

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE VAZÃO DERIVADA EM CANAIS DE IRRIGAÇÃO

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade¹; Bruno Leite Teixeira Perroni²; Paulo Emílio Pereira de Albuquerque¹; Gabriel Roberto Oliveira¹; Fernando Falco Pruski³; Flávio Aparecido Gonçalves³

¹*Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, camilo@cnpms.embrapa.br*

²*Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*

³*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG*

1 RESUMO

Em comportas que operam como orifícios retangulares, a variação do nível da água no canal afeta a vazão do orifício, o que provoca erros na estimativa do volume de água derivada. Objetivou-se com esse projeto desenvolver e avaliar dispositivos que possibilitem melhor controle da derivação de água para os lotes. A comporta tipo Módulo de Máscara XX₁, comumente utilizada no perímetro, foi aferida no local e suas características hidráulicas comparadas com os dados do fabricante. Três tipos de dispositivos de derivação de água foram desenvolvidos e avaliados, todos baseados na manutenção do nível da água sobre um orifício. No protótipo 1, procura-se manter o nível da água fechando ou abrindo uma portinhola que atua contra o fluxo de entrada de água. No protótipo 2, uma portinhola atua no sentido do fluxo de água como em um carneiro hidráulico. No protótipo 3 o nível da água é mantido constante fechando ou abrindo a saída de um mangote flexível. O módulo de 10 Ls⁻¹ da comporta XX₁ apresentou erros de até 20% da vazão nominal quando submetida a níveis de água no canal acima ou abaixo do valor recomendado, conforme reportado no catálogo do fabricante. Dos três protótipos desenvolvidos, o que proporcionou melhor resultado foi de número 3. Testes com o protótipo 3 indicaram que variações máximas de 3,4% na vazão derivada foram observadas para oscilações de 30 cm no nível do canal.

UNITERMOS: comporta, orifício, medição de água.

ANDRADE, C. L. T.; PERRONI, B. L. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; PRUSKI, F. F.; OLIVEIRA, G. R. DEVELOPMENT AND EVALUATION OF IRRIGATION CANAL DEVICES FOR WATER TURNOUT CONTROL

2 ABSTRACT

In water turnouts that operate by gravity as a rectangular gate, variation on the canal water level affects the estimated discharge to plots. This work objective was to develop and evaluate devices for a better water turnout to plots. An existing commercial gate model XX₁, was evaluated *in situ* and its hydraulic characteristics compared to manufacturer's data. Three types of water turnout devices were developed and evaluated, all of them based on the principle of maintaining a constant water level over an orifice. In prototype 1, water level is maintained by opening or closing a gate against the inlet water flow. In prototype 2, the gate is positioned in the flow direction, like in a water hammer. In prototype 3, water level is kept

by opening or closing a flat hose outlet. The 10 L s^{-1} module of a XX_1 gate causes errors of up to 20% of the nominal discharge when operated under water levels above or below the recommended value by the manufacturer. Considering three developed prototypes, a better water turnout control was obtained with prototype 3. Tests with prototype 3 indicated that a maximum of 3.4% of the derived discharged was observed for fluctuations of up to 30 cm on the canal level.

KEYWORDS: gate, orifice, water measurement.

3 INTRODUÇÃO

A distribuição de água do perímetro de irrigação Gorutuba, situado em Nova Porteirinha, MG, é do tipo canais abertos elevados (acéguas), nos quais a derivação de água para os lotes é feita por gravidade, através de comportas metálicas do tipo módulo de máscara (Figura 1), que operam como orifícios retangulares. Variações de nível no canal, provocadas por alterações na demanda de água nos lotes ou por variações na liberação de água da barragem, afetam a vazão das comportas. No caso do módulo de máscara modelo XX_1 , empregado no perímetro, a vazão derivada pode variar 10% acima ou abaixo da vazão nominal da comporta, em decorrência da oscilação de 11 cm no nível da água no canal (EQUIPAMENTOS, 2004).

A eficiência de distribuição de água através dos canais principal e secundários nesse perímetro é de aproximadamente de 54,7% (DISTRITO, 2003), o que é muito baixa, considerando que a região é carente neste recurso e há sinais claros de conflitos pelo uso mesmo (BRASIL, 2006). Além do mais, estima-se que cerca de 30% da água distribuída aos lotes não está sendo cobrada por erros de medição da vazão derivada. É comum o represamento da água no canal a jusante da comporta, fazendo com que a mesma opere com o nível acima do recomendado e, assim, libere uma vazão acima da nominal. Em outras situações, especialmente onde foram removidas as estruturas hidráulicas chamadas de “bico de pato” (Figura 1), as comportas tipo módulo de máscara operam com o nível do canal abaixo do recomendado e, portanto, liberam uma vazão de água para o lote abaixo do que será cobrado. Verifica-se, portanto, a necessidade do desenvolvimento de um dispositivo que possibilite a derivação de água com vazão constante, independente do nível da água no canal ou que permita a medição do volume de água derivado para os lotes.



Figura 1. Comporta tipo módulo de máscara, modelo XX_1 , indicando a entrada (A) e saída de água (B) e estrutura hidráulica tipo “bico de pato” (C), no projeto Gorutuba. Nova Porteirinha, MG, 2005.

Vários métodos foram desenvolvidos na década de 1960 para derivação e medição de água em canais abertos, empregados em projetos de irrigação (Schuster, 1970). O mais comum é o do tipo orifício com carga constante, abordado em 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, como é o caso do sistema secundário do projeto Gorutuba.

Os manuais de hidráulica abordam com detalhes a teoria que descreve o fluxo de água em orifícios, bocais e tubos curtos, empregados nas derivações de água em canais (Azevedo Netto, 1973a; Daker, 1976; Flammer et al., 1986; Lencastre, 1972). A equação básica para estes dispositivos é (Azevedo Netto, 1973a):

$$Q = 1000 C_d A \sqrt{2 g H} \quad (1)$$

onde:

Q = Vazão, Ls⁻¹;

C_d = Coeficiente de descarga, adimensional;

A = Área da secção, m²;

g = Aceleração devido à gravidade, 9,81 ms⁻²;

H = Carga de água em relação ao centro do orifício, contemplando o componente de energia cinética [V² (2g)⁻¹], m.

O coeficiente de descarga C_d é de difícil derivação teórica, pois é afetado por vários parâmetros dependentes da forma de entrada e saída do orifício e da própria vazão de água. Para orifícios constituídos por tubos curtos (maiores que os bocais), o valor de C_d pode ser estimado através da relação comprimento/diâmetro (L/D). Para relações L/D entre 10 e 30, os valores de C_d variam de 0,77 a 0,70 (Azevedo Netto, 1973a). Na prática, o valor de C_d deve ser determinado experimentalmente para certo orifício e empregado posteriormente para estimar a vazão com a equação 1.

Outras formas de medição de água, aplicáveis principalmente às tubulações, são descritas por Azevedo Netto (1973b) e Denículi (1993). Hidrômetros são largamente empregados em sistemas de distribuição de água de cidades. Para sistemas de irrigação em que a água pode carrear detritos, os hidrômetros utilizam turbina tangencial, que é posicionada na borda da tubulação, deixando uma passagem maior para a água (Elster, 2004). Alguns modelos de hidrômetros podem ser dotados de dispositivos eletrônicos que permitem a contagem de pulsos da turbina e, quando conectados a registradores eletrônicos, registram a vazão e, ou o volume com o tempo. Outros medidores já dispõem do mecanismo de contagem de pulsos embutido em seu sistema e basta serem conectados aos registradores eletrônicos para permitirem a monitoração da vazão (NIVETEC, 2004a).

O presente trabalho propôs desenvolver um dispositivo para derivação constante de água de um canal elevado, independente da variação no nível da água, calibrar o dispositivo para diferentes vazões e comparar seu desempenho ao de outros métodos de medição.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em três etapas. Numa primeira etapa, calibrou-se o sensor eletrônico de vazão no Laboratório de Hidráulica de Universidade Federal de Viçosa. Numa

segunda etapa, realizada na Embrapa Milho e Sorgo, construíram-se e testaram-se os protótipos dos dispositivos de derivação de água de canais. Para propiciar a avaliação dos protótipos em uma condição controlada, empregou-se uma estrutura de alvenaria que permitiu variar o nível da água e, assim, simular as oscilações de um canal do projeto. Numa terceira etapa, realizada em Nova Porteirinha, MG, onde está localizado o perímetro Gorutuba, testou-se o protótipo mais promissor, acoplando-o a uma derivação existente no lote destinado às pesquisas da Embrapa Milho e Sorgo.

Utilizou-se nos ensaios um sensor eletrônico de vazão, modelo +GF+SIGNET (NIVETEC, 2004a) como instrumento para monitorar a descarga derivada pelos protótipos. Ele consiste em um mecanismo dotado de uma turbina tangencial situada na extremidade de um pequeno segmento de tubo de aço, que pode ser inserido, através de um furo, no conduto onde se deseja medir a vazão do líquido (Figura 2). Para a calibração deste sensor, empregou-se um segmento de tubo de PVC de esgoto de 100 mm por 40 cm de comprimento, no qual o sensor de vazão foi inserido com um ângulo de 45° em relação ao plano vertical. A descarga deste tubo se deu em um reservatório dotado de régua linimétrica, o que possibilitou a medição direta da vazão. Durante a calibração, empregaram-se seis vazões, variando de 2,9 a 22,7 Ls⁻¹.

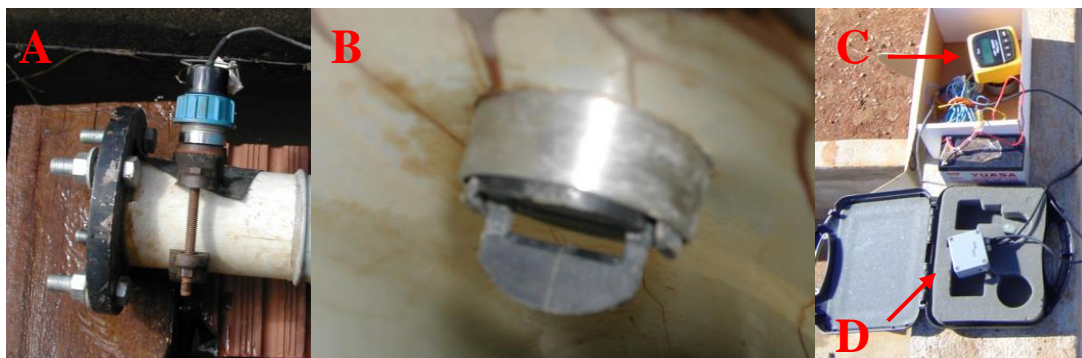


Figura 2. Sensor eletrônico de vazão, montado em tubo de PVC de esgoto de 100 mm (A), detalhe da turbina tangencial (B) e visor do sensor de vazão (C), e registrador de dados de dois canais, LogBox (D).

Conectou-se o sensor eletrônico a um registrador de dados LogBox (NIVETEC, 2004b) programado para tomar 20 leituras por minuto e registrar a média (Figura 2). Realizaram-se seis testes para cada valor nominal de vazão estável deixada passar pelo tubo onde estava inserido o sensor. Empregou-se regressão linear para ajustar uma equação de primeiro grau aos dados médios de vazão versus leitura do sensor, tomando-se a vazão como a variável independente. Adotou-se o coeficiente angular da reta ajustada, como sendo o fator de conversão (K) de leitura do sensor em vazão, expressa em Ls⁻¹. Introduziu-se o valor de K, assim obtido, na memória do sensor eletrônico para possibilitar a leitura direta da vazão.

Avaliou-se também, um hidrômetro com diâmetro nominal de 80 mm, 73,5 mm de diâmetro interno e área da secção livre de 42,43 cm², dotado de turbina tangencial (Elster, 2004) (Figura 3). Para tal compararam-se leituras manuais do mesmo, com as leituras médias registradas no sensor eletrônico, ambos instalados na saída de um dos protótipos de controle de nível. Determinaram-se coeficientes de vazão, C_d, para o hidrômetro e para o sensor eletrônico de vazão empregando-se a equação 1 (Azevedo Netto, 1973a).



Figura 3. Hidrômetro com turbina tangencial instalado a jusante do sensor eletrônico de vazão.

Em um canal secundário do perímetro Gorutuba, avaliou-se o desempenho do módulo de 10 Ls⁻¹ do modelo XX₁ da comporta tipo Módulo de Máscara (EQUIPAMENTOS, 2004), instalada na tomada de água do lote da Embrapa Milho e Sorgo (Figuras 1A e 1B). Submeteu-se a comporta a flutuações de nível no canal, obstruindo-se, com uma tábua, a passagem de água à jusante da tomada d'água para o lote. Monitorou-se o nível de água no canal com um sensor ultrassônico (Figura 4) (NIVETEC, 2004c), registrando-se leituras médias a cada um minuto. Acoplou-se o segmento de tubo de PVC de 100 mm, contendo o sensor eletrônico de vazão, ao orifício da parede construída à jusante da comporta para se registrar as leituras médias de vazão a cada minuto. Compararam-se os dados de vazão, registrados pelo sensor eletrônico, com o valor nominal da comporta, levando-se em consideração os erros reportados pelo fabricante, em decorrência da flutuação no nível de água no canal.

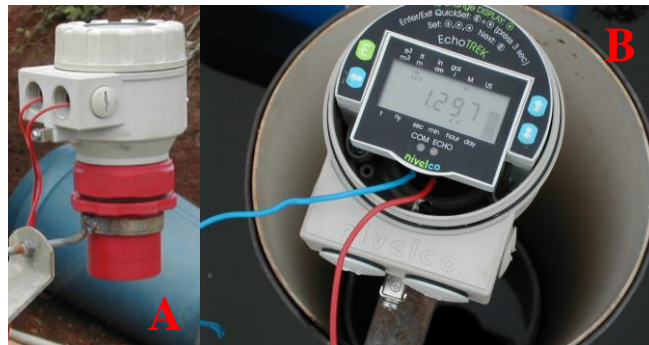


Figura 4. Sensor de nível ultrassônico (A), com detalhe do visor e do poço tranquilizador (B).

Desenvolveram-se e testaram-se dois protótipos em tamanho reduzido, que posteriormente, foram construídos e avaliados em escala normal. Construiu-se e testou-se também um terceiro protótipo em escala normal. Todos os protótipos se basearam no princípio da torneira-bóia de caixa d'água, pelo qual se procura manter constante o nível de água no compartimento onde está um orifício.

Para operar o mecanismo tipo torneira-bóia, utilizou-se três tipos de flutuadores (bóia). O flutuador 1 é constituído de três segmentos de tubo de PVC de esgoto de 150 mm de diâmetro e 600 mm comprimento, dotados de tampões de chapa de PVC soldadas à quente e

unidos entre si por chapa de ferro (Figura 5A). O flutuador 2 é composto por dois segmentos de tubo de PVC de esgoto de 200 mm de diâmetro por 300 mm de comprimento, também com tampas de chapa de PVC e unidos por chapa de ferro (Figura 5B). Construí-se também o flutuador 3, empregando-se o segmento inferior de uma “bombona” de plástico de 50 L (Figura 5C).



Figura 5. Flutuador 1 de três tubos (A), Flutuador 2 de dois tubos (B) e Flutuador 3 de segmento de “bombona” (C).



Figura 6. Protótipo 1 em escala reduzida.

O Protótipo 1, montado em um tambor metálico de 200 L, mantém o nível da água sobre um orifício, fechando ou abrindo uma portinhola que atua no tubo de entrada de água. O flutuador 1 fecha a portinhola quando o nível da água tende a ultrapassar um certo nível pré-estabelecido em função do comprimento da corrente que liga o flutuador ao braço. O dispositivo foi construído com conexões e segmentos de tubo de ferro galvanizado com diâmetro nominal de duas polegadas (Figura 6). Monitorou-se a vazão derivada pelo orifício com o sensor eletrônico de vazão, conectado ao registrador eletrônico de dados LogBox, que foi programado para tomar seis leituras a cada 30 segundos e determinar a média que era, então, armazenada. Mediu-se, a cada minuto, o nível da água no compartimento do tanque de alvenaria, que simulava o canal de irrigação empregando-se uma mangueira transparente do tipo “nível de pedreiro”, colada em uma régua graduada em milímetros. Dentro do tambor, monitorou-se o nível registrando-se a média de seis leituras tomadas a cada 30 segundos com o sensor eletrônico ultrassônico, montado em um poço tranqüilizador construído com um tubo de PVC tipo esgoto de 75 mm. Tomaram-se todas as medidas de nível em relação ao fundo do tambor que, posteriormente, foram convertidas para altura de água em relação ao centro do orifício de saída. Variou-se o nível da água no compartimento que correspondia o canal para simular as oscilações esperadas no projeto Gorutuba.

No Protótipo 2, a medida que o nível da água sobre o orifício de saída sobe, o flutuador atua em um pistão reduzindo a área de passagem do fluxo, de forma similar a um carneiro hidráulico. A válvula é mantida aberta por um contrapeso. Empregaram-se conexões de ferro galvanizado de 2,5 polegadas, para construir este aparato, que utilizou o flutuador 2 para atuar na válvula (Figura 7). Monitoraram-se os níveis de água e a vazão com os mesmos instrumentos e os mesmos critérios de amostragem do Protótipo 1. Como este protótipo causou grande perda de carga devido às passagens estreitas para a água, o diâmetro do orifício de saída teve que ser reduzido empregando-se um “cap” de PVC com um furo de 37 mm no centro.



Figura 7. Protótipo 2 em escala reduzida.



Figura 8. Protótipo 3, com detalhe do mecanismo de estrangulamento do mangote (A), e uma vista externa do aparato indicando a flange de entrada de água (B).

Construiu-se o Protótipo 3 em tamanho normal, empregando-se uma “bombona” de plástico aproximadamente cilíndrica, com capacidade para 200 L. Para se construir a entrada e saída de água, empregaram-se tubos de PVC tipo esgoto de 100 mm, conectados a um segmento de tubo de ferro com 100 mm de diâmetro externo por 10 cm de comprimento, soldado à uma flange de chapa dotada de junta de borracha plana, (Figuras 8A e 8B). O mecanismo de controle de nível consistiu do flutuador 3 (Figura 5C) preso, através de uma haste rígida, a uma barra móvel que estrangula a extremidade de um mangote flexível de

baixa pressão com comprimento 40 cm, que por sua vez, está conectado, internamente, à entrada de água (Figura 8A). Utilizaram-se os mesmos procedimentos de monitoração de nível e de vazão, empregados para avaliar os Protótipos 1 e 2. O tempo de amostragem dos sensores de vazão e de nível passou de 30 segundos para um minuto, sempre armazenando a média de leituras, que neste caso foram 12. Da mesma forma, o nível de água no compartimento da caixa de alvenaria que representava o canal foi medido com nível de borracha, manualmente, a cada minuto. Neste ensaio, empregou-se também o hidrômetro de turbina tangencial (Figura 3) que foi lido manualmente a cada minuto, uma vez que o registrador de dados do mesmo apresentou defeito. Realizaram-se cinco ensaios com este protótipo, fazendo-se variar o nível da água a montante numa faixa de 30 a 40 cm, para que se pudesse avaliar a repetibilidade do mecanismo de controle de nível em diferentes condições de operação do canal, bem como o desempenho dos sensores de nível e de vazão.



Figura 9. Protótipo 3 instalado em uma tomada d'água do projeto Gorutuba (A), com detalhes do flutuador e poço tranqüilizador para medição de nível (B) e sensor de vazão na saída do aparato (C). Nova Porteirinha, MG, 2005.

Testou-se o dispositivo que apresentou melhor desempenho e praticidade, no caso o Protótipo 3, na tomada de água da área experimental da Embrapa Milho e Sorgo no projeto Gorutuba, que era dotada de uma comporta do tipo Módulo de Máscara, modelo XX₁, que foi mantida totalmente aberta durante os testes. Acoplou-se o Protótipo 3 a um tubo de PVC de 100 mm, previamente afixado em uma parede construída à jusante da saída da comporta (Figura 9). Utilizaram-se os mesmos instrumentos, previamente descritos, para monitorar nível e vazão derivada. Variou-se o nível de água no canal para cima e para baixo numa faixa de 36,5 cm, empregando-se, para tal uma tábua para bloquear o fluxo de água à jusante da derivação. Vale lembrar que a estrutura de controle de nível tipo “bico de pato” (Figura 1C), originariamente existente no canal, havia sido removida. Realizaram-se testes com duração média de 70 minutos e com repetições em três diferentes dias.

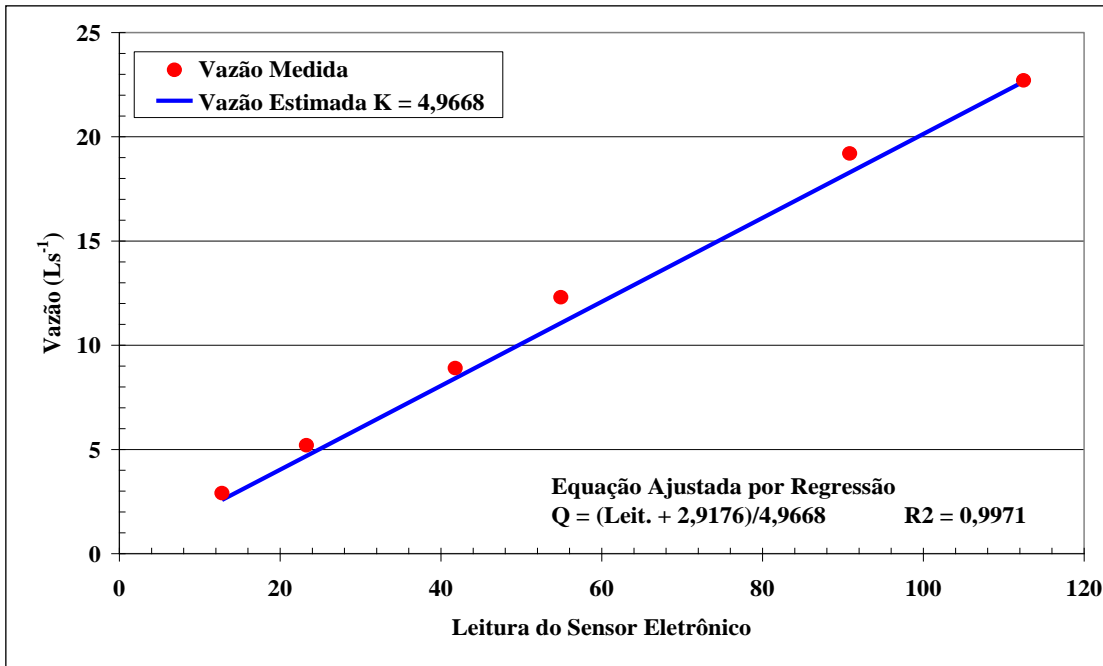


Figura 10. Vazão obtida pelo método direto e estimada com o fator de correção, K, introduzido no sensor eletrônico +GF+SIGNET, em função da leitura.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a calibração do sensor eletrônico +GF+SIGNET, a vazão variou de 2,9 a 22,7 Ls⁻¹, englobando a faixa de valores na qual o instrumento seria empregado posteriormente. Os valores do fator K variaram significativamente de 4,4080 a 4,9552, com uma média de 4,6226, embora os erros padrão da média das leituras sejam relativamente baixos e tendam a diminuir com a vazão. Os valores de K estão acima de 4,301, recomendado pelo fabricante para tubos de diâmetro nominal de 100 mm (NIVETEC, 2004a), indicando que algum fator como diâmetro interno ou rugosidade dos tubos nacionais e à forma de inserção do instrumento podem ter sido diferentes daqueles para os quais o instrumento foi calibrado pelo fabricante. Por ser mais consistente em toda a faixa de vazão para a qual o sensor foi testado, o valor de K de 4,9668, igual ao coeficiente angular da equação de regressão entre os valores de vazão, determinados pelo método direto, e as leituras do sensor eletrônico, foi utilizado nas medições posteriores (Figura 10).

Os dados de vazão do hidrômetro e do sensor eletrônico, com os respectivos coeficientes de vazão, C_d , obtidos por meio da equação 1, e o nível de água sobre o orifício de saída estão apresentados no Quadro 1. Observa-se que o hidrômetro, tido inicialmente como uma melhor opção para medição das vazões dos protótipos, apresentou uma variação maior nos valores de vazão, indicadas pelo maior erro padrão de média, mesmo com valores praticamente constantes de nível de água sobre o orifício. As leituras foram realizadas manualmente, num curto intervalo de tempo (a cada três minutos), o que pode ter introduzido erros no processo. Além do mais, as vazões medidas com o hidrômetro foram quase sempre maiores que aquelas estimadas pelo sensor eletrônico que, quando programado para tomar 36 leituras em três minutos e calcular a média, demonstrou ser mais consistente, com menores erros.

Quadro 1. Vazão do hidrômetro com secção livre de 42,43 cm² e do sensor eletrônico de vazão, coeficientes de vazão da equação 1 e nível de água sobre o orifício de saída.

Repetição	Vazão	C _a	Vazão	C _a Sensor	Nível de
	Hidrômetro		Sensor		
	LS ⁻¹	Hidrômetro	Eletrônico	Eletrônico	Orifício
			LS ⁻¹		cm
1	15,42	0,83	13,70	0,74	69,2
2	13,92	0,75	13,97	0,75	69,1
3	15,17	0,82	14,03	0,76	69,3
4	14,42	0,78	13,90	0,75	69,2
5	14,58	0,79	14,07	0,76	69,4
Média	14,70	0,79	13,93	0,75	69,2
Erro padrão	0,268	0,014	0,065	0,003	0,043

Os valores dos coeficientes de vazão, C_a, variaram de 0,74 a 0,83, sendo mais consistentes, todavia, para o sensor eletrônico. Por isso, o valor médio do C_a de 0,75 do sensor eletrônico foi adotado na estimativa da vazão empregando-se a equação 1.

Durante o teste do módulo de 10 Ls⁻¹ da comporta existente (Figura 1), o nível da água acima da soleira foi artificialmente feito variar de 17,3 a 36 cm (Figura 11), o que permitiu aferir o dispositivo em condições extremas de operação, uma vez que o nível operacional seria de 27 cm. Valores de nível maiores que o limite máximo e menores que o mínimo foram observados durante o ensaio.

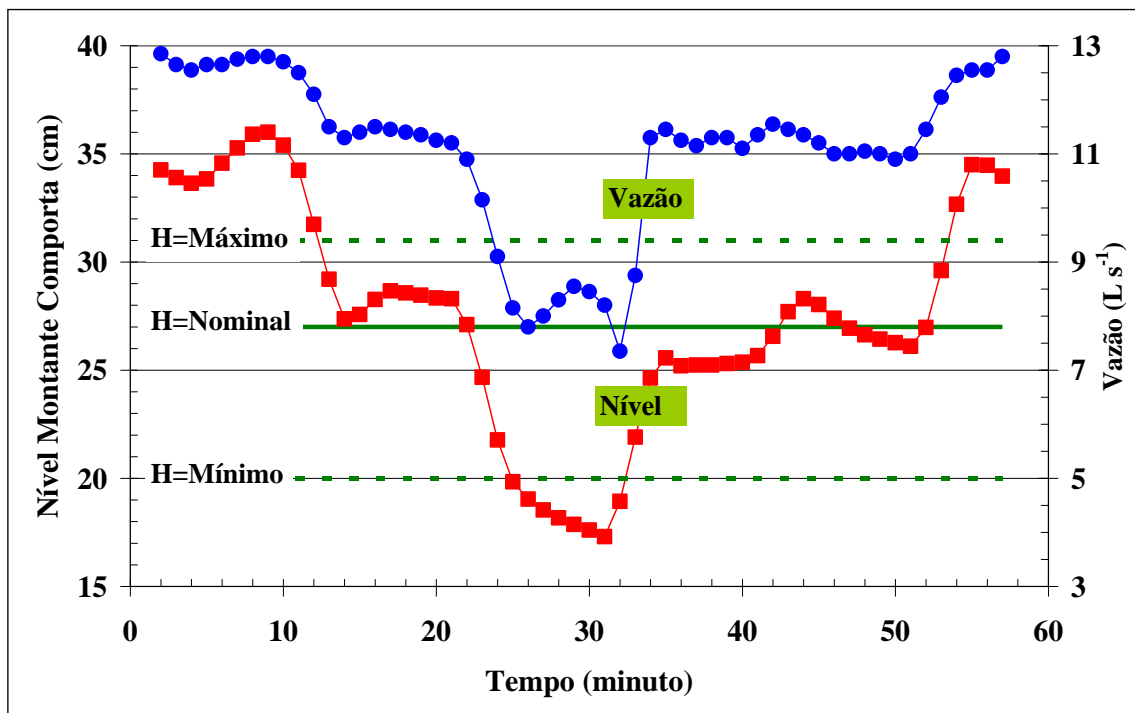


Figura 11. Variação do nível de água no canal à montante da tomada d'água e da vazão derivada pela comporta tipo Módulo de Máscara, modelo XX₁ de 10 Ls⁻¹, instalada em um canal secundário do projeto Gorutura. Nova Porteirinha, MG, 2005.

A vazão medida com o sensor eletrônico variou de 7,4 a 12,9 L s^{-1} , em decorrência da oscilação de 18,7 cm no nível do canal (Figura 11). Estes dados são muito diferentes dos valores operacionais da comporta de 10 L s^{-1} , para vazão, e de 27 cm, para nível de água no canal. Todavia, eles estão consistentes com o que foi reportado pelo fabricante da comporta (EQUIPAMENTOS, 2004), que admite erros de 20% acima e 20% abaixo da vazão nominal, para variações de nível de 4 cm acima e de 7 cm abaixo do nível nominal de operação da mesma, respectivamente. Erros da ordem de 5% acima e abaixo da vazão nominal são admitidos pelo fabricante quando o nível da água no canal oscila entre 21,5 e 29,5 cm (EQUIPAMENTOS, 2004).

Os dados de aferição da comporta demonstram que as informações fornecidas pelo fabricante estão corretas, embora a magnitude dos erros seja grande, considerando que as informações são empregadas para cobrar pela água derivada para os lotes.

Os resultados da avaliação do Protótipo 1, tamanho reduzido, estão apresentados na Figura 12. Nota-se que, mesmo com o nível de água no canal variando de 111 a 157 cm, o nível da água sobre o orifício aumentou apenas de 54,5 para 57,1 cm, fazendo com que a vazão de saída no orifício acrescesse de 5,6 para 5,9 L s^{-1} , o que representou 5,3% de aumento. Todavia, após a estabilização do nível no canal em torno de 111,5 cm, ocorrida após os 35 minutos de teste, a vazão derivada variou apenas de 5,61 a 5,68 L s^{-1} , ou seja, 1,2%. O Protótipo 1 tenta manter o nível sobre o orifício através do fechamento da válvula contra o fluxo de água. Para fechar a válvula, o flutuador tem que exercer uma força equivalente ao peso da coluna d'água que tenta abrir a válvula. Isso dificulta a sua capacidade de manter o nível de água constante sobre o orifício. Embora em tamanho reduzido, a capacidade de regulação deste protótipo mostrou-se melhor que a da comporta tipo Módulo de Máscara existente, visto que para uma oscilação de 46 cm no nível de água no canal a vazão variou pouco mais de 5%.

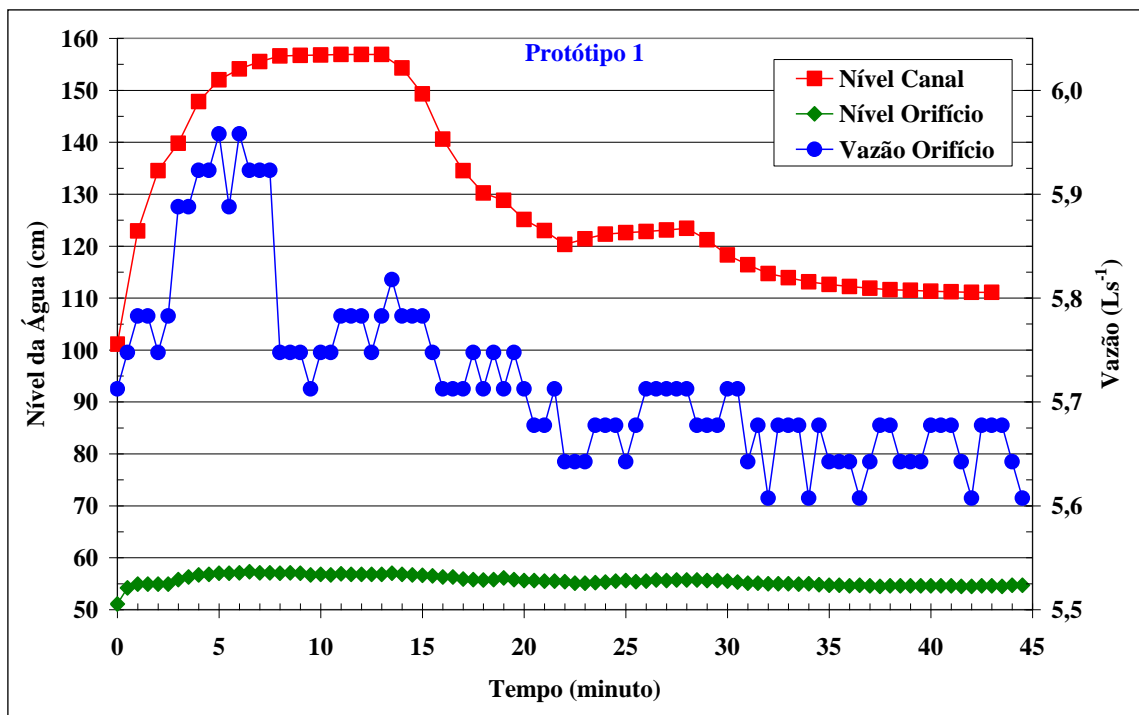


Figura 12. Variação do nível de água à montante do dispositivo de controle e sobre o orifício de saída do Protótipo 1, tamanho reduzido, e variação da vazão derivada. Sete Lagoas, MG, 2004.

Uma versão do Protótipo 1, com diâmetro 100 mm, foi construída e testada, não apresentando, todavia, resultados satisfatórios. Os esforços exercidos pela água tentando abrir a portinhola eram grandes, exigindo um flutuador com área também grande e estruturas metálicas muito reforçadas, que eram incompatíveis com a concepção do projeto de produzir um aparato simples que pudesse, posteriormente, ser testado em campo. Além do mais, o grau de regulação do mecanismo de controle de nível não foi adequado devido, principalmente, à turbulência da água dentro do tambor.

No caso do Protótipo 2, nota-se que o grau de regulação da vazão (Figura 13) pelo mecanismo foi melhor que no Protótipo 1. Enquanto o nível do canal variou de 162 cm a 122 cm, o nível sobre o orifício ficou praticamente constante em 50 cm. A vazão oscilou entre 2,56 e 2,59 L s^{-1} , o que representa um desvio de apenas 1,2%. A desvantagem deste dispositivo é que ele é mais complexo para ser construído e causa uma perda de carga maior. Enquanto o Protótipo 1 permitiu a derivação de uma vazão em torno de 5,6 L s^{-1} , com o nível da água sobre o orifício de aproximadamente 55 cm, o Protótipo 2, com o nível em 50 cm, só derivou menos da metade da vazão. Para conseguir operar corretamente, mantendo um nível constante de água sobre o orifício, o diâmetro do tubo de saída de água do Protótipo 2 foi reduzido de 50 para 37 mm.

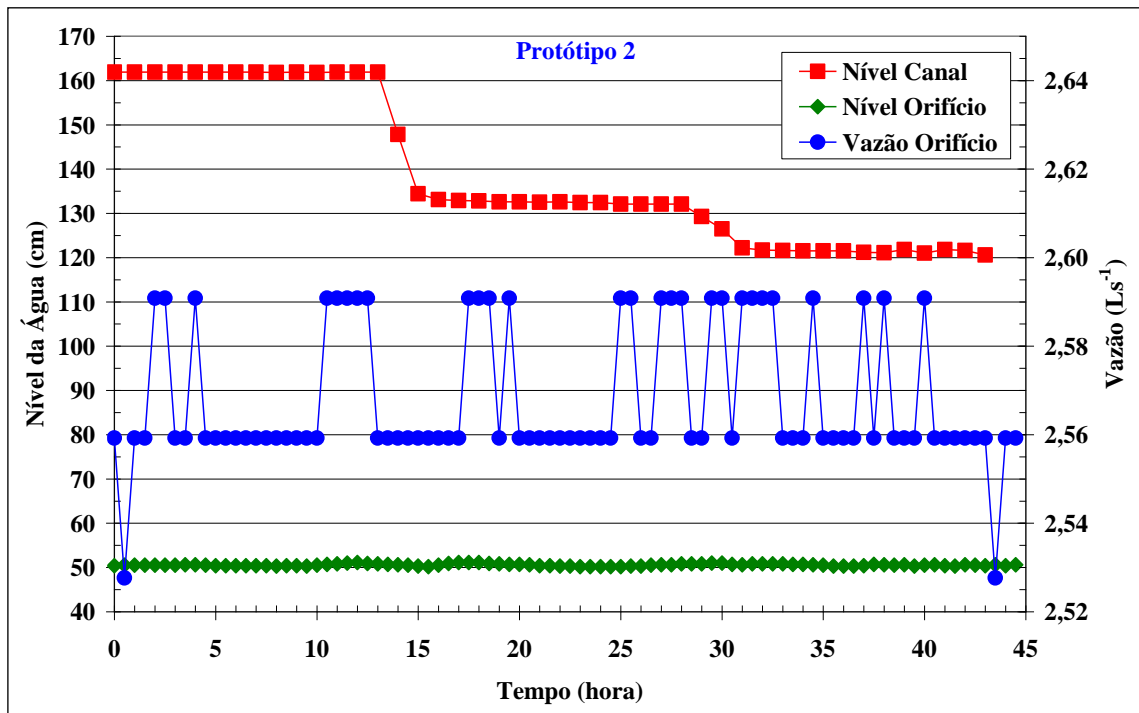


Figura 13. Variação do nível de água à montante do dispositivo de controle e sobre o orifício de saída do Protótipo 2, tamanho reduzido, e variação da vazão derivada. Sete Lagoas, MG, 2004.

Tal como no Protótipo 1, uma versão do Protótipo 2 com diâmetro maior foi construída utilizando conexões de PVC reforçado com fibra de vidro, que também não apresentou resultados adequados. Houve uma grande dificuldade de se definir, na prática, o tamanho do contra-peso para operar com diferentes níveis de água no canal. Uma elevação do nível da água no canal acima do nível definido pelo contra-peso causava o fechamento permanente da válvula. A turbulência excessiva da água, causada pelas passagens estreitas,

também dificultavam a regulação do nível dentro da “bombona”, na qual o dispositivo foi montado. Desta forma, este protótipo também foi abandonado.

O Protótipo 3 (Figuras 8 e 9) apresentou resultados promissores. Os dados apresentados na Figura 14 são resultantes da média de cinco repetições. Observa-se que os valores de vazão, obtidos com o sensor eletrônico (NIVETEC, 2004a), são consistentes, embora em média 5% superiores aos obtidos com a equação 1, empregando-se o coeficiente de vazão de 0,75. Por outro lado, os dados obtidos com o hidrômetro tangencial (ELSTER, 2004) apresentaram uma grande variabilidade, devido à turbulência da água e, possivelmente, à erros decorrentes da leitura manual do mesmo em curtos intervalos de tempo.

Para uma variação do nível da água no canal de cerca de 30 cm, o nível sobre o orifício oscilou cerca de 3 cm, ou seja, para um aumento de mais de 25% no nível no canal, o nível sobre o orifício aumentou menos de 7% (Figura 14). Este mecanismo de controle proporcionou vazões pelo orifício estáveis, que variaram de 11,6 a 12,0 Ls^{-1} , uma oscilação de apenas de 3,4% ao longo do período de teste. Este aparato apresenta, portanto, vantagens em relação à comporta tipo Módulo de Máscara empregada no projeto Gorutuba.

Uma desvantagem deste dispositivo para controle de vazão é a perda de carga relativamente elevada, causada durante o processo de controle de nível. Observa-se que durante os testes, a diferença de nível da água entre o canal e o tambor (Figura 14) foi de pelo menos 74 cm, o que é elevado considerando os desníveis existentes nos canais do projeto Gorutuba.

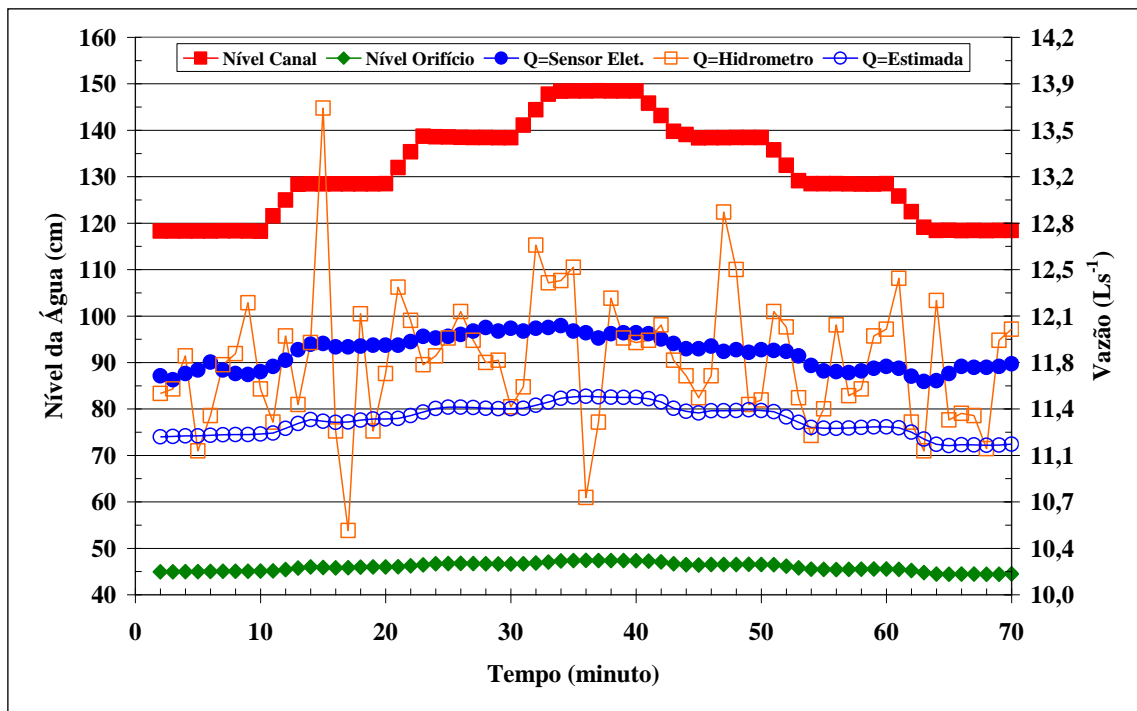


Figura 14. Variação do nível de água à montante do dispositivo de controle e sobre o orifício de saída do Protótipo 3 e variação da vazão derivada obtida por diferentes métodos. Sete Lagoas, MG, 2005.

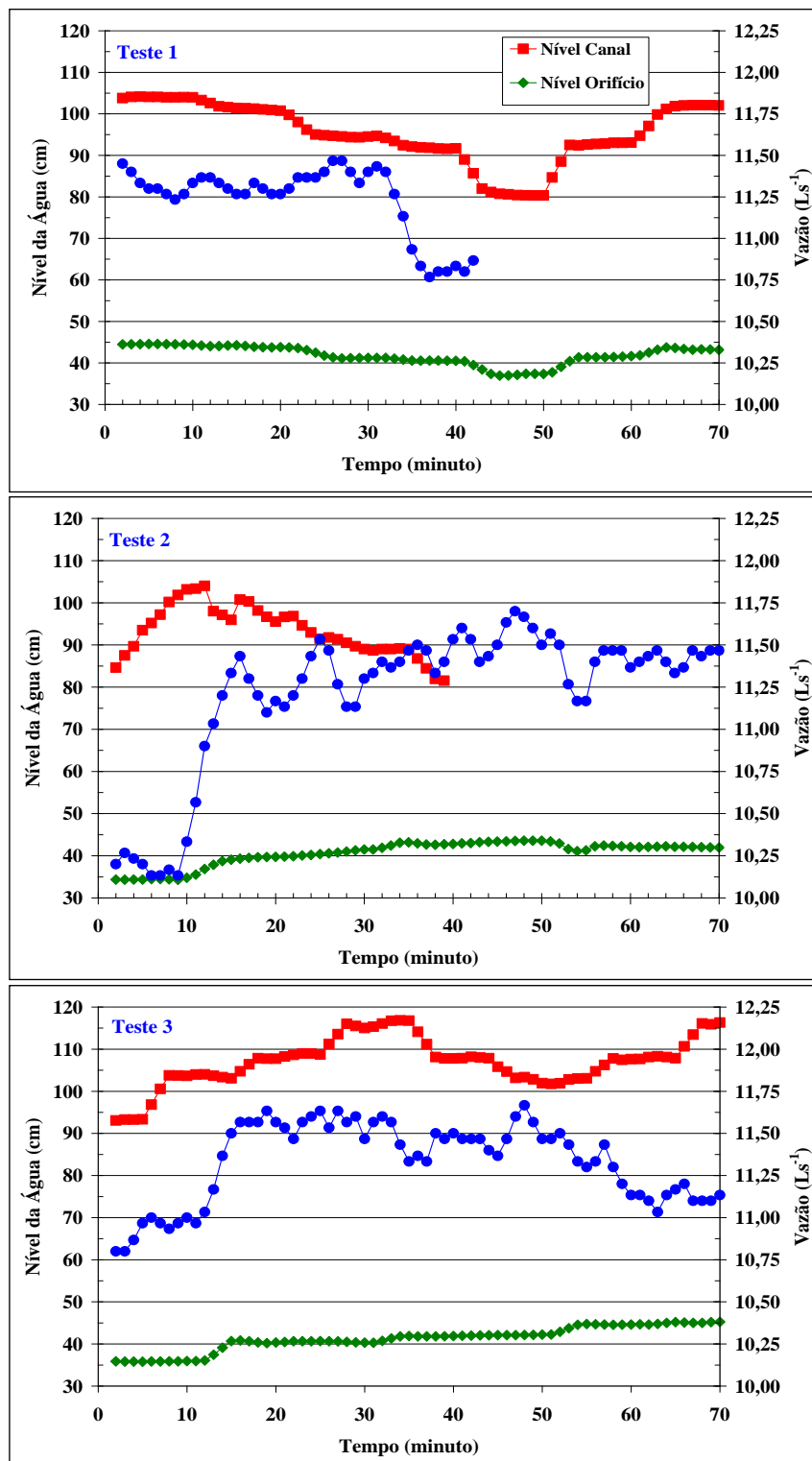


Figura 15. Variação do nível da água no canal do Projeto Gorutuba e sobre o orifício de saída do Protótipo 3 e variação da vazão derivada, para três testes. Nova Porteirinha, MG, 2005.

Os resultados dos ensaios realizados com o Protótipo 3, em um canal secundário do Projeto Gorutuba estão apresentados na Figura 15. Nota-se que o nível de água no canal variou drasticamente, o que permitiu que o dispositivo pudesse ser testado em condições extremas de operação.

No teste 1, o sensor de vazão parou de funcionar após 42 minutos de operação. A vazão derivada oscilou entre 11,25 e 11,50 Ls^{-1} , quando caiu drasticamente em decorrência da queda no nível de água no canal a valores muito baixos, fazendo com que o mecanismo que regula o nível sobre o orifício parasse de funcionar. No teste 2, o mecanismo de controle só iniciou o funcionamento após os primeiros 15 minutos de teste, a partir do qual a vazão oscilou entre 11,13 e 11,70 Ls^{-1} . Da mesma forma, no teste 3, a regulação da vazão só iniciou após 15 minutos de teste, sendo que esta permaneceu entre 11,33 e 11,70 Ls^{-1} até os 52 minutos, após o qual decresceu, possivelmente devido ao bloqueio parcial do movimento da turbina, em decorrência do acúmulo no eixo de detritos proveniente da água.

Os resultados dos três testes indicam que o aparato inicia o processo de regulação quando o nível da água dentro da “bombona” é de pelo menos 40 cm. Isto só ocorre quando o nível no canal está acima de 100 cm, o que demonstra que uma perda de carga de 60 cm ocorre neste mecanismo de controle de vazão, sendo este valor inferior aos 74 cm observados em condição controlada.

Uma análise dos três testes permite deduzir que o Protótipo 3 deriva uma vazão média de 11,37 Ls^{-1} , com uma oscilação máxima de aproximadamente 0,25 Ls^{-1} para cima e para baixo, a depender das flutuações de nível da água no canal, ocorridas acima do nível de 100 cm.

Isto representa um erro de apenas 2,2% da vazão nominal do aparato. O Protótipo 3 possibilita, portanto, uma acurácia maior no controle da vazão derivada, do que o que se observou com a comporta tipo Módulo de Máscara (Figura 11), que só opera com erros menores de 5% quando o nível de água no canal é mantido em torno de 105,5 cm, medido em relação o centro do orifício. Vale ressaltar que o Protótipo 3 foi submetido a uma oscilação de nível de água no canal extrema, quase nunca observada no cotidiano do projeto. Todavia, para utilização prática do dispositivo, este deve ser ainda submetido a testes mais longos, para que sejam avaliadas a sua praticidade em campo e a durabilidade das suas partes móveis.

6 CONCLUSÕES

- Durante o teste do módulo de 10 Ls^{-1} da comporta tipo XX₁, confirmou-se as informações do fabricante quanto aos erros de medição da mesma de até 20% acima ou abaixo da vazão nominal, em decorrência de oscilações no nível do canal;
- O Protótipo 1, de 2 polegadas, operou razoavelmente bem, com variações na vazão da ordem de 5% para flutuações do canal de 46 cm, embora o mesmo protótipo construindo com conexões de 100 mm não tenha apresentado desempenho satisfatório;
- O Protótipo 2, de 2,5 polegadas apresentou um funcionamento excelente, com variações na vazão de apenas 1,2% para oscilações no nível do canal de 40 cm; o mesmo modelo, construído com conexões de 100 mm, não operou de forma adequada;
- O Protótipo 3 apresentou um desempenho superior ao da comporta XX₁, com variações na vazão derivada de apenas 3,4%, para oscilações de 30 cm no nível do canal;

- O Protótipo 3, testado em um canal do projeto Gorutuba, apresentou excelente desempenho, com variações na vazão de apenas 2,2% para uma vazão nominal de $11,37 \text{ L s}^{-1}$ e oscilações de mais de 30 cm no nível do canal;
- A desvantagem do Protótipo 3 é a perda de carga de cerca de 60 cm que o mesmo causa, para que o nível de água sobre o orifício seja mantido constante;

7 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB), pelo apoio financeiro ao projeto, à Codevasf, 1ª SR, na pessoa do Eng. Paulo Roberto de Carvalho e ao Distrito de Irrigação Gorutuba na pessoa do Eng. Takami (Mauro) Doyama pelas sugestões durante a identificação do problema de pesquisa no Perímetro do Gorutuba.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, G. A. **Manual de hidráulica**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973a. v. 1, 333 p.

AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, G. A. **Manual de hidráulica**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973b. v. 2, 668 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **A ANA na gestão das águas - alocação negociada de água - Bacia do Rio Verde Grande (Barragem Bico da Pedra)**. [Brasília, DF, 2006]. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/UsosMultiplos/setoresusuarios.asp> > Acesso em: 5 out. 2006.

DAKER, A. **Hidráulica aplicada à agricultura**. 5. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. v. 1, 302 p.

DENÍCULI, W. **Medidores de vazão do tipo orifício**. Viçosa: UFV, 1993. 43 p.

DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DO PERÍMETRO GORUTUBA. **Plano de operação e manutenção do DIG para o ano de 2004**. Nova Porteirinha, 2003. Não paginado.

ELSTER METERING. **The kent range of metering products: Pulse units for retro-fiting to H4000, S3000, C4000 and C4200 meters**. Bedfordshire, 2004. 9 p.

EQUIPAMENTOS para irrigação e saneamento. Taubaté: ALSTOM, 2004. Paginação irregular.

FLAMMER, G. H.; JEPPSON, R. W.; KEEDY, H. F. **Fundamentals principles and applications of fluid mechanics**. Logan: Utah State University. 1986, 376 p.

LENCASTRE, A. **Manual de hidráulica geral**. São Paulo: Edgard Blücher, 1972. 411 p.

NIVETEC INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE. **+GF+SIGNET 2536/3-8512-xx sensor para baixas vazões**. São Paulo, 2004a. Não paginado.

NIVETEC INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE. **Manual de instalação e programação – registrador de dados eletrônico série 585**. São Paulo, 2004b. 6 p.

NIVETEC INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE LTDA. **Manual de instalação e programação – transmissor de nível ultra-sônico compacto a 2 fios ECHOTREK – SE/SG-300**. São Paulo, 2004c. 35 p.

SCHUSTER, J. C. **Water measurement procedures: irrigation operator's workshop**. Denver: Engineering Research Center; Unites States Bureau of Reclamation, 1970. Não paginado.