

COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DE VAZÃO EM CANAL DE IRRIGAÇÃO NO ARROIO CHASQUEIRO/RS

RAFAEL LUDWIG¹; DIEGO DE MELLO SILVA²; RITA DE CÁSSIA FRAGA DAMÉ³ E CLAUDIA FERNANDA ALMEIDA TEIXEIRA⁴

¹ Eng. Agrícola, Mestre em Agronomia - Irrigação e Drenagem, UNESP-Botucatu. rafaludwig@yahoo.com.br.

² Graduado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Pelotas

³ Eng^a Agrícola, Profa. Doutora, Departamento de Engenharia Agrícola, UFPel, Pelotas - RS, ritah2o@hotmail.com

⁴ Eng^a Agrícola, Profa. Doutora, Departamento de Engenharia Agrícola, UFPel, Pelotas – RS

1 RESUMO

A lei federal de recursos hídricos 9433/97 tem como premissa considerar a água um bem finito e dotado de valor econômico. Dentre as atividades humanas, a que exige maior consumo da água é a agricultura irrigada, e por isso, no distrito de irrigação do Arroio Chasqueiro vem-se buscando maior controle na derivação de vazão aos campos de arroz irrigado. Assim, este trabalho buscou avaliar a vazão distribuída nas áreas ao longo do canal C2, comparando dois métodos para determinação da vazão, a fim de verificar a variação entre os métodos e identificar a necessidade de ajuste do coeficiente de descarga adotado no método dos orifícios. Acredita-se que isto irá contribuir para impulsionar um manejo eficiente da irrigação. Para isso, levantaram-se as áreas atendidas pelo canal adotado e determinaram-se as vazões em diferentes pontos do mesmo, a partir da medida da velocidade de escoamento da água (método do molinete), da análise da relação de níveis a montante, a jusante e da abertura das comportas (método dos orifícios). Posteriormente, os dados obtidos foram comparados para estabelecer as diferenças percentuais. De acordo com os resultados, observou-se variações entre 8,82% e 306,25% nos valores de vazão obtidos entre os dois métodos. Notou-se também que embora a vazão média fornecida estivesse de acordo com a informada pela cooperativa, não era uniforme ao longo do canal 2 evidenciando que a problemática da distribuição de água não estava na não liberação de níveis suficientes para atender as áreas irrigadas e sim na regulagem inadequada das comportas, o que indica a necessidade de realização de novos estudos para calibração das estruturas de controle proporcionando uma medição mais exata das vazões pelo método dos orifícios.

Palavras-chave: curva de descarga; medição de vazão; irrigação por inundação.

LUDWIG, R.; SILVA, D. de M.; DAMÉ, R. de C. F.; TEIXEIRA C. F. A.
COMPARISON BETWEEN METHODS FOR ESTIMATING THE FLOW RATE IN
THE IRRIGATION CANAL OF THE CHASQUEIRO/RS STREAM

2 ABSTRACT

The federal law 9433/97 of water resources is based on the premise that water is a finite asset and endowed with economic value. Among the human activities, irrigated agriculture is

the one that requires a greater consume of water, and because of this fact, the district of irrigation of the Chasqueiro stream is seeking better control on derivation of water rates to irrigated rice fields. Thus, the objective of this study was to evaluate the flow rate distributed in areas along the C2 canal by comparing 2 methods of flow rate determination. Moreover, the study aimed to analyze the variation between the methods and identify the need for adjustment of the coefficient of discharge adopted in the method of the orifices. It is thought that the study will contribute to promote an efficient management of irrigation. To this end, a survey was conducted to determine the areas served by the canal and the flow rates in different points of it. These parameters were determined based on the speed of water runoff (pygmy meter method), the analysis of upstream and downstream levels and also on the opening of the floodgates at the same points (orifice method). Afterward, data were compared in order to determine percentage differences. According to the results, variations of 8.82% and 306.25% in flow rate values were found between the 2 methods. It was also observed that, although the mean flow rate was according to that provided by the cooperative, it was not uniform through canal 2, revealing that the problem concerning water supply was not based on the release of enough levels to meet the irrigated areas, but on inadequate adjustments of the floodgates. This finding shows the need of further studies on the calibration of structures of control which would lead to more accurate measurement of flow rates by the method of the orifices.

Keywords: discharge curve, water flow measurement, flood irrigation.

3 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro é integrante do conjunto de bacias que afluem diretamente na margem oeste da lagoa Mirim. Nesta bacia foi implantada uma barragem, nos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho, cujo projeto é originário do plano de desenvolvimento da Lagoa Mirim, elaborado pela extinta Superintendência de Desenvolvimento da Região Sul – SUDESUL, visando o fornecimento de água para irrigação.

No ano de 2009 foram cultivados cerca de 150 milhões de hectares de arroz no mundo, produzindo 590 milhões de toneladas, cerca de 75% dessa produção (442 milhões de toneladas) têm origem no sistema de cultivo irrigado (IRGA, 2009).

No distrito de irrigação do Arroio Chasqueiro, a cooperativa informa fornecer $1,5 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, em um período de irrigação, por safra, de 100 dias. Apesar da quantidade de água liberada na barragem ser suficiente para irrigar as áreas das propriedades rurais sob responsabilidade da COODIC, não há mecanismos que permitem quantificar de forma exata a vazão em diferentes pontos dos canais de distribuição. Tal circunstância leva a questionar a eficácia da irrigação, a qual pode estar ferindo o princípio do usuário-pagador da lei federal de recursos hídricos 9433/97.

Nesta concepção, definir a vazão necessária em um sistema de irrigação é fator fundamental e a metodologia selecionada para executar tal aferição é de caráter determinante. Há vários métodos para atingir este objetivo, entre eles são aqui abordados o método do molinete hidráulico e o método dos orifícios. É importante ressaltar as vantagens e restrições destas metodologias, visto que, a adoção de um ou outro método dependerá da situação local, da disponibilidade de recursos e da exatidão desejada.

Nesse sentido, a ABNT (1995) destaca que o método do molinete tem como vantagens a utilização do mesmo equipamento em diversos locais e sua exatidão quando empregado em

seções grandes e/ou irregulares. Porém necessita que a velocidade da corrente seja superior a $0,20 \text{ m s}^{-1}$, tenha nível d'água superior a $0,30 \text{ m}$, não podendo ser aplicado em regimes turbulentos. Já o método dos orifícios tem como principal vantagem a simplicidade de operação, mas exige que esteja livre de obstruções, e sem formação de vórtice, além disso, exige que sua parede seja mantida com rugosidade constante.

Os molinetes são aparelhos constituídos de palhetas, hélices ou conchas móveis, cuja velocidade de rotação é proporcional à velocidade do fluxo líquido (corrente), que podem ser de eixo horizontal ou de eixo vertical. A velocidade da corrente é dada por uma função que tem como variáveis o número de voltas por segundo e os coeficientes do aparelho (CARVALHO, 2008).

Os orifícios são perfurações com formas geométricas definidas, feitas abaixo da superfície livre do líquido, em paredes de reservatórios, tanques e canais. São classificados de acordo com o tamanho em pequenos ou grandes. Os pequenos possuem dimensão vertical igual ou inferior a um terço da profundidade. Esta técnica estava implantada para controle da vazão nos canais da COODIC, porém não havia sido realizado um estudo de investigação sobre a adequação do coeficiente de descarga adotado no cálculo da vazão e a vazão real.

Assim, este trabalho buscou avaliar a vazão distribuída nas áreas ao longo do canal C2, comparando dois métodos para determinação da vazão, a fim de verificar a variação entre os métodos e identificar a necessidade de ajuste do coeficiente de descarga adotado no método dos orifícios. Acredita-se que isto irá contribuir para impulsionar um manejo eficiente da irrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em uma barragem localizada a 10 km do município de Arroio Grande ($31^{\circ}51'51''\text{S}$, $52^{\circ}49'24''\text{W}$) e a 3 km da rodovia BR 116. Atualmente a cooperativa responsável pela barragem possui aproximadamente 90 km de canais de irrigação, do tipo trapezoidal em terra firme, os quais são subdivididos em 3 canais principais, de diferentes tamanhos, chamados de Canal 1 (C1), Canal 2 (C2) e Canal 2-1 (C2-1), sendo que o C1 possui ainda 4 subdivisões em C1-1, C1-2, C1-3 e C1-4. Neste estudo considerou-se apenas o C2, para o qual foi obtida a área irrigada tendo como base o mapa elaborado pela cooperativa, onde constam as delimitações das lavouras em relação aos canais de irrigação.

Foram avaliadas duas metodologias de estimativa de descarga, o Método do Molinete e o Método dos Orifícios. Estas metodologias foram aplicadas em quatro pontos de controle (controle 03, controle B04, controle B08, controle B10), ao longo do C2, nos quais se encontram instaladas as régua de controle de nível. As verificações pelos métodos foram realizadas simultaneamente, para tornar viável a comparação.

Para determinação da vazão pelo método do molinete adaptou-se a metodologia proposta por CORRÊA (2008), passando a fazer medições horizontais sempre que o fundo do canal apresentasse variação.

Inicialmente definiu-se o perfil do canal, marcando todas as distâncias horizontais (D_h) nas quais foram realizadas as leituras (Figura 1).

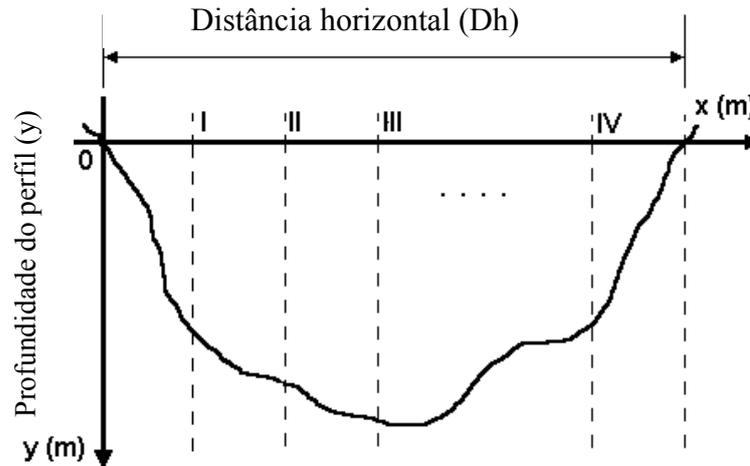


Figura 1. Perfil do canal.

Fonte: adaptada de CORRÊA, (2008).

Em cada ponto da distância horizontal mediu-se a profundidade, assim, seguindo-se as recomendações da Tabela 1 adotou-se os diferentes pontos de leitura nos quais foi utilizado o molinete hidráulico.

Tabela 1. Recomendação de número de pontos de leitura e profundidade dos pontos de leitura de acordo com a profundidade do canal.

Profundidade (m)	Número de pontos	Profundidade dos pontos
0,15 a 0,60	1	0,6p
0,61 a 1,2	2	0,2p e 0,8p
1,21 a 2,00	3	0,2p; 0,6p e 0,8p
2,01 a 4,00	4	0,2p; 0,4p; 0,6p e 0,8p
>4,00	6	S; 0,2p; 0,4p; 0,6p; 0,8p e F

Fonte: adaptada de CORRÊA, (2008). Em que: S=superfície do canal; F= fundo do canal; p= profundidade do canal.

Para cada ponto de leitura obteve-se o número de rotações medidas pelo aparelho em 1 minuto. O passo seguinte consistiu em calcular a velocidade de escoamento com o uso das equações dos molinetes. Cada molinete possui sua equação própria, que é obtida pelo ajuste feito em órgãos competentes. Para pontos verticais onde são realizadas mais de uma leitura, calculou-se a velocidade em cada ponto e fez-se a média destes, de modo a obter a velocidade do perfil. O molinete utilizado neste estudo possui duas equações para o cálculo da velocidade (equações 1 e 2), sendo a primeira utilizada quando as rotações por segundo (RPS) foram menor que 0,2506, e a segunda quando as rotações por segundo foram maior ou igual que 0,2506.

$$V = \quad + \quad RPS \quad (1)$$

$$V = \quad + \quad RPS \quad (2)$$

Em que:

V= velocidade de escoamento, m s⁻¹;

RPS= número de rotações por segundo.

Com os dados de distâncias horizontais, profundidade do canal e velocidade da água nos diferentes pontos foi possível determinar a vazão do canal a partir da determinação das subáreas de cada perfil, por meio da multiplicação entre a distância horizontal e a profundidade do perfil, e da velocidade média em cada ponto horizontal de leitura. A vazão total do canal foi obtida pelo somatório das vazões encontradas em cada subárea.

Na metodologia dos orifícios, admite-se, para os orifícios pequenos, que todas as partículas que atravessam a abertura têm a mesma velocidade, sob a mesma carga hidráulica (h). Neste caso, a vazão é dada pela equação 3.

$$Q = C_d A \sqrt{2gh} \quad (3)$$

Em que:

C_d = coeficiente de descarga;

A = Área do orifício (m²);

g = Aceleração da gravidade;

h = Carga sobre o centro do orifício;

Com relação ao coeficiente de descarga (C_d) adotou-se como referência Azevedo Netto et al. (1998), que sugere utilizar o valor de 0,61 para comportas com contração completa. Já para comportas com contração incompleta como o autor aponta uma variação do coeficiente entre 0,65 e 0,7 devido à influência do fundo ou das paredes laterais, assumiu-se o valor de 0,67.

No caso de orifícios grandes, não se pode admitir que todas as partículas que atravessam o orifício têm a mesma velocidade. Conseqüentemente, não se pode considerar uma carga hidráulica única, ou seja, a carga é variável de faixa a faixa (Figura 2). Deste modo, a vazão é dada pela equação 4.

$$Q = C_d \int_{h_2}^{h_1} \sqrt{2g} h^{3/2} dh \quad (4)$$

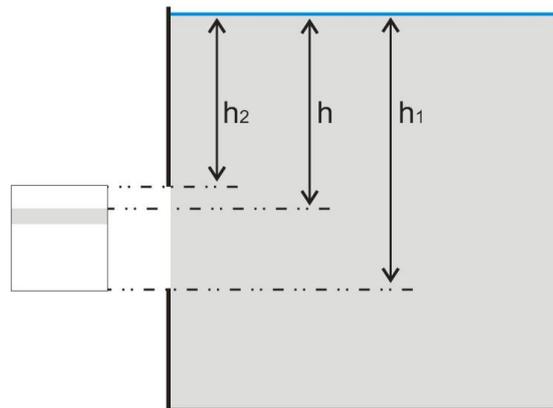


Figura 2. Orifícios com escoamento livre.

Fonte: Adaptada de AZEVEDO NETTO et al. (1998) & DAKER (1983).

Nos orifícios afogados a equação 4 também pode ser empregada, porém deve-se considerar a carga hidráulica como a diferença entre as cargas de montante e jusante ($h_1 - h_2$) (Figura 3).

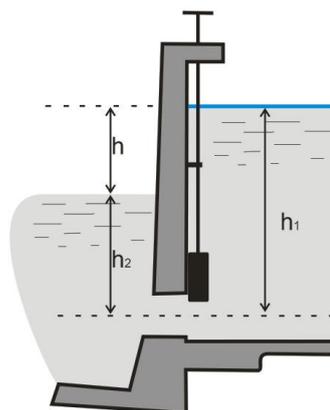


Figura 3. Orifícios com escoamento afogado.

Fonte: Adaptada de AZEVEDO NETTO et al. (1998) & DAKER (1983).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 2009 o canal C2 foi responsável por uma área irrigada de 1.608,56 ha, segundo mapa de áreas irrigadas pela cooperativa, a qual informa fornecer uma vazão de $1,5 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Observa-se que 42,21% desta área (678,96 ha) foram irrigados pelo controle B04, o que pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2. Áreas irrigadas a jusante de cada controle do C2.

Controle	Área irrigada*	
	(ha)	(%)
Controle 03	449,96	27,97
Controle B04	678,96	42,21
Controle B08	182,26	11,33
Controle B10	297,38	18,49
Total	1.608,56	100,0

* área irrigada segundo informações da cooperativa.

A fim de facilitar a análise, as vazões encontradas pelos diferentes métodos e a velocidade média da água nos canais, foram sistematizadas na Tabela 3.

Tabela 3. Dados de vazão total nos pontos de controle ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$), pela metodologia do molinete e pelo método dos orifícios, com a variação entre eles e a velocidade média de escoamento da água (m s^{-1}).

Controle	Vazão ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)		Vazão Média para o método do molinete ($\text{L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$)	Variação (%)	Velocidade média (m s^{-1})
	Molinete	Orifícios			
Controle 3	3,12	3,21	1,575	2,88	0,42
Controle B4	2,20	2,21		0,45	0,33
Controle B8	1,17	0,99		18,18	0,32
Controle B10	1,05	0,96		9,37	0,31

Ao analisar os resultados agrupados na Tabela 3 foi possível verificar uma variação de vazão entre os métodos de 0,45 a 18,18%, para os pontos de controle estudados. Também constatou-se que a velocidade média da água nos canais, encontrada pelo método do molinete, ficou entre 0,31 a 0,42 m s⁻¹, para o Controle B10 e o Controle 3 respectivamente, estando adequado conforme a literatura. Alonço et al. (2005), informa que para canais de solo compactados a velocidade média da água deve ser no máximo 1 m s⁻¹.

Após verificar a existência de divergência entre os resultados apontados pelos diferentes métodos com relação a vazão total dos pontos de controle viu-se a necessidade de verificar se esses valores de vazão encontrados eram suficientes para irrigar as áreas de responsabilidade de cada controle.

Comparou-se a vazão por hectare obtida pelos métodos do molinete e dos orifícios, para os quatro pontos de controle estudados. É possível observar na Tabela 4, que para o controle B08 a variação de vazão entre os dois métodos alcançou 306,25%. Neste ponto de controle a vazão por hectare representou apenas 43% (0,65 L s⁻¹ ha⁻¹) da informada pela cooperativa no método do molinete, já para o método dos orifícios a vazão ficou ainda mais baixa representando apenas 11% (0,16 L s⁻¹ ha⁻¹) da informada. O controle B4 foi o único que forneceu a vazão por hectare conforme a indicada pela cooperativa com 1,53 L s⁻¹ ha⁻¹ para o método do molinete e 1,8 L s⁻¹ ha⁻¹ para o método dos orifícios. O ponto de controle 3 foi o que apresentou os resultados mais próximos entre as metodologias com uma variação de 8,82%, neste verificou-se a maior vazão por hectare, alcançando 2,04 L s⁻¹ ha⁻¹, ficando para método do molinete 36% acima da informada pela cooperativa.

Tabela 4. Comparação dos resultados de vazão por hectare (L s⁻¹ ha⁻¹), pela metodologia do molinete e pelo método dos orifícios, com a variação entre eles.

Controle	Vazão (L s ⁻¹ ha ⁻¹)			Variação entre os métodos (%)
	Molinete	Média para o método do molinete	Orifícios	
Controle 3	2,04		2,22	8,82
Controle B4	1,53	1,575	1,80	17,65
Controle B8	0,65		0,16	306,25
Controle B10	1,62		-	

Pode-se notar na Tabela 4, que embora a vazão média fornecida estava de acordo com a informada pela cooperativa, ela não era uniforme ao longo do canal 2. Isto evidencia que a problemática da distribuição de água não estava na não liberação de níveis suficientes para atender as áreas e sim na regulação inadequadas das comportas. Isto já havia sido constatado por Amaral (2005), que indicou que um dos fatores que mais contribui para reduzir a eficiência de irrigação por inundação é o baixo monitoramento das estruturas de controle de distribuição de água.

A variação da vazão nas diferentes áreas de irrigação pode prejudicar o desenvolvimento e produção da cultura do arroz ao não fornecer a vazão recomendada para suprir as necessidades da mesma, a qual segundo Alonço et al. (2005) necessita em torno de 2 m³ de água para produzir 1 kg de grãos com casca quando irrigado por submersão do solo.

Com base nisso percebeu-se a necessidade de calibração das estruturas de controle de vazão, para o ajuste do coeficiente de descarga para o método de orifícios adotado pela cooperativa. Conforme Méndez e Tornés (2012) o método do molinete pode ser utilizado para

calibração de modelos de verificação de vazão. Desta forma, propõe-se neste estudo utilizar o método do molinete hidráulico como padrão de referência para calibrar as estruturas de controle do método de orifícios, possibilitando com isso estimar a vazão real do ponto de controle.

As metodologias aqui apresentadas, para o cálculo da vazão de uma seção transversal de um canal prismático são relativamente simples e de fácil obtenção. No entanto, a precisão resultante poderá ser aumentada, se houver a redução das distâncias entre os perfis verticais (faixas) pré-estabelecidos, aumentando, por consequência, o número de pontos sobre cada perfil.

6 CONCLUSÕES

A distribuição de água ao longo do canal C2 não é uniforme, variando de $0,65 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ a $2,04 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, no entanto a vazão média obtida pelo método do molinete corresponde à informada pela cooperativa indicando que a problemática está no controle da vazão ao longo do canal e não na liberação da vazão suficiente para atender as áreas irrigadas.

Percebeu-se a necessidade de realização de novos estudos para calibração das estruturas de controle, o que proporcionará uma medição mais exata das vazões pelo método dos orifícios.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONÇO, A. dos S.; SANTOS, A. B.; GOMES, A. da S.; et al. **CULTIVO DO ARROZ IRRIGADO NO BRASIL**. Embrapa Clima Temperado, Sistemas de Produção, 3. Versão Eletrônica, Nov./2005 Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/index.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2012.

AMARAL, Luís G. H. do; RIGHES, Afranio A.. **Estruturas automáticas para controle de água nos canais em lavoura de arroz irrigado**. *Eng. Agríc.* [online]. 2005, vol.25, n.1, pp. 272-281. ISSN 0100-6916.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13403: Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores - escoamento livre**. Rio de Janeiro, 1995.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ y FERNANDEZ, M.; ARAUJO, R.; et. al. **Manual de hidráulica**. 8º Ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1998, 668p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Lei das Águas - Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **In: Recursos Hídricos – Conjunto de normas legais**. Brasília: 3 Ed. da MMA, 2004. p.23-40.

canal fluvial. Instituto de Geociências – UFRGS. Departamento de Geodésia. Porto Alegre –RS.

CARVALHO, Thiago Morato de. **TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEIOS CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 1, n. 1, p.73-85, 2008.

CORRÊA, I. C. S.; **Metodologia para o cálculo de vazão de uma seção transversal a um**
DAKER, Alberto. **Hidráulica Aplicada a Agricultura: A Água na agricultura**. Vol. 1. 6º
Ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983. 316p.

IRGA. **Lavoura Arrozeira**. Volume 58 – nº 449 – Junho 2009. Disponível em:
<<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/20090710141650.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2009.

MÉNDEZ, Alcides León; TORNÉS, Ulises Herrera. Empleo de los modelos visuales en la
enseñanza y la investigación. **Ingeniería Hidráulica Y Ambiental**, Habana, n. , p.3-17, jan.
2012.