

CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE CARNEIROS HIDRÁULICOS

Nyara Regina Grando Borzi¹, Giuliani do Prado²

RESUMO

O trabalho foi conduzido na Universidade Estadual de Maringá, em Cidade Gaúcha/PR, e objetivou construir e avaliar o desempenho de carneiros hidráulicos. Foram construídos carneiros hidráulicos de dois tamanhos ($\frac{3}{4}$ " e 1") empregando conexões de PVC e válvulas de bronze. As condições operacionais dos equipamentos ensaiados foram constituídas por: i) três volumes de câmara de ar (0,5; 1,0 e; 2,0 L) e; ii) dois posicionamentos da válvula de escape (vertical e horizontal). Nos ensaios, para uma carga hidráulica (h) constante de um metro sob o carneiro, foram determinadas: a vazão de alimentação, a pressão de recalque (H) e a vazão de elevação (q). Os valores da relação H/h e q foram empregados para construir curvas características, que apresentaram um decréscimo de q como o aumento da H/h. O volume de câmara de ar não apresentou influência no desempenho dos carneiros hidráulicos. Entretanto, a orientação horizontal da válvula de escape, em relação a vertical, proporcionou um acréscimo 7,1 e 24,2% na vazão média de elevação, respectivamente, para os carneiros hidráulicos de $\frac{3}{4}$ " e 1". O rendimento global médio foi de 13,25 a 13,54% para o carneiro hidráulico de $\frac{3}{4}$ " e de 23,19 a 27,77% para o de 1". Assim, a opção construtiva de carneiro hidráulico de 1", combinado com válvula de escape na horizontal e câmara de ar de 0,5 L, apresentou-se como a melhor alternativa.

Palavras-Chave: vazão de elevação, altura de elevação, câmara de ar, válvula de escape.

CONSTRUCTION AND EVALUATION OF HYDRAULIC RAMS

ABSTRACT

The work was carried out at the State University of Maringá, in Cidade Gaúcha/PR city, and it aimed to build and evaluate the performance of hydraulic rams. Two sizes ($\frac{3}{4}$ and 1 in) of hydraulic rams were built using PVC connections and brass valves. The operational conditions of the tested equipment were: i) three volumes of air chamber (0.5, 1.0 and 2.0 L) and; ii) two impulse valve positions (vertical and horizontal). In the tests, for a constant supply head (h) of one meter under the hydraulic ram, were determined: the supply flow, the

¹ Engenheira Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha-PR, CEP: 87.820-000, e-mail: nyaraborzi@hotmail.com.

² Engenheiro Agrônomo, Professor Associado A do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha-PR, CEP: 87.820-000, e-mail: gprado@uem.br.

delivery head (H) and the delivery flow (q). The relationship values of H/h and q were used to set characteristic curves, which presented a decrease in q with the increasing of H/h. The air chamber volume had no influence on the performance of the hydraulic rams. However, the horizontal position of the impulse valve, in relation to the vertical position, provided an increase of 7.1 and 24.2% in the average delivery flow, respectively, for hydraulic rams sizes of $\frac{3}{4}$ and 1 in. The average efficiency was from 13.25 to 13.54% for the hydraulic ram of $\frac{3}{4}$ in and from 23.19 to 27.77% for the hydraulic ram of 1 in. Thus, the option of a hydraulic ram size of 1 in, combined with a horizontal impulse valve and an air chamber of 0.5 L, led to the best results.

Keywords: delivery flow, delivery head, air chamber, impulse valve

INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica de um país está diretamente relacionada com os eventos de precipitação (ARAI et al., 2012). Em diversos locais no mundo, as comunidades situam-se em cotas mais altas que as fontes de captação de água, havendo a necessidade de bombeamento. Em geral, a elevação de água para abastecimento pode vir de bombas hidráulicas acionadas por motores a combustão ou elétricos (PERRONI et al., 2011), porém no contexto particular de zonas rurais e países subdesenvolvidos isso é mais limitado. Em muitos destes países há ausência de rede elétrica ou de abastecimento rural, ainda quando presente, os usuários se deparam quanto a problemas de custos e manutenção (GABRIEL FILHO et al., 2012).

Em séculos anteriores a invenção de motores a combustão ou mesmo da chegada de eletricidade nas fazendas, o carneiro hidráulico foi utilizado em vários locais para elevação de água de rios e poços até pontos mais altos (DIWAN et al., 2016). Atualmente encontram-se nos mercados as mais diversas alternativas com relação ao desempenho e eficácia de bombas, sendo a bomba de carneiro hidráulico comumente utilizada para abastecer uma pequena propriedade rural, podendo ser adquirida pronta no mercado ou fabricadas (ABADE; BROTEL, 2002; CARARO et al., 2007).

De acordo com Verspuy e Tijsseling (1993), Filipan et al. (2003) e Hussin et al. (2017), a bomba de carneiro hidráulico utiliza a própria energia hidráulica para elevar a água

até uma colina, cisterna ou caixa d'água. Estas bombas são capazes de elevar, geralmente, cerca de 10 a 15 por cento da água recalçada, esse pequeno fluxo contínuo de água adiciona-se 24 horas por dia (AZEVEDO NETTO et al., 1998; ROJAS, 2002).

Carneiros hidráulicos artesanais têm sido empregados como formas alternativas e sustentáveis de abastecimento de água (CARARO et al., 2007; CARVALHO et al., 2016). No entanto, não se encontram muitas literaturas com dados de análises técnicas desses equipamentos. Assim, o presente trabalho teve como objetivo montar e avaliar o desempenho de carneiros hidráulicos operando com válvula de escape posicionada em direções distintas (vertical e horizontal) e com câmaras de ar com diferentes volumes (0,5; 1,0 e; 2 L).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Maringá, em Cidade Gaúcha, Paraná, com carneiros hidráulicos de dois tamanhos ($\frac{3}{4}$ " e 1"), construídos com válvulas de bronze (válvula de pé e retenção) e conexões de PVC (Figura 1).

Os carneiros hidráulicos foram avaliados com a válvula de escape posicionada na direção vertical e horizontal (Figura 1) e operando com três câmaras de ar de diferentes volumes (0,5; 1,0 e; 2 L). Essas câmaras de ar foram construídas com conexões e segmentos de tubos de PVC marrom de 60 mm de diâmetro.

CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE CARNEIROS HIDRÁULICOS

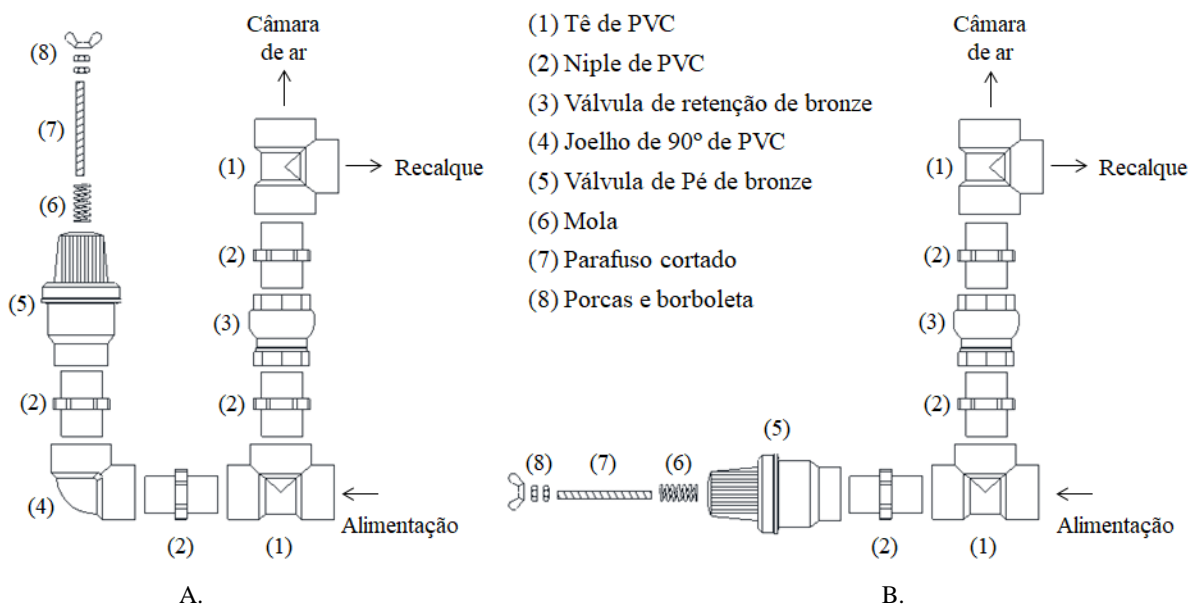


Figura 1. Detalhes construtivos dos carneiros hidráulicos avaliados na posição vertical (A.) e horizontal (B.)

Para avaliação dos carneiros hidráulicos foi construída uma bancada (Figura 2) constituída de dois tubos de PVC com 200 mm de diâmetro. Um segmento de tubo, com 1,2 m de altura (reservatório de alimentação), assentado em bloco de concreto, serviu para alimentar o carneiro hidráulico, outro segmento de tubo, com 3,2 m de comprimento (reservatório de recalque), também assentado em bloco de concreto, serviu para mensurar a vazão de elevação do carneiro hidráulico.

Ao longo dos ensaios, o nível de água do reservatório de alimentação (Figura 2) ficou mantido de forma constante, por meio de um sistema de boia e com uma carga hidráulica de

um metro acima do carneiro hidráulico. Para o fornecimento de água desse reservatório foi empregado uma tubulação de PVC de 1", na qual foi instalada um hidrômetro para mensurar a vazão de alimentação do carneiro hidráulico, dada por:

$$Q = \frac{(v_f - v_i)}{T} \cdot 1000 \quad (1)$$

em que: Q é a vazão de alimentação do carneiro hidráulico ($L \text{ min}^{-1}$); v_f o volume final no hidrômetro (m^3); v_i o volume inicial no hidrômetro (m^3) e; T o tempo (min).



Figura 2. Bancada construída para ensaios dos carneiros hidráulicos.

Na condução de água do reservatório de alimentação ao carneiro hidráulico (Figura 2) foi empregado uma tubulação de PVC roscável de 1¼” com 5 m de comprimento. Com o intuito de interromper o fluxo de água, para troca ou manutenção do carneiro hidráulico, foi usado um registro de esfera de PVC de 1¼”.

A jusante ao carneiro hidráulico foi acoplada uma tubulação roscável de ¾” para o recalque de água. Nessa tubulação foi inserida uma tomada de pressão (Figura 2), em um trecho retilíneo e distante a pelo menos 6 vezes o diâmetro do tubo de qualquer elemento perturbador. No controle da pressão de recalque, mensurada com auxílio de manômetro digital, foi empregado um registro de gaveta para simular diferentes condições de altura de elevação.

No reservatório para a coleta da vazão de recalque, foram dispostas duas entradas de águas, posicionadas a dois e três metros de altura em relação a base do carneiro hidráulico (Figura 2). Para a condução dos ensaios foi utilizada somente a entrada de água a dois metros de altura, a outra entrada de água foi isolada com auxílio de registro de esfera e tem apenas finalidades didáticas.

Para a determinação da vazão elevada pelo carneiro hidráulico (Eq. 2), no reservatório de recalque, com diâmetro interno de 0,1917 m, foi alocado um piezômetro, na direção oposta

das entradas de águas. A vazão perdida pelo carneiro hidráulico (Q_p) representa a diferença entre a vazão de alimentação (Q) menos a vazão de recalque (q).

$$q = \frac{S \cdot (h_f - h_i)}{t} \cdot 1000 \quad (2)$$

em que: q é a vazão de elevação ($L \text{ min}^{-1}$); S a área da seção transversal interna do tubo do reservatório de recalque (m^2); h_f o nível de água final no reservatório (m); h_i o nível de água inicial no reservatório (m); t o tempo de coleta de água (min).

O sistema colocado em funcionamento e com a carga hidráulica no reservatório de alimentação igual a um metro foi regulada a pressão de recalque no manômetro digital, com auxílio de registro de gaveta, e o número de batidas por minuto (bpm) da válvula de escape, com o ajuste da tensão da mola para valores entre 75 e 85 bpm (ABATE; BOTREL, 2002).

Na condução dos ensaios, para cada bomba carneiro hidráulico (¾” e 1”), com válvula de escape posicionada verticalmente e horizontalmente e combinada com cada câmara de ar (0,5; 1 e; 2 L), foram determinados valores com diferentes pressões de recalque. Para cada pressão de recalque, dadas pelo fechamento parcial do registro de gaveta, foram

CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE CARNEIROS HIDRÁULICOS

medidas a vazão de alimentação (Q) e a vazão de elevação (q).

Os valores levantados nos ensaios dos carneiros hidráulicos foram empregados para construir curvas de desempenho que relacionam vazão de recalque (q) versus a

relação entre altura de elevação (H) e carga hidráulica a montante (h). Para determinar qualquer valor de H/h, ao longo da faixa de vazão de elevação (q) determinada nos ensaios, foi empregado o interpolador spline cúbico, dado por:

$$\frac{H_j}{h}(q) = a_j + b_j \cdot (q - q_j) + c_j \cdot (q - q_j)^2 + d_j \cdot (q - q_j)^3 \quad (3)$$

sendo $j = 0, 1, \dots, n - 1$

em que, n é o número de pares de valores da vazão de elevação (q) versus a relação entre altura de elevação e abastecimento de água (H/h) e; a_j , b_j , c_j e d_j coeficientes de ajuste, identificados pelo índice j, do interpolador spline cúbico.

Os coeficientes de ajuste (a_j , b_j , c_j e d_j) do interpolador spline cúbico podem ser obtidos com o auxílio do algoritmo descrito por Burden e Faires (2003), dado por:

ENTRADA: n ; q_0, q_1, \dots, q_n ; $H/h(q)_0, H/h(q)_1, \dots, H/h(q)_n$;

Passo 1: Para $i = 0, 1, \dots, n - 1$

faça: $h_i = q_{i+1} - q_i$

Passo 2: Para $i = 0, 1, \dots, n - 1$

faça: $\alpha_i = \frac{3}{h_i} \cdot (a_{i+1} - a_i) - \frac{3}{h_{i-1}} \cdot (a_i - a_{i-1})$

Passo 3: Faça: $l_0 = 1$; $\mu_0 = 1$; $z_0 = 1$

Passo 4: Para $i = 1, 2, \dots, n - 1$

$l_i = 2 \cdot (q_{i+1} - q_{i-1}) - h_{i-1} \cdot \mu_{i-1}$;
faça: $\mu_i = \frac{h_i}{l_i}$;
 $z_i = \frac{(\alpha_i - h_{i-1} \cdot z_{i-1})}{l_i}$

Passo 5: Faça: $l_n = 1$; $c_n = 0$; $z_n = 0$

Passo 6: Para $j = n - 1, n - 2, \dots, 0$

$$c_j = z_j - \mu_{i-1} \cdot c_{j+1};$$

$$\text{faça: } b_j = \frac{(a_{j+1} - a_j)}{h_j} - h_j \cdot \frac{(c_{j+1} + 2 \cdot c_j)}{3};$$

$$d_j = \frac{(c_{j+1} - c_j)}{3 \cdot h_j}$$

SAÍDA: a_j, b_j, c_j e d_j , para $j = 0, 1, \dots, n - 1$

A relação entre a vazão de elevação (q) e a vazão de alimentação (Q) representa o rendimento volumétrico do carneiro hidráulico (Eq. 4). Já a razão entre o produto da vazão de recalque (q) e a altura de elevação (H) pelo produto da vazão de alimentação (Q) e a carga a montante (h) representa o rendimento global (AZEVEDO NETTO et al., 1998), calculado pela Equação 5. Esses valores de rendimento volumétrico e global foram apresentados em termos médios com os respectivos coeficientes de variação.

$$\eta_v = \frac{q}{Q} \quad (4)$$

$$\eta_g = \frac{q \cdot H}{Q \cdot h} \quad (5)$$

em que: η_v é o rendimento volumétrico (decimal); η_g o rendimento global (decimal); H a altura geométrica de elevação (m) e; h a carga hidráulica a montante (m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 podem ser observados os desempenhos representativos da relação de altura de elevação (H) por desnível geométrico (h) versus vazão de elevação (q), para os dois carneiros hidráulicos avaliados ($3/4''$ e $1''$) e com a válvula de escape disposta em diferentes posições (vertical e horizontal). Essas curvas foram obtidas para os carneiros hidráulicos operando com um número de batidas que variou entre 78 e 82 golpes por minuto.

Ao analisar as curvas de desempenho dos carneiros hidráulicos avaliados (Figura 3), observou-se que, com incrementos na vazão de elevação (q), há uma redução na altura de elevação (H/h), com taxas ($\Delta H/h/\Delta q$) de decréscimo quase que constantes. Abade e Botrel (2002) e Carvalho et al. (2016), na avaliação do desempenho de carneiros hidráulicos, também observaram esse comportamento nas curvas características levantadas e ajustaram, respectivamente, equações exponenciais e lineares para determinar os valores na curva. Entretanto, com a disponibilidade de aplicativos computacionais e a programação, o uso de interpoladores para determinação de valores intermediários não ensaiados, pode proporcionar uma maior precisão dos valores obtidos (PRADO; BARROS, 2013).

CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE CARNEIROS HIDRÁULICOS

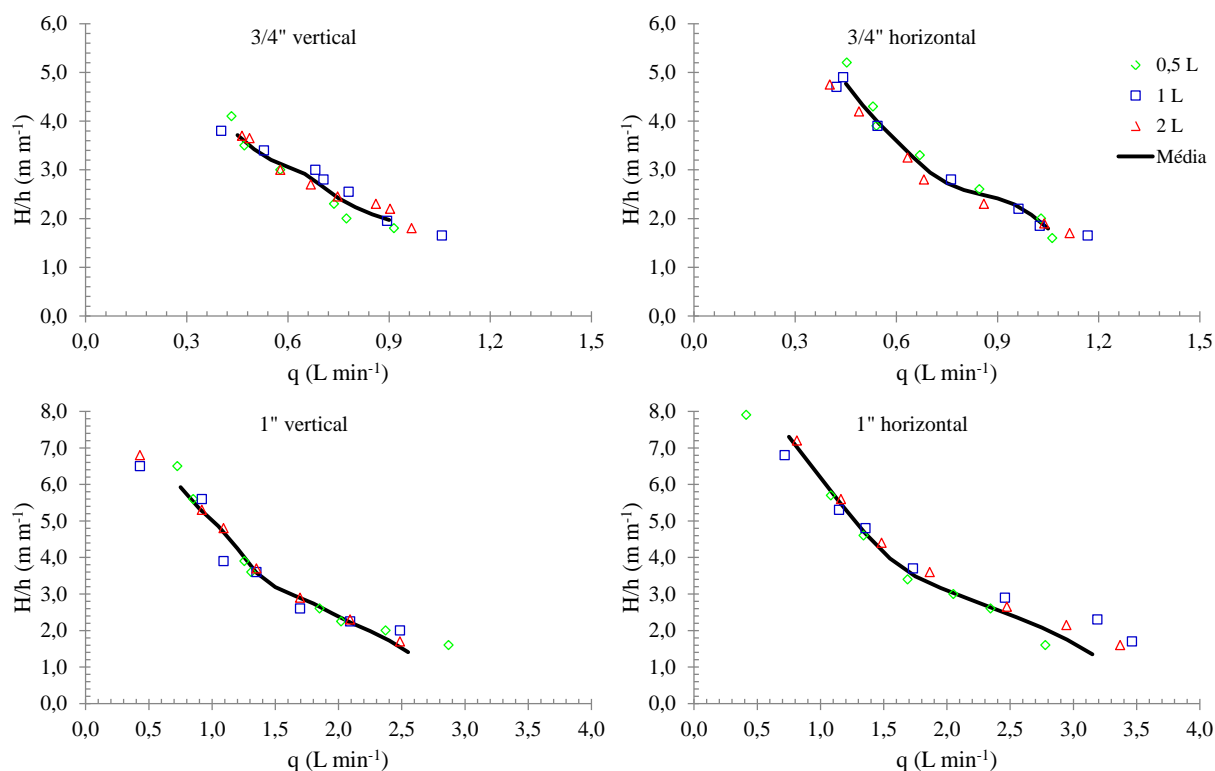


Figura 3. Curvas características de altura de elevação por desnível geométrico (H/h) versus vazão de elevação (q) dos carneiros hidráulicos avaliados.

De modo geral, ao analisar a Figura 3, pode-se afirmar que a bomba carneiro hidráulico de diâmetro de 1" teve maior capacidade de vazão e altura de elevação de água do que a bomba de 3/4". Nessa Figura, também se observou que nas curvas características de câmaras de ar, em todos os casos, houve uma proximidade entre os valores de altura de elevação (H/h) para pontos de mesma vazão, possibilitando o emprego de uma curva com dados médios.

Como a variação dos dados de vazão de elevação, para as três câmaras avaliadas, apresentaram pequenas diferenças entre si, é recomendável o emprego da câmara de 0,5 L. Oliveira et al. (2011) e Hussin et al. (2017) verificaram que carneiros hidráulicos operando com câmaras de ar com menores volumes, respectivamente 0,6 e 1,0 L, proporcionaram maiores vazões elevadas, em relação a carneiro hidráulicos com câmaras de maiores volumes.

Carvalho et al. (2016) também verificaram que carneiros hidráulicos operando com câmara de ar com volume de 0,6 e 1,0 L proporcionaram melhores resultados. Entretanto, ao avaliar a bomba carneiro hidráulico com a câmara de ar de 0,25 L, esses autores constataram que houve uma redução no desempenho do equipamento.

Na avaliação dos carneiros hidráulicos (3/4" e 1"), em relação ao posicionamento da válvula de escape, verificou-se que alocando a válvula de escape horizontalmente proporcionou um incremento na vazão para a mesma altura de elevação (Figura 1). Em média, o posicionamento horizontal da válvula de escape gerou um aumento na vazão de elevação (q), representada pela diferença entre a vazão de alimentação (Q) e a desperdiçada (Q_p), de 0,05 e 0,37 L min⁻¹, respectivamente, para os carneiros hidráulicos de 3/4" e 1" (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de vazão de alimentação (Q), vazão desperdiçada (Qp), rendimento volumétricos (η_v) e coeficientes de variação para as diferentes condições de ensaios dos carneiros hidráulicos.

Posição	Diâmetro	Q (L min ⁻¹)	CV _Q (%)	Qp (L min ⁻¹)	CV _{Qp} (%)	η_v (%)	CV _{η_v} (%)
Vertical	¾"	13,39	4,95	12,69	6,04	5,24	30,0
	1"	20,07	12,61	18,54	13,23	7,66	43,3
Horizontal	¾"	15,12	7,56	14,37	8,76	5,01	37,44
	1"	21,02	8,29	19,12	10,83	9,15	49,43

Cararo et al. (2007) e Intachot et al. (2015), ao avaliarem carneiros hidráulicos quanto ao posicionamento da válvula de escape, também verificaram que o posicionamento horizontal da válvula leva a um melhor desempenho desse tipo de bomba hidráulica. Conforme os mesmos autores, esse melhor desempenho foi resultante da menor resistência (perda de carga) oferecida ao movimento água. Todavia, Cararo et al. (2007) salientaram que a orientação horizontal da válvula de escape pode gerar um número maior de golpes, induzindo a uma menor vida útil dessa peça e do equipamento.

As vazões médias de alimentação e desperdiçada, independente da condição operacional do carneiro, apresentaram, respectivamente, valores que variaram entre 13,39 a 21,02 L min⁻¹ e 12,69 a 19,12 L min⁻¹ (Tabela 1). A diferença entre essas vazões proporcionou uma vazão média de elevação que variou entre 0,70 a 1,90 L min⁻¹. Azevedo Netto et al. (1998) mencionaram que carneiros hidráulicos industriais de fabricação brasileira apresentam uma faixa de vazão de alimentação entre 5 a 150 L min⁻¹, podendo elevar de 0,17 a 13,33 L min⁻¹.

Os rendimentos volumétricos médios (Tabela 1) dos carneiros hidráulicos variaram entre 5,01 a 9,15%, denotando uma grande

perda de água. De acordo com Intachot et al. (2015), carneiros hidráulicos apresentam grande desperdício de água e elevam apenas 10% da vazão de alimentação. Conforme esses autores, em regiões onde há restrições de água, deve-se construir um sistema para aproveitamento da vazão perdida pelo carneiro hidráulico.

Na Figura 4 podem ser observadas as relações entre o produto da vazão e altura de elevação (q H) versus o produto da vazão e altura de alimentação (Q h) dos carneiros hidráulicos, para as diferentes condições operacionais. As declividades das retas representam o rendimento global (η_g) médio dos carneiros hidráulicos, que apresentaram variações entre 13,25 a 13,54% e 23,19 a 27,77%, respectivamente, para os diâmetros dos carneiros de ¾" e 1".

O carneiro hidráulico com diâmetro de 1" apresentou rendimentos globais médios dentro da faixa de valores (20 a 70%) apresentada por Azevedo Netto et al. (1998), sendo uma melhor opção construtiva que o equipamento de ¾". Entretanto, Cararo et al. (2007), ao avaliarem um carneiro hidráulico de ¾" para diferentes condições operacionais, observaram rendimentos globais compreendidos entre 10 a 60%.

CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE CARNEIROS HIDRÁULICOS

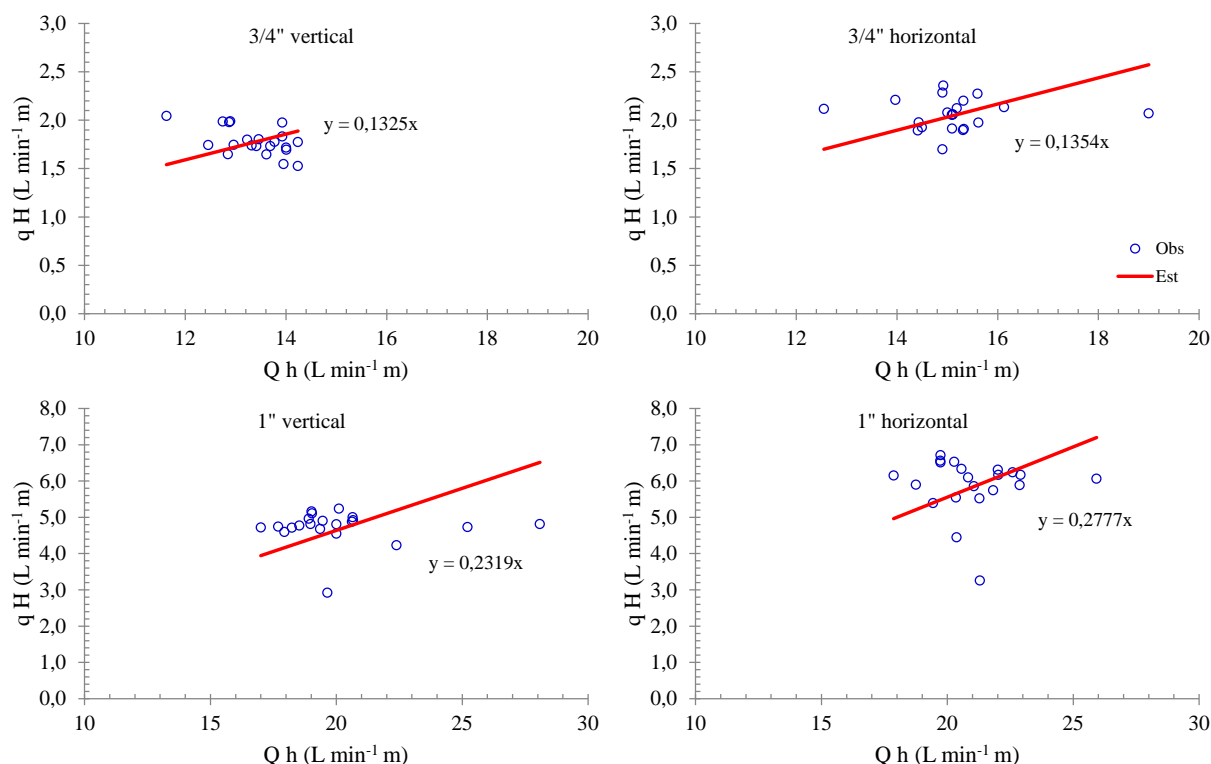


Figura 4. Produto da vazão de alimentação e carga hidráulica a montante (Qh) versus o produto da vazão de elevação e altura de recalque (qH) para diferentes condições de operação dos carneiros hidráulicos.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos conclui-se que: i) o carneiro hidráulico de diâmetro de 1" apresentou melhor desempenho que o de 3/4"; ii) os volumes de câmaras de ar (0,5, 1,0, 2,0 L) nos carneiros hidráulicos proporcionaram desempenhos semelhantes e; iii) o posicionamento horizontal da válvula de escape resultou em melhores condições operacionais dos carneiros hidráulicos.

REFERÊNCIAS

- ABATE, C.; BOTREL, T. A. Carneiro hidráulico com tubulação de alimentação em aço galvanizado e em PVC. *Scientia Agrícola*, v.59, n.1, p.197-203, 2002. <http://doi:10.1590/S0103-90162002000100029>
- ARAI, F. K.; PEREIRA, S. B.; GONÇALVES, G. G. G. Characterization of water availability in hydrographic basin. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.3, p.591-601, 2012. <http://doi:10.1590/S0100-69162012000300018>
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica Azevedo Netto**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 670 p.
- BURDEN, R. L.; FAIRES, J. D. **Análise numérica**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 740 p.
- CARARO, D. C.; DAMASCENO, F. A.; GRIFFANTE, G.; ALVARENGA, L. A. Características construtivas de um carneiro hidráulico com materiais alternativos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.4, p.349-354, 2007. <http://doi:10.1590/S1415-43662007000400001>
- CARVALHO, J. J.; SAAD, J. C. C.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; CAMPOS, M. S.; BARBOSA, R. Z. Performance of a water ram built with disposable bottles. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, n.34, p.3197-3202, 2016. <http://doi:10.5897/ajar2016.11107>

- DIWAN, P.; PATEL, A.; SAHU, L. Design and fabrication of hydraulic ram with methods of improving efficiency. **International Journal of Current Engineering and Scientific Research**, v.3, n.4, p.5-13, 2016.
- FILIPAN, V.; VIRAG, Z.; BERGANT, A. Mathematical modeling of a hydraulic ram pump system. **Journal of Mechanical Engineering**, v.49, n.3, p.137-149, 2012. [http://doi: 10.1590/S0100-69162012000400004](http://doi:10.1590/S0100-69162012000400004)
- GABRIEL FILHO, L. R. A.; VIAIS NETO, D. S.; CREMASCO, C. P.; SERAPHIM, O. J.; CANEPELE, F. L. Mathematical analysis of maximum power generated by photovoltaic systems and fitting curves for standard test conditions. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.4, p.650-662, 2012. [http://doi: 10.1590/S0100-69162012000400004](http://doi:10.1590/S0100-69162012000400004)
- HUSSIN, N. S. M.; GAMIL, S. A.; AMIN, N. A. M.; SAFAR, M. J. A.; MAJID, M. S. A.; KAZIM, M. N. F. M.; NASIR, N. F. M. Design and analysis of hydraulic ram water pumping system. **Journal of Physics**, v.908, n.1, p.1-8, 2017. [http://doi: 10.1088/1742-6596/908/1/012052](http://doi:10.1088/1742-6596/908/1/012052)
- INTHACHOT, M.; SAEHAENG, S.; MAX, J. F. J.; MÜLLER, J.; SPREER, W. Hydraulic ram pumps for irrigation in Northern Thailand. In: 1st International Conference on Asian Highland Natural Resources Management, AsiaHiLand. **Anais...** Thailand: Agriculture and Agricultural Science Procedia 5, 2015. p.107-114. [http://doi: 10.1016/j.aaspro.2015.08.015](http://doi:10.1016/j.aaspro.2015.08.015)
- OLIVEIRA, J. R.; KOETZ M.; SILVA, T. J. A.; ANICÉSIO, E. C. A. Construção e avaliação de equipamento para bombeamento de água tipo “carneiro hidráulico alternativo”. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13, p. 1728-1734, 2011.
- PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. A.; FARIA, L. C. Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.3, p.487-496, 2011. [http://doi: 10.1590/S0100-69162011000300009](http://doi:10.1590/S0100-69162011000300009)
- PRADO, G.; BARROS, T. Avaliação de duas bombas centrífugas associadas em série e paralelo. **Irriga**, v.18, n.1, p.13-24, 2013. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n1p13>
- ROJAS, R. N. Z. **Modelagem, otimização e avaliação de um carneiro hidráulico**. 2002. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- VERSPUY, C.; TIJSSELING, A. S. Hydraulic ram analysis. **Journal of Hydraulic Research**, v.11, n.2, p.267-278, 1993. [http://doi: 10.1080/00221689309498849](http://doi:10.1080/00221689309498849)