

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**TARCÍSIO CLAUDIMIR ZANELLA**

**ANÁLISE HIDRÁULICA EM COMPORTAS PLÁSTICAS PARA USO EM  
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM POLITUBOS**

**Alegrete  
2024**

**TARCÍSIO CLAUDIMIR ZANELLA**

**ANÁLISE HIDRÁULICA EM COMPORTAS PLÁSTICAS PARA USO EM  
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM POLITUBOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dra. Fátima Cibele Soares

**Alegrete  
2024**

**TARCÍSIO CLAUDIOMIR ZANELLA**

**ANÁLISE HIDRÁULICA EM COMPORTAS PLÁSTICAS PARA USO EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO  
COM POLITUBOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Agrícola da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 21 de novembro de 2024.

Banca examinadora:

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fátima Cibéle Soares

Orientadora

(UNIPAMPA)

---

Prof. Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga

(UNIPAMPA)

---

Eng. Agríc. Luziele Oliveira de Oliveira



Assinado eletronicamente por **FATIMA CIBELE SOARES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/11/2024, às 11:31, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **Luziele oliveira de oliveira, Usuário Externo**, em 02/12/2024, às 14:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **PEDRO ROBERTO DE AZAMBUJA MADRUGA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/12/2024, às 17:13, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1611396** e o código CRC **2AE3E252**.

---

“Não é a quantidade de água aplicada à cultura, mas sim a quantidade de inteligência aplicada que determina o resultado da produção”.

Alfred Deaking

## RESUMO

No Brasil, embora a agricultura tenha papel essencial na economia do país, bem como uma função alimentar global, as áreas de cultivos irrigados, todavia não são absolutas, representando porcentagens que demonstram a necessidade de novos investimentos, estudos e implementações para um maior desempenho, expansão e aproveitamento das cultivares. O presente estudo visa analisar o comportamento da vazão em comportas plásticas em poli tubos para uso em irrigação superficial, desenvolvendo metodologia de fácil aplicação e descoberta de valores base. Salienta-se neste estudo, a existência e eficácia de uma abordagem inovadora, qual seja a de utilização de tubos com comportas, como método de distribuição de água em campos irrigados por sulcos em superfície, como também em sistemas de diques em nível, promovendo tanto a economia de água, como a sistematização do solo, com eficiência hídrica e irrigação de forma precisa. Por meio de metodologia realizada a campo, foram constatadas diversas soluções e dificuldades para utilização deste método de irrigação de forma prática, porém, com a descoberta de resultados satisfatórios, abrir-se-á novo horizonte para pesquisas sobre o tema. Além da metodologia simples e de fácil replicação, a criação de fórmulas para cálculo de área de abertura das comportas facilita a utilização do sistema. Em conjunto, foram encontrados valores médios satisfatórios para os coeficientes (Cv. de 0,93, Cd de 0,80 e Cc. de 0,86) demonstrando que as comportas plásticas apresentam aceitável desempenho, mostrando que o fluido passa de maneira eficiente e que a contração do jato está dentro dos limites esperados. Criando valores-base para diversas replicações da metodologia e estudos sobre o sistema de irrigação com comportas em politubos, como também o uso prático a campo.

Palavras-Chave: Irrigação, agricultura, tecnologia, politubos com comportas, cultivos irrigados, eficiência hídrica, práticas sustentáveis.

## ABSTRACT

In Brazil, although agriculture plays an essential role in the country's economy, as well as a global food function, the areas of irrigated crops are not absolute, representing percentages that demonstrate the need for new investments, studies and implementations for greater performance, expansion and use of cultivars. The present study aims to analyze the flow behavior in plastic gates in poly tubes for use in surface irrigation, developing an easy-to-apply methodology and discovery of base values. This study highlights the existence and effectiveness of an innovative approach, namely the use of tubes with gates, as a method of distributing water in fields irrigated by surface furrows, as well as in level dike systems, promoting both water saving, such as soil systematization, with water efficiency and precise irrigation. Through methodology carried out in the field, several solutions and difficulties were found to use this irrigation method in a practical way, however, with the discovery of satisfactory results, a new horizon for research on the topic will open up. In addition to the simple and easily replicated methodology, the creation of formulas for calculating the opening area of the gates facilitates the use of the system. Altogether, satisfactory average values were found for the coefficients ( $C_v$  of 0.93,  $C_d$  of 0.80 and  $C_c$  of 0.86) demonstrating that the plastic gates present acceptable performance, showing that the fluid passes efficiently and that the jet contraction is within expected limits. Creating base values for several replications of the methodology and studies on the irrigation system with polytubes gates, as well as practical use in the field.

Keywords: Irrigation, agriculture, technology, polypipes with floodgates, irrigated crops, water efficiency, sustainable practices.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Visão dianteira e traseira da comporta. ....	19
Figura 2: Visão frontal e traseira do corpo de comporta. ....	20
Figura 3: Visão frontal da rosca interna da comporta. ....	20
Figura 4: Visão frontal e traseira da tampa da comporta. ....	21
Figura 5: Introdução do perfurador na comporta. ....	21
Figura 6: Rosquear em sentido anti-horário a rosca interna. ....	22
Figura 7: Aplicação da comporta e demonstração de ângulo de perfuração. ....	22
Figura 8: Rosquear em sentido horário a rosca interna. ....	23
Figura 9: Retirada do aplicador. ....	23
Figura 10: Regulagem para uso ou fechamento do sistema. ....	23
Figura 11: Área de abertura apresentada em coloração. ....	24
Figura 12: Tampa da comporta, medidas em mm. ....	24
Figura 13: Ilustração de sistema proposto. ....	25
Figura 14: Área delimitada para realização do experimento e rede de drenagem. ....	25
Figura 15: Local nivelado para instalação do politubo. ....	26
Figura 16: Instalação do politubo (a) seguido de enchimento inicial do politubo sem pressão(b). ....	26
Figura 17: Ilustração da distribuição espacial dos níveis e aberturas do sistema proposto. ....	27
Figura 18: Introdução do manômetro de coluna. ....	27
Figura 19: Fixação do manômetro de coluna. ....	28
Figura 20: Placa de coordenadas em perpendicular a comporta. ....	29
Figura 21: Medição da vazão real. ....	30
Figura 22: Instalação de motobomba próximo ao reservatório. ....	31
Figura 23: Exemplo de fotografia para obtenção das coordenadas. ....	35
Figura 24: Gráfico de área de abertura em mm <sup>2</sup> (vertical) em relação a abertura da comporta em mm (horizontal). ....	36
Figura 25: Gráfico de área de abertura em mm <sup>2</sup> (vertical) x abertura da comporta (horizontal) variando de 0 a 14 mm. ....	37
Figura 26: Gráfico de área de abertura em mm <sup>2</sup> (vertical) por abertura da comporta (horizontal) variando de 14 a 42 mm. ....	37
Figura 27: Gráfico de área de abertura em mm <sup>2</sup> (vertical) x abertura da comporta (horizontal) variando de 42 a 54 mm. ....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de $Y_0$ e H. total em m por tratamento e por comporta. ....	33
Tabela 2: Valores de velocidade real e velocidade teórica em m/s por tratamento e por comporta. ....	33
Tabela 3: Porcentagem de redução da velocidade real em relação a velocidade teórica por tratamento. ....	34
Tabela 4: Valores das coordenadas X e Y em metros por tratamento e por comporta. ....	34
Tabela 5: Valores de vazão real e vazão calculada em $m^3/s$ por tratamento e por comporta. ....	35
Tabela 6: Porcentagem de redução da vazão real em relação a vazão calculada por tratamento. ....	36
Tabela 7: Valores médios por tratamento e média final. ....	39

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO. ....	09
2.	OBJETIVO. ....	11
2.1.	Objetivos específicos. ....	11
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. ....	12
3.1.	História. ....	12
3.2.	Irrigação de superfície. ....	15
3.3.	Politubos, definições e usos agrícolas. ....	17
3.4.	Comportas, definições e usos agrícolas. ....	19
3.4.1.	Partes moveis das comportas. ....	19
3.4.2.	Instalação das comportas no politubo. ....	21
4.	MATERIAIS E MÉTODOS. ....	24
4.1.	Local. ....	24
4.2.	Definição da área de vazão. ....	24
4.3.	Descrição metodologia para perda de carga em comportas. ....	25
5.	RESULTADOS. ....	33
6.	CONCLUSÃO. ....	41
7.	REFERÊNCIAS. ....	42

## 1. INTRODUÇÃO

A irrigação desempenha um papel fundamental na agricultura moderna, permitindo o fornecimento controlado e eficiente de água às plantas, segundo TESTEZLAF (2011) a irrigação compreende um conjunto de técnicas, formas ou meios utilizados para aplicar água artificialmente às plantas, buscando satisfazer suas necessidades específicas e visando a obtenção de uma produção próxima ao ideal.

Segundo FAO (2021), o uso global de terra e água para fins agrícolas ainda não atingiu seu ápice, todas as evidências indicam um crescimento gradual da produtividade agrícola, um rápido esgotamento da capacidade produtiva e a possível ocorrência de danos ambientais. Essa conjuntura levanta preocupações sobre a sustentabilidade e a necessidade de implementar práticas agrícolas mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

Neste contexto, a irrigação se apresenta como uma ferramenta indispensável para aumentar a produtividade, melhorar a qualidade dos cultivos e otimizar o uso dos recursos hídricos sendo “necessário enxergar a irrigação como uma ciência e não simplesmente como um equipamento” (TESTEZLAF, 2011, p. 4).

Com base no levantamento realizado pela ANA (2015), o Brasil possuía uma extensa área, de aproximadamente 29 milhões de hectares, com potencial para o uso de irrigação no ano de 2015. No entanto, apenas cerca de 5,8 milhões de hectares eram efetivamente irrigados, o que correspondia a apenas 20% desse potencial, revelando espaço significativo para o desenvolvimento e expansão da agricultura irrigada no país.

Já em 2021, de acordo com o IBGE (2021), a área de cultivo irrigada no Brasil aumentou para 8,2 milhões de hectares, representando um crescimento de aproximadamente 42% em relação aos dados anteriores, evidenciando novamente progresso considerável, ainda havendo um vasto potencial a ser explorado, indicando a necessidade de investimentos e estudos de técnicas para o uso sustentável da irrigação e a expansão dessa prática em território brasileiro.

Conforme apontado por ALI (2015), uma abordagem inovadora para o desenvolvimento da irrigação é a utilização de tubos com comportas como um novo método de distribuição de água em campos irrigados por sulcos em superfície. Essa estratégia tem como objetivo principal promover a economia de água, sendo impulsionada pela introdução no mercado nacional de outras duas tecnologias

associadas: a sistematização do solo com declividade variada e o uso de politubos para a irrigação (EMBRAPA, 2015).

Ressaltado por Ali (2015), o uso de politubos com comportas na irrigação visa oferecer benefícios significativos em termos de eficiência hídrica, permitindo distribuição mais precisa e controlada da água ao longo dos sulcos, evitando perdas excessivas por evaporação ou escoamento excedente.

Essa visão é difundida também pela EMBRAPA (2015) ao reconhecer o potencial dos politubos com comportas para aprimorar a eficiência hídrica na irrigação, ressaltando a aplicação precisa e controlada da água próxima às raízes das plantas, reduzindo as perdas por evaporação e permitindo aproveitamento mais sustentável dos recursos hídricos disponíveis ao evitar o desperdício e direcionar a água de forma estratégica.

Diante da crescente necessidade de tecnologia na área de irrigação, especialmente no que diz respeito à irrigação de superfície, o controle do fluxo de água nos talhões/sulcos, torna-se fundamental. Assim a condução de estudos hidráulicos sobre vazão e perda de carga em comportas plásticas em politubos, contribui para o desenvolvimento de práticas mais avançadas e adaptadas às demandas modernas da agricultura irrigada.

## **2. OBJETIVO**

Analisar o comportamento hidráulico do escoamento em politubos com comportas plásticas utilizados em sistemas de irrigação superficial de sulcos.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Determinar fórmula(s) para cálculo da área de abertura da comporta em função da altura de abertura vertical.
- Mensurar os coeficientes de contração (cc), coeficiente de velocidade (cv) e coeficiente de descarga (cd), para diferentes cargas manométricas, diferentes aberturas de comporta e seu comportamento ao longo da tubulação.
- Desenvolver formulação para vazão com relação a área de abertura aplicada a comporta plástica.
- Obter a vazão em sistema com mais de uma comporta, e observar possíveis comportamentos no sistema.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. História**

A história da irrigação está intrinsecamente ligada à história da agricultura e à prosperidade econômica de inúmeros povos, conforme destacado por DAKER (1988) “as antigas civilizações se originaram em regiões áridas, onde era necessário o uso da irrigação para viabilizar a produção agrícola”.

De acordo com MAZOYER (1933), há mais de 6000 anos surgiram as primeiras inserções de cultivos com o auxílio da irrigação, “inicialmente esses sistemas eram rudimentares e dependiam principalmente das cheias naturais em áreas já saturadas de água”.

Um exemplo notável era o cultivo de arroz em regiões da Índia, Ásia com monções e China Meridional, nessas áreas, o arroz era cultivado em terrenos naturalmente submersos e posteriormente em superfícies artificiais, criando pequenas bacias delimitadas por diques distribuídos no terreno ajustando-se às variações do nível da água (MAZOYER, 1933).

Esses avanços na prática da irrigação contribuíram significativamente para o desenvolvimento da agricultura em regiões com recursos hídricos limitados, a irrigação permitiu que cultivos importantes, como o arroz, fossem cultivados em áreas anteriormente consideradas inadequadas para a produção agrícola, impulsionando a segurança alimentar e o crescimento econômico das civilizações, conforme evidenciado por Mazoyer (1933).

Conforme ressalta MAZOYER (1933), os cultivos irrigados poderiam ser praticados em diferentes estações conforme o manejo adotado, acompanhada de uma variedade maior de espécies cultivadas.

Na América, a civilização Olmeca, que se desenvolveu há aproximadamente 3500 anos, desempenhou um papel importante na introdução das primeiras formas de irrigação na América Central. Como apontado por MAZOYER (1933), juntamente com o surgimento dessa civilização, também surgiram as primeiras cidades sagradas, as primeiras formas de escrita e as primeiras técnicas de irrigação.

Registros indicam a existência de sistemas de irrigação na região há cerca de 3000 anos, localizados nas partes baixas dos vales. Nesses sistemas, a água era

conduzida de forma natural através do caimento do terreno, com o auxílio de estruturas de pedra e valas para direcionar a água proveniente dos picos das colinas, permitindo o uso eficiente da água para a agricultura (MAZOYER, 1933).

Além disso, aproximadamente 1300 anos atrás, ocorreram as primeiras formações de civilizações nos altos vales dos Andes, nessas regiões, a água era direcionada através de desvios nos leitos dos rios, redirecionando-a para as áreas mais baixas. Em seguida, era utilizada em microbacias de inundação formadas por muros de pedra que além de reter e guiar a água, também evitavam o assoreamento do solo, contribuindo para uma irrigação mais eficiente e sustentável (MAZOYER, 1933).

No contexto brasileiro, um marco importante para o desenvolvimento da irrigação ocorreu em 1979, com a promulgação da Lei 6.662 de 25 de junho de 1979 (BRASIL, 1979). Também conhecida como Lei de Irrigação, essa legislação estabeleceu a Política Nacional de Irrigação estabelecendo os princípios, diretrizes e instrumentos necessários para o fomento e o desenvolvimento da irrigação no Brasil.

A partir da implementação da Política Nacional de Irrigação, o governo brasileiro passou a incentivar e apoiar a expansão da irrigação, reconhecendo-a como uma ferramenta estratégica para o aumento da produção agrícola, a segurança alimentar e o desenvolvimento rural.

Sendo esta revogada pela lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013 (BRASIL, 2013), a qual surgiu para aprimorar e promover o desenvolvimento dos projetos de irrigação sem os obstáculos da antiga legislação e focando na sustentabilidade ambiental.

Conforme destacado por MAIER (2013), a Política Nacional de Irrigação (PNI) no Brasil é fundamentada em alguns pressupostos essenciais, um desses pressupostos é o reconhecimento da primazia da iniciativa privada, o que implica em uma limitação da intervenção estatal na promoção e desenvolvimento da irrigação.

A PNI busca incentivar a participação do setor privado, reconhecendo-o como um agente fundamental no desenvolvimento da irrigação no país (MAIER, 2013). Isso significa que o Estado assume um papel subsidiário, atuando como facilitador e promotor de parcerias entre o setor público e o setor privado buscando fomentar a

colaboração entre os diferentes atores envolvidos, promovendo a eficiência e a sustentabilidade na implementação de projetos de irrigação.

Nas últimas quatro décadas, o setor agrícola brasileiro registrou um crescimento expressivo, superando a média mundial e consolidando o país como uma potência agropecuária. Essa expansão foi impulsionada pelo aumento da produtividade, adoção de tecnologias avançadas e políticas governamentais favoráveis ao setor (IBGE, 2021).

Em resultado desse progresso, o Brasil alcançou posições de destaque no cenário internacional, em 2020, o país se tornou o maior exportador mundial de produtos como café, açúcar, suco de laranja, carne bovina e carne de frango, além disso, o Brasil se posicionou como o segundo maior exportador de milho e soja, abrangendo não apenas os grãos, mas também farelo e óleo. A presença marcante nos mercados globais de carne suína e algodão também demonstra a importância do país no comércio internacional desses produtos (MOTA; CONTINI, 2019).

A agricultura brasileira tem se destacado não apenas no mercado financeiro global, mas também como um setor comprometido com a sustentabilidade ambiental, têm-se adotado cada vez mais tecnologias e práticas voltadas para a redução do impacto ambiental e o uso eficiente dos recursos naturais (RODRIGUES, 2020).

Para alcançar um modelo agrícola sustentável, é fundamental adotar uma abordagem holística que considere não apenas a inovação tecnológica, mas também os aspectos econômicos, sociais e ambientais da produção agrícola. Isso requer um esforço conjunto de todos os envolvidos, visando a proteção dos recursos naturais, a conservação dos biomas e a promoção de um sistema alimentar mais equitativo e sustentável (SATURNINO, 2017).

Dada a extensão territorial do Brasil e suas condições climáticas favoráveis, o país possui um enorme potencial de crescimento na agricultura irrigada. A expansão desse setor é estratégica não apenas para impulsionar a produção agrícola, mas também para garantir a segurança alimentar e promover o desenvolvimento socioeconômico em diferentes regiões do país (OLIVEIRA et al., 2021).

### **3.2. Irrigação de superfície**

O termo "irrigação de superfície" refere-se a uma ampla classe de sistemas de irrigação em que a água é distribuída sobre o campo por um fluxo de gravidade de superfície livre (Walker, Wynn R.; 2003). Um fluxo é introduzido em um ponto alto ou ao longo de uma borda alta do campo e pode cobrir o campo por fluxo terrestre, exigindo assim áreas sistematizadas com declividade em torno de 0 a 6% (BERNARDO et al., 2006).

A taxa de cobertura depende quase inteiramente das diferenças quantitativas entre a descarga de entrada e a infiltração acumulada. Os fatores secundários incluem a inclinação e o comprimento do campo, bem como a rugosidade da superfície (Walker, Wynn R.; 2003).

Os sistemas de sulcos são utilizados para direcionar o fluxo de água, principalmente em práticas de irrigação. Os sulcos são criados no solo para permitir que a água seja distribuída de maneira eficiente, alcançando as raízes das plantas e evitando o desperdício de água.

Adaptando-se facilmente as culturas em fileiras, o sistema de irrigação por sulcos compreende a aplicação da água através de sulcos situados em paralelo às linhas de plantio, (SENAR), tendo como base derivar a água do canal ou sistemas de condução para os sulcos e assim controlar a vazão durante a irrigação.

Segundo DAKER (1988) a seção transversal do sulco ou a sua geometria aliada a profundidade do sulco estão ligadas diretamente a eficiência e adequabilidade do sistema, apresentando variação quanto ao relevo e a capacidade de infiltração da água.

Visando que nesse sistema a água infiltra no fundo e nas laterais do sulco (perímetro molhado) espalhando-se assim vertical e horizontalmente no solo (SENAR; 2019) proporcionando a umidade necessária, DAKER (1988) salienta que o espaçamento entre os sulcos vai estar ligado ao sistema radicular da cultivar e o perfil de umedecimento do solo, sendo estes imprescindíveis para escolher o sistema operacional mais adequado para a confecção do sistema.

Para obtermos melhores resultados de irrigação a velocidade da água e a vazão devem ser levadas em conta, sendo influenciadas diretamente pela declividade e o comprimento do sulco, DAKER (1988) recomenda declividades de 0,1% a 0,3 % para sistemas mais rudimentares, e declividades de 1% a 1,5% para sistemas com maior controle.

Podendo ser sulcos retos se o terreno assim permitir como também sulcos em declividade, onde os sulcos acompanham o declive do terreno, necessitando de uma maior expertise e tecnologia para construção destes, sulcos demasiadamente longos apresentam maior desuniformidade na irrigação com maiores índices de perda por percolação e evaporação.

Solos que permitem maior comprimento de sulco e declividade homogênea são economicamente mais viáveis, onde se encaixam as terras baixas, como são comumente chamadas as áreas de várzeas e áreas de baixadas, conhecidas por ter relevo plano e baixa capacidade de retenção de água.

As quais compreendem aproximadamente 4 milhões de hectares no estado do Rio Grande do Sul. (EMBRAPA, 2019) tendo aproximadamente 900 mil hectares sendo utilizados para produção de arroz irrigado, dentro destes valores apenas 4% são consorciados com outras culturas.

Sendo principalmente a produção de soja, já tendo valores expressivos de milho porém em menores volumes, isso dá-se pelo uso de técnicas de irrigação e drenagem as quais propiciam a produção em áreas com clima predominante seco nos verões com precipitações intensas e pontuais, causando assim estresse hídrico tanto pelo excesso quanto pela falta de água.

Nessas condições e dificuldades os sistemas de sulco-camalhão apresentam resultados satisfatórios atuando tanto de drenagem como de irrigação, pois o sistema oferece excelente drenagem superficial em tempo de chuvas intensas, e permite a irrigação por sulco em época de estiagem (EMBRAPA, 2019).

Os sistemas de sulcos podem ser combinados com técnicas de manejo do solo, como a construção de terraços ou diques em níveis, para melhorar ainda mais a eficiência da irrigação. Essas práticas ajudam a reduzir a erosão do solo, melhoram a

uniformidade da distribuição de água e aumentam a capacidade de retenção de umidade nas áreas de cultivo.

A irrigação por diques em níveis, comumente conhecida como inundação permanente, baseia-se em inundar um terreno dividido em parcelas já preestabelecidas com declives com menos de 1% (DAKER, 1988), formadas entre duas curvas de nível com diferença de 5 a 12 cm, tendo quanto mais nivelado o terreno maior as distâncias entre curvas de nível.

Levando em conta sempre a necessidade de lâmina de água da cultura, tendo a condução de água por meio de declive de um dique para outro, a lâmina de água é mantida nos tabuleiros, por meio da aplicação de uma vazão pequena e contínua, repondo apenas o que foi perdido ou utilizado pelas plantas mantendo sempre que possível lâmina constante.

Com o objetivo de facilitar a condução de água até os diques e sulcos, foi desenvolvido o sistema de politubos, o qual consiste em uma tubulação flexível que permite a distribuição controlada da água armazenada, garantindo a condução precisa e eficiente da água armazenada nos reservatórios até as áreas de cultivo reduzindo perdas e conseqüentemente aumentando a eficiência da irrigação.

### **3.3. Politubos, definições e usos agrícolas:**

Os politubos são utilizados em sistemas de irrigação por inundação, compostos por tubos de polietileno de coloração branca ou preta, “eles são amplamente utilizados na irrigação de culturas como o arroz irrigado e a soja em áreas de várzea” (PIMENTA, 2017).

No entanto, é importante destacar que a irrigação por superfície, incluindo o uso de politubos, pode apresentar alguns desafios e problemas. Conforme mencionado por ALI (2015), “o encharcamento e a baixa eficiência de aplicação são problemas comuns associados a esse tipo de irrigação”.

O encharcamento refere-se ao acúmulo excessivo de água no solo, o que pode levar a problemas como a saturação do solo e a falta de oxigenação adequada das raízes das plantas. Isso pode afetar negativamente o desenvolvimento das culturas e causar prejuízos à produção.

Além disso conforme AMER (K.H. 2007 apud Ali; 2015), a eficiência da aplicação de água é outro aspecto importante a ser considerado na irrigação de superfície referindo-se à capacidade do sistema de irrigação em distribuir uniformemente a água sobre a área irrigada, evitando perdas desnecessárias. Uma distribuição incorreta de água pode resultar em áreas excessivamente irrigadas e outras sub-irrigadas, afetando o crescimento e o rendimento das plantas.

A dificuldade de controle na quantidade de água aplicada nos sulcos é um dos desafios enfrentados nesse método de irrigação com auxílio de politubos (ALI, 2015), sendo necessário monitorar constantemente a taxa de fluxo da água e realizar ajustes manuais nas comportas ou válvulas de entrada para garantir uma irrigação adequada, a falta de controle preciso pode levar a problemas como o excesso ou a falta de água nas plantas.

Além disso, a falta de controle preciso também pode afetar a uniformidade da distribuição de água nos sulcos, áreas com fluxo de água mais rápido podem receber uma quantidade excessiva de água, enquanto áreas com fluxo mais lento podem ser sub-irrigadas. Isso resulta em uma distribuição desigual de água no campo, afetando a homogeneidade do crescimento das plantas.

Já no caso dos tubos ou politubos equipados com comportas ajustáveis, eles são utilizados para transportar a água do canal principal até o sulco de irrigação, possuem comportas que podem ser ajustadas manualmente para controlar a vazão de entrada de água nos sulcos, ao regular a abertura das comportas, é possível determinar a quantidade de água que flui para os sulcos, permitindo um controle mais preciso da irrigação (BERNARDO et al., 2006).

A manutenção da pressão e da vazão constantes dentro do sistema de irrigação por sulcos pode apresentar desafios significativos, a existência de variações na pressão do sistema pode afetar negativamente o desempenho da irrigação, resultando em uma distribuição irregular da água nos sulcos e, conseqüentemente, em problemas de crescimento e rendimento das plantas.

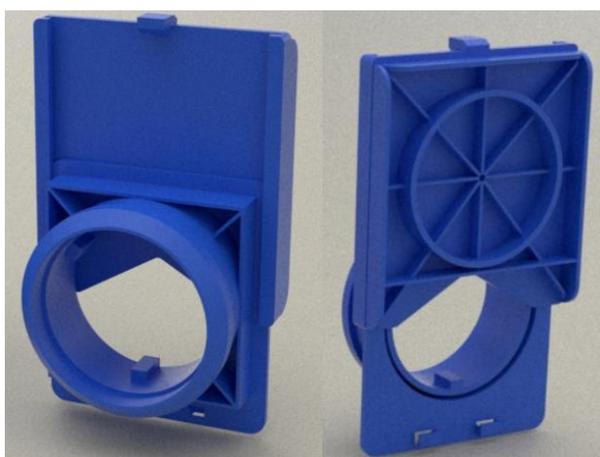
Outra estratégia importante é a calibração e ajuste dos dispositivos de controle, como comportas, válvulas e reguladores de pressão, esses elementos devem ser adequadamente calibrados e ajustados conforme necessário para garantir a pressão

e a vazão desejadas (PESSA, 2006). Realizar verificações e ajustes periódicos nesses dispositivos ajudará a manter a estabilidade do sistema de irrigação.

### 3.4. Comportas, definições e usos agrícolas

Desenvolver a irrigação de superfície usando tubos com comportas é um novo método a ser usado para distribuir água em campos irrigados por sulcos como estratégia baseada na economia de água (ALI, 2015). Sendo comportas de plástico ajustáveis que podem ser inseridas no politubo para equilibrar os fluxos nas linhas, com a finalidade de melhorar a uniformidade da irrigação no sulco (figura 1).

A sua ancoragem em politubos apresenta segurança sem apresentar vazamentos se bem operada. A sua capacidade de regulação da abertura, através de uma tampa deslizante, permite variar a quantidade de água fornecida em cada ranhura. Sendo fabricados com polímeros especialmente formulados para obter grande durabilidade contra raios UV e outros fatores climáticos (P&R ARGENTINA S.A., 2022).



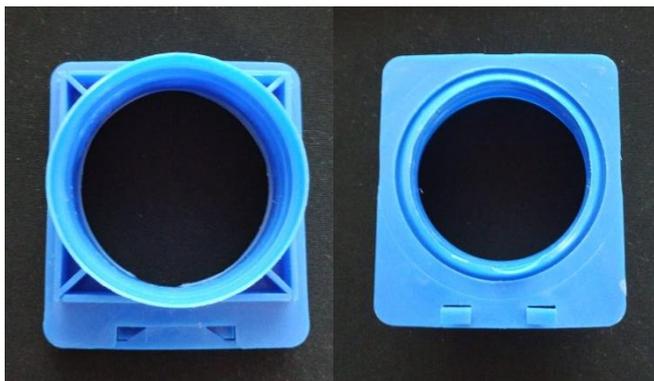
**Figura 1:** Visão dianteira e traseira da comporta.

Adaptado de P&R ARGENTINA S.A. (2022).

#### 3.4.1. Partes moveis das comportas:

Corpo:

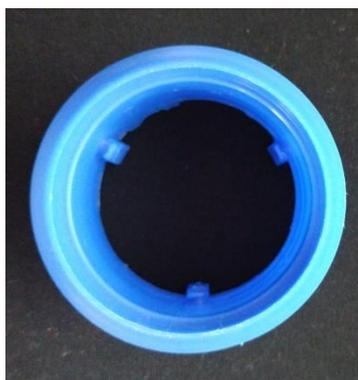
Formado por polímeros apresenta-se em formato quadrado como demonstrado na figura 2, tendo a parte traseira em formato circular ao qual permite o acoplamento no politubo. No seu interior vazado por onde passa a água possui rosca para acoplamento da rosca interna.



**Figura 2:** Visão frontal e traseira do corpo de comporta. O autor.

Rosca interna:

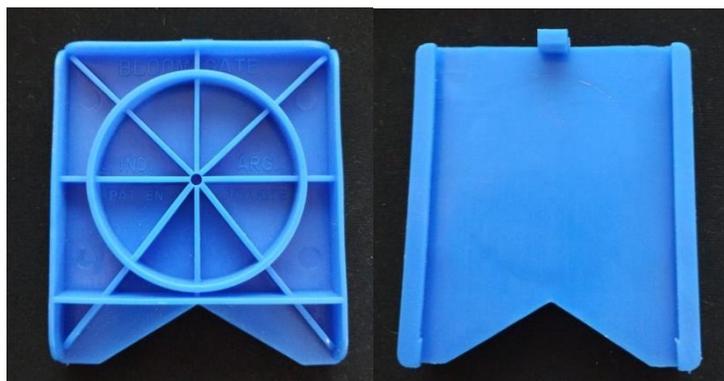
Auxilia na fixação da comporta no politubo e permite regulagem do aperto e posição do restante do corpo, tendo em seu interior dimensão de 50 mm por onde passa a água conforme figura 3. Possui ainda três pontos de apoio em seu interior que servem de guia para o furador.



**Figura 3:** Visão frontal da rosca interna da comporta. O autor.

Tampa:

Em formato quadrado e apresenta abertura em triangulo na parte inferior por onde através do deslocamento para cima regula a abertura do sistema conforme figura 4.



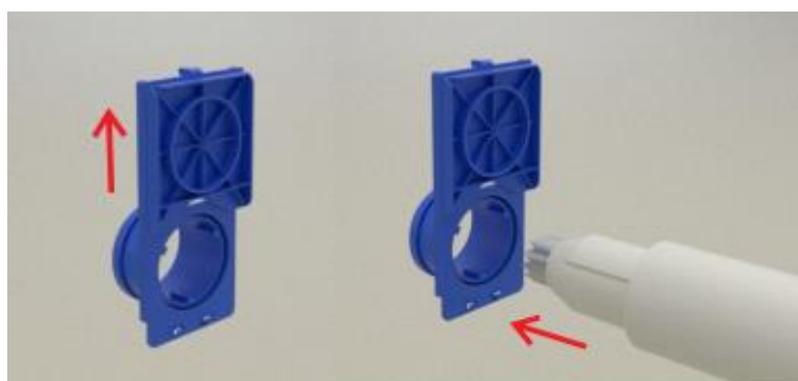
**Figura 4:** Visão frontal e traseira da tampa da comporta. O autor.

### 3.4.2. Instalação das comportas no politubo:

Com o politubo já esticado e cheio pode-se começar a aplicar-se as comportas conforme a distribuição do sistema predefinido. Podendo ser dividido em 5 passos a instalação:

1º passo: Encaixe do perfurador.

Com a comporta toda aberta se introduz o perfurador em seu interior seguindo a disposição dos guias internos. O perfurador é composto de polímeros com formato circular e ponta com lâminas que perfuram o politubo permitindo a aplicação da comporta demonstrado na figura 5.

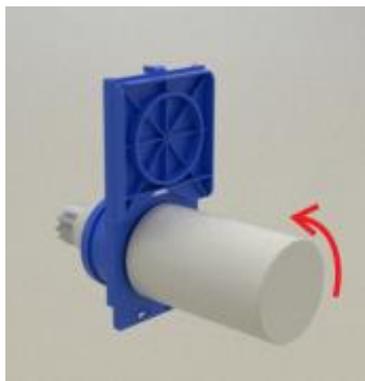


**Figura 5:** Introdução do perfurador na comporta.

Adaptado de P&R ARGENTINA S.A. (2022).

2º passo: aflouzar a rosca interna.

Com o auxílio do perfurador aflouza-se a rosca interna para que após a aplicação no politubo realiza-se aperto para melhor fixação do sistema demonstrado na figura 6.

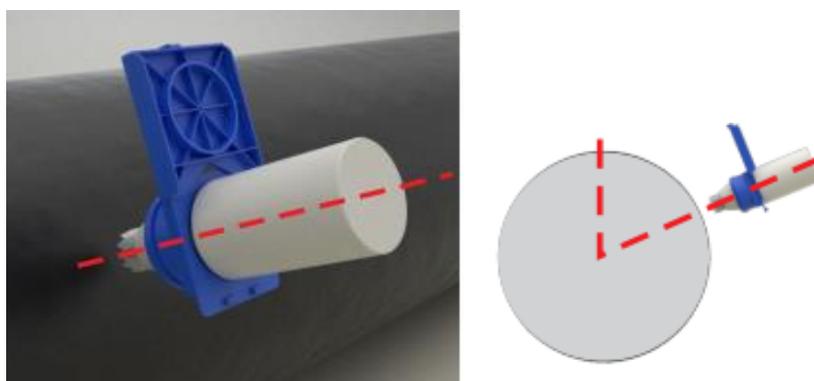


**Figura 6:** Rosquear em sentido anti-horário a rosca interna.

Adaptado de P&R ARGENTINA S.A. (2022).

3º passo: Aplicação da comporta no politubo.

Com o politubo já cheio faz-se a aplicação da comporta em sua lateral respeitando a inclinação preferencial de  $40^\circ$  a  $55^\circ$  em relação a parte superior, podendo esta inclinação for mudada em pré-projeto para melhor aproveitamento demonstrado na figura 7.

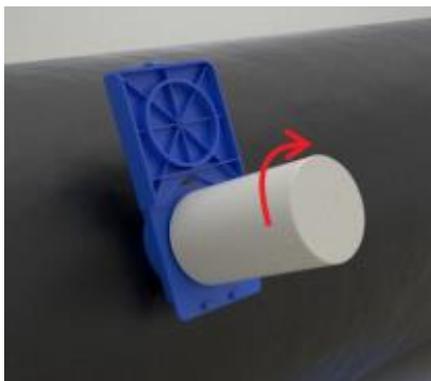


**Figura 7:** Aplicação da comporta e demonstração de ângulo de perfuração.

Adaptado de P&R ARGENTINA S.A. (2022).

4º passo: Aperto da comporta e regulagem de posição.

Caso a comporta não fique exatamente na posição pretendida em relação a rotação em seu eixo, pode-se fazer uma pequena regulagem e após aperta-se a comporta para melhor fixação e vedação, demonstrado na figura 8.

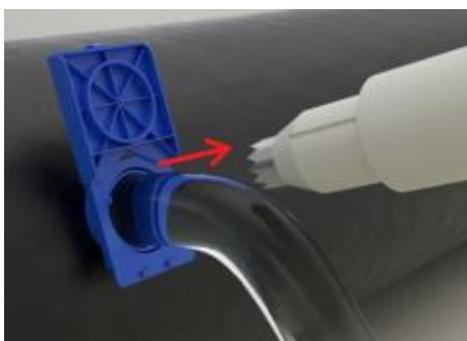


**Figura 8:** Rosquear em sentido horário a rosca interna.

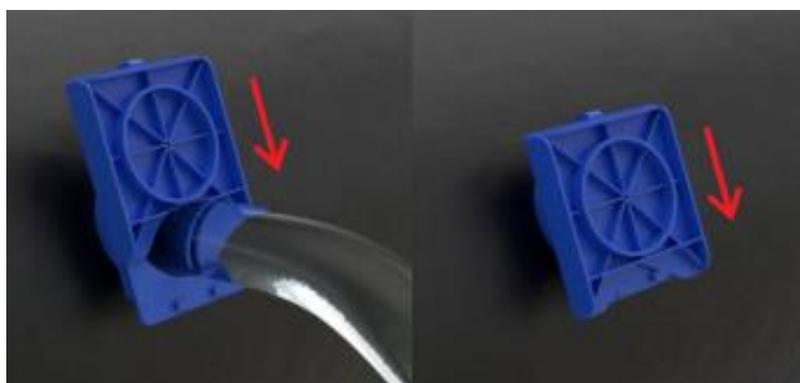
Adaptado de P&R ARGENTINA S.A. (2022).

5º passo: Finalização.

Tendo-se apertado a comporta no politubo pode-se remover o aplicador (figura 9) e assim utilizar a comporta como estabelecido em pré-projeto demonstrado na figura 10.



**Figura 9:** Retirada do aplicador. Adaptado de P&R ARGENTINA S.A. (2022).



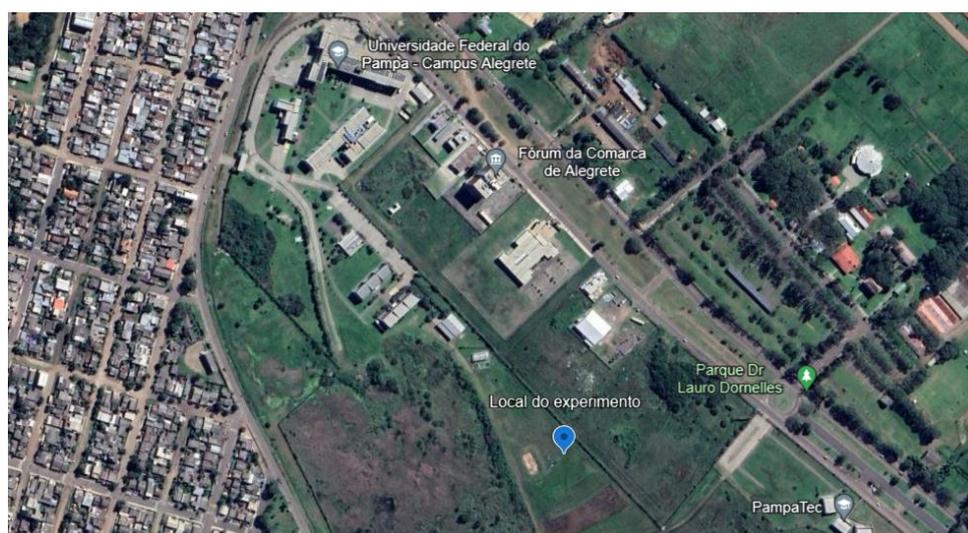
**Figura 10:** Regulagem para uso ou fechamento do sistema.

Adaptado de P&R ARGENTINA S.A. (2022).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Local:

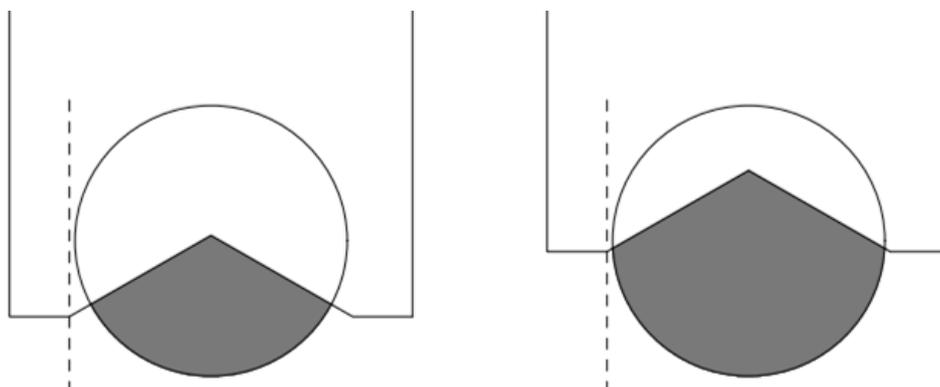
Para realização do experimento foi utilizado o laboratório de hidráulica em conjunto com a área experimental da Universidade Federal do Pampa-Campus Alegrete, localizado no município de Alegrete, no estado do Rio Grande do Sul, nas coordenadas geográficas  $29^{\circ} 47'$  (latitude) e  $55^{\circ} 46'$  (longitude) e a 91 m em relação ao nível do mar.



**Figura 11:** Área de realização do experimento.

### 4.2. Definição da área de vazão:

Usando por meio da ferramenta computacional AutoCAD®, foi calculado, para aberturas de 2 mm em 2 mm, a área de vazão presente em cada abertura, como demonstrado na figura 12, possibilitando o cálculo de forma rápida e precisa, formando uma sequência confiável de valores.

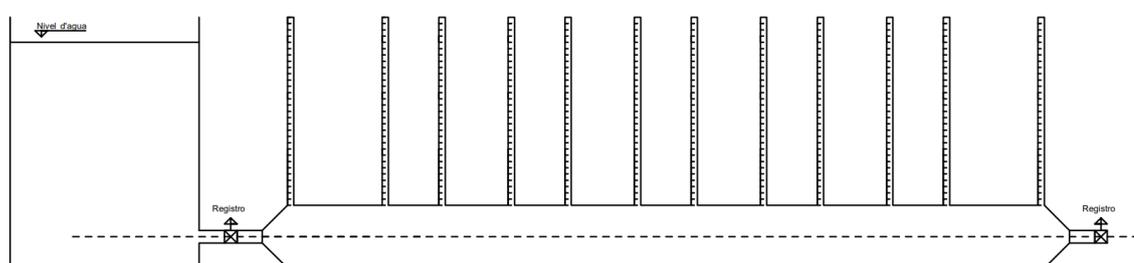


**Figura 12:** Área de abertura apresentada em coloração. O autor.

### 4.3. Descrição metodologia para perda de carga em comportas:

Com a finalidade de obter os parâmetros necessários para validar o experimento, particularmente os coeficientes: coeficiente de descarga ( $c_d$ ), coeficiente de contração ( $c_c$ ) e coeficiente de velocidade ( $c_v$ ), foi montado o sistema ilustrado na figura 13. Esse sistema consiste em um reservatório de água com quantidade suficiente para conduzir o experimento, uso de 5 comportas instaladas ao longo do politubo.

Tendo comprimento de 6,5 m, onde será instalado dois registros para controle de fluxo: um instalado na entrada de água ao politubo e outro na saída, com desnível de 0 metros entre os registros. Além de 12 tubos piezométricos distribuídos em todo o sistema.



**Figura 13:** Ilustração de sistema proposto. O autor.

Para realização deste experimento foi demarcada área de 2,7m x 7m, aproximadamente 19m<sup>2</sup>, onde foi retirada a vegetação existente e criado o sistema de drenagem necessário para não haver acúmulo de água ao redor do experimento, como demonstrado na figura 14.



**Figura 14:** Área delimitada para realização do experimento e rede de drenagem.

O autor.

Sendo necessário nivelar o local onde o politubo foi instalado como demonstrado na figura 15, além de nivelamento da base, foi colocada camada adicional de areia para facilitar o nivelamento e formar uma “cama”, facilitando a acomodação do politubo e toda a estrutura necessária.



**Figura 15:** Local nivelado para instalação do politubo. O autor.

Após finalizada o preparo da área do experimento, foi realizada a instalação do politubo sobre a cama (figura 16), tendo em uma extremidade a entrada de água, e na outra extremidade foi realizada a amarração do politubo a fim de evitar a perda de água, podendo ser enchido o sistema com água sem pressão.

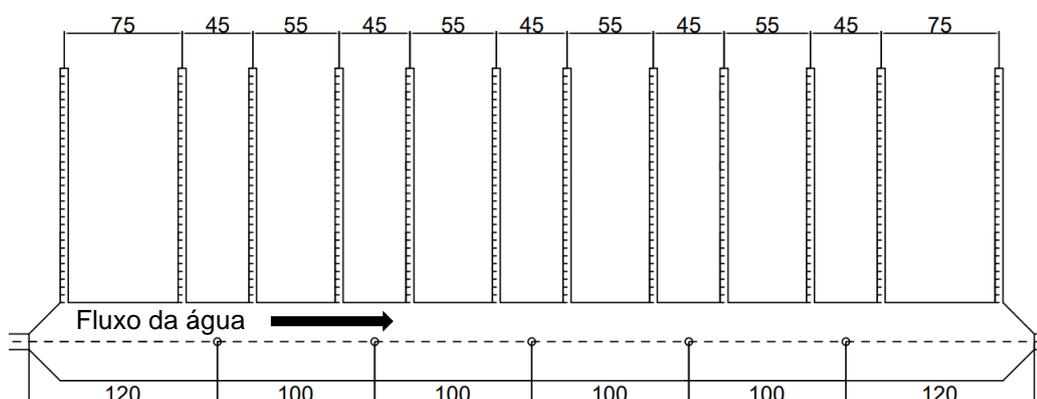


**Figura 16:** Instalação do politubo (a) seguido de enchimento inicial do politubo sem pressão(b). O autor.

Seguido da introdução das 05 comportas no sistema, respeitando espaçamento de 1m entre centros, sendo utilizado o perfurador, para introdução das comportas no sistema, o politubo estava cheio com baixa pressão no sistema.

Para averiguação da pressão em cada ponto do sistema foi instalado o total de 12 manômetros de coluna de líquido conforme ilustrado na figura 17, sendo o primeiro instalado logo após a entrada de água no sistema, onde o politubo não apresentou deformações no seu formato devido a tubulação de entrada ser de diâmetro reduzido.

Os demais níveis foram distribuídos respeitando a distância de 20 cm, da borda da abertura máxima interna da comporta, até o centro da abertura do nível, um sendo instalado 20 cm antes e outro 20 cm após.



**Figura 17:** Ilustração da distribuição espacial dos níveis e aberturas do sistema proposto. O autor.

Cada manômetro de coluna foi confeccionado de mangueira transparente de  $\frac{1}{4}$  pol, com 1,5m de comprimento cada mangueira, fixadas em adaptador interno de irrigação de  $\frac{1}{2}$  pol, podendo assim ser introduzido na parte superior do politubo como demonstrado na figura 18, sendo apenas necessário um pequeno orifício no politubo e sua inserção em  $90^\circ$  para realizar a vedação.



**Figura 18:** Introdução do manômetro de coluna. O autor.

Para monitoramento do nível apresentado no manômetro de coluna de água, foi realizada a inserção de estacas em paralelo ao sistema, usadas para sustentação da mangueira transparente e fixação da fita métrica para leitura do nível (figura 19).



**Figura 19:** Fixação do manômetro de coluna. O autor.

A velocidade teórica foi definida com o uso da equação (1):

$$V_t = \sqrt{2gH} \quad (1)$$

Onde:

$V_t$ = velocidade teórica.  
 $g$ = aceleração da gravidade.  
 $H$ = altura média.

Em conjunto com a velocidade teórica, foi calculado a vazão ideal, ou seja, a vazão calculada sem perdas (PORTO, 2006), a qual é representada pela equação (2):

$$Vazão\ calculada = A\sqrt{2gH} \quad (2)$$

Onde:

A= área do orifício.

g= aceleração da gravidade.

H= altura média.

Com diferentes aberturas ocorre o deslocamento do centro do jato, a altura da base até o centro do orifício foi descontada do nível manométrico total sobre a comporta, a velocidade real por sua vez foi definida para cada comporta por meio do método das coordenadas (PORTO, 2006), o qual consiste em definir as coordenadas no eixo X horizontal, e eixo Y vertical, do jato de água proveniente das comportas, representado na equação (3):

$$V = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{1}{Hy}} \quad (3)$$

Onde:

V= Velocidade real.

x= posição horizontal.

y= posição vertical.

H= altura média.

Para obtenção das coordenadas X e Y, foi confeccionado cinco placas graduadas em 5mm, sendo composta de malha impressa com proteção plástica para não ser danificada pela água, e fixada perpendicularmente a saída de água conforme a figura 20.



**Figura 20:** Placa de coordenadas em perpendicular a comporta. O autor.

Com a definição da velocidade real e a velocidade teórica, foi realizado o cálculo de coeficiente de velocidade  $C_v$  (PORTO, 2006), através da relação apresentada na equação (4):

$$C_v = \frac{V}{V_t} \quad (4)$$

Onde:

$C_v$ = coeficiente de velocidade.

$V$ = Velocidade real.

$V_t$ = Velocidade teórica.

Para obtenção dos valores de vazão foi utilizado recipiente graduado e cronômetro (figura 21), anotando-se a quantidade de líquido (l) e o tempo (s) necessário para completar aproximadamente 75% do recipiente, obtendo-se a vazão real para cada abertura em cada comporta.



**Figura 21:** Medição da vazão real. O autor.

Com a definição da vazão real foi definido o coeficiente de descarga  $C_d$ , utilizando-se da relação da vazão real dividida por vazão calculada, podendo assim ser definido o coeficiente de contração  $C_c$ , dificilmente obtido experimentalmente devido a determinação da área de seção contraída a campo necessitar de instrumentos específicos (PORTO, 2006), com isso foi adotado o valor de  $C_c$  calculado por meio da equação (5):

$$C_c = \frac{C_d}{C_v} \quad (5)$$

Onde:

$C_c$ = coeficiente de contração.

$C_d$ = coeficiente de descarga.

$C_v$ = coeficiente de velocidade.

Tendo o sistema totalmente instalado e testado, foi encontrada dificuldade em manter pressão suficiente no sistema para a realização das repetições preestabelecidas para validação do sistema. Visto que com a abertura das comportas ocorria uma brusca redução na pressão interna, impossibilitando a abertura com níveis de pressão satisfatórios.

Sendo assim necessário o uso de motobomba auxiliar para aumento da pressão interna do sistema, sendo escolhida o uso de motobomba a combustão instalada no

sistema na saída do reservatório de água (figura 22), composta por sistema de sucção instalado sobre o reservatório com entrada lateral na bomba, e saída pela parte superior do rotor da bomba.



**Figura 22:** Instalação de motobomba próximo ao reservatório. O autor.

Conseguindo assim elevação na pressão interna do sistema, possibilitando a realização do experimento proposto, porém ainda sem pressão e vazão suficiente para averiguação da vazão e perda nas 05 comportas, tendo uma reestruturação nos tratamentos e repetições para se adequar ao sistema de forma pratica.

Devido ao aumento na pressão interna a comporta não conseguiu manter a estanqueidade necessária, tendo o máximo de pressão suportada em 0,83 m.c.a medida no sistema, impossibilitando testes acima dessa pressão, visto que com acréscimo e pressão ultrapassando 0,75 m.c.a o politubo sofria sérias deformações, as quais impossibilitavam a correta realização do experimento.

Tendo pressão segura para testes de até 0,7 m.c.a, onde a comporta conseguia manter a estanqueidade necessária sem apresentar deformações no politubo, ou vazamentos ao redor da área de fixação, de modo a possibilitar encontrar resultados satisfatórios com as condições apresentadas e possibilidades reais de desenvolvimento, assim foi definido os 04 tratamentos de análise.

O primeiro tratamento consiste na aplicação de abertura a uma única comporta igual a 26 mm, averiguando a pressão presente no sistema. O segundo tratamento consiste na utilização igualmente de uma única comporta, aplicando-se altura manométrica de entrada igual a 0,7 m.c.a, averiguando-se a abertura necessária em mm para chegar-se a essa pressão no sistema.

O terceiro tratamento utiliza duas comportas do sistema, sendo aplicado abertura a primeira comporta igual a 20 mm e 30 mm a segunda comporta, igualmente o quarto tratamento consiste na aplicação de abertura a primeira comporta igual a 10 mm e 20 mm a segunda comporta.

Para todos os tratamentos foi realizado 4 repetições, averiguando-se a pressão presente no sistema, anotando-se o nível manométrico representado em cada um dos manômetros, anotando-se a vazão nas comportas, e em conjunto, a fotografia de cada jato para cada repetição.

## 5. RESULTADOS:

Primeiramente foi coletado a campo os valores referentes a cada tratamento de teste, salientado que para cada condição foi realizada 4 repetições, subsequente foi realizado o tratamento sobre os valores encontrados, assim conseguido calcular os coeficientes necessários para a validação do experimento.

Seguidamente foi calculado os valores referentes a velocidade real e velocidade teórica, sendo necessário a altura de coluna de água em cada repetição para poder chegar-se ao valor final, a tabela 1 demonstra esses valores representado por “Yo” como desconto da altura em relação da base ao centro do jato e “H. total” a altura total de coluna de água.

**Tabela 1:** Valores de Yo e H. total em m por tratamento e por comporta.

(m)	Comporta 01		Comporta 02	
	Yo	H. total	Yo	H. total
1 Tratamento	0,15	0,65	-	-
2 Tratamento	0,147	0,7	-	-
3 Tratamento	0,145	0,46	0,13	0,37
4 Tratamento	0,14	0,6	0,14	0,41

Fonte: O autor

Sendo realizada a relação de “H. total” menos “Yo” para conhecer a real carga de coluna de água sobre o centro do orifício, altura esta usada também para a definição da vazão calculada para definição do Cd. Podendo assim calcular a velocidade teórica representada na tabela 2, em conjunto com a velocidade real.

**Tabela 2:** Valores de velocidade real e velocidade teórica em m/s por tratamento e por comporta.

Velocidade em m/s	Comporta 01		Comporta 02	
	Vel. real	Vel. Teórica	Vel. real	Vel. Teórica
1 Tratamento	2,73	3,13	-	-
2 Tratamento	3,01	3,29	-	-
3 Tratamento	2,29	2,49	2,16	2,17
4 Tratamento	2,96	3,00	2,71	2,83

Fonte: O autor

A Tabela 2 mostra a diferença entre a velocidade real e a teórica, enquanto a Tabela 3 quantifica essa diferença em porcentagem para cada valor específico, permitindo uma comparação clara entre o desempenho esperado e o desempenho efetivo, evidenciando a relação entre as velocidades real e teórica destacando o grau de redução em termos percentuais.

**Tabela 3:** Relação de redução da velocidade real em relação a velocidade teórica por tratamento.

	<i>Vel. Teórica/Vel. Real</i>	<i>Vel. Teórica/Vel. Real</i>
1 Tratamento	87,22 %	-
2 Tratamento	91,49 %	-
3 Tratamento	91,97 %	99,54 %
4 Tratamento	98,67 %	95,76 %

Fonte: O autor

Para cálculo da velocidade real pelo método das coordenadas é necessário a definição das coordenadas X e Y representadas na tabela 4, representadas em metros, como também faz-se uso da altura manométrica sobre o centro do orifício, para obtenção dos valores das coordenadas é necessário analisar a fotografia do jato coletada a campo (figura 23), e fazer a média das 4 repetições.

**Tabela 4:** Valores das coordenadas X e Y em metros por tratamento e por comporta.

(m)	Comporta 01		Comporta 02	
	X	Y	X	Y
1 Tratamento	0,29	0,056	-	-
2 Tratamento	0,35	0,066	-	-
3 Tratamento	0,26	0,062	0,23	0,057
4 Tratamento	0,32	0,058	0,27	0,049

Fonte: O autor



**Figura 23:** Exemplo de fotografia para obtenção das coordenadas. O autor.

Seguindo-se pelo cálculo da vazão do sistema, onde a tabela 5 apresenta os valores referentes a vazão real e a vazão calculada expressa em  $\text{m}^3/\text{s}$ , para cálculo da vazão real apenas foi necessário calcular a relação de água (l) pelo tempo (s) necessário para preencher aproximadamente 75 % do reservatório e posteriormente transformá-la para  $\text{m}^3/\text{s}$ .

**Tabela 5:** Valores de vazão real e vazão calculada em  $\text{m}^3/\text{s}$  por tratamento e por comporta.

Vazão em $\text{m}^3/\text{s}$	Comporta 01		Comporta 02	
	Vazão real	Vazão calculada	Vazão real	Vazão calculada
1 Tratamento	0,00157	0,00219	-	-
2 Tratamento	0,0014	0,0017	-	-
3 Tratamento	0,00055	0,00068	0,00083	0,00097
4 Tratamento	0,00034	0,00040	0,0010	0,0012

Fonte: O autor

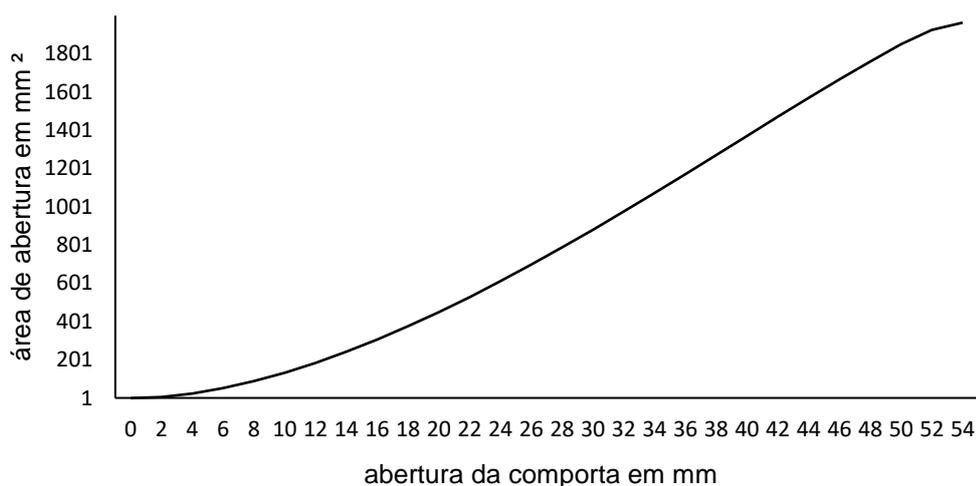
Em cada condição, observa-se uma redução na vazão real em comparação com a vazão calculada, sendo essa diferença apresentada na Tabela 6, que demonstra a relação entre elas em forma de porcentagem.

**Tabela 6:** Relação de redução da vazão real em relação a vazão calculada por tratamento.

	Vazão Calculada / Vazão Real	Vazão Calculada / Vazão Real
1 Tratamento	72,00 %	-
2 Tratamento	82,35 %	-
3 Tratamento	80,88 %	85,57 %
4 Tratamento	85,00 %	83,33 %

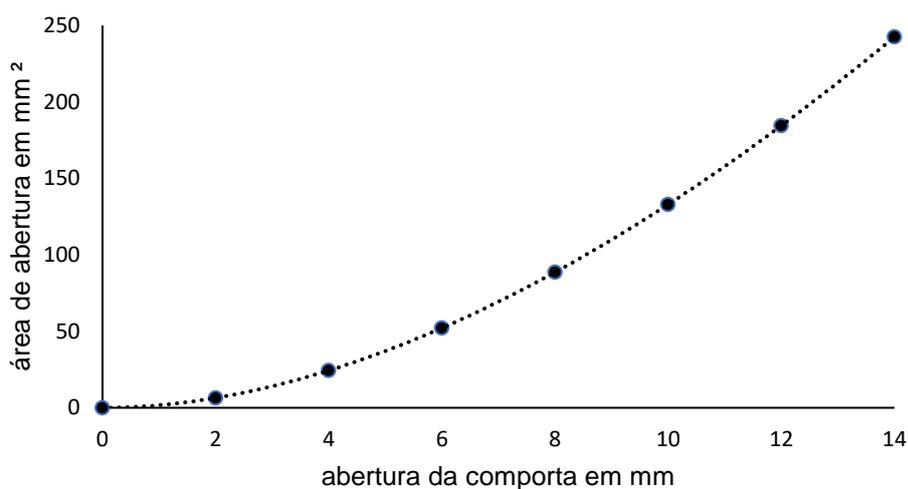
Fonte: O autor

Por sua vez a velocidade calculada é obtida através da relação da altura manométrica com relação a área de abertura da comporta, para definição da área de abertura da comporta foi confeccionado o gráfico representado na figura 24, onde apresenta a variação da área de abertura (mm<sup>2</sup>) pela abertura da comporta (mm).



**Figura 24:** Gráfico de área de abertura em mm<sup>2</sup> (vertical) em relação a abertura da comporta em mm (horizontal). O autor.

Para melhor representar o comportamento da variação da área em comparação com a abertura foi separada a curva apresentada no gráfico da figura 24, em três diferentes curvas representadas nas figuras 25, 26 e 27, os quais apresentam a relação área de abertura por abertura da comporta para cada segmento.



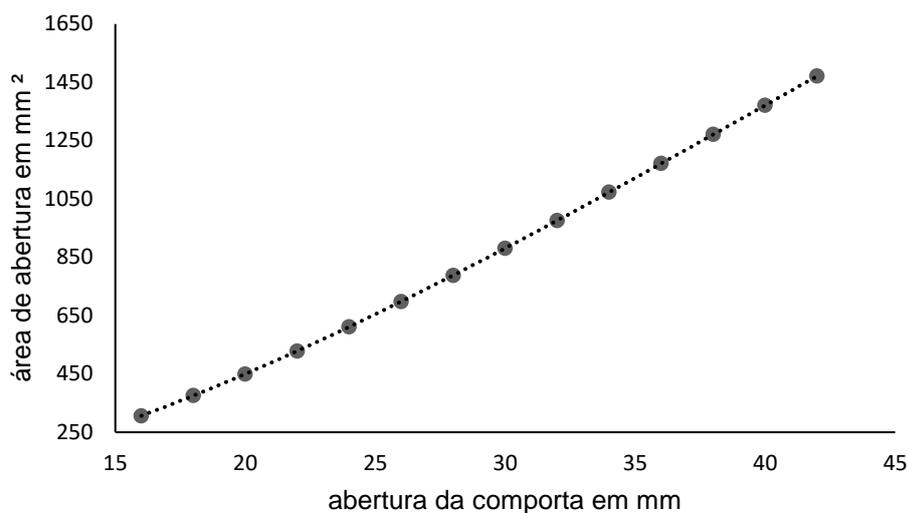
**Figura 25:** Gráfico de área de abertura em mm<sup>2</sup> (vertical) x abertura da comporta (horizontal) variando de 0 a 14 mm. O autor.

Na figura 25, apresenta a variação da área de abertura por abertura da comporta, na variação de 0 a 14 mm, tendo a linha de tendência apresentado um R<sup>2</sup> igual a 1, ou seja, a formulação atende fielmente a variação inicial, podendo assim ser utilizada para cálculo de área da abertura, representada pela equação (6):

$$0,000002X^6 - 0,0001X^5 + 0,0028X^4 - 0,0572X^3 + 1,7093X^2 + 0,019X - 0,00002 \quad (6)$$

Para cada formulação apresentada, o valor correspondente a X é expressado em mm, sendo a medida de abertura da comporta no centro, contando a abertura da parte inferior do corpo da comporta até o centro da abertura em formato triangular da tampa.

Na figura 26, apresenta a variação da área de abertura por abertura da comporta na variação de 14 a 42 mm, tendo a linha de tendência apresentado um R<sup>2</sup> igual a 1, ou seja, a formulação atende fielmente a variação inicial, podendo assim ser utilizada para cálculo de área da abertura, representada pela equação (7):

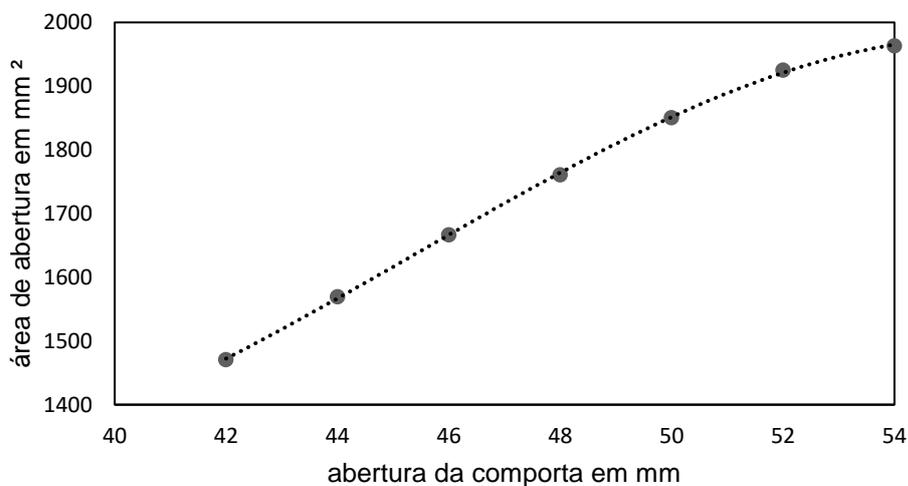


**Figura 26:** Gráfico de área de abertura em mm<sup>2</sup> (vertical) por abertura da comporta (horizontal) variando de 14 a 42 mm. O autor.

$$-0,0093X^3 + 1,1343X^2 + 4,1444X - 11,929 \quad (7)$$

Na figura 27, apresenta a variação da área de abertura por abertura da comporta na variação de 42 a 54 mm, tendo a linha de tendência apresentado um R<sup>2</sup> igual a 0,99, ou seja, a formulação atende quase que fielmente a variação inicial, podendo assim ser utilizada para cálculo de área da abertura, representada pela equação (8).

$$-0,1617X^3 + 22,025X^2 - 949,85X + 14494 \quad (8)$$



**Figura 27:** Gráfico de área de abertura em mm<sup>2</sup> (vertical) x abertura da comporta (horizontal) variando de 42 a 54 mm. O autor.

Podendo assim ser utilizada a formulação dentro de cada segmento para maior precisão no cálculo da área, adequando-se a todas as aberturas possíveis, cabe salientar que devido ao formato da tampa, ela exerce efeito na área de abertura até os 54 mm de abertura.

A tabela 7 representa os valores médios obtidos para cada tratamento, em conjunto com a média geral para cada coeficiente. O coeficiente  $C_c$  foi calculado matematicamente

**Tabela 7:** Valores médios por tratamento e média final.

	$C_v$	$C_d$	$C_c$
1 Tratamento	0,87	0,72	0,82
2 Tratamento	0,91	0,80	0,87
3 Tratamento	0,96	0,83	0,87
4 Tratamento	0,97	0,85	0,87
Média:	0,93	0,80	0,86

Fonte: O autor

Para cada condição apresentou-se comportamento parecido do jato proveniente da abertura da comporta, porém devido à ausência de um formato geométrico específico para o orifício, variando conforme a abertura da comporta, o jato formado não apresenta formato conhecido com os descritos na literatura, apresentando um desarranjo do formato com a variação da abertura, além de constantes jatos e partículas divergentes ao jato principal.

Conforme a abertura de comportas apresentava-se uma redução na pressão medida no sistema, necessitando um intervalo de tempo para estabilização do sistema, notando-se uma contração do politubo até estabilização da vazão e um leve aumento da pressão média do sistema com o passar do tempo, necessitando intervalo significativo entre a abertura e leituras das vazões, posições e pressões.

Quando mais de uma comporta era utilizada no sistema, observava-se um tempo maior para a estabilização das pressões internas, o que implicava em uma demanda de tempo adicional para sistemas com diferentes quantidades de comportas, tanto a configuração geométrica das comportas quanto o número de aberturas têm influência direta na estabilização e eficiência do sistema hidráulico. Além disso, foi notada uma

variação na contração do politubo, assim como um comportamento não linear em relação ao diâmetro e ao formato do mesmo.

A medição da abertura da comporta apresenta maior dificuldade com o aumento da vazão na comporta, sendo mais prático a leitura na parte traseira da tampa, sendo necessário uma pré-avaliação das dimensões superiores da tampa, pois em algumas, apresenta dimensões do corpo da tampa maiores, não influenciando no comportamento do sistema se forem averiguadas antes da medição da abertura.

Os cálculos indicam um coeficiente de vazão ( $C_v$ ) médio de 0,93, demonstrando uma passagem eficiente do fluido através dos orifícios. O coeficiente de descarga ( $C_d$ ) médio foi de 0,80, enquanto o coeficiente de contração ( $C_c$ ) médio de 0,86 sugere uma significativa contração do jato de fluido. No entanto, os valores sugerem que há margem para otimização, especialmente se a geometria dos orifícios puder ser refinada para se alinhar com formas idealizadas que maximizem a eficiência de escoamento.

Os coeficientes médios obtidos –  $C_v$  de 0,93,  $C_d$  de 0,80 e  $C_c$  de 0,86 – são indicativos de um bom desempenho hidráulico dos orifícios, mostrando que o fluido passa de maneira eficiente e que a contração do jato está dentro dos limites esperados. No entanto, esses valores também sugerem que há uma margem para otimização, especialmente se a geometria dos orifícios puder ser refinada para se alinhar mais estreitamente com formas idealizadas que maximizem a eficiência de escoamento.

O  $C_v$  próximo a 1 indica que a maior parte do fluido passa pelo orifício sem significativa perda de energia, o valor médio para o  $C_d$  de 0,80 mostra que a descarga não é ideal, mas ainda aceitável para muitos contextos de engenharia, O  $C_c$  de 0,86 confirma que a contração do jato não é excessiva, mas sugere que modificações na geometria da abertura e das bordas do orifício poderiam minimizar ainda mais essa contração, potencialmente aumentando o  $C_d$ .

Com base nos coeficientes médios obtidos –  $C_v=0,93$ ,  $C_d=0,80$  e  $C_c=0,86$  –, pode-se concluir que o escoamento pelos orifícios apresenta bom desempenho hidráulico. O coeficiente de vazão ( $C_v$ ) próximo de 1 demonstra que a maior parte do fluido atravessa o orifício sem perdas significativas de energia cinética, conforme observado em estudos

como Almeida et al. (2016), que destacam a influência da geometria do orifício e das condições de escoamento no desempenho hidráulico.

O coeficiente de descarga ( $CdC\_dCd$ ), com média de 0,80, embora aceitável para diversas aplicações, indica que há margem para melhorias. Segundo Almeida et al. (2016) e outros estudos práticos, como os apresentados no roteiro do Laboratório de Hidráulica da UFSC (2016), a otimização da geometria e do acabamento dos orifícios pode minimizar as perdas de energia associadas à descarga, aumentando a eficiência geral. O coeficiente de contração ( $CcC\_cCc$ ), com média de 0,86, está dentro dos limites esperados para orifícios padrão, como discutido por Tolentino (2020), mas sugere que ajustes na forma do orifício poderiam reduzir ainda mais a contração do jato e, conseqüentemente, melhorar os valores de  $CdC\_dCd$ .

Estudos experimentais, como os relatados no laboratório da PUC Goiás, também reforçam que mudanças geométricas em orifícios, especialmente no arredondamento de bordas e na adequação do perfil interno, podem aumentar o desempenho hidráulico, otimizando a relação entre  $CvC\_vCv$ ,  $CdC\_dCd$  e  $CcC\_cCc$ . Dessa forma, os valores obtidos estão de acordo com a literatura, mas destacam a possibilidade de refinamentos no design para alinhar os resultados a formas idealizadas de escoamento.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:**

A obtenção de valores primários é essencial para garantir a continuidade de estudos sobre o tema, servindo como base inicial para a avaliação comparativa e a identificação de variações no uso do sistema. Estabelecer uma metodologia base para futuras repetições facilita a detecção de desvios e a implementação de melhorias necessárias, assegurando a qualidade e a eficiência das operações, além de favorecer a aplicação prática do sistema.

A metodologia utilizada neste projeto pode ser reaplicada em outros projetos científicos ou na obtenção de dados em campo, sendo útil em diversos contextos, permitindo a padronização de processos, a otimização de recursos e a obtenção de resultados consistentes. A replicabilidade da metodologia facilita a transferência de conhecimento e práticas bem-sucedidas, promovendo a inovação e a melhoria contínua, a reutilização desta metodologia em outros projetos é viável para alcançar valores confiáveis.

No entanto, devido à ausência de um formato geométrico específico para o orifício, e a geometria variável com a altura de abertura, os coeficientes de vazão, descarga e contração podem variar consideravelmente com a abertura, exigindo uma repetição e revisão dos resultados para a obtenção de valores precisos, visto que com uma maior repetição das observações destes pode-se descrever uma média mais confiável de valores.

O comportamento do politubo sob a aplicação de pressão deve ser considerado ao escolher o tipo de politubo que melhor se adapte ao uso proposto, exigindo um estudo detalhado das reações do politubo em diferentes condições de aplicabilidade.

Adicionalmente em sistemas com múltiplas comportas, a interação entre os fluxos pode causar efeitos de interferência, onde a proximidade dos orifícios pode alterar o padrão de escoamento, afetando os coeficientes de descarga e contração, levando a necessidade de repetição deste experimento levando em conta maiores repetições com maiores variedades de aberturas, espaçamentos e alturas manométricas.

## REFERÊNCIAS

- ALI, OAM e ASH Mohammed, 2015. Avaliação do desempenho da técnica de tubos fechados para melhorar a eficiência da irrigação de superfície em híbridos de milho. *Agrícola Sei.*, 6: 550-570. (Ali, O.A.M. and A.S.H. Mohammed, 2015. Performance evaluation of gated pipes technique for improving surface irrigation efficiency in maize hybrids. *Agric. Sci.*, 6: 550-570)
- ALMEIDA, A. S. O. et. al. Determinação do coeficiente de descarga para orifícios de parede delgada considerando números de Reynolds reduzidos. *Revista DAE*, São Paulo, v. 66, n. 210, p. 24-34, abr./jun. 2018.
- ALMEIDA, R. et al. Determinação do coeficiente de descarga para orifícios de parede delgada considerando números de Reynolds reduzidos. *Revista DAE*, São Paulo, n. 210, p. 28-36, 2016. Disponível em: [https://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_210\\_n\\_1715.pdf](https://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_210_n_1715.pdf). Acesso em: 18 nov. 2024.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Planos de Recusos Hídricos / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília: ANA, 2015.
- ANDRADE, M. E. V., CAMPOS, A. J. S. F., MEDEIROS, C. A., & SANTOS, A. F. S. (2023). Análise da Perda de Carga em Tubulações de Diferentes Diâmetros. Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Januária.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, M. Manual de hidráulica. 9º ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- BERNARDO, S. 2006. Manual de irrigação / Salassier Bernardo, Antonio Alves Soares, Everardo Chartuni Mantovani. 8. ed. - Viçosa: Ed. UFV, 2006.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. Manual de Irrigação. 9. Ed. Editora UFV. 2019. 545 p.
- BRASIL. Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nos 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nos 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras

providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12787.htm)>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

BRASIL. Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6662.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6662.htm)>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

BRUNETTI, Franco; 2006. Mecânica dos fluidos / Franco Brunetti. 2. ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. -ISBN 978-85-7605-182-41. Mecânica dos fluidos I. Título.

DAKER, Alberto; 1988. Irrigação e drenagem; A água na agricultura, 30 vol., 7. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1988 543 p. il. tab.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Arroz. Pelotas, 2019. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/Abertura.html>. Acesso em: 16 junho. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Embrapa Clima Temperado. Brasília, 2015.

ENCISO, Juan; 2012. Using Flexible Pipe (poly-pipe) with Surface Irrigation; Produced by Agricultural Communications. The Texas A&M University System Extension publications can be found on the Disponível em: <http://tcebookstore.org> Acesso em: 23 de abril de 2023.

FAO. 2021. The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report 2021. Rome.

FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing systems at risk. New York, 2011.

IBGE. Censo Agropecuário 2021. Rio de Janeiro, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipp/brasil>. Acesso em: 15 de março de 2023.

MAIER, L. M. O. A nova política nacional de irrigação sob o paradigma do estado subsidiário. Conteúdo Jurídico, Brasília-DF: 27 maio 2013. Disponível em: <<http://www.conteudojuridico.com.br/?artigos&ver=2.43590&seo=1>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

MAZOYER, Marcel, 1933- História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea Marcel Mazoyer, Laurence Roudart; [tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira). -São Paulo: Editora UNESP, Brasília, DF: NEAD, 2010.

MOTA, M.M.; CONTINI, E. Comércio internacional de produtos do agronegócio. In: VIEIRA, P.A.; CONTINI, E.; HENZ, G.P.; NOGUEIRA, V.G.C. (Ed.). Geopolítica do alimento: o Brasil como fonte estratégica de alimentos para a humanidade. Brasília, Embrapa, p.99-134, 2019.

OLIVEIRA, F.G., BARROS, A.C.; SANTOS, M.R.; REIS, J.B.R.S. Análise da viabilidade econômica na implantação de sistemas de irrigação. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.42, n.313, p.91-100, 2021

P&R ARGENTINA S.A. Catalogo de produtos. Disponível em: <https://pyrargentina.com.ar/#productos>; Acesso em: 20 de maio de 2023.

PESSA, R. Instrumentação Básica para Controle de Processo. 2ª. ed. Sertãozinho: Smar, 2006. 233 p.

PIMENTA, B. D. Análise de formulações explícitas do coeficiente de perda de carga em condutos pressurizados. 2017. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2017.

PINHEIRO, G. W.. Perda de carga total em rede de tubulações : comparação entre modelos numérico e experimental. 2014. 85 f. TCC - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/107533?show=full>. Acesso em: 20 de junho de 2024.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS (PUC Goiás). Laboratório de Hidráulica: roteiro de experimentos. Goiânia, 2016. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/7765/material/HIDRAULExpNOvo%200114.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica. 4° ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

RODRIGUES, S.B. Sistema Irriger de gerenciamento de irrigação. TEMA 5: Irrigando com a internet: necessidade ou modernidade? In: RODRIGUES, L.N. Agricultura Irrigada: um breve olhar. RODRIGUES, L.N.; ZACARIA, D. (Ed.). Fortaleza: Inovagri, 377p., 2020.

SATURNINO, H.M. Editorial: muitos desafios e motivações advindos do Ceará. Brasília, Revista Irrigação e Tecnologia Moderna, v.113. 2017a.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Irrigação: gestão e manejo. / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, 2019.

TESTEZLAF Roberto. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. Campinas 2011.

TESTEZLAF, Roberto Filtros de areia na irrigação localizada / Roberto Testezlaf, Fábio Ponciano de Deus, Marcio Mesquita. - Campinas, SP : UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2014. 56 p.

TOLENTINO, J. Coeficiente de descarga | Hidráulica Agrícola. Disponível em: <https://hidraulica.tolentino.pro.br/cd.html>. Acesso em: 18 nov. 2024.

WALKER, W.R. 2003, Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design. Guide and Technical Documentation. Utah State University;

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Roteiro de aula prática – Orifícios e bocais. Florianópolis, 2016. Disponível em: [https://labhidra.paginas.ufsc.br/files/2016/03/Roteiro\\_Aula-pr%C3%A1tica2\\_Orif%C3%ADcios.pdf](https://labhidra.paginas.ufsc.br/files/2016/03/Roteiro_Aula-pr%C3%A1tica2_Orif%C3%ADcios.pdf). Acesso em: 18 nov. 2024.