

PROTÓTIPO CONTROLADOR DE VAZÃO EM CONDUTOS ABERTOS

Sérgio Vinícius Oliveira Diniz¹; João Batista Ribeiro da Silva Reis²; Edson de Oliveira Vieira³; Jackson Andrade Ferreira⁴; Daniel Philipe Veloso Leal⁵

¹Engenheiro Agrônomo, Empresa de Irrigação Irriger, Viçosa, MG

²Pesquisador, Epamig Unidade Regional Norte de Minas, Nova Porteirinha, MG

³Prof. Doutor, Instituto de Ciências Agrárias, UFMG, Montes Claros, MG

⁴Prof. Mestre, Instituto de Ciências Agrárias, UFMG, Montes Claros, MG

⁵Mestrando em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP, Piracicaba, SP

1 RESUMO

O objetivo foi desenvolver e avaliar um protótipo de um vertedor que possui as funções de controle e medição de vazão, conforme a variação da carga hidráulica. O experimento foi realizado em uma bancada de ensaio, no Laboratório de Hidráulica da UFMG, Montes Claros. A bancada é constituída de um canal retangular com estrutura de 10 metros de comprimento. Na extremidade do canal havia um sistema basculante que permite derivar a água ou para um tanque suspenso onde eram feitas as medições de vazão ou para um tanque subterrâneo que permitia o fluxo da água num sistema fechado para a bancada. Quanto aos resultados, a diferença ocorrida entre as vazões medida e móvel pode ser atribuída a uma vedação imperfeita, e às quatro aberturas na parte fixa frontal. Com as análises das médias móveis, verificou-se que o coeficiente de variação desejado de 10% foi atingido a partir de uma carga hidráulica de 0,019 m. E observou-se que o primeiro movimento do aparelho pode ocorrer com uma força menor que a constatada, que foi de 2,5126 N. Concluiu-se que o aparelho apresenta uma eficiência de 91,8%; a movimentação do aparelho se dá quando a carga hidráulica atinge 0,021m; e que o aparelho atendeu o propósito de controle de vazão, com um coeficiente de variação menor que 10%.

Palavras-Chave: Canais de irrigação, carga hidráulica, medição.

DINIZ, S. V. O.; REIS, J. B. R. da S.; VIEIRA, E. de O.; FERREIRA, J. A.; LEAL, D. P. V. PROTOTYPE CONTROLLER FLOW IN OPEN PIPES

2 SUMMARY

The aim of this research was to develop and evaluate a weir prototype that functions as a flowmeter and water level control, as the variation of hydraulic head occurs. The experiment was carried out in one test stand, in the Hydraulics Laboratory of the UFMG, Montes Claros. The stand consists of one rectangular canal with structure 10 meters in length. At the end of the canal had a dump system that allows to derive water or to a suspended tank where it was performed the flow measurements or to an underground tank that allowed the water to flow in a closed system. The difference between fix and mobile weir flows can be attributed to a faulty seal, and the four openings in the fixed front part. With analysis of moving averages, it was found that desired variation coefficient of 10% was reached from a hydraulic load of 0.019 m. And noted that first device's movement may occur with a smaller strength-weight than the observed, which was 2.5126 N. It was concluded that device presents an efficiency of

91,8%; device's movement occurs when hydraulic head reaches 0.021 m; and that device served purpose of flow control, with a variation coefficient less than 10%.

Keywords: Irrigation canals, hydraulic head, measurement.

3 INTRODUÇÃO

Os vertedores ou vertedouros podem ser definidos como simples aberturas ou entalhes sobre as quais um líquido escoar, como uma barreira inserida perpendicularmente ao fluxo, que passa, então, a verter por meio da abertura de forma geométrica definida na parte superior dessa barreira. As aberturas ou entalhes do vertedor podem ser de várias formas: retangulares, triangulares, circulares e trapezoidais. Esses têm como objetivo medir vazões em condutos livres de pequenos cursos de água. São instrumentos hidráulicos utilizados para medir vazões em cursos de água naturais ou em canais construídos.

Há muito que os vertedores têm sido utilizados, intensiva e satisfatoriamente na medição de vazões de pequenos cursos d'água e condutos livres, assim como no controle de escoamento em galerias e canais.

Apesar da sua simplicidade e da sua grande importância prática, a construção de vertedores onera muito o custo da obra em que o mesmo seja instalado (barragens e distritos de irrigação). Vertedores apenas medem vazão e não controlam vazão, ou seja, conforme aumenta a carga hidráulica, aumenta-se a quantidade de água que verte sobre o mesmo, o que não é desejado em distritos de irrigação. Um problema comum em distritos de irrigação é o descontrole da vazão de canais que entram para os lotes, uma vez que os aparelhos utilizados para tal "controle" (comportas do tipo gaveta ou vertedores) dependem de regulagem manual, não se ajustando automaticamente de acordo com a variação da carga hidráulica, essa provocada por um aumento das chuvas ou escassez da mesma.

Para solucionar esses problemas, vários controladores eletromecânicos foram desenvolvidos, mais a maioria apresenta um grande inconveniente, necessidade de energia elétrica para o seu funcionamento, o que onera o custo de produção. Vários métodos foram desenvolvidos na década de 1960, para derivação e medição de água em canais abertos, empregados em projetos de irrigações. O mais comum é do tipo orifício com carga constante, abordado com detalhes por Aisenbrey Jr. et al. (1978). Todos os métodos, todavia, consideram que o nível de água no canal no ponto de derivação não varia, permitindo que os orifícios operem com carga constante. Na prática, manter o nível de água constante nos canais é uma tarefa difícil, principalmente, em sistemas de distribuição mais antigos, que empregam canais com declividade elevada fazendo com que a lâmina d'água oscile bastante. Outro problema é o desligamento de parte das bombas em períodos de pico de energia (período esse que o valor da energia é maior), segundo Amaral (2007) após o desligamento de parte das bombas reduz a altura da lâmina de água nos canais principais e ocasiona retardamento na retomada da altura de lâmina nos trechos mais distantes das estações de bombeamento. Para reduzir o problema, mais bombas são acionadas quando o sistema volta a operar. Enquanto o equilíbrio não é restabelecido, as tomadas de água situadas próximo às estações de bombeamento promovem desperdício de água, devido às maiores cargas hidráulicas que ocorrem nesses períodos (AMARAL, 2007).

Como a distribuição de água no campo é normalmente feita por meio de canais, os principais tipos de estruturas, geralmente utilizadas para controle de vazão, vêm sendo:

comportas retangulares, sifões de diâmetro grandes e tubos instalados horizontalmente, por meio da parede dos canais (spiles).

Apresentando tal problema o objetivo foi desenvolver e avaliar um protótipo de um vertedor que possui as funções de controle e medição de vazão, conforme a variação da carga hidráulica em canais de irrigação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma bancada de ensaio, localizada no Laboratório de Hidráulica, Irrigação e Drenagem no Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da UFMG, no Campus de Montes Claros. A bancada é constituída de três bombas de 1,5 cv interconectadas, um canal retangular de vidro com estrutura metálica de 10 metros de comprimento e um conjunto de tubos de PVC conectando as bombas ao canal. Na extremidade do canal havia um sistema basculante que permite derivar a água ou para um tanque suspenso onde eram feitas as medições diretas de vazão ou para um tanque subterrâneo que permitia o fluxo da água num sistema fechado para a bancada (Figuras 1a e 1b). O aparelho foi construído com acrílico de 3 mm de espessura, onde o mesmo é constituído de duas partes fixas (frontal e traseira), uma parte móvel e duas bóias (Figura 2).

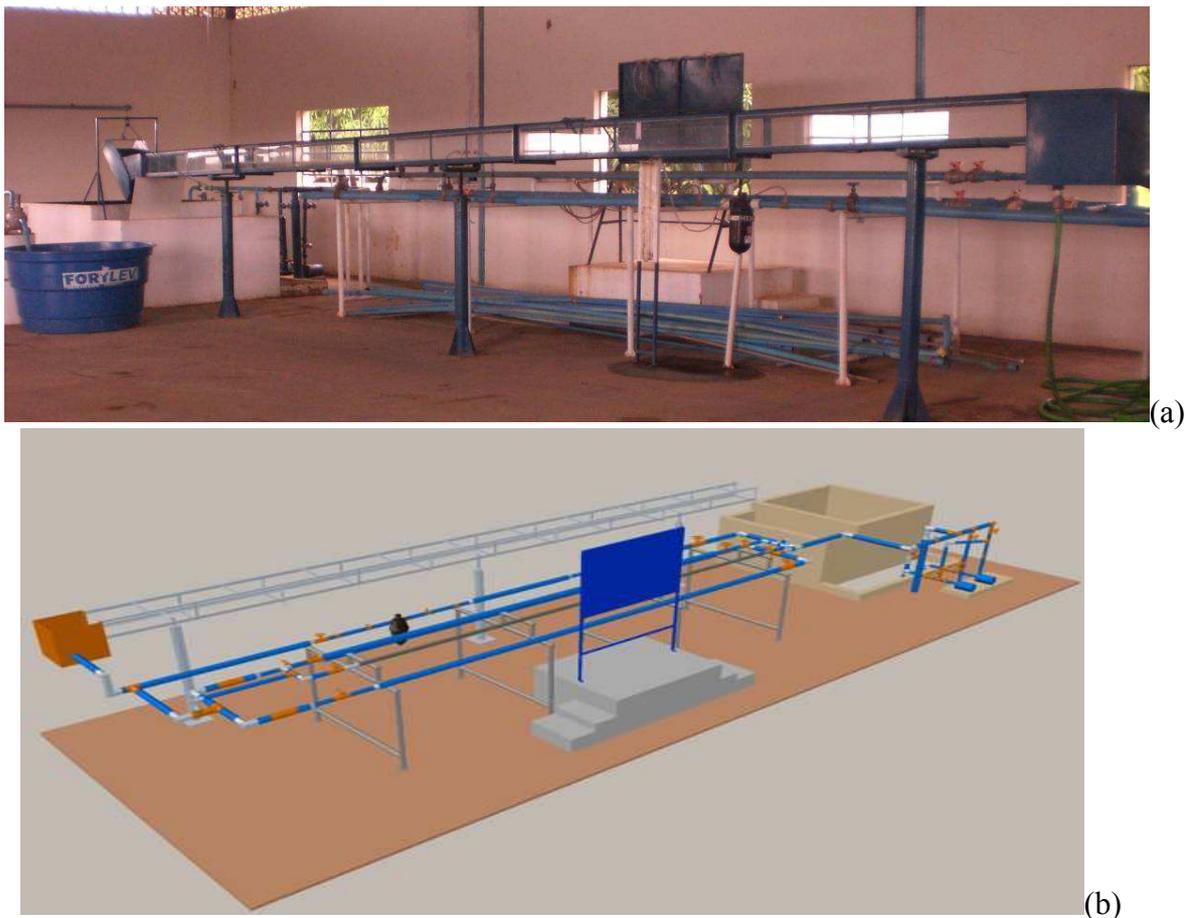


Figura 1. Foto panorâmica da bancada de ensaio (a) e esquema em 3D da mesma (b).

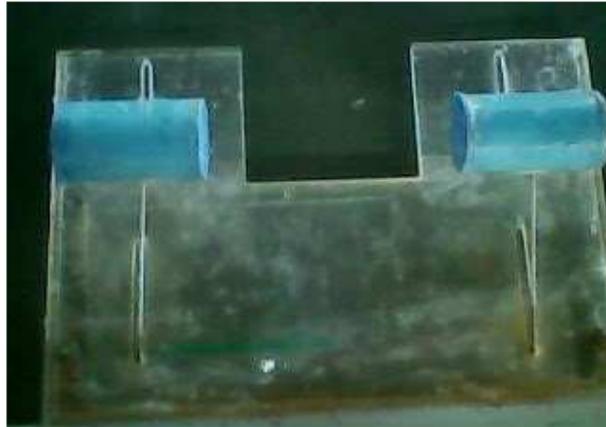


Figura 2. Foto frontal do aparelho.

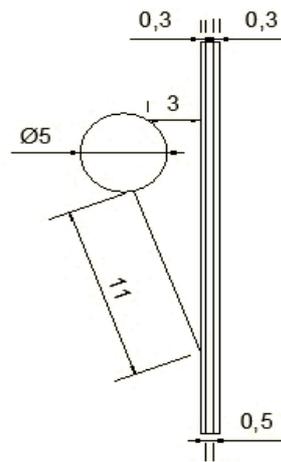
A parte fixa frontal tem o mesmo formato de um vertedor retangular, onde o mesmo apresenta quatro aberturas verticais (frisos), duas entre a soleira e o ápice da parede e outras duas da base do aparelho até a soleira. Essas aberturas servem para conectar as bóias com a parte móvel do aparelho, para que o mesmo se movimente com a variação da carga hidráulica (H). As bóias foram construídas de cano de PVC de 50mm.

A parte móvel também construída em acrílico de 3mm de espessura têm dimensões menores que as das partes fixas, apresentando apenas à medida da soleira igual, para que, quando ocorra a sua movimentação, a soleira se mantenha constante, uma vez que o tamanho da soleira é um dado utilizado para a determinação da vazão. Dois parafusos inoxidáveis ligam a parte superior da parte móvel com as bóias, enquanto outros dois raios de bicicleta ligam a base da parte móvel com as bóias, formando um sistema de treliças para dividir a força aplicada na parte móvel, fazendo com que ela se desloque uniformemente (figura 3a e 3b).

As bóias tiveram seu interior preenchido com isopor, para que em caso de vedação imperfeita a água não prejudique sua flutuação. A parte fixa traseira nada mais é que um vertedor retangular com dimensões iguais à parte fixa frontal, diferenciando da mesma, por não apresentar as aberturas por onde se movimentam as bóias.



(a)



(b)

Figura 3. Foto da visão lateral do aparelho (a) e planta baixa lateral valores em centímetros (b).

Na parte fixa traseira do aparelho, foram colados calços de acrílico de 5 mm de espessura para conectar a parte dianteira com a traseira, e ao mesmo tempo oferecer uma folga de 2 mm para a parte móvel de movimentar entre as partes fixas. A figura 4 representa um croqui do aparelho.

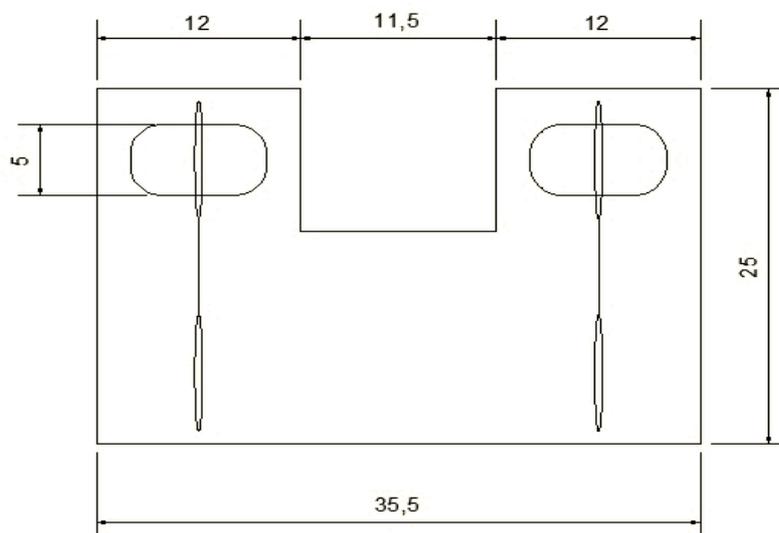


Figura 4. Planta baixa do protótipo, valores em centímetros.

Utilizou-se de quatro parafusos para prender e fixar o aparelho, sendo estes colocados nas extremidades superiores e inferiores do mesmo.

A fixação do aparelho no canal artificial foi auxiliada por uma estrutura metálica presa no canal e a sua vedação foi realizada com silicone próprio.

Os testes realizados seguiram os seguintes procedimentos: o sistema era ligado e esperava a vazão estabilizar uma carga hidráulica qualquer. Assim que a carga hidráulica era estabilizada, realizava-se a medição direta da mesma no tanque localizado no final da bancada. A leitura da altura da lâmina de água que vertia no tanque era feita por meio de régua linimétrica instalada dentro do mesmo. Assim, o valor da vazão foi determinado utilizando a equação 1:

$$Q = (X * N)/t \quad (1)$$

em que:

Q = vazão, m³/s;

X = área da caixa, m²;

N = variação do nível da água, m;

t = tempo, s.

Medida a vazão da primeira carga hidráulica, abria-se mais o registro e esperava o sistema se estabilizar novamente com uma nova carga hidráulica. Assim que estabilizado, realizava-se o mesmo procedimento para medir a vazão de forma direta, repetindo esse processo por três vezes para cada carga hidráulica estabilizada. Essas cargas hidráulicas foram testadas até a altura limite do canal da bancada de ensaio. Ao todo se realizaram dois testes em datas distintas, para em seguida analisar os dados encontrados.

Com os dados encontrados foram elaborados gráficos de dispersão (x, y), onde se confrontam as seguintes variáveis: carga hidráulica fixa (não considera o movimento do aparelho) versus vazão fixa (calculada pela fórmula de Francis); carga hidráulica móvel (é a

carga hidráulica menos o movimento do aparelho) versus Vazão móvel (calculada pela fórmula de Francis); carga hidráulica móvel versus Vazão medida diretamente.

Após a obtenção dos dados calculou-se uma média móvel de 4 em 4 até 12 em 12 dos valores ordenados de forma crescente da carga hidráulica móvel (Hm) (H - Movimento do aparelho), para assim determinar um conjunto de valores a serem trabalhados, cujo o coeficiente de variação (CV), ou de movimentação da parte móvel do vertedor ou da vazão, não superasse 10%.

O cálculo do empuxo necessário para movimentar o aparelho foi realizado e para determinar o volume deslocado pelas bóias calculou-se a área submersa de uma bóia antes da mesma realizar seu primeiro movimento (o nível da água atinge uma altura de 2,7cm na bóia) e o resultado multiplicado por 2, uma vez, que o aparelho contém duas bóias. A figura 5 apresenta a área da bóia que fica submersa e que antecede o seu primeiro movimento; a área achurada na figura representa o volume submerso.

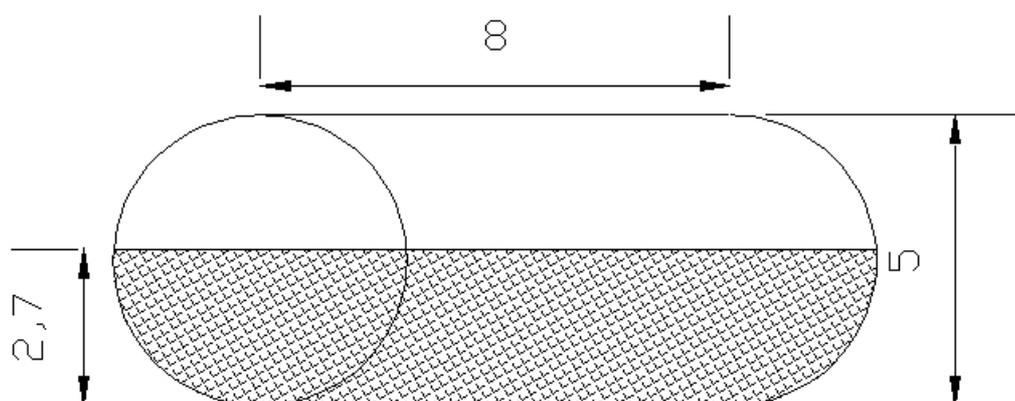


Figura 5. Esquema da bóia, destacando a parte da mesma que fica submersa (valores das cotas em centímetros).

O cálculo de área de um setor circular ou área lateral submersa foi realizado utilizando a equação 2.

$$Ac = \frac{\pi \times r^2 \times \beta}{360} \quad (2)$$

em que:

β = ângulo interno da circunferência;

r = raio, cm.

O esquema apresentado pela figura 6 demonstra como proceder para realizar tal cálculo.

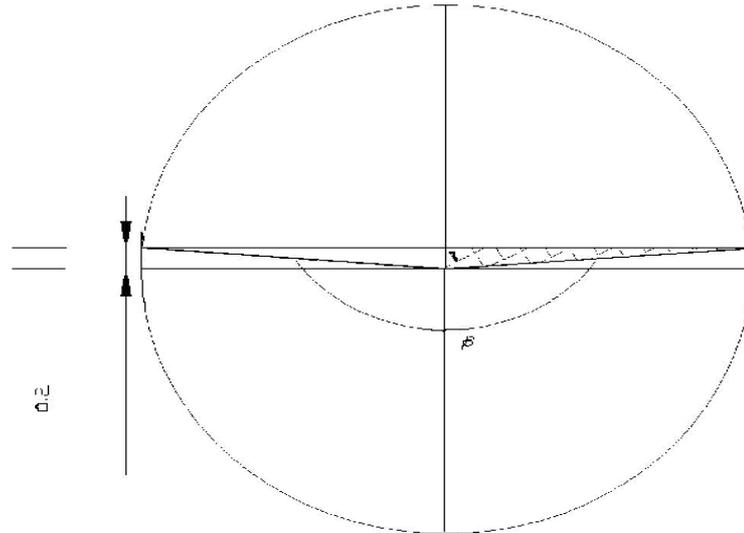


Figura 6. Ilustração do método para cálculo do setor circular submerso.

Calculando a hipotenusa (h) do triângulo marcado (equação 3), tem-se:

$$h^2 = x^2 + y^2 \quad (3)$$

em que:

H= hipotenusa, m;

X = cateto oposto, m;

Y = cateto adjacente, m.

Pode-se determinar a área do mesmo logo em seguida, (equação 4). Deve-se multiplicar o resultado encontrado por 2, já que a figura apresenta dois triângulos.

$$At = \frac{B \times h}{2} \quad (4)$$

em que:

B = base, m;

H = altura, m.

Para descobrir qual o valor do ângulo interno da circunferência (β), é necessário determinar o ângulo (α) do triângulo (Figura 7). O cálculo de (α) é realizado conforme a equação 5.

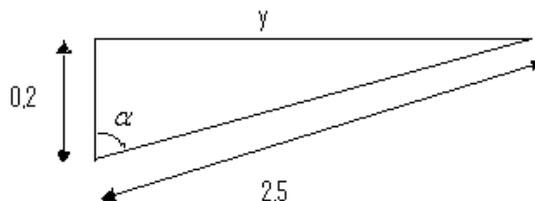


Figura 7. Representação do triângulo retângulo presente dentro da bóia.

$$\cos \alpha = \frac{ca}{h} \quad (5)$$

em que:

ca = cateto adjacente, m;

h = hipotenusa, m.

A determinação do ângulo β é feita subtraindo o valor do ângulo α multiplicado por dois ($\alpha \times 2$) de 360° (angulação máxima da circunferência) (equação 6).

$$\beta = 360 - (\alpha \times 2) \quad (6)$$

De posse desses dados foi possível realizar o cálculo da área (m^2) da parte submersa da bóia, conforme descrito pela equação 2. Para encontrar a área total basta somar a área dos triângulos com a área do setor circular.

$$A_{total} = A_c + A_t \quad (7)$$

Como para se determinar o empuxo (força) exercida sobre a bóia é necessário saber o volume de água deslocado, que no caso é igual ao volume da parte das bóias que ficam submersas mais o volume da parede da parte móvel que também fica submersa; volume de água deslocado pela bóia é encontrado pela equação 8.

$$V = A_{total} \times L \quad (8)$$

em que:

L = largura da bóia, m.

Para determinar o volume de água deslocado pela parede móvel do aparelho, foi necessário subdividir essa parte em três retângulos e a área de cada um foi encontrando utilizando a equação 9.

$$A = B \times h \times C \quad (9)$$

em que:

B = base, m;

h = altura, m;

C = comprimento, m.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 1 e 2 estão contidos os resultados para os testes do primeiro e segundo dia respectivamente.

Como o sistema do laboratório de hidráulica é movido por bomba elétrica e devido os picos de energia, não foi possível medir 3 vazões para toda carga hidráulica testada. Em testes

onde essas repetições não foram possíveis adotou-se apenas o resultado da vazão medida, utilizando-a como sendo a média.

Tabela 1. Dados do primeiro teste realizado no aparelho.

H fixa (m)	Deslocamento (m)	H móvel (m)	Q fixa (m ³ /s)	Q móvel (m ³ /s)	Q medida (m ³ /s)
0,015	0	0,015	0,000376536	0,0003765	0,0006604
0,024	0,006	0,018	0,000749807	0,0004923	0,0008067
0,029	0,01	0,019	0,000986894	0,0005329	0,001038
0,034	0,012	0,022	0,001241357	0,0006605	0,000952
0,037	0,015	0,022	0,001401412	0,0006605	0,000976
0,04	0,018	0,022	0,00156648	0,0006605	0,001105
0,051	0,024	0,027	0,002208857	0,0008898	0,000988
0,055	0,026	0,029	0,00245487	0,0009869	0,000984
0,058	0,031	0,027	0,0026431	0,0008898	0,001161
0,062	0,035	0,027	0,002898585	0,0008898	0,001067
0,065	0,037	0,028	0,003093295	0,0009380	0,0010504

Com os dados dos testes, realizou-se uma análise previa, produzindo os gráficos (Figura 8.1 e 8.2) confrontando os dados das cargas hidráulicas com as vazões esperada (calculada pela formula de Francis) e a vazão medida de forma direta.

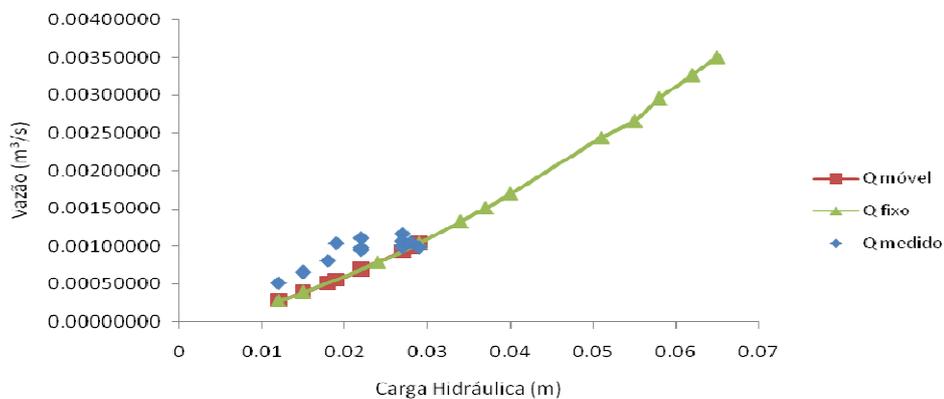
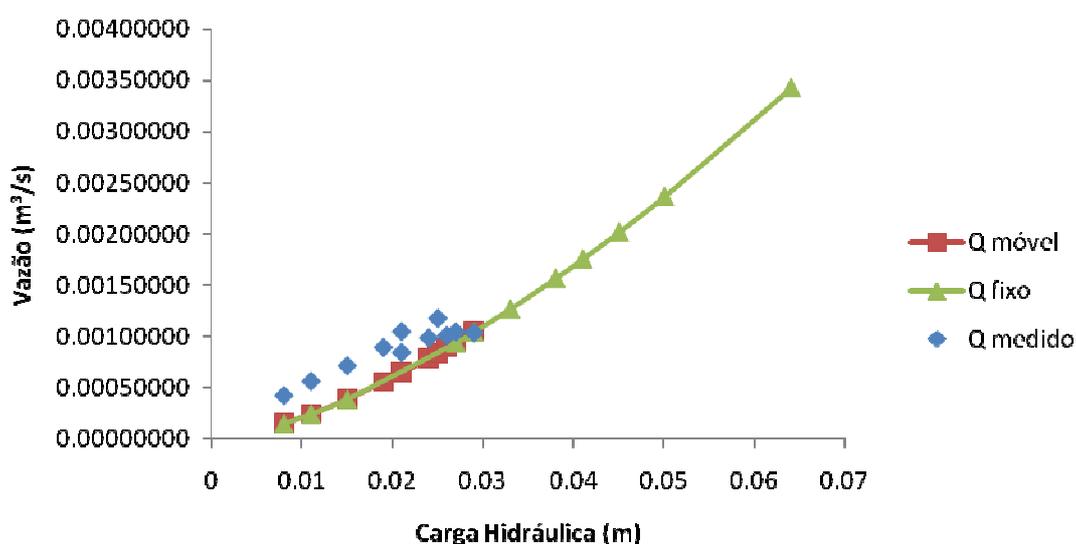


Figura 8.1. Carga hidráulica (H) x Vazões (Q) do primeiro teste.

Tabela 2. Dados do segundo teste realizado no aparelho.

H fixa (m)	Deslocamento (m)	H móvel (m)	Q fixa (m ³ /s)	Q móvel (m ³ /s)	Q medida (m ³ /s)
0,008	0	0,008	0,0001485	0,0001485	0,00042485
0,011	0	0,011	0,0002381	0,0002381	0,0005648
0,015	0	0,015	0,0003765	0,0003765	0,0007161
0,027	0,006	0,021	0,0008898	0,0006170	0,00105012
0,029	0,01	0,019	0,0009869	0,0005329	0,000894
0,033	0,012	0,021	0,0011892	0,0006170	0,000845
0,038	0,014	0,024	0,0014559	0,0007498	0,000989
0,041	0,016	0,025	0,0016226	0,0007957	0,001178
0,045	0,018	0,027	0,0018517	0,0008898	0,001047
0,05	0,024	0,026	0,0021483	0,0008424	0,001011
0,064	0,035	0,029	0,0030281	0,0009869	0,001038

**Figura 8.2.** Carga hidráulica (H) x Vazões (Q) do segundo teste.

Como se pode observar nas figuras 8.1 e 8.2, conforme aumenta a carga hidráulica, consequentemente ocorre um aumento da vazão, aumento esse exponencial como pode ser observado pela vazão fixa apresentada no gráfico, esses valores foram obtidos confrontando os dados da carga hidráulica com a vazão esperada calculada de maneira indireta, utilizando a equação de Francis aplicada para vertedores com duas contrações laterais (Eq. 10) (BAPTISTA & LARA, 2003). Nessa situação desprezava-se o movimento realizado pelo aparelho adotando como o valor da carga hidráulica a altura da lâmina d'água a partir da soleira da parte fixa frontal até a superfície da água. Porém conforme aumenta a carga hidráulica o aparelho tende a se movimentar, fazendo com que a carga hidráulica real fique menor conforme descrito pela equação 11.

$$Q = 1,83 \times (L - 0,2 \times H) \times H^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

$$H_{real} = H_{fixa} - M_{aparelho} \quad (11)$$

em que:

Hfixa: carga hidráulica medida no canal, cm;

Maparelho: deslocamento realizado pelo aparelho, cm;

Hreal: carga hidráulica real, cm.

Ocorrendo esse deslocamento e uma conseqüente diminuição da carga hidráulica, as vazões observadas são menores que as esperadas sem o movimento do aparelho. Esses dados estão ilustrados nos gráfico pelos pontos vermelhos. Esses pontos também foram determinados conforme os pontos verdes, porém nesta situação o deslocamento do aparelho não era desprezado, adotando-se assim uma carga hidráulica real, sendo essa determinada a partir da soleira da parte móvel ate o nível d'água. Mas a situação que realmente ocorre está representada com os pontos azuis nos gráfico, ou seja, em um determinado ponto da carga hidráulica as vazões tendem a se concentrar em uma determinada faixa. Estes dados foram obtidos utilizando a carga hidráulica real versus a vazão medida de maneira direta, medição essa feita no linímetro presente no reservatório da bancada de ensaio. Esses valores são bastante próximos aos esperados (pontos vermelhos) a diferença entre esses valores encontrados pode estar relacionada com uma vedação imperfeita, ou seja, a água não passa apenas pela abertura do aparelho; essa diferença também pode estar relacionada com as quatro aberturas ou frisos encontrados na parte fixa frontal favorecendo a passagem de água pelo aparelho.

Outro fator que pode estar relacionado com essa diferença constatada na medição de vazão é uma possível alteração nas linhas de corrente, já que as bóias se encontram a montante do vertedor, podendo assim interferir no paralelismo das linhas de corrente. A oscilação do nível d'água no linímetro no momento da leitura também pode ter contribuído para que ocorresse essa diferenciação nos valores.

Com isso constata-se que após um determinado período e com o movimento do aparelho a vazão começa a ser mais uniforme.

Com as análises das médias móveis, verificou-se que o coeficiente de variação desejado de 10% para a carga hidráulica móvel foi atingido a partir de uma carga hidráulica móvel de 0,019 m. Esse valor da carga hidráulica (0,019 m) cuja as variações passa a ser de aproximadamente 10% é muito próximo com a altura da carga hidráulica onde o aparelho realiza seu primeiro movimento. Esse primeiro movimento só ocorre quando a carga hidráulica atinge certa altura na bóia, ou seja, a força (empuxo) presente nessa condição é suficiente para movimentar o aparelho. Portanto, pode-se determinar o valor do empuxo mínimo necessário para movimentar o aparelho. Como o protótipo foi testado em água adotou-se uma densidade de 1000 e o valor da gravidade adotada foi de 9,8 m/s²; a determinação do volume de água deslocada pelo aparelho foi obtida com a somatória dos volumes (m³) das partes do sistema que ficam submersas. O calculo dos volumes das partes das bóias que ficam submersas foi realizado pela equação 2 (volume do setor circular). Para esse calculo encontrou-se um volume de 0,0000864912m³ para cada bóia, como o aparelho contém duas bóias esse resultado foi multiplicado por dois obtendo-se assim o volume de água deslocado pelas bóias igual a 0,0001729824m³.

Como a parede da parte móvel também fica submersa, foi necessário calcular o volume de água deslocado por essa peça. Para tal calculo essa parede foi dividida em três retângulos, com o calculo dessas áreas multiplicando pela espessura do acrílico (3 mm) encontrou-se um volume de 0,0000915m³. Com a soma do volume de água deslocado pelas

bóias e pelo volume de água deslocado pela parede obtém o volume total de água deslocado pelo sistema, volume esse igual a $0,0002644824\text{m}^3$.

Com o cálculo do empuxo constatou-se que nessa situação a força (empuxo) exercida sobre o aparelho é de 2,5912 N. Como o peso da parte móvel apresenta um valor de 2,5126 N a força do empuxo é mais que suficiente para deslocar ou fazer com que o aparelho realize seu primeiro movimento. A força do empuxo é 0,0786 N maior que o peso da parte móvel do aparelho. Subentende-se, assim, que essa é a força necessária para vencer o atrito estático presente no deslizamento do sistema, ou seja, para que ocorra o movimento, a força resultante (\vec{F}_r) tem que ser maior que zero. Sendo assim o empuxo tem que ser maior que a somatória da força de atrito e da força peso ($\vec{E} > \vec{F}_a + \vec{P}$).

O primeiro movimento do aparelho, associado à força de empuxo, poderia ocorrer com uma força menor que a constatada, que foi de 2,5126 N. Considerando que, no interior das bóias não tivesse a presença do isopor, a massa e consequentemente a força peso seriam menores, sendo assim esse primeiro movimento ocorreria quando a carga hidráulica atingisse um valor menor que 0,021 m.

Utilizando apenas os dados a partir da carga hidráulica móvel de 0,021 m, foram gerados o Quadro 3 e Figura 9.

A partir dessa observação foi possível realizar as análises das vazões medidas de forma direta. Na tabela abaixo estão representados os valores dos dois testes realizados ordenados de forma crescente a partir da carga hidráulica móvel desejada (0,19 m).

Tabela 3. Valores dos testes realizados ordenados de forma crescente a partir da carga hidráulica móvel desejada (19 cm).

Desloc (m)	H fixa (m)	H móvel (m ³)	Q fixa (m ³ /s)	Q movel (m ³ /s)	Q medida (m ³ /s)
0,01	0,029	0,019	0,000987	0,00053295	0,001038
0,01	0,029	0,019	0,000987	0,00053295	0,000894
0,006	0,027	0,021	0,00089	0,00061705	0,00105
0,012	0,033	0,021	0,001189	0,00061705	0,000845
0,015	0,037	0,022	0,001401	0,00066045	0,000976
0,012	0,034	0,022	0,001241	0,00066045	0,000952
0,018	0,04	0,022	0,001566	0,00066045	0,001105
0,014	0,038	0,024	0,001456	0,00074981	0,000989
0,016	0,041	0,025	0,001623	0,00079571	0,001178
0,024	0,05	0,026	0,002148	0,00084239	0,001011
0,024	0,051	0,027	0,002209	0,000889831	0,000988
0,035	0,062	0,027	0,002899	0,000889831	0,001067
0,018	0,045	0,027	0,001852	0,00088983	0,001047
0,031	0,058	0,027	0,002643	0,000889831	0,001161
0,037	0,065	0,028	0,003093	0,000938006	0,00105
0,035	0,064	0,029	0,003028	0,00098689	0,001038
0,026	0,055	0,029	0,002455	0,000986894	0,000984

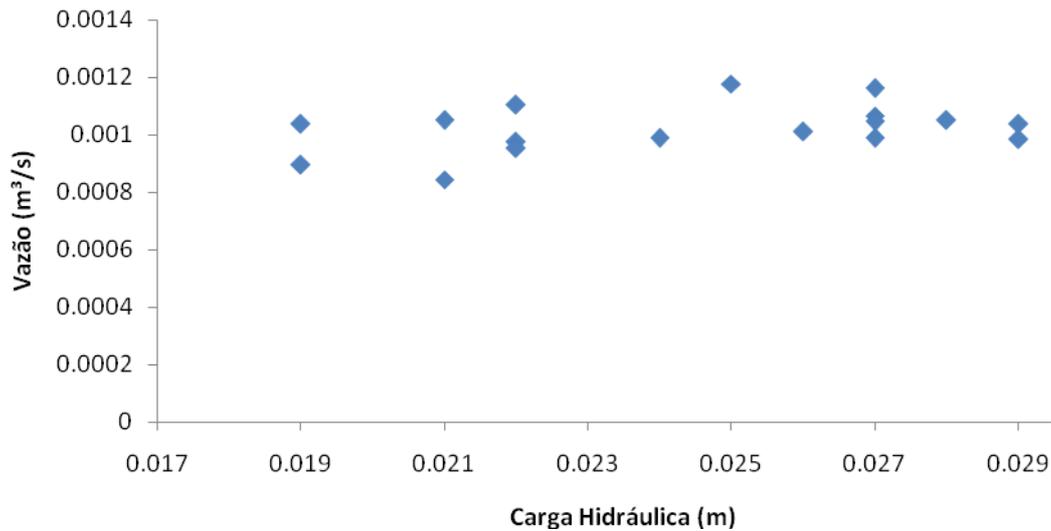


Figura 9. Carga hidráulica móvel (Hm) x Vazão medida diretamente (Q).

Para construção da figura 9 adotou-se apenas dos pontos desejados, tomando como referência um coeficiente de variação de 10% para carga hidráulica móvel. Com a análise da Figura 5.3 nota-se que a vazão se concentra em uma faixa que varia de 0,00845 a 0,001178 m³ s⁻¹.

Realizada essa seleção dos dados foi possível calcular o coeficiente de variação das vazões medidas de forma direta, ou seja, calculou-se a média aritmética das vazões encontradas, assim como se calculou o desvio padrão dessas vazões. Contudo calculou-se o coeficiente de variação com um valor de 8,1%.

Contudo a utilização desse aparelho é justificada em canais de irrigação, uma vez que ocorrendo esse controle na vazão, e esse aparelho ajustando-se automaticamente conforme ocorra à variação da carga hidráulica, o mesmo poderá auxiliar no controle do nível d'água nos canais por todo o perímetro, evitando assim a oscilação e conseqüentemente um desperdício de água e conseqüentemente ocasionando uma redução nos gastos com energia para o bombeamento dessa água.

4 CONCLUSÕES

Com o presente trabalho concluiu-se que:

- O aparelho apresenta uma eficiência de 91,8%;
- A movimentação do aparelho se dá quando a carga hidráulica atinge 0,021m;
- O aparelho atendeu o propósito de controle de vazão em um canal de irrigação, onde a vazão apresenta um coeficiente de variação menor que 10%.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISENBREY, A. J. Jr. et al. **Design of small canal structures**. Denver: Unites States Bureau of Reclamation, 1978. 435 p.

AMARAL, L. G. H do. **Regulador automático de vazão para condutos livres**. Viçosa. 2007.69p.

AZEVEDO NETTO et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 669p.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos da Engenharia Hidráulica**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003, 2^a. ed., 437p.