

ARTIGO TÉCNICO

ESTRUTURAS AUTOMÁTICAS PARA CONTROLE DE ÁGUA NOS CANAIS EM LAVOURA DE ARROZ IRRIGADO¹

LUÍS G. H. DO AMARAL², AFRANIO A. RIGHES³

RESUMO: O Rio Grande do Sul apresenta a maior área irrigada do Brasil, devido principalmente à lavoura de arroz irrigado por inundação. Um dos fatores que contribuem para reduzir a eficiência de irrigação nessas lavouras é o baixo grau de controle exercido pelas estruturas de distribuição de água. Os objetivos deste trabalho foram projetar e construir dois protótipos de estruturas hidráulicas para controle automático de vazão em canais de irrigação e comparar sua sensibilidade de controle de vazão com a sensibilidade de duas comportas fixas. Os protótipos construídos - uma comporta hidromecânica automática e um regulador automático de vazão - foram instalados à entrada de um canal secundário, juntamente com uma comporta-gaveta e uma comporta-vertedor, que são as estruturas mais utilizadas para controle de vazão no RS. Provocou-se uma variação de 0,20 m na altura da lâmina de água a montante, determinando-se a vazão em cada estrutura. A menor variação de vazão com a alteração da lâmina foi de 5,6%, obtida com o regulador automático de vazão, seguido da comporta-gaveta com 23,7%, da comporta hidromecânica com 30,5%, e da comporta vertedor com 1.177,2%.

PALAVRAS-CHAVE: comporta hidromecânica, regulador automático de vazão, hidrometria.

AUTOMATIC STRUCTURES FOR WATER CONTROL IN CHANNELS ON IRRIGATED RICE CROPS

ABSTRACT: In Brazil, the State that presents the largest extension of irrigated lands is Rio Grande do Sul, mainly due to rice that grows under flooded conditions. One of the factors that contribute to decrease the efficiency of irrigation is the low degree of control obtained with the structures used on water distribution. The objectives of this work were to design and build two hydraulic structures for automatic flow control on irrigation channels, and to compare the flow control sensitivity of the built prototypes with two types of gates that are widely used in the rice fields at the Rio Grande do Sul State. The constructed prototypes - a hydro-mechanical gate and an automatic flow regulator - were installed at the entrance of a secondary channel, next to a sluice gate and a weir. The upstream water depth was ranged from 0.9 m to 0.7 m, and the flow in each structure was measured with "H" flumes. The lower flow variation as a function of the water depth in the principal channel was 5.6%, obtained with the automatic flow regulator, followed by the sluice gate with 23.7%, the hydro-mechanical gate with 30.5% and the weir with 1,177.2%.

KEYWORDS: hydro-mechanical gate, automatic flow regulator, hydrometry.

INTRODUÇÃO

A agricultura é a atividade humana que mais usa os recursos hídricos do planeta. Entretanto, nas próximas décadas, a proporção de água utilizada na agricultura deverá diminuir, devido, principalmente, ao aumento na demanda da indústria e do uso público (SHIKLOMANOV, 1998). Há,

¹Extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor.

²Eng^o Mecânico, Doutorando, UFV, Viçosa - MG, Fone: (0XX31) 3899.2715, luis_gha@yahoo.com.br. Bolsista do CNPq.

³Eng^o Agrônomo, Prof. Titular, Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Santa Maria - RS.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 18-8-2004

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 1^o-3-2005

portanto, a necessidade de otimização do uso da água na agricultura, o que está diretamente relacionado com o aumento na eficiência de irrigação.

No Brasil, o Estado que apresenta a maior área irrigada é o Rio Grande do Sul, o que se deve principalmente à lavoura de arroz irrigado por inundação (RIGHES, 2000). Na região Sul do Estado, predominam as lavouras extensivas de arroz. A existência de mananciais, como a Lagoa Mirim e a Lagoa Mangueira, garante a disponibilidade de água durante todo o período de irrigação, fazendo com que muitos produtores tenham a impressão errônea de que as fontes de recursos hídricos da região são inesgotáveis. Além disso, as políticas de cobrança pelo uso da água ainda não estão definidas no RS, não havendo, até o presente momento, nenhum custo incidente sobre o volume de água captado pelo produtor, exceto o custo de bombeamento. A distribuição da água de irrigação é realizada por canais abertos. Um dos fatores que contribuem para reduzir a eficiência de irrigação é o baixo grau de controle exercido pelas estruturas de controle e distribuição de água - em sua maioria, comportas do tipo gaveta ou vertedores retangulares que dependem de regulagem manual, não mantendo a mesma vazão quando ocorrem variações na carga hidráulica.

Na região, 71% dos sistemas de captação de água são acionados por motores elétricos (INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ, 2001). Devido à cobrança de tarifa diferenciada nos horários de pico de demanda de energia, as bombas não podem funcionar ininterruptamente. O desligamento 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.

O uso de estruturas automáticas no controle de vazão nessas lavouras evitaria o desperdício de água e facilitaria o manejo da irrigação. Conforme BURT & PIAO (2002), comportas hidráulicas automáticas para controle da lâmina d'água a montante e à jusante já eram utilizadas na Califórnia desde 1930. Por volta de 1940, na Holanda, foram projetadas as primeiras comportas basculantes automáticas para controle de lâmina d'água a montante. Durante a década de 1950, surgiram as comportas hidromecânicas AMIL para controle de lâmina a montante, e as comportas AVIO e AVIS para o controle da lâmina à jusante, fabricadas pela companhia francesa Neyrtec. Entre 1960 e 1970, outra tendência em automação de canais começou a surgir. Nos Estados Unidos, passaram a ser desenvolvidos controladores eletromecânicos e modelos matemáticos para simular o escoamento em canais.

Nos últimos dez anos, vários controladores eletromecânicos foram concebidos no intuito de facilitar a operação de canais de irrigação. LANGEMANN (1994) apresentou uma comporta automática para controle de vazão à jusante equipada com soleira de altura variável, ajustada de forma a manter uma carga hidráulica constante no tempo. NOTTLE (1996) desenvolveu uma comporta para controle de vazão em tomadas de água, composta de um paramento com movimento basculante preso a um eixo horizontal. A abertura e o fechamento da comporta são comandados via rádio, mas a estrutura não permite regulagens intermediárias de vazão. STRINGAM & PUGH (2002) desenvolveram um sistema automático para controle de vazão em tomadas de água que consiste em uma comporta vertical, um medidor de vazão e uma unidade de processamento de dados. Quando a vazão da comporta varia, a central de processamento de dados efetua o ajuste da área de escoamento para retornar à vazão original.

Todos os controladores eletromecânicos citados necessitam de energia externa para o seu funcionamento. Basicamente, a alimentação dos sistemas é realizada por uma bateria associada a um painel fotovoltaico, o que pode aumentar consideravelmente o custo de tais equipamentos,

inviabilizando sua utilização. A opção mais viável do ponto de vista econômico é a utilização de estruturas automáticas com acionamento mecânico, as quais não requerem intervenção manual nem a utilização de energia externa para o seu funcionamento.

Com base no problema apresentado, o trabalho teve como objetivos projetar e construir duas estruturas para controle automático de vazão em canais de irrigação: uma comporta-segmento associada a um vertedor e um regulador de vazão com controle via orifício, e comparar os protótipos construídos com duas comportas fixas utilizadas atualmente na região, em relação à sensibilidade de controle de vazão, em função da variação da altura de lâmina de água no canal principal.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal de Santa Maria e a Granja 4 Irmãos, empresa produtora de arroz situada no município de Rio Grande - RS. O experimento foi instalado à entrada de um canal secundário que irriga uma área de aproximadamente 60 ha. Uma estrutura de alvenaria foi construída na entrada do canal secundário, dividindo-o em quatro pequenos canais de 0,58 m de largura por 4,2 m de comprimento, permitindo a utilização simultânea de quatro diferentes dispositivos de controle de vazão.

Projeto e construção da comporta hidromecânica automática

O projeto da comporta hidromecânica automática teve como base o funcionamento das comportas hidromecânicas AVIS (ALSTOM, 2003), utilizadas no controle de lâmina de água à jusante. O protótipo construído dispõe de um flutuador imerso no canal controlado e de um paramento que define a seção de passagem de água (Figura 1). A comporta movimenta-se em torno do eixo, sendo sua posição determinada pelo equilíbrio entre os momentos resultantes do peso (P) total da comporta e do empuxo (E) atuante sobre o volume submerso do flutuador. Os empuxos resultantes sobre o paramento e sobre a face curva do flutuador não geram momento, porque essas peças foram projetadas de forma que seus centros de curvatura coincidisse com o eixo de rotação da comporta.

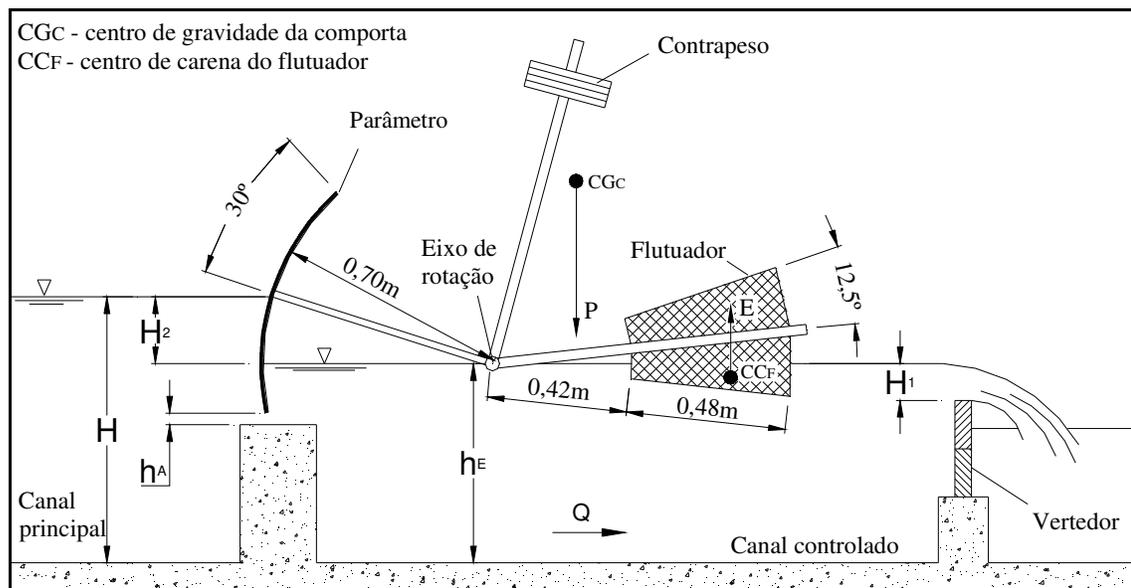


FIGURA 1. Comporta hidromecânica automática.

A comporta foi projetada para fornecer vazões de 0,025; 0,030; 0,035; 0,040; 0,045 e 0,050 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. A alternativa utilizada para variar a vazão fornecida foi a alteração da altura do eixo de rotação da comporta, pois, conforme ERBISTE (1987), a altura do eixo deve corresponder à superfície livre da

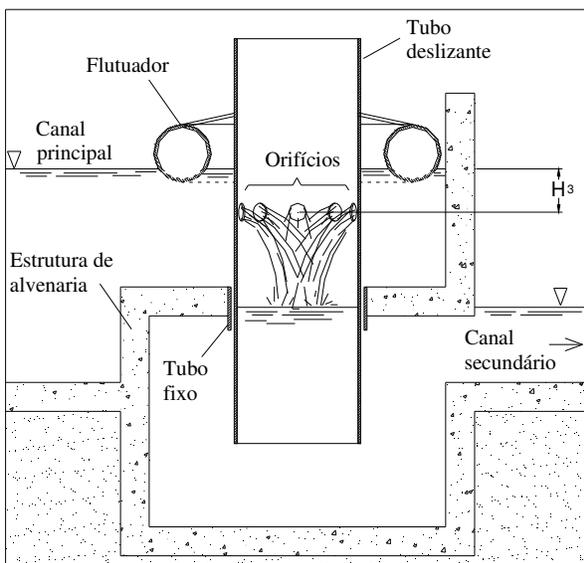
água no canal controlado. Para que a vazão fornecida não fosse influenciada pela variação do consumo de água no canal secundário, instalou-se um vertedor com escoamento livre logo após a comporta. Assim, determinando-se a carga hidráulica (H_1) sobre a soleira do vertedor, correspondente a cada vazão, foi possível fixar a altura do eixo (h_E) da comporta.

O projeto da comporta foi realizado de forma que a altura de abertura (h_A) se alterasse em resposta à variação na altura de lâmina d'água no canal principal (H), visando a compensar a alteração da carga hidráulica H_2 e, dessa maneira, evitar a variação da lâmina d'água no canal controlado. No local do experimento, a altura da lâmina de água no canal principal varia cerca de 0,15 m durante o período de irrigação, atingindo um valor máximo de aproximadamente 0,90 m. Assim, a comporta foi projetada para operar entre os extremos de 0,70 e 0,90 m, superestimando a faixa de variação normal do canal.

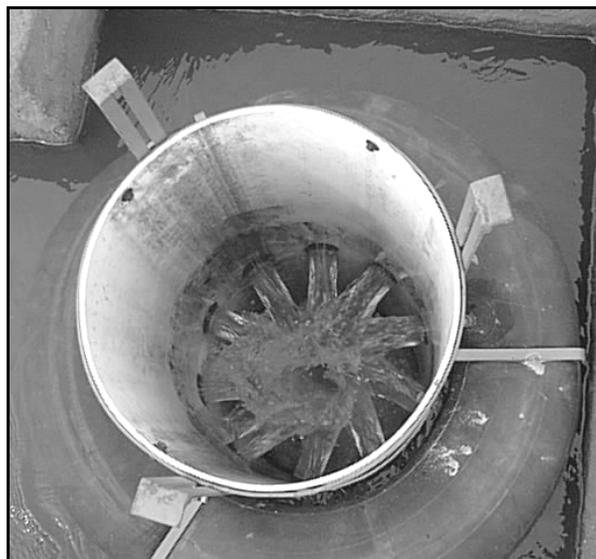
Para cada vazão de projeto, foram determinados, além da altura do eixo da comporta, o ângulo entre o paramento e o flutuador, o ângulo entre o paramento e o contrapeso, e a distância do contrapeso ao eixo da comporta, de forma que a altura da lâmina de água no canal controlado fosse a mesma para $H = 0,70$ m e $H = 0,90$ m. Todos os componentes da comporta foram construídos em aço carbono, exceto os mancais, que foram confeccionados em tecnyl. A chapa de paramento e o flutuador sofreram tratamento de galvanização para proteção contra corrosão. As outras peças receberam pintura anticorrosiva.

Projeto e construção do regulador automático de vazão

O projeto do regulador automático de vazão foi baseado no princípio de funcionamento do "Autoregulator", estrutura de vazão invariável apresentada por HERNANDEZ (1969). O protótipo construído opera com um flutuador preso a um tubo vertical que desliza dentro de um outro tubo, o qual está fixo à estrutura de alvenaria (Figura 2). Ao redor do tubo deslizante, existem orifícios de área conhecida que permitem o escoamento da água do canal principal para o canal de derivação. Quando a lâmina de água do canal principal varia, o flutuador move-se juntamente com o tubo deslizante para manter constante a carga hidráulica (H_3), componente responsável pela vazão através dos orifícios.



(a)



(b)

FIGURA 2. Regulador automático de vazão: (a) esquema em corte e (b) escoamento pelos orifícios.

O regulador, construído a partir de um tubo de PVC rígido de 450 mm de diâmetro nominal, foi projetado para operar entre as alturas de lâmina de água de 0,70 e 0,90 m no canal principal. O tubo

fixo, com 0,12 m de altura, foi obtido da bolsa do tubo de PVC, enquanto o tubo deslizante, de 1,40 m de altura, foi confeccionado com o corpo do mesmo tubo. Como flutuador, foi utilizada uma câmara pneumática fixada ao tubo deslizante por um suporte de metal.

Instalação e avaliação qualitativa dos protótipos no campo

Os dois protótipos construídos foram instalados junto à estrutura de alvenaria (Figura 3) e mantidos em funcionamento para avaliação qualitativa. Foram observados os seguintes fatores: estabilidade dos protótipos frente a perturbações na lâmina de água, ocorrência de entupimento ou travamento e facilidade de regulagem.



FIGURA 3. Protótipos instalados junto à estrutura de alvenaria.

Avaliação quantitativa das estruturas de controle de vazão

Quatro diferentes equipamentos para controle de vazão foram testados simultaneamente, sob a influência da mesma altura de lâmina de água a montante: dois protótipos automáticos e duas comportas fixas (uma comporta-gaveta de aço e uma comporta-vertedor de tábuas - estruturas de regulagem manual com grande aplicação nas lavouras de arroz do RS). Sua construção e instalação foram realizadas pelos funcionários da Granja 4 Irmãos, seguindo os mesmos procedimentos usados no dimensionamento e na instalação de comportas similares empregadas na empresa.

A regulagem das estruturas visou à obtenção de vazões coerentes com a capacidade da calha medidora de vazão. A abertura da comporta-gaveta foi regulada em 0,035 m, enquanto a altura da soleira da comporta-vertedor foi de 0,749 m em relação ao fundo do canal. O flutuador do regulador automático de vazão foi posicionado para que a carga hidráulica sobre os orifícios fosse de 0,15 m. O eixo da comporta hidromecânica foi fixado a 0,585 m de altura em relação ao fundo do canal, enquanto o contrapeso, de aproximadamente 46 kg, foi posicionado com o centro de gravidade a 1,12 m do eixo.

Os tratamentos aplicados foram diferentes alturas de lâmina de água no canal principal: 0,70; 0,725; 0,75; 0,775; 0,80; 0,825; 0,85; 0,875 e 0,90 m. No entanto, não foi possível aplicar os tratamentos de 0,70; 0,725 e 0,75 m para a comporta-vertedor, pois não havia passagem de água sobre a comporta para esses três tratamentos. Esse problema poderia ser resolvido pela retirada de uma das tábuas superpostas, reduzindo a altura da soleira. No entanto, caso uma das tábuas fosse retirada, a vazão obtida excederia a capacidade de medição das calhas, que era de aproximadamente $0,055 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A variável analisada foi a vazão fornecida pelas comportas, determinada em calhas de medição do tipo “H” de um pé

(0,3048 m), construídas exatamente conforme as especificações técnicas e instaladas nas extremidades dos canais. Cada calha foi conectada a um poço tranqüilizador, no qual foi colocado um piezômetro e uma régua milimetrada para a determinação da altura da lâmina de água. Com a altura da água e a tabela de calibração da calha fornecida por BRAKENSIEK et al. (1979), obteve-se a vazão correspondente.

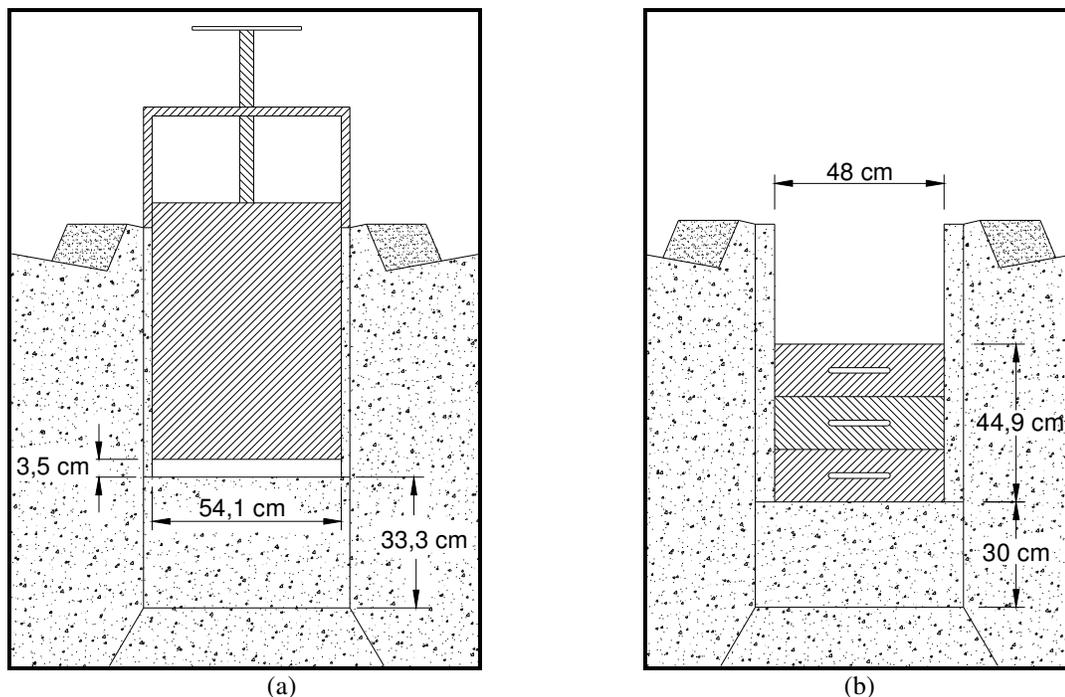


FIGURA 4. Principais dimensões das comportas fixas utilizadas no experimento: (a) comporta-gaveta e (b) comporta-vertedor.

A análise estatística foi realizada no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições para cada estrutura, com exceção da comporta hidromecânica, para a qual foram realizadas três repetições. Cada repetição consistiu na coleta de dados variando a altura da lâmina de água no canal principal desde 0,90 m até 0,70 m. Para determinar se a variação de vazão nas comportas seria significativa em relação à alteração na altura da lâmina de água no canal principal, realizou-se a análise da variância. Nas estruturas em que a variação da vazão foi significativa, foi realizada a análise de regressão pelo método dos polinômios ortogonais. Para confrontar o controle de vazão das quatro estruturas, procedeu-se o teste F para comparação entre as variâncias de tratamentos (quadrados médios dos tratamentos). As estruturas foram comparadas duas a duas. O nível de probabilidade de erro utilizado em todas as análises foi de 1%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação qualitativa dos protótipos

Inicialmente, observou-se boa mobilidade da comporta hidromecânica em torno do seu eixo, e ausência de contato entre o paramento e as paredes do canal. Entretanto, a regulação da comporta - principalmente a fixação da altura do eixo - constituiu-se em tarefa difícil e demorada. Contudo, o maior problema verificado foram as oscilações da comporta devido às perturbações no nível da água no canal principal e, principalmente, à ação direta do vento sobre o contrapeso. As oscilações produziram choques entre a chapa do paramento e a base de concreto, danificando a estrutura da comporta e reduzindo sua mobilidade. Para reduzir esse problema, a distância do contrapeso ao eixo da comporta foi reduzida, minimizando o efeito causado pelo vento.

Durante o período em que foi mantido em funcionamento, o regulador automático de vazão não apresentou deficiências, conservando suas características funcionais. A regulagem da carga hidráulica foi realizada com rapidez e facilidade, liberando-se os parafusos de fixação e deslocando-se o suporte do flutuador para a posição desejada. O protótipo manteve-se estável frente às perturbações no nível da água no canal principal, não sendo constatada a ocorrência de entupimento ou travamento.

Avaliação quantitativa das estruturas fixas e automáticas

Os resultados da análise da variância da vazão, em função das alturas de lâmina de água no canal principal, para as quatro estruturas avaliadas, são apresentados na Tabela 1. Foi verificada variação significativa na vazão fornecida pelas quatro estruturas avaliadas. No caso das comportas fixas, esse efeito já era esperado, uma vez que a equação para o cálculo da vazão em vertedores de parede delgada, deduzida a partir da equação de Torricelli e da equação da continuidade, e a equação para o cálculo da vazão em comportas do tipo gaveta, deduzida a partir da equação de Bernoulli, demonstram que a vazão depende da carga hidráulica a montante:

$$Q = m H^n \quad (1)$$

em que,

Q - vazão, $m^3 s^{-1}$;

m - fator que depende da geometria da estrutura, e

H - carga hidráulica, m.

TABELA 1. Quadrados médios de tratamento, valores de F calculados e coeficientes de variação das análises da variância da vazão em função das alturas de lâmina de água no canal principal, para as quatro estruturas de controle de vazão avaliadas.

Estrutura de Controle de Vazão	Quadrado Médio do Tratamento ($\times 10^3$)	F Calculado (Sob Ho)	Coefficiente de Variação (%)
Comporta hidromecânica	0,03495	13,17*	4,382
Regulador automático de vazão	0,00168	10,23*	1,094
Comporta-gaveta	0,03076	424,84*	0,695
Comporta-vertedor	1,05701	5.679,48*	1,831

* significativo a 1% de probabilidade de erro.

Os fatores que concorreram para o baixo desempenho da comporta hidromecânica, foram a suscetibilidade à ação do vento e às perturbações na lâmina de água, e a redução da mobilidade da comporta, causada pelos choques ocorridos durante os períodos de oscilação, o que prejudicou a alteração da abertura do paramento, permitindo que a lâmina à jusante variasse entre 0,598 m e 0,620 m. Como havia um vertedor logo após a comporta, essa variação na lâmina provocou grande variação de vazão. Apesar de não ter apresentado um controle de vazão acurado, a variação da lâmina de água pode ser considerada razoável, uma vez que foi inferior à máxima variação obtida por BURT et al. (2001) com comportas basculantes para controle de lâmina a montante, que foi da ordem de 0,025 m.

No caso do regulador automático de vazão, parte da variação na vazão fornecida pode ser atribuída ao vazamento que ocorre entre a parede do tubo deslizante e a parede do tubo fixo. No entanto, a folga existente entre os dois tubos é bastante pequena, suficiente apenas para possibilitar o deslizamento entre os tubos, resultando em área reduzida para passagem da água. A maior parte da variação na vazão fornecida pelo regulador pode ser explicada pela modificação da carga hidráulica atuante sobre os orifícios. Na prática, observou-se variação de aproximadamente 0,015 m na carga hidráulica para os 0,20 m de variação na altura de lâmina d'água do canal principal. Para a lâmina de

água de 0,70 m, a carga hidráulica observada foi de cerca de 0,142 m, enquanto para a lâmina de 0,90 m, a carga hidráulica chegou a aproximadamente 0,157 m.

A causa da alteração na carga hidráulica possivelmente foi o empuxo atuante sobre a porção do tubo deslizante submerso no canal secundário. Para a lâmina de 0,70 m, o empuxo sobre o tubo é maior que para a lâmina de 0,90 m, pois o volume de tubo que permanece submerso no canal secundário é maior. Assim, o tubo sofre elevação adicional, diminuindo a carga hidráulica atuante sobre o centro dos orifícios e, conseqüentemente, reduzindo a vazão. Contudo, não foi possível quantificar esse efeito, pois o flutuador foi construído com uma câmara pneumática suscetível a deformações.

As médias das vazões obtidas em cada tratamento para as quatro estruturas avaliadas, bem como as equações de regressão, são apresentadas na Figura 6. O regulador automático de vazão foi a estrutura que ofereceu a menor variação de vazão (5,6%), enquanto a comporta-vertedor apresentou a maior variação (1.177,2%), exibindo o comportamento típico de uma estrutura de medição de vazão. Como o coeficiente n da eq.(1) é aproximadamente 1,5 para os vertedores, pequenas variações na carga hidráulica resultam em grandes variações de vazão.

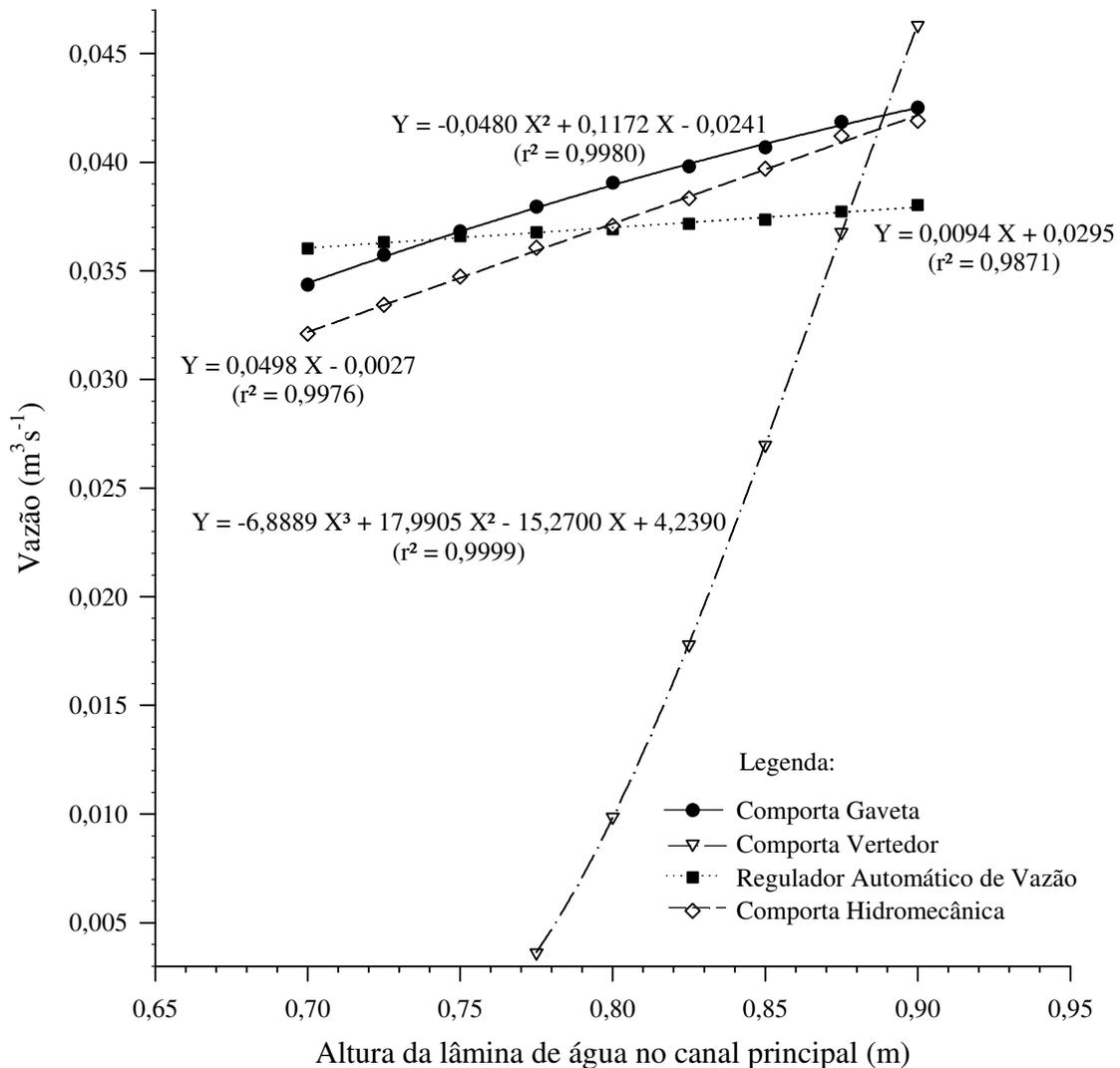


FIGURA 6. Vazão fornecida em função da altura da lâmina de água no canal principal, para as quatro estruturas avaliadas.

Para comportas-gaveta, o valor do coeficiente n fica em torno de 0,5, o que explica a menor variação de vazão (23,7%) que ocorreu nessa estrutura. O controle de vazão efetuado pela comporta-gaveta foi ligeiramente superior ao efetuado pela comporta hidromecânica, na qual a vazão variou 30,5%. Entretanto, não houve diferença estatística entre os controles de vazão efetuados pela comporta-gaveta e pela comporta hidromecânica, já que as variâncias de tratamento de ambas as comportas foram estatisticamente iguais perante o teste F (Tabela 2). Pelo teste, percebe-se que a maior variância de tratamento (que expressa a variação da vazão em função das lâminas de água no canal principal) ocorreu para a comporta-vertedor, e que essa foi estatisticamente diferente das demais estruturas.

TABELA 2. Comparação entre as variâncias de tratamento das estruturas avaliadas.

Estrutura de controle de vazão	Variância de Tratamento
Comporta-vertedor	0,001057 a*
Comporta hidromecânica	0,000035 b
Comporta-gaveta	0,000031 b
Regulador automático de vazão	0,000002 c

* Variâncias de tratamento seguidas por mesma letra não diferem pelo teste F, a 1% de probabilidade de erro.

A menor variância de tratamento foi obtida com o regulador automático de vazão, diferindo estatisticamente das demais estruturas. Tal resultado permite inferir que, apesar de apresentar variação significativa na vazão fornecida, o regulador automático de vazão é a estrutura mais eficaz no controle de vazão dentre as quatro estruturas avaliadas, destacando-se como a estrutura de maior precisão no controle de água na lavoura de arroz irrigado por inundação, em locais onde a variação da lâmina de água no canal principal é significativa. Além disso, o equipamento pode facilitar o manejo da irrigação, pois é possível regular uma vazão aproximadamente constante, de acordo com a área a ser irrigada, sem necessidade de ajustes posteriores. Para as comportas fixas utilizadas atualmente, são necessárias alterações frequentes na regulagem da abertura para que as variações na lâmina de água do canal principal não influenciem significativamente na vazão fornecida. Essa regulagem é feita manualmente e nem sempre é possível realizá-la no momento correto.

Com relação à comporta hidromecânica automática, recomenda-se a utilização de estruturas amortecedoras para reduzir sua instabilidade, melhorando assim o seu desempenho.

CONCLUSÕES

As perturbações do nível da água no canal principal e a ação direta do vento sobre o contrapeso interferem negativamente na estabilidade e no desempenho da comporta hidromecânica automática.

O regulador automático de vazão é a estrutura mais eficiente no controle de vazão nos canais de derivação em função da variação na altura de lâmina de água no canal principal, em comparação com a comporta hidromecânica, a comporta-gaveta e a comporta-vertedor.

AGRADECIMENTOS

À Granja 4 Irmãos, pelo custeio dos materiais, equipamentos e mão-de-obra, bem como pela concessão do local para a pesquisa, e ao CT-Hidro/CNPq, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ALSTOM. *Compuertas AVIO y AVIS*. Disponível em: <http://www.alsintec.com/documents/alstom/water/avio_avis-ds.pdf> Acesso em: 19 nov. 2003.

- BRAKENSIEK, D.L.; OSBORN, H.B.; RAWLS, W.J. *Field Manual for Research in Agricultural Hydrology*. Beltsville: United States Department of Agriculture, 1979. 547 p.
- BURT, C.M.; ANGOLD, R.; LEHMKUHL, M.; STYLES, S. Flap gate design for automatic upstream canal water level control. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.127, n.2, p.84-91, 2001.
- BURT, C.M.; PIAO, X. Advances in PLC-based channel automation. In: CONFERENCE ON ENERGY, CLIMATE, ENVIRONMENT AND WATER, 1., 2002, San Luis Obispo, EUA. *Anais...* San Luis Obispo: USCID, 2002. p. 409-22.
- ERBISTE, P.C.F. *Comportas hidráulicas*. Rio de Janeiro: Campus/Eletróbrás, 1987. 358 p.
- HERNANDEZ, N.M. Irrigation Structures. In: DAVIS, C.V.; SORENSEN, K.E. *Handbook of Applied Hydraulics*. 3rd ed. New York : McGraw-Hill, 1969. p.34.1-34.53.
- INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. *Caracterização da lavoura de arroz irrigado: safra 1999-2000*. Porto Alegre: IRGA, 2001.
- LANGEMANN, P.J. *Irrigation control structure*. Int. CI5. E02B 7/20. U.S. n. 5.372.456. 14 May 1993. 13 Oct. 1993. 13 Dec. 1994.
- NOTTLE, M. K. *Self-actuating sluice gate*. Int. CI6. E02B 3/00. U.S. n. 5.577.863. 20 Aug. 1993. 03 Mar. 1994. 26 Nov. 1996.
- RIGHES, A.A. Água: sustentabilidade, uso e disponibilidade para a irrigação. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, v.11, n.21, p.91-102, 2000.
- SHIKLOMANOV, I. A. *World Water Resources: a new appraisal and assessment for the 21st century*. Paris: UNESCO, 1998. 37 p.
- STRINGAM, B.L.; PUGH, C.A. *Automated farm turnout*. Int. CI7. F16K 21/18. U.S. n. 2002/0066484 A1. 06 Dec. 2000. 06 Jun. 2002.