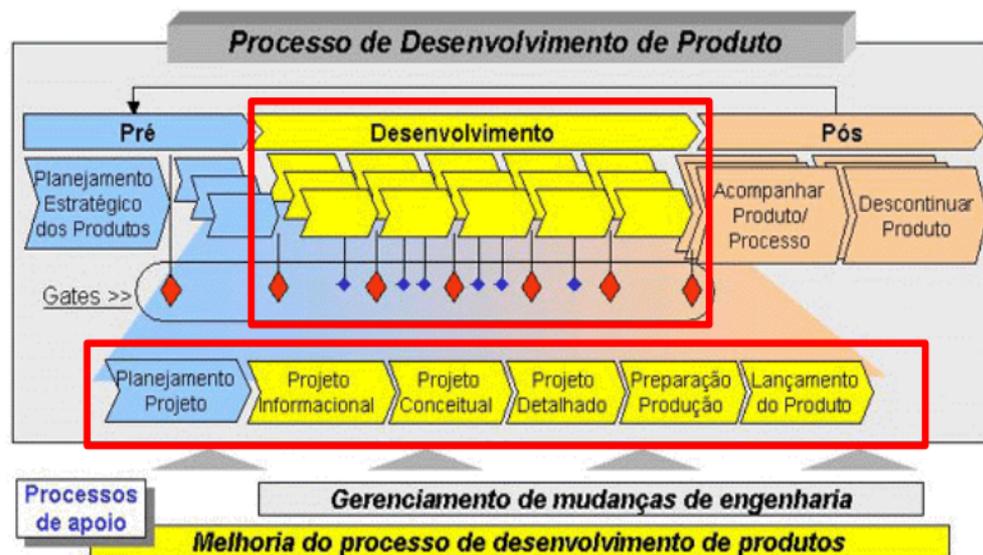
Fonte: Santos (2021)

## 5.5 Metodologia de Desenvolvimento de Produto

A Metodologia utilizada para o desenvolvimento desse trabalho de conclusão, será baseada na Metodologia de Processo Desenvolvimento de Produto. Essa metodologia tem sido utilizada em diferentes áreas e de projeto e lançamento de produtos e processos e é dividida em quatro fases: Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. Para Rozenfeld et al.(2006), não basta apenas ter definido o cliente e a definição do que deve ser desenvolvido, deve-se começar bem antes disso. Para isso, se considera as restrições físicas, tecnológicas, capacitação de pessoal e de capital do projeto.

A Figura 8 mostra o modelo de Metodologia de Desenvolvimento de Produto (PDP) proposto por Rozenfeld, et. al. (2006).

**Figura 8:** Visão geral do Modelo de Rozenfeld (2006)



**Fonte:** Gestão de Desenvolvimento de Produtos, Rozenfeld.

O uso do PDP vem-se tornando indispensável às organizações que buscam aumentar a variedade de seus produtos e almejam liderança tecnológica. De acordo com Romano (2003), o processo de desenvolvimento de produtos consiste na realização de atividades que tem início na detecção de oportunidade de negócio até o lançamento do produto no mercado, dessa forma, o PDP se apresenta como uma significativa fonte de oportunidades para as empresas empreenderem esforços de melhoria com o propósito de contribuir em seus resultados. O desenvolvimento de

produto precisa ser um processo eficaz e eficiente para realmente tornar uma empresa competitiva (ROZENFELD et al, 2006).

No presente estudo, optou-se por desenvolver propostas de um projeto conceitual para automatizar o sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível do perímetro de irrigação do Arroio Duro. Para uma parcela significativa da literatura, à gestão de desenvolvimento de novos produtos, é encarada como um processo de negócio, no qual se têm entradas (conhecimento) que são processados e trazem resultados parciais (por exemplo, um protótipo) ou finais como o produto lançado no mercado conforme (FILHO, 2009). De acordo com Kechinski (2010), o PDP embora complexo, é um processo importante para as empresas, formalizando as atividades em etapas e garantindo qualidade e redução de custos do produto. A fim de desenvolver produtos que atendam a real necessidade dos consumidores, o desenvolvimento do produto deve ser apoiado por inovações tecnológicas que possam diferenciá-los dos outros similares no mercado.

## **6 Metodologia**

A Metodologia utilizada para o desenvolvimento desse trabalho, será baseada na Metodologia de Desenvolvimento de Produto, sendo que as atividades serão desenvolvidas nas duas primeiras fases da metodologia, o Projeto Informacional e o Projeto Conceitual.

Na Fase de Projeto Informacional, serão levantadas todas as informações por meio de diagnóstico, análise de documentos e do funcionamento do sistema do de acionamento das comportas, identificação dos principais atributos do projeto, análise do ciclo de vida, definição das necessidades do sistema e definição das especificações do projeto. Nessa fase serão utilizadas ferramentas como o diagrama de Mudge e o QFD.

Na Fase de Projeto Conceitual, serão definidos as estruturas funcionais do sistema de acionamento das comportas e os princípios de soluções para as mesmas e a definição da concepção para solução do problema. Nessa fase serão utilizadas ferramentas como Estrutura funcional, Matriz de decisão e Matriz Morfológica.

## **7 Projeto Informacional**

O projeto informacional do Sistema de Acionamento das Comportas da Elevadoras de Nível para Perímetro de Irrigação parte primeiramente do estudo dos atributos de projeto. Esses atributos são baseados nas informações obtidas na revisão bibliográfica, os quais podem influenciar no desenvolvimento do projeto e que também trazem subsídios para o levantamento das necessidades dos clientes.

Posteriormente, procurou-se definir a análise de ciclo de vida do produto e identificar os clientes envolvidos direta ou indiretamente no processo de desenvolvimento do sistema de acionamento das comportas.

Posteriormente, foram definidos os requisitos do usuário de acordo com Fonseca (2000), para a seguir, definir os requisitos de projeto baseados nos atributos de projeto e nos requisitos do usuário. Os requisitos dos usuários foram hierarquizados e classificados utilizando-se o diagrama de Mudge. Em seguida, foi utilizada a Casa da Qualidade para relacionar os requisitos do usuário e os requisitos de projeto, de forma a obter a classificação dos requisitos de projeto por ordem de importância.

Finalmente, foi elaborada a Quadro com as especificações do projeto do Acionamento das Comportas da Elevadoras de Nível para Perímetro de Irrigação, definindo os principais objetivos, saídas indesejadas e observações do acionamento.

### **7.1 Definição do problema**

Atualmente, a maioria dos acionamentos das comportas das elevadoras de nível são realizadas por meio de movimentação de uma manivela manual que está acoplada a um redutor, que traciona um cabo de aço ligado à comporta. Com esse modelo atual, diversas dificuldades são encontradas, desde o funcionamento do sistema de redutores que demanda manutenções e uma baixa eficiência em termos de controle do nível de água no canal, até o operacional que apresentam falta de segurança e condições ergonômicas para os operadores.

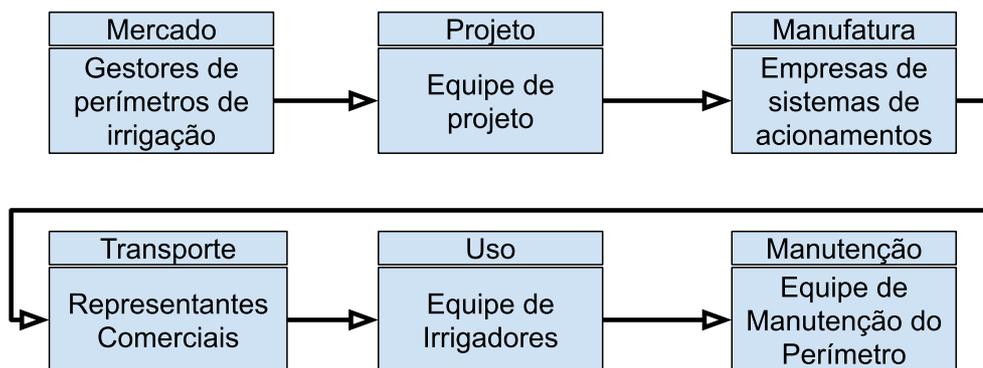
Dessa forma, com a proposta de uma nova concepção para o sistema de acionamento das comportas de elevadoras de nível, espera-se aumentar a eficiência do sistema e melhorar a ergonomia e segurança na operação de controle do nível dos canais.

Na primeira fase, de projeto informacional, é definido o ciclo de vida do produto e identificados os clientes e suas necessidades, baseadas na finalidade, benefícios e melhorias do produto. São então determinadas e hierarquizadas as especificações de projeto.

## 7.2 Análise de ciclo de vida do produto

O ciclo de vida do produto significa a sequência de fases pelas quais se desenvolve o produto, desde a busca de oportunidades no mercado, o projeto, a fabricação até o uso e o descarte. Dessa forma, para esse projeto, o ciclo de vida do produto pode ser identificado de acordo com o diagrama, mostrado na Figura 9. Na análise do ciclo de vida, procura se identificar além das fases, os diferentes usuários que irão interagir com o produto, usuários internos: Equipe de projeto e Empresas de sistemas de acionamentos, usuários intermediários: , Representantes da comerciais e usuários externos: Gestores de perímetro de irrigação, Equipe de Irrigadores e Equipe de manutenção do perímetro .

**Figura 9** - Diagrama de análise de ciclo de vida do produto



Fonte: Autor (2022).

## 7.3 Atributos de projeto

Os atributos de projeto baseados nos estudos realizados na revisão bibliográfica visam levantar aspectos relevantes no desenvolvimento do projeto do sistema de acionamento das comportas. Esses atributos contribuem para o levantamento de informações que servirão como subsídio para definição das

informações sobre as necessidades dos clientes e para definir os requisitos de projeto. Os atributos de projeto desse produto podem ser observados através do Quadro 2.

## 7.4 Usuários

Os usuários externos do projeto foram definidos como sendo os agricultores e empresários irrigantes, aguadores (profissionais que fazem a operação da irrigação no interior das lavouras) e niveladores (executores de curvas de nível, marachas), irrigadores (operadores da infraestrutura dos canais), gestores da AUD, colaboradores das equipes da AUD, população e MDR.

**Quadro 2-** Atributos de projeto do sistema de acionamento

<b>Classes de Atributos</b>	<b>Atributos</b>	<b>Comentários</b>
Atributos Básicos	Funcionalidade	Funções, operações, desempenho;
	Ergonômico	Ergonomia de uso;
	Segurança	Princípios de Segurança; Proteção;
	Econômico	Baixo Custo de implementação, operação e manutenção;
	Confiabilidade	Taxas de falhas; redundâncias; integralidade;
	Impacto Ambiental	Atende as normas ambientais; poluição; conservação; manejo adequado no uso da água.
Atributos do Ciclo de vida	Usabilidade	De fácil manuseio, uso simples;
	Mantenabilidade	De fácil manutenção e com poucas manutenções;
Atributos Específicos - de Materiais	Fixação	Estável; Fixação apropriada;
	Configuração	Formas; Apresentação;
Atributos Específicos - Energéticos	Forças	Direção; magnitude; frequência; rigidez; peso
	Cinemática	Velocidade, aceleração;
	Tipo de energia	Energia de acionamento.
	Fluxo de energia	Fontes; potência; rendimento;
Atributos Específicos - De Controle	Sinais	Manuais; Elétrico
	Automação	Nível de automação.
	Estabilidade	Estabilidade de sinal
	Controle	Tipos de controle

**Fonte:** Autor (2022)

## 7.5 Necessidade dos Usuários

O desenvolvimento de um produto se caracteriza por uma necessidade a ser atendida, por isso, um passo importante para o desenvolvimento desse produto é a identificação das necessidades dos usuários. Através da identificação dos usuários, foram definidas as necessidades dos usuários que podem ser observadas através do Quadro 3.

**Quadro 3** - Necessidades dos Usuários

<b>Necessidades dos Usuários</b>	<b>Descrição das Necessidades</b>
O sistema deve ser barato	Pouco capital disponível para investimentos
O sistema deve ter um sistema de operação simples	Fácil entendimento e controle sobre como a classificação ocorre
O sistema deve ser seguro para o funcionário e terceiros	Evitar acidentes de trabalho
O sistema deve ser econômico	Não possuir custo alto de manutenção
O sistema deve possuir uma estrutura ergonômica	Fácil acesso ao irrigador e reduzir desconforto de operação
O sistema deve ter baixo impacto ambiental	Minimizar a perda de água
Tem muito roubo de motores na região	O sistema não deve chamar a atenção para furtos
Não pode danificar a estrutura da da elevadora de nível	No fechamento da comporta o sistema não pode jogar a comporta acelerada contra a estrutura da elevadora de nível.
O acionamento não deve exigir esforço do operador	O sistema de acionamento não deve ser manual
O acionamento precisaria dispensar o sistema de redução, pois dá muita manutenção	O sistema deve ter a possibilidade de controlar a velocidade de acionamento
O sistema precisa ser composto por peças padronizadas no mercado	O projeto do sistema deve considerar peças disponíveis nos catálogos das empresas de SA.
O sistema precisa se adaptar ao acionamento móvel.	O sistema de acionamento deve possibilitar que seja acionado por uma unidade de potência móvel
O sistema não pode fechar e abrir muito rápido, mas também não pode ser muito lento.	O sistema precisa controlar a velocidade de acionamento na abertura e fechamento da comporta
Evitar que o sistema contamine a água de irrigação	Evitar contato do sistema de acionamento com a água
A comporta precisa se deslocar com estabilidade	Evitar a distorção da comporta no acionamento da mesma

Fonte: Autor (2022)

## 7.6 Requisitos dos Usuários

Este item consta da conversão das necessidades do usuário em requisitos do usuário. Basicamente, há a conversão de “quem” e “o que” para “ser”, “ter” e “estar”. Desse modo, é possível avaliar o que o produto pode realmente realizar para o usuário. Essa conversão pode ser vista a seguir no Quadro 4.

**Quadro 4-** Conversão Necessidades dos Usuários em Requisitos dos Usuários

<b>Necessidades dos Usuários</b>	<b>Requisitos dos Usuários</b>
O sistema deve ser barato	Ter baixo custo de aquisição
O sistema deve ter um sistema de operação simples	Ter um sistema de controle e fácil entendimento
O sistema deve ser seguro para o funcionário e terceiros	Ser seguro aos funcionários
O sistema deve ser econômico	Ter baixo custo de manutenção
O sistema deve possuir uma estrutura ergonômica	Ser ergonômico e com mínimo de esforço físico
O sistema deve ter baixo impacto ambiental	Ter baixa perda de água
Tem muito roubo de motores na região	Ser inacessível aos transeuntes
Não pode danificar a estrutura da elevadora de nível	Causar pouco impacto na estrutura no fechamento da comporta
O acionamento não deve exigir esforço do operador	ser automatizado
O acionamento precisaria dispensar o sistema de redução, pois dá muita manutenção	ter controle de velocidade
O sistema não pode fechar e abrir muito rápido, mas também não pode ser muito lento	
sistema precisa ser composto por peças padronizadas no mercado	ter intercambiabilidade de peças
o sistema precisa se adaptar ao acionamento móvel.	ter acionamento portátil
Evitar que o sistema contamine a água de irrigação	ter sistema de vedação eficiente
A comporta precisa se deslocar com estabilidade	ter acionamento estável

Fonte: Autor (2022)

## 7.7 Requisitos de projeto

Após a definição dos requisitos dos usuários, a equipe de desenvolvimento do projeto deve levar em consideração essas informações e definir os requisitos do projeto, para que esses satisfaçam as necessidades dos usuários, tais requisitos devem possuir unidades, para que possam ser quantificados na hora da realização do projeto. Para o desenvolvimento dos requisitos de projeto, foi feita uma conversão dos requisitos dos usuários conforme Quadro 5.

**Quadro 5-** Requisitos do Projeto

<b>Requisitos dos Usuários</b>	<b>Requisitos do Projeto</b>	<b>Unidade</b>
Ter baixo custo de aquisição	Custo do sistema	R\$
Ter um sistema de controle e fácil entendimento	Facilidade na operação	%
Ser seguro aos funcionários	Segurança de uso	%
Ter baixo custo de manutenção	Intervalos de manutenção	Horas de uso
Ser ergonômico e com mínimo de esforço físico	Sistema ergonômico e seguro	%
Ter baixa perda de água	Controle de vazão	l/h
Ser inacessível aos transeuntes	Compacto	m <sup>3</sup>
Causar pouco impacto na estrutura no fechamento da comporta	Controle de força	Kgf
Ser automatizado	Sistema automático	%
Ter controle de velocidade	Controle de velocidade	cm/s ou rpm
Ter intercambiabilidade de peças	Peças padronizadas	%
Ter acionamento portátil	Sistema flexível	%
Ter sistema de vedação eficiente	Controle de vazamento	%
Ter acionamento estável	Acionamento estável	%

**Fonte:** Autor (2022)

## 7.8 Diagrama de Mudge e hierarquização dos requisitos de cliente

O método do Diagrama de Mudge é uma ferramenta de gestão de projeto, na qual consiste em uma matriz triangular comparando cada elemento da diagonal com o elemento de cada coluna, ou seja, confrontando entre dois requisitos de usuários e classificá-los por ordem de relevância. No Diagrama de Mudge os requisitos são confrontados sobre a sua importância de forma qualitativa e quantitativa. Para essa análise os requisitos foram organizados em ordem alfabética de A à L e foram definidos pesos de importância de 1, 3 e 5 conforme apresentado abaixo. O Diagrama de Mudge do Sistema de acionamento pode ser analisado no Diagrama 1.

**Diagrama 1** - Diagrama de Mudge do sistema de acionamento

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	$\Sigma L$	$\Sigma L + \Sigma C$	%
A	B3	C3	D1	E5	F5	G1	H1	I3	J5	K3	A1	M3	N5	1	1	0,42%
	B	C1	B3	E5	F3	B5	H1	B3	J3	K1	B1	M1	N3	12	15	6,27%
		C	C1	C1	F3	C3	C1	C3	J1	K1	L1	M3	N3	9	13	5,43%
			D	E5	F3	D5	H3	D1	J3	D3	D3	M3	N1	12	13	5,43%
				E	F3	E5	H1	I3	J1	E3	E3	M1	N1	11	26	10,87%
					F	F5	F3	F3	J1	F3	F3	M1	N1	17	34	14,22%
						G	H1	I3	J5	G3	G3	M3	N1	6	7	2,93%
							H	H1	J5	H3	H1	M1	N5	5	12	5,02%
								I	J5	I3	I3	M1	I3	9	18	7,53%
									J	J3	J5	M1	J3	11	40	16,73%
										K	K3	K1	N3	4	9	3,77%
											L	M1	N3	0	1	0,42%
												M	N3	0	19	7,95%
													N	0	29	12,13%
$\Sigma C$	3	4	1	15	17	1	7	9	29	5	1	19	29		239	100%

Fonte: Autor (2022)

IMPORTÂNCIA	PESO
Pouco importante	1
Mediamente importante	3
Altamente importante	5

- A. Ter baixo custo de aquisição
- B. Ter um sistema de controle e fácil entendimento.
- C. Ser seguro aos funcionários.
- D. Ter baixo custo de manutenção.
- E. Ser ergonômico e com mínimo de esforço físico
- F. Ter baixa perda de água
- G. Ser inacessível aos transeuntes
- H. Causar pouco impacto na estrutura no fechamento da comporta
- I. ser automatizado
- J. ter controle de velocidade
- K. ter intercambiabilidade de peças
- L. ter acionamento portátil
- M. ter sistema de vedação eficiente
- N. Ter acionamento estável

Através do resultado estabelecido pelo Diagrama de Mudge, o requisito que obteve maior pontuação é o que tem maior relevância para o projeto, com isso é possível estabelecer a ordem de hierarquização, do maior para o menor. Para estabelecer as classes foi-se necessário identificar os limites de classificação através do cálculo:  $[(\Sigma L + \Sigma C) \div \Sigma C]$ .

No Diagrama 1 pode-se observar a ordem de hierarquização e suas respectivas classes, onde as classes F e J representam os requisitos de usuário mais importantes respectivamente, e o A menos importante.

Percebe-se também que no Quadro 6 podemos verificar os requisitos em ordem de relevância para o projeto, classificados de 0 a 10, de forma crescente, ou seja, 0 de menor relevância e 10 de maior relevância.

**Quadro 6-** Ordem de Hierarquização dos Requisitos e Valor do Cliente por classe

Classe	Ordem de Hierarquização	(%)	Limites	Requisitos dos usuários
10	1	16,73%	> 14,28%	Ter controle de velocidade
9	2	14,22%	[12,8% a 14,28%]	Ter baixa perda de água
8	3	12,13%	[10,92% a 12,18%]	Ter acionamento estável
7	4	10,87%	[7,99% a 10,92%]	Ser ergonômico e com mínimo de esforço físico
6	5	7,95%	[7,57% a 7,98%]	Ter sistema de vedação eficiente
5	6	7,53%	[6,3% a 7,56%]	Ser automatizado

5	7	6,27%	[5,44% a 6,3%]	Ter um sistema de controle e fácil entendimento
4	8	5,43%	[5,9% a 5,44%]	Ser seguro aos funcionários
4	9	5,43%	[5,05% a 5,46%]	Ter baixo custo de manutenção
4	10	5,02%	[3,79% a 5,04%]	Causar pouco impacto na estrutura no fechamento da comporta
3	11	3,77%	[2,95% a 3,78%]	Ter intercambiabilidade de peças
2	12	2,93%	[0,43% a 2,94%]	Ser inacessível aos transeuntes
1	13	0,42%	[0 a 0,42%]	Ter baixo custo de aquisição
1	14	0,42%	[0 a 0,42%]	Ter acionamento portátil

Fonte: Autor (2022)

### 7.9 Casa da Qualidade - QFD

A casa de qualidade ou QFD (Quality Function Deployment), é uma ferramenta desenvolvida para auxiliar nas fases iniciais dos projetos, obtendo dados com os cruzamentos dos requisitos dos usuários e dos requisitos do projeto, estes dados obtidos auxiliam para que o projeto chegue próximo da idealização do usuário. Segundo Back et al. (2008), os propósitos gerais do método QFD são: tornar efetivo o uso de métodos sistemáticos para o desenvolvimento de produtos; propiciar a solução de problemas pela atividade em grupo; tornar a atividade em grupo eficiente.

Os relacionamentos entre os requisitos de usuários e de projetos visam a obtenção de indicativos, ou seja, valores de quanto cada necessidade ou desejo do usuário afeta ou é afetado por um requisito de projeto. Observa-se que nem todos os requisitos possuem relação entre si, com isso podemos avaliar os relacionamentos como nulo, fraco, médio e forte, com suas respectivas características quantitativa: nulo = 0; fraco = 1; médio = 3; forte = 5. Como mostra a Figura 10.

Na última linha do QFD é possível identificar os requisitos de projetos mais importantes de acordo com os percentuais alcançados, (1) Acionamento estável, 10,2%, (2) Custo do sistema, 10%, (3) Sistema automático, 9,3%.

Figura 10 - QFD do sistema de acionamento

RP: Requisitos de Projeto	Grau de Importância (geral)														Ordem de Hierarquização
	R\$	%	%	Horas de uso	%	l/h	%	Kgf	%	cm/s ou rpm	%	%	%	%	
Ter baixo custo de aquisição	1	5	1	0	1	0	0	3	3	5	5	5	3	3	13
Ter um sistema de controle e fácil entendimento	4	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	0	1	1	7
Ser seguro aos funcionários	4	0	1	5	0	5	0	0	0	3	1	0	1	0	8
Ter baixo custo de manutenção	4	3	0	0	5	1	0	1	0	1	0	3	1	0	9
Ser ergonômico e com mínimo de esforço físico	7	3	1	5	0	5	1	3	1	5	1	1	1	0	4
Ter baixa perda de água	9	1	1	0	0	0	5	3	5	5	0	3	5	5	2
Ser enclausurado ser inacessível aos transeuntes	2	1	0	0	0	5	0	3	0	0	0	3	5	0	12
Causar pouco impacto na estrutura no fechamento da comporta	4	5	3	0	3	0	3	3	5	3	5	3	5	3	10
Ser automatizado	5	5	3	3	3	5	3	1	5	5	5	3	3	5	6
Ter controle de velocidade	10	3	3	0	0	0	3	1	3	3	5	3	3	5	1
Ter intercambiabilidade de peças	3	3	0	0	5	0	0	3	0	0	0	5	3	3	11
Ter acionamento portátil	1	3	3	0	1	3	0	5	3	1	0	5	3	0	14
Ter sistema de vedação eficiente	5	5	0	0	5	0	5	1	3	3	3	5	3	5	5
Ter acionamento estável	8	3	3	3	0	3	1	3	1	5	3	3	3	3	3
<b>Grau de importância (Absoluto)</b>		43	22	16	23	30	24	30	29	42	36	39	38	33	46
<b>Grau de importância (percentual)</b>		10%	4,88%	3,55%	5,10%	6,65%	5,32%	6,65%	6,43%	9,31%	7,98%	8,65%	8,43%	7,32%	10,20%

Fonte: Autor (2022)

## 7.10 Especificações de projeto

A partir da hierarquização dos requisitos na QFD, definiu-se as metas de cada requisito, bem como as formas de avaliação que serão utilizadas no desenvolvimento do produto. Além disso, os aspectos indesejados que possam vir a surgir durante o prosseguimento do projeto também estão listados no Quadro 7 abaixo.

Quadro 7- Especificações do Projeto

	Requisitos do Projeto	Metas	Avaliação	Aspectos indesejados
1	Acionamento estável	100%	Teste de campo	Velocidade limitada
2	Custo do Sistema	R\$ 8.000,00	Avaliar processo	Não atender os principais requisitos tecnológicos
3	Sistema Automático	80%	Teste de campo	Inviabilizar o sistema
4	Peças padronizadas	100%	Controlar projeto de manufatura	Inviabilizar automação
5	Sistema flexível	50%	Teste de campo	Dificuldade de operação
6	Controle de velocidade	10 RPS	Teste de campo	Atrasar tempo de fechamento
7	Controle de Vazamento	100%	Teste de campo	Inviabilizar sistemas flexíveis
8	Sistema Ergonômico e Seguro	100%	Teste de campo	Inviabilizar sistemas flexíveis
9	Compacto	0,5 m <sup>3</sup>	Controle dimensional	Dificuldade de manutenção
10	Controle de força	130%(T/mca)	Teste de campo	Força insuficiente para manter as comportas fechadas.

11	Controle de vazão	100%	Teste de campo	Deixar sistema instável
12	Intervalos de manutenção	6 meses	Plano de manutenção	Aumentar custo do sistema
13	Facilidade na operação	100%	Teste em campo	Impossibilitar a automação
14	Segurança de uso	100%	Teste em campo	Inviabilizar sistemas flexíveis

Fonte: Autor (2022)

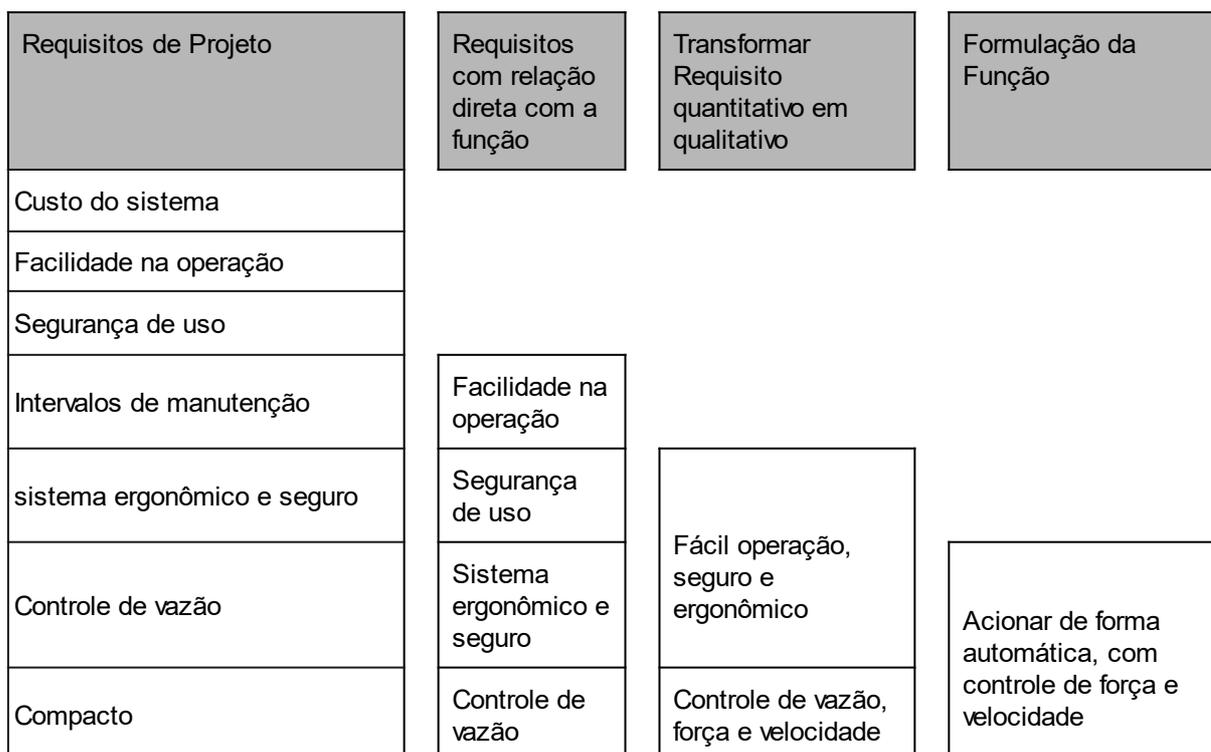
## 8 Projeto Conceitual

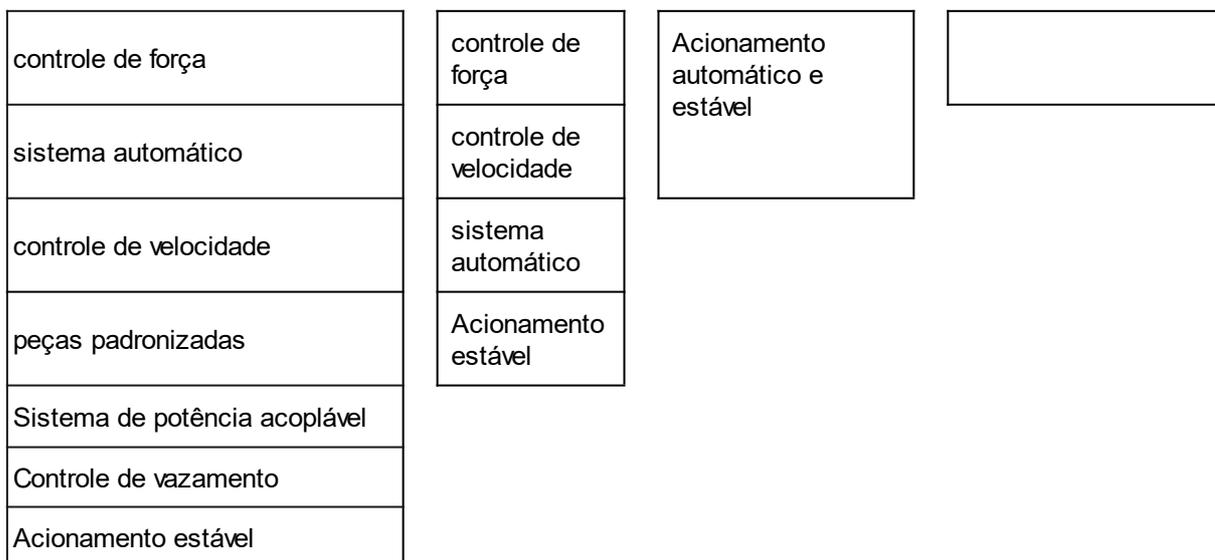
No projeto conceitual temos o objetivo de definir o conceito do sistema baseado nas tomadas de decisões realizadas nas etapas da fase de projeto informacional. O projeto conceitual do Sistema de Acionamento das Comportas da Elevadoras de Nível para Perímetro de Irrigação parte primeiramente da análise das especificações de projeto definidas no final do projeto informacional.

### 8.1 Estrutura Funcional

A estrutura funcional é definida a partir do desdobramento da função global do sistema. Para auxiliar na definição da função global do sistema, analisamos as especificações de projeto para identificar suas características funcionais, conforme mostrado no diagrama 2.

Diagrama 2- Definição da Função Global do Sistema





Fonte: Autor (2022)

Posteriormente, procurou-se, a partir da definição da Função Global do sistema de acionamento da comporta das elevadoras de nível, identificar os recursos que compõem essa função, assim como, propor um desdobramento funcional para a definição da estrutura funcional do sistema. O Quadro 8 mostra a definição dos recursos da Função.

**Quadro 8 - Recursos da Função**

Recursos	Entrada	Saída	Símbolo
Energia	Energia	Energia Mecânica e fluxo de água	
Sinal	regulagem e controle	velocidade e torque controlado	
Matéria	Comporta	Comporta acionada	

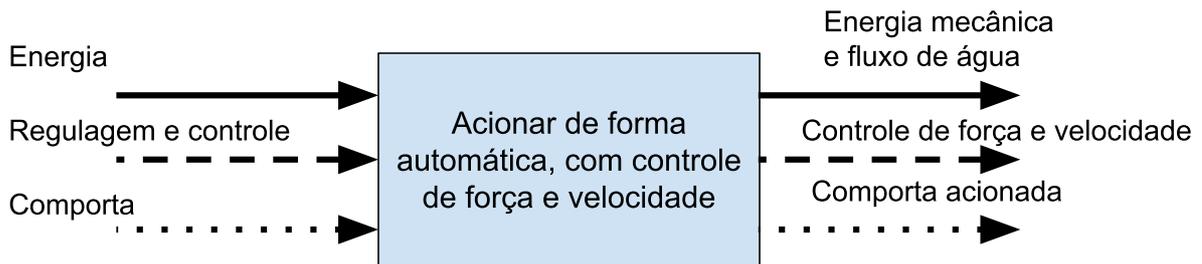
Fonte: Autor (2022)

No Quadro 8 é apresentada as entradas e saídas do sinal, energia e simbologia necessários para que se cumpra a função principal.

A função global pode ser dividida em funções em diferentes níveis, sendo elas funções parciais e funções elementares. Essas funções têm como objetivo reduzir sua complexidade e atingir um nível de função que possa ser identificado um princípio de solução (CUSTÓDIO, 2015). Na Figura 11 abaixo, está representado o diagrama de

blocos das funções parciais que são desempenhadas pelo acionamento das comportas de elevadoras de nível, com a intenção de atingir o objetivo final.

**Figura 11:** Diagrama de blocos das Funções Parciais

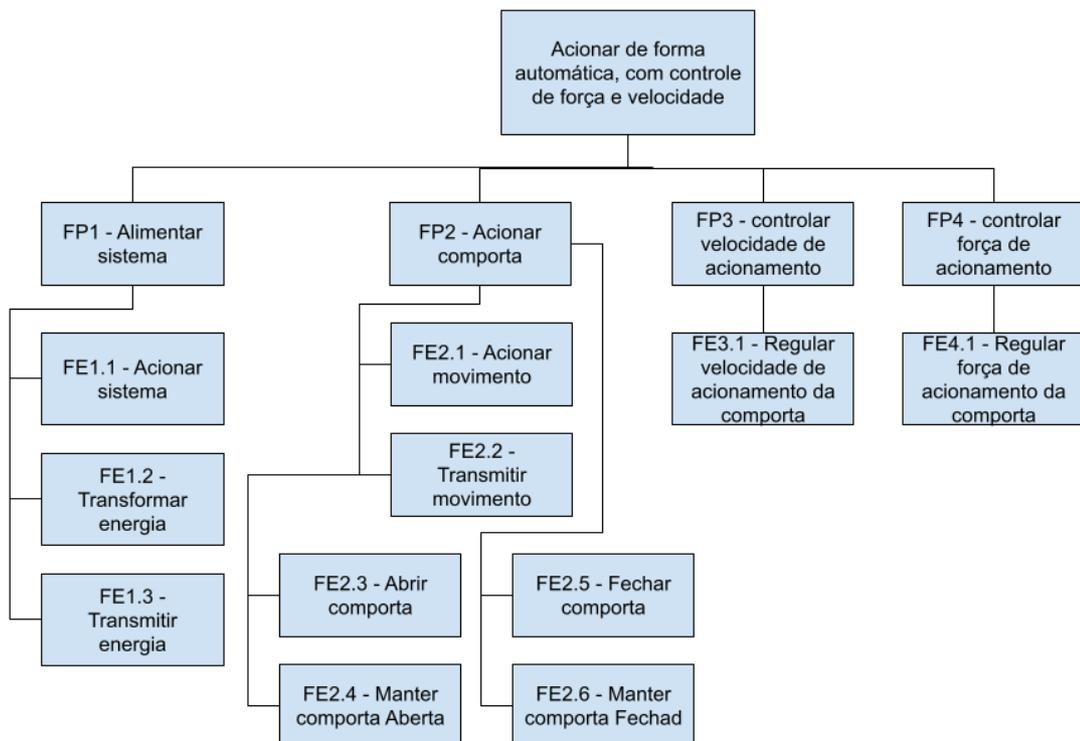


**Fonte:** Autor (2022)

Assim, inicialmente, através do acionamento automático realizado por algum operador, a comporta realiza a abertura ou fechamento para que haja a passagem ou retenção da água de forma controlada com a força e velocidade ideal.

Na Figura 12 estão representadas as funções parciais e elementares do sistema de acionamento.

**Figura 12:** Diagrama de blocos das funções elementares



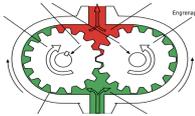
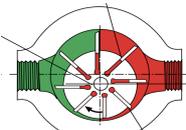
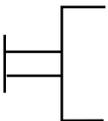
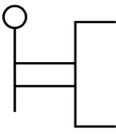
**Fonte:** Autor (2022)

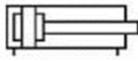
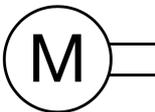
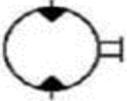
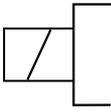
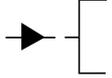
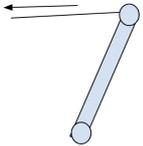
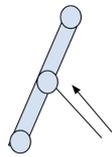
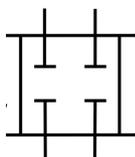
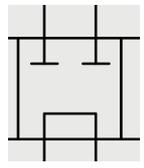
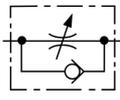
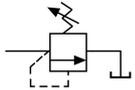
## 8.2 Princípio de Soluções

A abordagem da Matriz Morfológica busca estender a combinação dos princípios de solução propostos para atender às funções elementares da estrutura funcional do sistema. A aplicação do método sempre resulta em novas soluções criativas a partir de uma mistura de princípios de solução. É por isso que é extremamente importante adotar esses princípios de forma independente, para que haja mais desses elementos, aumentando assim o escopo da solução.

De acordo com (Back et al., 2008), o método de matriz morfológica envolve uma busca sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros, com o objetivo de encontrar novas soluções para o problema. O Quadro 9 demonstra os princípios de soluções para o sistema de acionamento das comportas.

**Quadro 9-** Matriz morfológica do sistema de acionamento

Código	Função	Princípios de soluções		
FE1.1	Acionar sistema	 Botoeira sistema fixo	 Botoeira sistema móvel	
FE1.2	Transformar energia	 Unidade de potência	 Mini unidade hidráulica	 Sistema hidráulico trator
FE1.3	Transmitir energia	 Bomba de engrenagem	 Bomba de palhetas	 Bomba de pistão
FE2.1	Acionar movimento			 Acionamento

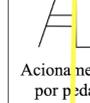
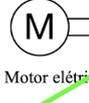
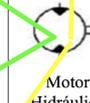
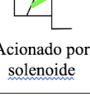
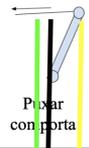
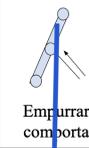
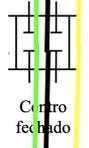
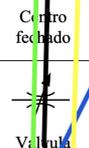
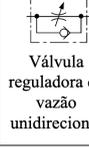
		Acionamento por botão	Acionamento por alavanca	por pedal
FE2.2	Transmitir movimento	 Atuador Linear Hidráulico	 Motor elétrico	 Motor Hidráulico
FE2.3	Abrir comporta	 Acionado por solenoide	 Acionado por piloto hidráulico	
FE2.5	Fechar comporta	 Puxar comporta	 Empurrar comporta	
FE2.4	Manter comporta aberta			
FE2.6	Manter comporta fechada	Centro fechado	Centro Tandem	
FE3.1	Regular velocidade de acionamento	 Válvula reguladora de vazão bidirecional	 Válvula reguladora de vazão unidirecional	
FE4.1	Regular força de acionamento	 Válvula limitadora de pressão		

Fonte: Autor (2022)

### 8.3 Seleção dos Princípios de soluções

A partir da matriz morfológica, iniciou-se o processo de concepção para buscar possíveis soluções para os problemas apresentados. Para isso, realizou-se uma combinação de cada um dos elementos com as possíveis soluções descritas, em que se traçou pelos caminhos I, II, III e IV, nas cores verde, preto, azul e amarelo, representados na Figura 13.

Figura 13: Combinações dos princípios de soluções.

Código	Função	Princípios de soluções		
FE1.1	Acionar sistema	 Botão de sistema fixo	 Botão de sistema móvel	
FE1.2	Transformar energia	 Unidade de potência	 Mini unidade hidráulica	 Sistema hidráulico trator
FE1.3	Transmitir energia	 Bomba de engrenagem	 Bomba de palhetas	 Bomba de pistão
FE2.1	Acionar movimento	 Acionamento por botão	 Acionamento por alavanca	 Acionamento por pedal
FE2.2	Transmitir movimento	 Atuador Linear Hidráulico	 Motor elétrico	 Motor Hidráulico
FE2.3	Abrir comporta	 Acionado por solenoide	 Acionado por piloto hidráulico	
FE2.5	Fechar comporta	 Puxar comporta	 Empurrar comporta	
FE2.4	Manter comporta aberta	 Centro fechado	 Centro Tandem	
FE2.6	Manter comporta fechada	 Centro fechado	 Centro Tandem	
FE3.1	Regular velocidade de acionamento	 Válvula reguladora de vazão bidirecional	 Válvula reguladora de vazão unidirecional	
FE4.1	Regular força de acionamento	 Válvula limitadora de pressão		

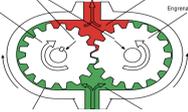
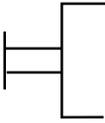
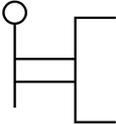
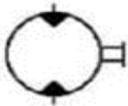
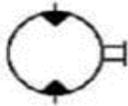
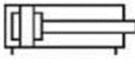
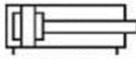
Fonte: Autor (2022)

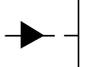
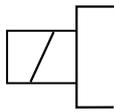
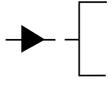
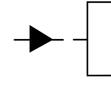
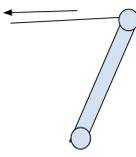
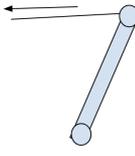
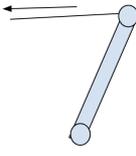
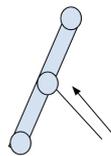
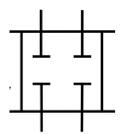
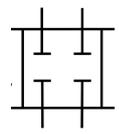
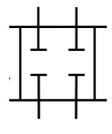
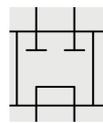
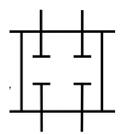
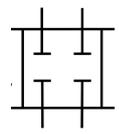
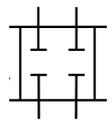
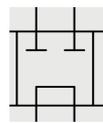
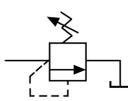
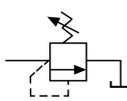
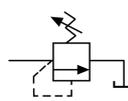
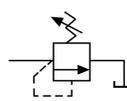
### 8.4 Geração das concepções alternativas

De acordo com as combinações dos princípios de solução apresentados na Figura 13, definiu-se quatro concepções alternativas. As concepções alternativas

propostas foram baseadas nas necessidades do cliente, requisitos de projeto, e o arranjo adequado de componentes hidráulicos. O Quadro 10 apresenta as quatro concepções alternativas propostas para o sistema de acionamento das comportas.

**Quadro 10-** Elementos do Sistema de Acionamento

Código	I (amarelo)	II (verde)	III (preto)	IV (azul)
FE1.1	 Botão de controle móvel	 Botão de controle fixo	 Botão de controle fixo	 Botão de controle móvel
FE1.2	 Sistema hidráulico de trator	 Mini unidade	 Mini unidade hidráulica	 Sistema hidráulico de trator
FE1.3		 Bomba de engrenagem	 Bomba de engrenagem	—
FE2.1		 Acionamento por botão	 Acionamento por alavanca	—
FE2.2	 Motor Hidráulico	 Motor Hidráulico	 Atuador Linear Hidráulico	 Atuador Linear Hidráulico

FE2.3	 Acionado por piloto hidráulico	 Acionado por solenoide	 Acionado por piloto hidráulico	 Acionado por piloto hidráulico
FE2.5	 Puxar comporta	 Puxar comporta	 Puxar comporta	 Empurrar comporta
FE2.4	 Centro fechado	 Centro fechado	 Centro fechado	 Centro Tandem
FE2.6	 Centro fechado	 Centro fechado	 Centro fechado	 Centro Tandem
FE3.1	 Válvula reguladora de vazão bidirecional	 Válvula reguladora de vazão bidirecional	 Válvula reguladora de vazão bidirecional	 Válvula reguladora de vazão bidirecional
FE4.1	 Válvula limitadora de pressão	 Válvula limitadora de pressão	 Válvula limitadora de pressão	 Válvula limitadora de pressão

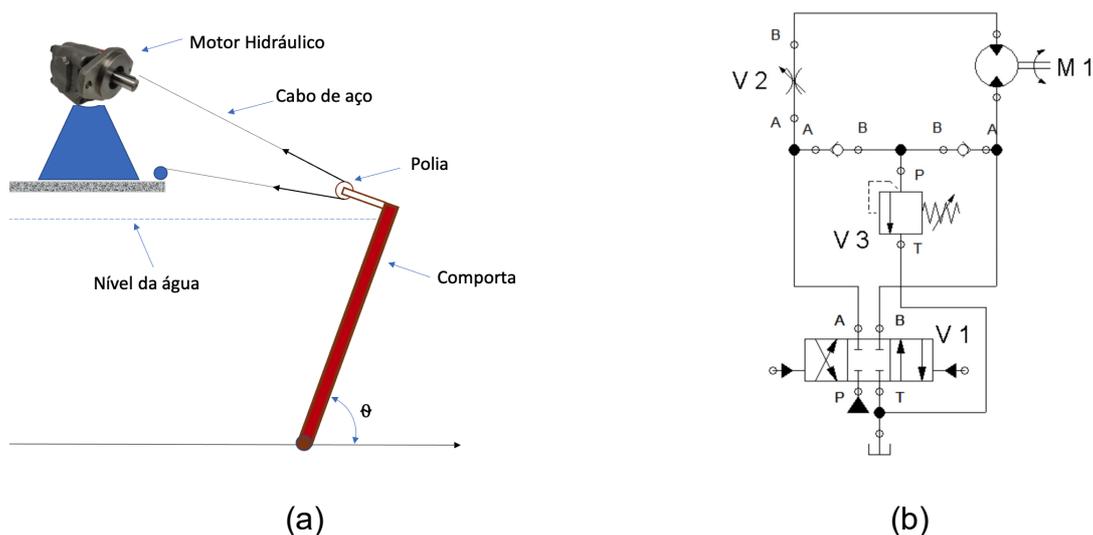
Fonte: Autor (2022)

As quatro concepções propostas diferem basicamente no tipo de sistema de transmissão de energia, do sistema de atuação e também do tipo de engaste do sistema de acionamento na comporta.

- Concepção alternativa I – Nessa concepção, o sistema de transmissão de energia hidráulica é realizado por meio de uma unidade hidráulica móvel

acoplada a um trator, o sistema de atuação é realizado por um motor hidráulico bidirecional e a comporta é puxada por meio de um cabo de aço fixado em sua borda superior, conforme representado na Figura 14a. A Figura 14b apresenta o diagrama do circuito hidráulico do sistema de acionamento, onde as válvulas V2 e V3 são responsáveis pelo controle de velocidade e de força e acionamento respectivamente. O motor hidráulico é acionado pelo comando hidráulico do trator.

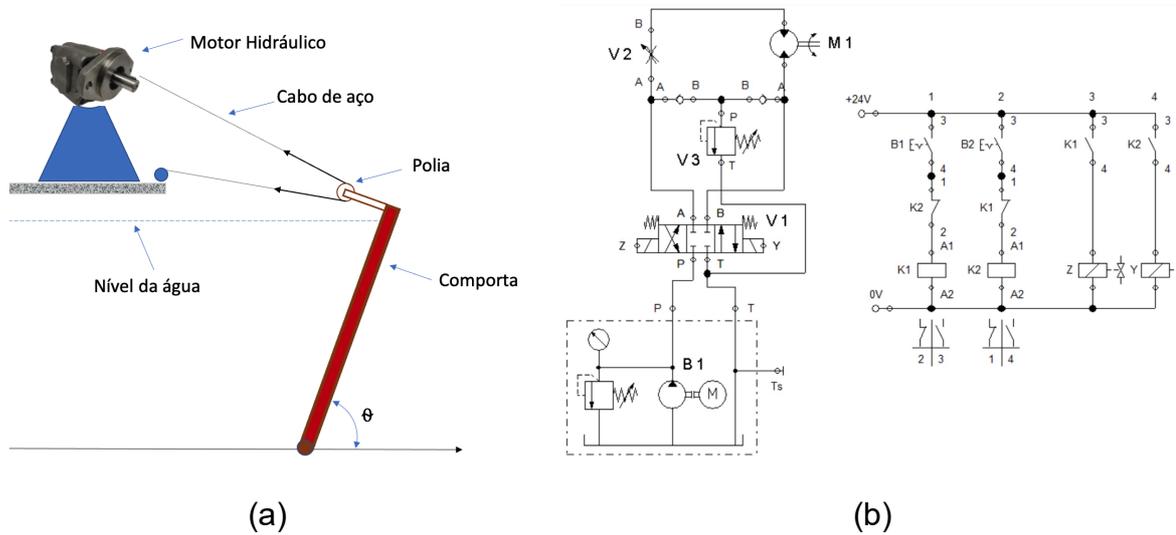
**Figura 14:** Representação da Concepção alternativa I



Fonte: Autor (2022)

- Concepção alternativa II – Nessa concepção, o sistema de transmissão de energia hidráulica é realizado por meio de uma mini unidade hidráulica, o sistema de atuação é realizado por um motor hidráulico bidirecional e a comporta é puxada por meio de um cabo de aço fixado na borda superior da comporta, conforme representado na Figura 15a. A Figura 15b apresenta o diagrama do circuito hidráulico e do circuito elétrico do sistema de acionamento, onde as válvulas V2 e V3 são responsáveis pelo controle de velocidade e de força e acionamento respectivamente. Neste caso o acionamento do motor hidráulico é realizado por meio dos solenóides Z e Y comandados pelo circuito elétrico.

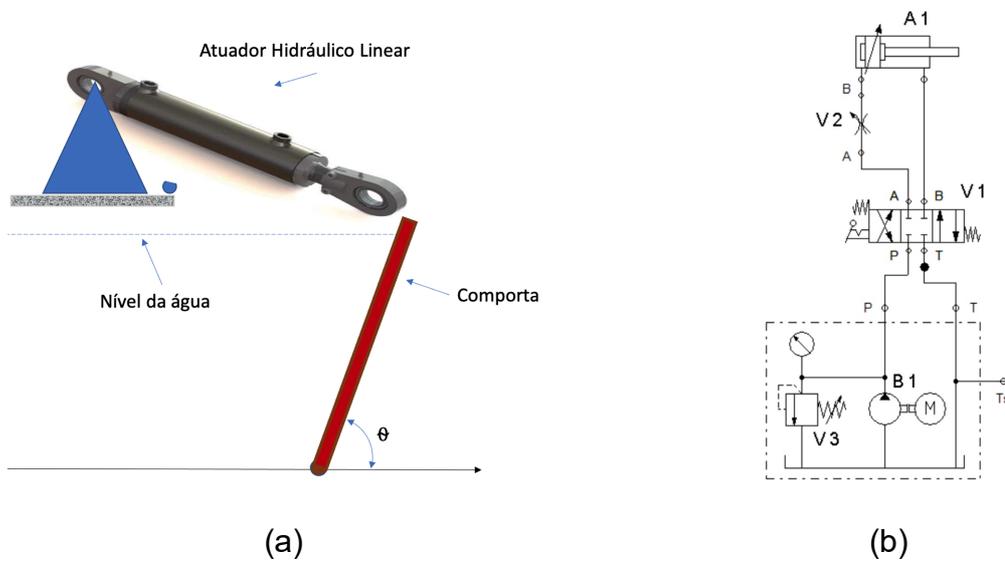
**Figura 15: Representação da Concepção alternativa II**



Fonte: Autor (2022)

- **Concepção alternativa III** – Nessa concepção, o sistema de transmissão de energia hidráulica é realizado por meio de uma miniunidade hidráulica, o sistema de atuação é realizado por atuador hidráulico linear de dupla ação e a comporta é puxada pela haste do atuador hidráulico linear fixado na borda superior da comporta, conforme representado na Figura 16a. A Figura 16b apresenta o diagrama do circuito hidráulico do sistema de acionamento, onde as válvulas V2 e V3 são responsáveis pelo controle de velocidade e de força e acionamento respectivamente. O atuador hidráulico linear é acionado por uma alavanca e centrado por mola.

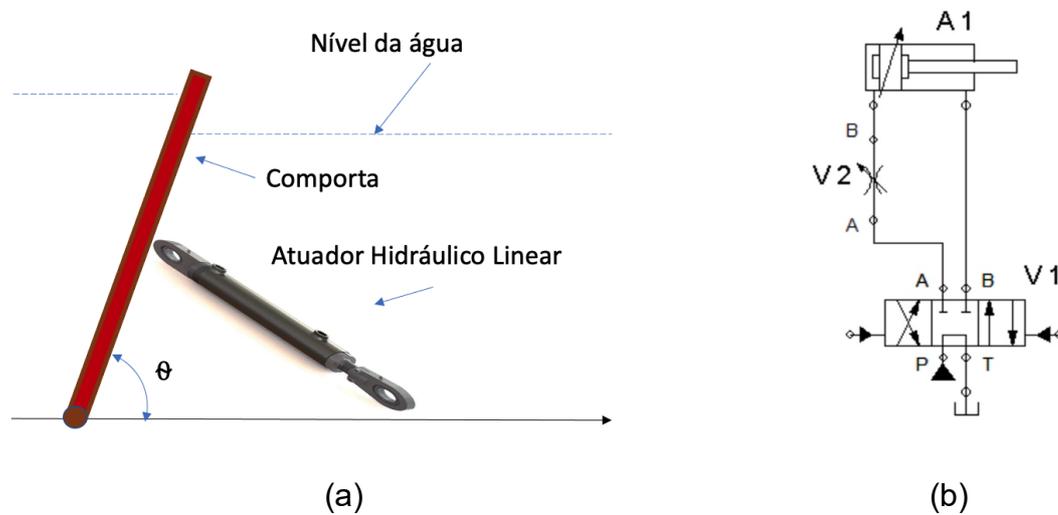
**Figura 16:** Representação da Concepção alternativa III



Fonte: Autor (2022)

- Concepção alternativa IV – Nessa concepção, o sistema de transmissão de energia hidráulica é realizado por meio de uma unidade hidráulica móvel acoplada a um trator, o sistema de atuação é realizado por atuador hidráulico linear de dupla ação e a comporta é empurrada pela haste do atuador hidráulico linear fixado no centro de gravidade da comporta, conforme representado na Figura 17a. Neste caso o atuador hidráulico linear fica submerso na água. A Figura 17b apresenta o diagrama do circuito hidráulico do sistema de acionamento, onde a válvula V2 é responsável pelo controle de velocidade do acionamento. O atuador hidráulico linear é acionado pelo comando hidráulico do trator e o controle de força dependerá da regulação da válvula limitadora de pressão do sistema hidráulico do trator.

**Figura 17:** Representação da Concepção alternativa IV



Fonte: Autor (2022)

#### 8.4 Seleção da concepção

Para a escolha da concepção que melhor atenda aos requisitos do projeto e às necessidades dos clientes, ou seja, aquela que apresente a melhor viabilidade técnica, foi utilizada a matriz de decisão, onde confronta-se as especificações de projeto com as concepções alternativas propostas. O Quadro 11 apresenta esta análise, onde considerou-se índices de 1 a 10 entre desempenho muito fraco e desempenho muito bom, conforme legenda apresentada abaixo.

Nesta análise verificou-se valores muito próximos entre as concepção alternativas apresentadas, mostrando a viabilidade técnica das propostas apresentadas. No entanto, a Concepção II obteve o maior Índice de Desempenho Técnico de 858,3. Este resultado está vinculado ao tipo de sistema que atualmente está implementado no Perímetro de Irrigação do Arroio Duro e da possibilidade de automatização e controle de dos parâmetros de acionamento da comporta, tais como, velocidade, força e nível de água no canal.

**Quadro 11-** Comparação entre as concepções alternativas

Especificações de projeto	valoração	Concepções Alternativas			
		I	II	III	IV
Custo do sistema	10	↑	↑	↑	↑
Facilidade na operação	4,88	↑	↑	↑	↑
Segurança de uso	3,55	↑	↑	↑	↑
Intervalos de manutenção	5,10	↑	↑	↑	↑
Sistema ergonômico e seguro	6,65	↑	↑	↑	↑
Controle de vazão	5,32	○	↑	↑	↑
Compacto	6,65	↑	↑	↓	↑
Controle de força	6,43	↓	↑	↑	↑
Sistema automático	9,31	↓	↑	↑	↑
Controle de velocidade	7,98	↓	↑	↑	↑
Peças padronizadas	8,65	↑	↑	↑	↑
Sistema de potência acoplável	8,43	↑	○	○	↑
Controle de vazamento	7,32	↑	↑	↑	↓
Acionamento estável	10,20	↑	↑	↑	↑
<b>Índice de Desempenho Técnico</b>	100	800,2	858,3	857,2	852,8

Fonte: Autor (2022)

Legenda: ↑ desempenho muito bom = 10

↑ desempenho bom = 7,5

○ desempenho satisfatório = 5

↓ desempenho fraco = 2,5

↓ desempenho muito fraco = 149

## **9 Análise de Dados e Discussão dos Resultados**

Por meio do uso da metodologia de desenvolvimento de produto foram abordadas novas soluções e propostas de novas concepções para o sistema de acionamento das comportas do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro. Dentre as soluções propostas evidenciou-se a necessidade da automatização do sistema, com o intuito de melhorar o controle de velocidade e força para cada comporta do perímetro.

As soluções propostas foram avaliadas dentro do escopo de sistemas hidráulicos devido às já conhecidas vantagens destes sistemas em acionar o deslocamento de elementos com grande massa, com grande precisão no controle.

As concepções alternativas propostas alteraram em relação ao tipo de unidade de potência hidráulica a ser utilizada, mini unidade hidráulica ou acoplamento de unidade hidráulica móvel, tais como, um sistema hidráulico de um trator. Outra variação proposta foi o tipo de atuador hidráulico, acionamento por motor hidráulico ou por atuador hidráulico linear. Além disso, considerou-se a duas possibilidades de pontos de apoio na comporta, puxada pela borda superior ou empurrada no centro de gravidade da comporta.

A condição central abordada dentro das concepções propostas foi a possibilidade de automatização futura do sistema. Dentro deste contexto a escolha da concepção alternativa II, Figura 15, contempla esta abordagem pois, o sistema de acionamento do motor hidráulico é realizado por meio de circuito elétrico, possibilitando flexibilização da implementação de sistemas de controle por meio de sensores de nível do canal, de posição da comporta, etc.

Desta forma, com esse estudo, foi proposto uma nova concepção de sistema de acionamento por meio de motor hidráulico com controle de velocidade e força e com a possibilidade de automatização completa do sistema. Com isso espera-se que com a solução proposta trabalhos futuros possam desenvolver a fase de projeto preliminar e detalhado deste sistema, realizando dimensionamento, avaliando os critérios técnico e econômicos da concepção.

## 10 Considerações Finais

Este trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade conceitual de um sistema de acionamento de comportas de elevadoras de nível de canal do perímetro de Irrigação do Arroio Duro. Durante o estudo verificou-se por meio de uma revisão bibliográfica que, o acionamento das comportas de elevadoras de nível, em questão, necessitam de algumas características, tais como, controle de velocidade e força de acionamento e a necessidade de automação do sistema.

Dentre os benefícios que uma nova proposta de acionamento das comportas poderiam trazer, estariam o maior controle dos parâmetros de acionamento da comporta, maior segurança e ergonomia para os trabalhadores e principalmente o melhor manejo da água de irrigação do perímetro. Estas vantagens já foram ressaltadas pelos gestores e operadores do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro em relatórios do projeto PAR-AUD (PORCIÚNCULA; GIUSEPPE, 2019).

Na Macrofase de projeção do sistema de acionamento das comportas, utilizando uma metodologia de projeto formada pelas fases de projeto informacional e projeto conceitual, definiu-se a concepção do dispositivo que mais se enquadra nas necessidades dos usuários. No projeto informacional utilizou-se de informações da revisão bibliográfica, dos relatórios do Estudo de Avaliação e Revitalização (PAR-AUD), a fim de definir as especificações de projeto do sistema. No projeto conceitual utilizou-se de métodos e ferramentas de projeto, tais como, Estrutura Funcional, Matriz Morfológica e Matriz de Decisão que, a partir das quais definiu-se a concepção mais adequada para o sistema de acionamento das comportas.

De forma geral, concluiu-se que as ferramentas de processo de desenvolvimento de produto foram fundamentais para o projeto das concepções alternativas propostas, possibilitando uma abordagem além das soluções pré associadas à configuração atual. Por meio das concepções alternativas obtidas no processo de projeto conseguiu-se avaliar a viabilidade técnica de possibilidades futuras para o acionamento das comportas do perímetro, assim como, de definir a concepção mais adequada para este estágio do estudo.

De acordo com as avaliações realizadas no item 8.4 onde as quatro concepções alternativas de foram avaliadas no Quadro 11, no qual avalia-se o Índice

de Desempenho Técnico das mesmas, a partir de cada especificações de projeto definidas na fase de projeto conceitual. Concluiu-se que a Concepção Alternativas II do sistema de acionamento de comporta, Figura 15, com um IDT de 858,3 é plenamente viável para ser o encaminhado para a fase de projeto preliminar para o dimensionamento técnico e financeiro da concepção.

Como perspectiva para trabalhos futuros, pretende-se:

Aplicar as metodologias de projeto em todo o Processo de projeto do produto, focando nas fases de Projeto preliminar e Projeto Detalhado com o intuito de otimizar ainda mais a concepção e viabilizar a implementação do sistema no perímetro;

Modelar as concepções alternativas propostas em sistemas CAD 3D para avaliação estrutural e comportamental dos mecanismos do sistema de acionamento;

Montar protótipos em laboratório e avaliar o desempenho dos sistemas de controle das concepções alternativas propostas.

## 11 Referências

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

BAXTER, Mike, **Projeto de Produto: guia prático para design de novos produtos**. São Paulo: Blucher, 2011.

Brasil Escola:

<<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/atividades-que-mais-consomem-agua.htm>>/. Acesso em: 05 maio. 2022.

BOSH REXROTH, **Compact power modules DL series**. Disponível em:<[https://www.boschrexroth.com/en/web/xc/myrexroth/media-directory/-/document\\_library/view\\_document/](https://www.boschrexroth.com/en/web/xc/myrexroth/media-directory/-/document_library/view_document/)>. Acesso em: 01 maio. 2022.

FEITOSA, A. C. F. *et al.* **Desafios para a transferência de gestão dos perímetros públicos de irrigação**: proposta para a efetiva emancipação. [Brasília]: Ministério da Integração Nacional, 2014.

LIMA, J.E.F.W; FERREIRA, R.S.A; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. <http://www.ana.gov.br/usuarios/agropecuaria/main.htm> (2002).

MACINTYRE, Archibald Joseph, **Bombas e instalações de bombeamento**, Rio de Janeiro, Editora Guanabara, 1987.

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

PORCIÚNCULA, G.S., DAMÉ, R. C.F., TEIXEIRA-GRANDA, C.F.A.. **ESTUDO E AVALIAÇÃO DO PERÍMETRO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO DO ARROIO DURO,** Pelotas-RS, nov. 2019.

PORCIÚNCULA, G.S., STEFANELLO, G.. **PROPOSTA DE REVITALIZAÇÃO DO PERÍMETRO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO DO ARROIO DURO,** Pelotas-RS, nov. 2019.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos:** uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, R. S.. **Sistema de Automação e Acionamento de Infraestruturas de Elevadores de Nível para Perímetros de Irrigação.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Pelotas. Orientador: Gilson Simões Porciúncula.

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