

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FERNANDA KEMEL ZILIEL

MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA DE ARÍETE

**Alegrete
2017**

FERNANDA KEMEL ZILIEL

MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA DE ARÍETE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel.

Orientadora: Mestre. Marília Ferreira Tamiosso

**Alegrete
2017**

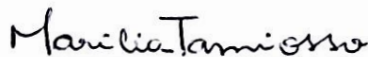
FERNANDA KEMEL ZILIEL

MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA DE ARÍETE

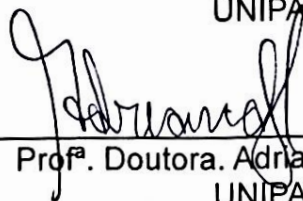
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 21 de junho de 2017.

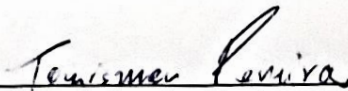
Banca examinadora:



Prof.^a. Mestre. Marília Ferreira Tamiosso
Orientadora
UNIPAMPA



Prof.^a. Doutora. Adriana Gindri Salbego
UNIPAMPA



Prof. Doutor. Tonismar dos Santos Pereira
UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

À Profª e Orientadora Doutora Marília Ferreira Tamiosso;

Aos professores Doutor Tonismar dos Santos Pereira e Dra. Adriana Gindri Salbego;

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica: Engenheiro Agrícola Giulian Rubira Gautério e Engenheiro Agrícola Cleber Millani Rodrigues;

Às colegas Janaína Fresinghelli Netto, Thayná Oliveira da Silva e Naiéle Frescura Medeiros;

Ao meu esposo Paulo, meus filhos Sharbell e Emanuel e a toda minha família.

Agradeço a todos pelo apoio, incentivo, auxílio e contribuição.

“Ora, Àquele que é poderoso para fazer infinitamente mais do que tudo quanto pedimos ou pensamos (...), a Ele seja a glória (...) para todo o sempre. Amém.”

Efésios 3: 20-21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do golpe de Aríete	16
Figura 2 - Aríete hidráulico criado por John Whitehurst em 1772	17
Figura 3 – Esquema do modelo de Montgolfier.....	18
Figura 4 – Válvula de pulso que substituiu a esfera.....	18
Figura 5 – Esquema representativo de uma bomba de aríete e de seus componentes..	20
Figura 6 - Arranjo geral da bomba tipo Blakes construída com acessórios para tubos....	23
Figura 7 – Bomba de aríete IMPAG AH-4	28
Figura 8 – Bomba de aríete CITA AHM 3 L3V-AG	29
Figura 9 – Bomba de aríete CITA AHM 6 L3V	29
Figura 10 – Bomba de aríete CITA Danés	29
Figura 11 – Bomba de aríete Gaviotas	30
Figura 12 – Bomba de aríete Marumby	30
Figura 13 – Bomba de aríete de PVC.....	30
Figura 14 – Bomba de aríete de aço galvanizado	31
Figura 15 – Bomba de aríete com garrafa PET.....	32
Figura 16 – Bomba de aríete: outros modelos	32
Figura 17 – Curva característica de uma bomba centrífuga Dancor da Série CAM 2 Polos de 3500 rpm, mostrando o desempenho: altura manométrica em função da vazão.....	39
Figura 18 – Fotografia dos principais materiais utilizados na construção da bomba	44
Figura 19 – Principais etapas da montagem da válvula de pulso da bomba de aríete ...	45
Figura 20 – Esquema de montagem da bomba de aríete com os acessórios de medição.....	46
Figura 21 – Esquema geral da configuração do sistema de montagem	48
Figura 22 – Esquema de funcionamento da bomba de aríete de PVC.....	49
Figura 23 – Válvula de pulso adaptada.....	57
Figura 24 – Modelo de bomba de aríete com duas válvulas de pulso	64
Figura 25 – Modelo de bomba de aríete com duas câmaras de ar	65
Figura 26 – Modelo de instalação da bomba para reaproveitamento da água desperdiçada	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Recomendações para instalação da tubulação da bomba de aríete.....	25
Quadro 2 – Divergências entre as características e configurações de montagem da bomba de aríete e síntese das indicações de duas variáveis por diferentes autores	27
Quadro 3 – Preço de uma motobomba e de uma bomba de aríete comercializadas no mercado que comportam elevar a água a uma altura manométrica de 50 m.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade dos carneiros tipo Blakes: Quantidade de água (litros) para cada 24 horas de observação sob as condições escolhidas de relação entre h e H_0	22
Tabela 2 - Tabela da vazão e altura de queda para determinação do diâmetro da tubulação de alimentação e de recalque.....	41
Tabela 3 – Quantitativo dos materiais utilizados na construção da bomba	43
Tabela 4 – Custos para construção de um aríete hidráulico em PVC com 32mm de diâmetro.....	54
Tabela 5 – Resultados dos ensaios.....	59
Tabela 6 – Média dos ensaios para cada item observado	60
Tabela 7 – Comparativo dos resultados com as referências consultadas.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados do experimento de Ferreira (2016): Estudo comparativo entre carneiro de PVC e de aço galvanizado.....	38
Gráfico 2 – Vazão Q_s (L/min) <i>versus</i> H_m (mca) e Pulso (p/seg) – $h=2m$	52
Gráfico 3 – Vazão Q_s (L/min) <i>versus</i> H_m (mca) e Pulso (p/seg) – $h=2,9m$	53
Gráfico 4 – Vazão Q_s (L/min) <i>versus</i> H_m (mca) e Pulso (p/seg) – $h=3,5m$	53

RESUMO

A bomba de Aríete é um equipamento capaz de drenar águas de um rio para utilização doméstica e irrigação a partir de um pequeno desnível geométrico utilizando apenas a energia cinética de um golpe de aríete, alcançando também determinadas alturas manométricas, sendo uma excelente alternativa para uso em localidades de difícil acesso ou onde não se dispõe de energia elétrica para utilização de bombas centrífugas convencionais. Este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a eficiência e produtividade de uma bomba de Aríete construída com tubos de PVC de 32 mm de diâmetro. Para as análises foram realizados ensaios de campo, onde foram testados três diferentes desníveis geométricos entre o reservatório de abastecimento e a bomba, bem como diferentes vazões. A vazão de recalque foi de 120 L/h (com registro 100% aberto), aproximadamente, e pode-se variá-la conforme a necessidade, mudando o diâmetro dos tubos de construção da bomba e as batidas do martelo. As vazões médias para cada desnível geométrico (DG) entre o reservatório de alimentação e a bomba foram de 102,4 L/h para DG = 2,00 m com 159,33 pulsos/min em média; de 123 L/h para DG = 2,90 m com 126 pulsos/min em média; e de 123 L/h para DG = 3,50 m com média de 124,5 pulsos/min. Concluiu-se que a bomba é eficiente, prática, de baixo custo e de fácil instalação. Dispensa manutenções constantes e é adequada para instalação a longas distâncias e em terrenos acidentados.

Palavras-Chave: Bomba de Aríete; Bomba Hidráulica; Carneiro Hidráulico

ABSTRACT

The water pump is an equipment capable of draining water from a river for domestic use and watering from a short geometrical unevenness using only the kinetic energy of a water hammer, reaching determined gauged heights, being an excellent alternative for use in locations of difficult access or where electric energy is not available for the use of conventional centrifugal pumps. This work was made with the objective of verifying the efficiency and productivity of a water pump built with 32 mm diameter PVC pipes. For the analysis, field trials were performed, where three different uneven geometries between the supply tank and the pump were tested, as well as the different flow rates. The water flow was approximately 120 L/h (with 100% opened registry), and can vary according to necessity, changing the diameter of the pump's construction tubes and the hammer pulses. The average flow rate for each geometric unevenness (GU) between the power supply and the pump were of 102,4 L/h for GU = 2.00 m with 159,33 pulses/min in average; 123 L/h for GU = 2.90 m with 126 pulses/min in average; and 123 L/H for GU = 3.50 m with an average of 124.5 pulses/min. It was concluded that the pump is efficient and practical, with low cost and easy installation; without the need of constant maintenances and is adequate for long distance installation in rough terrain, being a great alternative for installation in the cited locations.

Keywords: Water Pump; Hydraulic Pump; Gravity Pump

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Golpe de Aríete	16
2.2 Bomba de Aríete	17
2.2.1 Elementos de Montagem	20
2.2.2 Funcionamento	22
2.3 Instalações e Recomendações	25
2.4 Variações e Escolha do Modelo	29
2.5 Aplicações	34
2.6 Vantagens, Desvantagens e Limitações do Carneiro Hidráulico	36
2.7 Custos	37
2.8 Curva de Operação	38
3 METODOLOGIA	44
3.1 Reprodução da Bomba de Aríete com Tubos de PVC	44
3.1.1 Montagem da Bomba	44
3.1.2 Configuração do Sistema	49
3.2 Ensaios	52
3.3 Construção da Curva da Bomba	54
3.4 Custo da Construção do Aríete Hidráulico em PVC (considerando o modelo utilizado)	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 Comparação dos Resultados Obtidos com os encontrados na Literatura	64
5 CONCLUSÕES	66
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Mais de 600 milhões de pessoas no mundo ainda vivem sem água potável e 1,2 bilhão sem energia elétrica. Áreas com absoluta escassez de água abrigarão 1,8 bilhão de indivíduos até 2025 e 33% da população da República Centro-Africana não tem acesso à água potável (ONUBR, 2016).

De acordo com os últimos dados do Portal Planalto (2015) o Programa Luz para Todos do Ministério de Minas e Energia do Brasil, criado para beneficiar prioritariamente comunidades rurais das regiões Norte e Nordeste, foi prorrogado até 2018 para poder atender mais um milhão de brasileiros ainda sem energia elétrica em casa. Este dado confirma que somente nas regiões Norte e Nordeste do território brasileiro ainda existem pelo menos 1 milhão de indivíduos que vivem sem energia elétrica.

O abastecimento de água nestes lugares é, portanto, um problema a ser enfrentado, pois grande parte dessas áreas possui água próxima à população, mas não dispõe de meios de condução dessa água para abastecimento doméstico e até mesmo para consumo dos moradores.

Dados das Nações Unidas no Brasil (ONUBR, 2016) também mostram que pelo menos um terço dessas localidades são de difícil acesso, apresentando condições de isolamento em determinadas situações climáticas.

Uma das formas de se conduzir água até uma propriedade é por meio da utilização de bombas de recalque, mas as motobombas comumente encontradas no mercado utilizam energia elétrica ou gasolina para funcionamento, impossibilitando seu uso nessas áreas.

Por isso, alternativas autossustentáveis são imprescindíveis para atender à necessidade dos habitantes destas localidades.

A bomba de aríete, também chamada de carneiro hidráulico, é uma alternativa interessante para atender a essa demanda. Segundo Grupo Wot (2006) foi inventada pelo inglês J. Whitehurst em 1772. É um equipamento capaz de drenar águas de um rio para utilização doméstica e irrigação. A partir de um pequeno desnível geométrico, a bomba conduz a água a determinadas alturas manométricas utilizando apenas a energia cinética de um golpe de aríete. Pode ser construída com diferentes materiais (PVC, metal, materiais alternativos etc.) e ser instalada em diversas configurações e para diâmetros distintos. Estas características interferem

diretamente no desempenho do equipamento que, para cada altura de água disponível, material de construção, diâmetro e formato de instalação apresenta uma curva de operação distinta, que varia conforme a situação.

Por este motivo, a construção da curva de operação (vazão versus altura manométrica) é importante para analisar as possibilidades de aplicação para cada situação, bem como verificar o desempenho da bomba para um determinado diâmetro.

Com isso, justifica-se a escolha do tema deste trabalho, onde pretende-se contribuir para futuros dimensionamentos e a correta utilização das bombas de aríete de PVC.

O objetivo geral foi determinar a curva de operação de uma bomba de aríete construída com tubulação de PVC (Policloreto de Vinila).

Os objetivos específicos foram:

- Reproduzir uma bomba de aríete com tubulação de PVC com diâmetro de 32 mm;
- Realizar medições de vazão versus altura manométrica e número de pulsos por minuto do aparelho em operação para construção da curva da bomba;
- Verificar possível relação entre os pulsos e a vazão de recalque;
- Comparar os dados obtidos com valores encontrados na literatura.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo consta de um referencial teórico com base bibliográfica e aborda os seguintes itens: golpe de aríete; bomba de aríete, seus elementos de montagem e funcionamento; instalações e recomendações; variações e escolha do modelo; aplicações; vantagens, desvantagens e limitações; curva de operação; dimensionamento.

2.1 Golpe de aríete

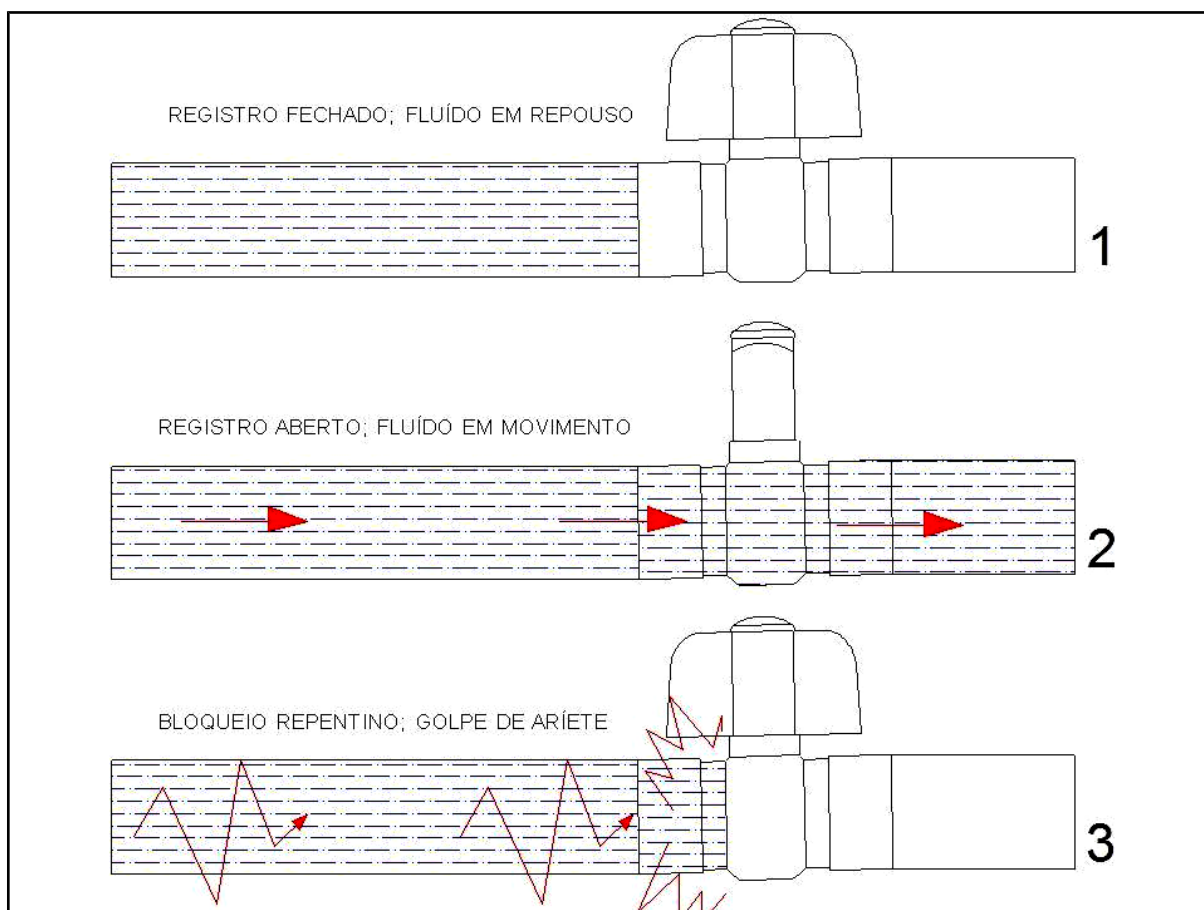
Conforme Martínez (2012), o golpe de aríete é um fenômeno que ocorre com frequência nas tubulações devido a mudanças bruscas na velocidade da água, ocasionando severas variações de pressão acima ou abaixo do valor normal de funcionamento. A principal causa do golpe de aríete são as rápidas manobras nas válvulas.

Para Netto et al. (2000) quando o movimento de um líquido no interior de um conduto forçado é bruscamente modificado, ocorre o golpe de aríete, que é o choque violento produzido pelo fluido nas paredes desse conduto. Por exemplo: ao se interromper um escoamento pelo fechamento de um registro, provoca-se uma sobrepressão no conduto por onde passa o líquido, onde a força de animação da água, ao se fechar rapidamente o registro, é convertida em trabalho, provocando pressões superiores à carga inicial nas paredes da tubulação. Na prática, a energia a ser absorvida transforma-se em esforços de compressão da água, causando deformação nas paredes da tubulação. A Figura 1 mostra uma representação do golpe de aríete.

Na Figura 1, nota-se que no item 1 o registro está fechado e a água encontra-se em repouso dentro da tubulação. Posteriormente, no item 2, o registro é aberto e a água passa a movimentar-se normalmente, fluindo na direção do escoamento. No item 3, o registro é repentinamente fechado, ocasionando uma abrupta interrupção no escoamento, fazendo com que a água se choque, tendendo a retornar pela tubulação, comprimindo a lâmina mais próxima do registro, convertendo sua energia de velocidade em pressão, provocando esforços internos na mesma e distensão no tubo simultaneamente. Essa onda de pressão propaga-se em direção contrária a do escoamento e, devido à elasticidade do tubo e aos esforços internos, tende a sair da

canalização pelo sentido contrário, devido ao fechamento do registro. Este ciclo repete-se sucessivamente (NETTO et al., 2000).

Figura 1 – Representação esquemática do golpe de Aríete



Fonte própria: Adaptado de Openclima, 2015

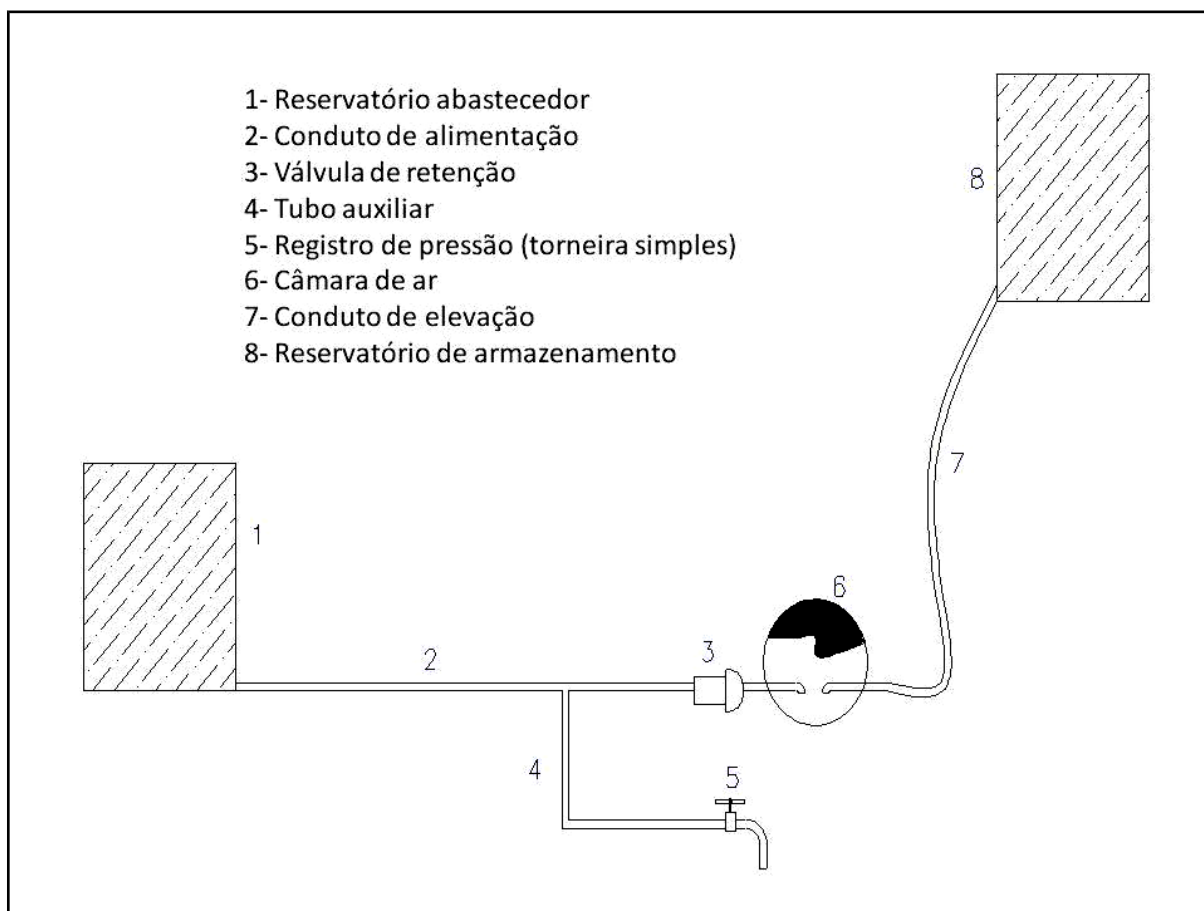
2.2 Bomba de aríete

Segundo Dardot (2012), a bomba de aríete é uma máquina hidráulica desprovida de motor, utilizada para elevação de água sem a necessidade do emprego de fontes externas de energia para seu acionamento. Seu princípio de funcionamento baseia-se no aproveitamento da energia gerada pela sobrepressão, ocasionada pela brusca interrupção do movimento de um fluido que escoava por certo desnível geométrico para elevação de uma parcela do mesmo (golpe de aríete). É de grande utilidade para elevação de pequenas vazões a uma altura maior de recalque, provocada pelo desnível entre a captação e o equipamento.

A bomba de arfete foi inventada pelo investigador inglês John Whitehurst em 1772 (WOT, 2006) e desenvolvida no final do século XVIII, em 1796, pelos irmãos Montgolfier, na França (DARDOT, 2012).

O funcionamento do modelo proposto inicialmente por John Whitehurst ocorria de forma manual, conforme ilustrado na Figura 2, e conseguia elevar a água até 4,9 m. O tubo de alimentação (2) tinha comprimento entre 4 m e 180 m e os diâmetros da tubulação de entrada e da torneira (4), posicionada cerca de 6 m abaixo da fonte, eram iguais. A válvula permitia o fluxo em uma única direção. O desnível entre o tanque de alimentação (1) e o de armazenamento (8) não podia ultrapassar 4,9 m. Neste primeiro sistema havia necessidade de abertura e fechamento da torneira (5) para ocasionar uma interrupção brusca no movimento da água, provocando sua elevação pela variação de pressão ocorrida (FERREIRA, 2016).

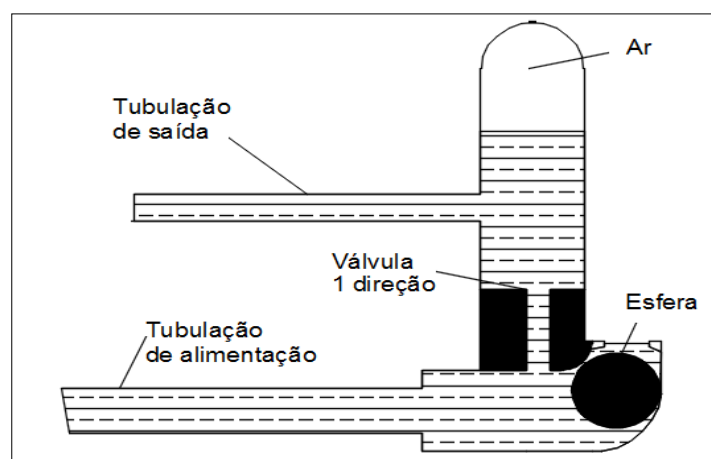
Figura 2 - Arfete hidráulico criado por John Whitehurst em 1772



Fonte própria: Adaptado de Ferreira, 2016 (p.3)

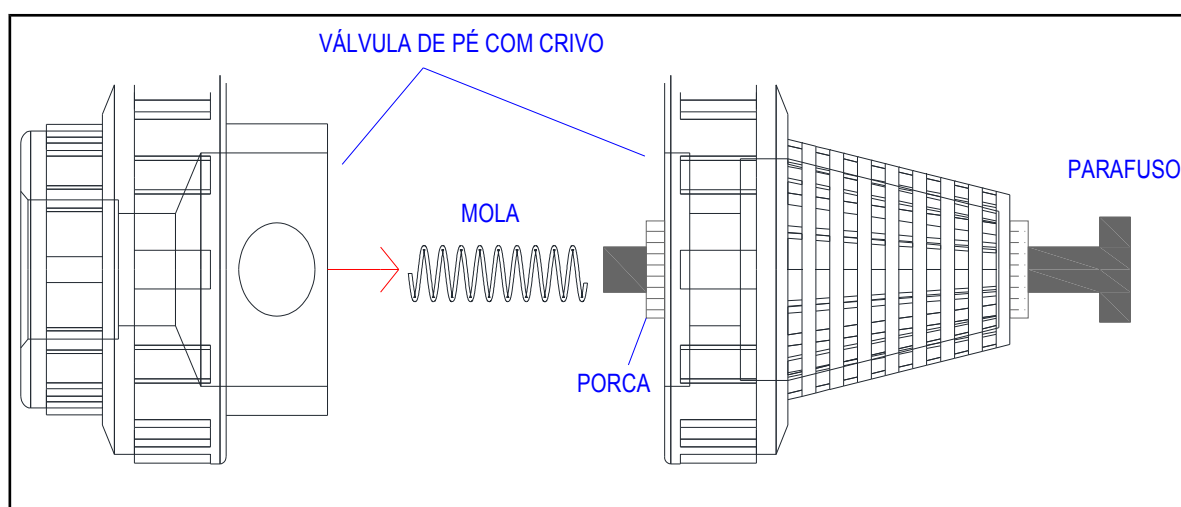
Em 1796, aperfeiçoada pelos irmãos Montgolfier (DARDOT, 2012), passou a funcionar automaticamente, apresentando uma elevação de água superior ao modelo anterior. Conforme Ferreira (2016), a bomba tinha seu princípio de funcionamento baseado no deslocamento de uma esfera metálica ao longo do tubo, que ao ser empurrada pela força da água provocava a interrupção da saída, dando origem ao choque hidráulico (Figura 3). Posteriormente, Montgolfier aperfeiçoou seu modelo substituindo a esfera por uma válvula (Figura 4), a fim de impedir que o ar da câmara fosse dissolvido, tornando-se este o *design* mais utilizado até hoje.

Figura 3 – Esquema do modelo de Montgolfier



Fonte própria: Adaptado de Rojas, 2002 (p.4)

Figura 4 – Válvula de pulso que substituiu a esfera



Fonte própria: Adaptado de Convallis, 2016

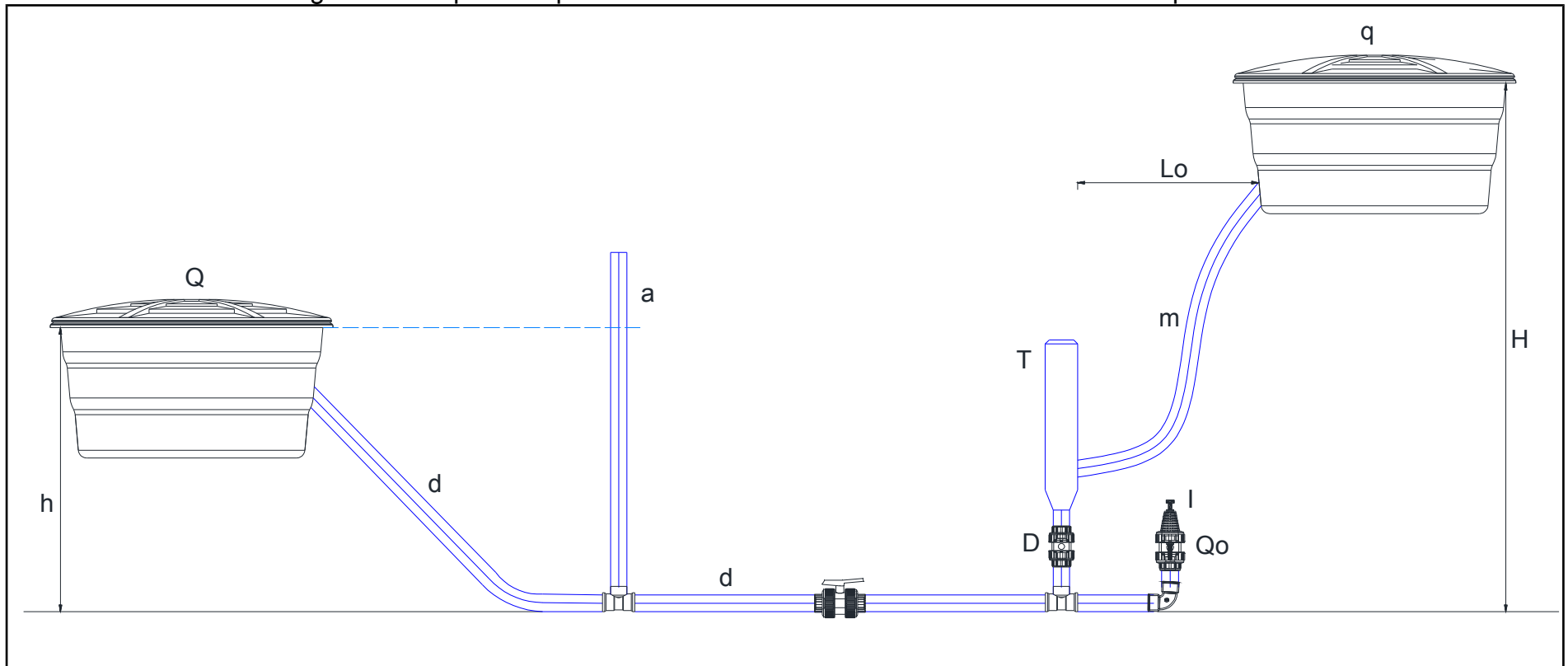
2.2.1 Elementos de montagem

O aríete hidráulico é um equipamento que pode ser adquirido no mercado, como os da marca Marumby (2016) e Kenya (2016), ou construído com materiais diversos (WERNECK, 2006), como por exemplo: aço galvanizado, PVC e produtos alternativos, inclusive com garrafas PET. Segundo Las (entre 2009 e 2016a), a bomba é constituída das seguintes partes: tubulação de alimentação (d), mangueira de condução ou tubulação de recalque (m), válvula de pulso ou de desperdício (l), câmara de ar (T) e válvula de retenção vertical (D). Também fazem parte do conjunto: vazão disponível (Q), vazão de desperdício (Qo), chaminé de equilíbrio (a), queda d'água (h), vazão de alimentação (q), altura de bombeamento (Ho), distância de bombeamento (Lo). A Figura 5 mostra o esquema representativo da bomba de aríete e de seu conjunto de funcionamento.

Não existem variações significativas nos esquemas de montagem da bomba de aríete, apenas nos materiais utilizados. Em relação ao conjunto de funcionamento, assim como as motobombas, os aríetes hidráulicos também podem ser instalados em série ou em paralelo (MACYNTIRE, 1987; *apud* DARDOT, 2012).

O autor Macyntire (1987; *apud* DARDOT, 2012) afirma que para uma altura de recalque superior a 60 metros, emprega-se uma série de carneiros, cada um descarregando em um depósito para provisão da água para a fase seguinte acima dele, efetuando o bombeamento por etapas. Para situações como esta, torna-se imprescindível a projeção de um sistema de reaproveitamento da vazão desperdiçada, pois a perda de água cresce a cada etapa, saindo pela válvula de escape (i). E conforme Lifewater International (2000; *apud* MAEDA, 2010), quando se necessita de maior vazão e a quantidade de água recalçada por uma bomba de aríete não é suficiente, devem ser utilizados carneiros instalados em paralelo.

Figura 5 – Esquema representativo de uma bomba de aríete e de seus componentes



Fonte própria: Adaptado de Gaviotas, entre 2009 e 2016b (p.1)

2.2.2 Funcionamento

A bomba estudada utiliza a energia cinética de um golpe de aríete para conduzir a água de forma a vencer uma elevada altura manométrica (WOT, 2006). De forma simplificada, na concepção de Werneck (2006), a bomba de aríete funciona da seguinte maneira: Com a válvula de pulso (I) fechada, a água entra no tubo de alimentação (d) e chega ao equipamento (bomba); devido à pressão ocasionada pela válvula de retenção (D), o líquido entra na câmara de ar (T) onde o ar é comprimido até que as pressões deste e da água sejam equalizadas. Assim, o aparelho apresenta-se pronto para funcionar, sendo sua operação iniciada pela abertura manual do êmbolo da válvula de pulso (I) que, ao descer por gravidade devido ao peso, interrompe o fluxo de água, onde a energia cinética presente na mesma, devido à velocidade de chegada do escoamento pela tubulação de alimentação (d), provoca a entrada do fluido na câmara de ar (T). Ao entrar na câmara ar (T), a água não consegue retornar por gravidade à tubulação de alimentação (d) devido à presença da válvula de retenção vertical (D), que impede o retorno da mesma, forçando-a a subir pela tubulação de recalque (m). A partir daí, a bomba passa a funcionar sem a necessidade de interferência humana, simplesmente pela contínua repetição dos ciclos de elevação da água para a mangueira de condução ou tubulação de recalque (m). Durante o mecanismo, o êmbolo da válvula de pulso (I) dá pequenas marteladas até a interrupção do fluxo de entrada da água. O acionamento é interrompido pelo fechamento da válvula de pulso (I), que deve ser segurada por alguns segundos.

O diâmetro da bomba varia conforme a vazão e a altura manométrica a ser atingida. Para um correto dimensionamento, o ideal é reproduzir o carneiro e testar o seu desempenho antes da instalação, determinando a curva da bomba por meio de resultados experimentais. As alturas de sucção (h) e de bombeamento (H_o) também interferem no rendimento do aríete hidráulico (CALERO e ALARCÓN, 2011).

Watt (1981) realizou ensaios de campo com carneiros do tipo Blakes (Figura 6), com rendimento de 65%, e concluiu que a vazão varia para cada relação entre a altura h e a altura H_o . Os resultados estão na Tabela 1.

Conforme Gallo e Gutiérrez (2012) o bom funcionamento do carneiro depende das condições do meio em que se vai trabalhar e das suas configurações de

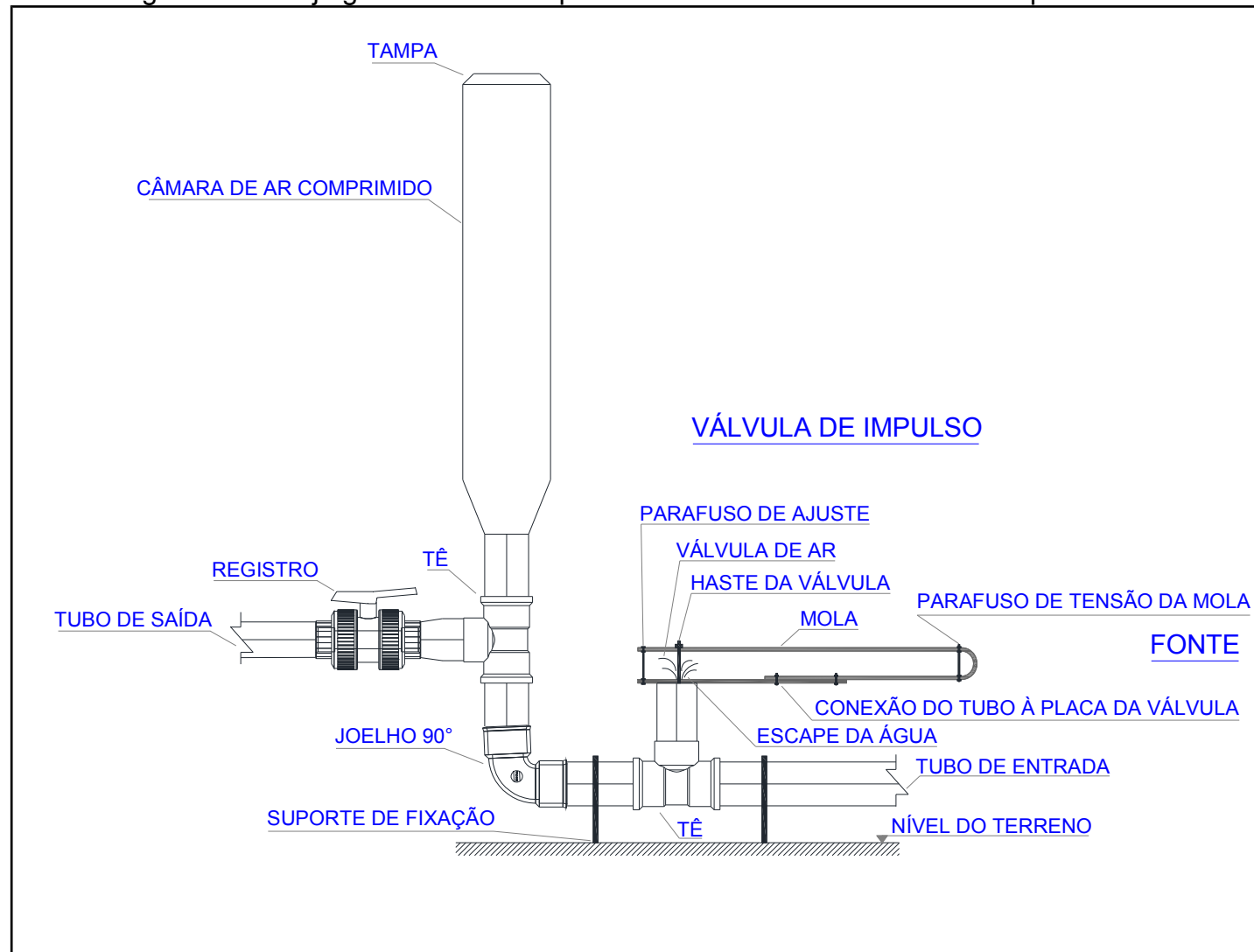
instalação. Para Rojas (2002) o arranjo com tubulação de PVC alcança maior rendimento que o de aço galvanizado. Kitani e Willardson (1984; *apud* ROJAS, 2002) afirmam que quatro carneiros hidráulicos instalados em paralelo foram suficientes para irrigar um sítio de 24,3 ha com pastagem, utilizando o sistema de irrigação de aspersão sobre rodas com deslocamento lateral.

Tabela 1 – Capacidade dos carneiros tipo Blakes: Quantidade de água (litros) para cada 24 horas de observação sob as condições escolhidas de relação entre h e Ho

Altura de alimentação h (m)	Altura da tubulação de suprimento Ho (m)											
	5	7,5	10	15	20	30	40	50	60	80	100	125
1	144	77	65	33	29	19,5	12,5					
2		220	156	105	79	53	33	25	19,5	12,5		
3			260	180	130	87	65	51	40	27	17,5	12
4				255	173	115	86	69	53	36	23	16
6					282	185	140	112	93,5	64,5	47,5	34,5
7						216	163	130	109	82	60	48
8							187	149	125	94	69	55
9							212	168	140	105	84	62
10							245	187	156	117	93	69
12							295	225	187	140	113	83
14								265	218	167	132	97
16									250	187	150	110
18									280	210	169	124
20										237	188	140

Fonte: Watt (1981, p.30)

Figura 6 - Arranjo geral da bomba tipo Blakes construída com acessórios para tubos



Fonte própria: Adaptado de Watt, 1981 (p.11)

2.3 Instalações e recomendações

De acordo com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, citado por Pedrão (20--), alguns detalhes devem ser observados na instalação da bomba de aríete:

- Desnível geométrico mínimo de 2,5 m entre o reservatório de água e a bomba;
- O reservatório deve ter reposição igual ou superior à vazão de saída;
- Utilizar um filtro no reservatório de sucção sempre submerso em nível;
- A entrada de ar e vazamentos compromete a eficiência da bomba, portanto as conexões devem ser bem coladas;
- A bomba deve ser fixada em suporte rígido e de boa resistência ao tempo, em nível, e presa por braçadeiras verticais e horizontais.

O Prof. Adão Evangelista (201?), da Universidade Federal de Goiás, descreve em sua apostila alguns parâmetros e cuidados que devem ser considerados na instalação do aríete hidráulico:

a) Parâmetros

- Necessidade de queda d'água;
- O carneiro deve ser utilizado sempre com água limpa;
- Somente parte da água de acionamento é elevada.

b) Cuidados

- A bomba deve ser instalada sobre base firme e nivelada, preferencialmente em alvenaria;
- A altura h deve estar entre 2 e 5 m (altura ótima), admitindo-se $1,5\text{ m} < h < 9\text{ m}$;
- O comprimento do tubo de alimentação deve ser de 5 a 10 vezes a altura (h). Caso ultrapasse o limite máximo, deve-se utilizar o diâmetro imediatamente maior que o indicado pelo fabricante;
- A tubulação de alimentação e a de recalque também deve obedecer, preferencialmente, às condições do Quadro 1;
- Permitir periodicamente a entrada de ar na campânula.

Para Barreto e Lima (201?), o bom funcionamento da bomba de aríete depende da disposição de uma fonte de água com vazão de aproximadamente 1000 L/h, e queda mínima entre a fonte e o local de instalação de 1,5 m. Recomenda também a colocação de uma tela na entrada da tubulação de sucção; fixa o comprimento do

tubo de alimentação em 4 a 6 vezes a altura de queda e indica o polietileno como material para a tubulação de recalque, com diâmetro de ½” ou mais.

Quadro 1 – Recomendações para instalação da tubulação do carneiro

Tubulação	Recomendações
Sucção	Usar, de preferência, tubos metálicos, pois provocam maior golpe de aríete. Instalar de forma a ficar o mais retilíneo possível. Instalar um registro próximo à bomba. Possuir ralo de entrada. Ficar sempre abaixo da linha piezométrica.
Recalque	Tubulação com o menor comprimento possível. Instalar em posição ascendente em relação ao reservatório.

Fonte própria: Adaptado do texto de Evangelista (2017, pg.4)

Netto et al. (2000) sugerem que a altura de elevação seja de 6 a 12 vezes a altura de queda do manancial até o aparelho; afirma que a queda aproveitável para acionamento da bomba é a partir de 1 m e que o tubo de sucção deve ser reto e possuir um diâmetro imediatamente maior que o da tubulação de recalque, satisfazendo às relações de comprimento (L): $L \geq 1H_0$ a $1,2H_0$; $5h < L < 10h$; $8 m < L < 75 m$. O referido autor ainda aconselha a instalação de um crivo na extremidade da tubulação de sucção, ficando pelo menos 30 cm abaixo do nível de água e 10 cm acima do fundo.

Apesar de muitos estudos e testes já realizados com diversos modelos de bombas de aríete, ainda existem divergências quanto ao seu desempenho. Jica (2012) afirma que o limite mínimo de desnível entre a bomba e a alimentação deve ser de 1 m, já o Grupo Wot (2006) diz que este limite pode ser de 0,70 m, podendo chegar a 35 m no máximo. Para Griffin (2000; *apud* ABATE, 2002) o desnível deve ter no mínimo 0,60 m; para Jeffery (1992; *apud* ABATE, 2002), 2 m; para Aqua Environment Co (1997; *apud* ABATE, 2002), 0,45 m no mínimo e 7,5 m como máximo desnível. Outras diferenças são encontradas: comprimento da tubulação de alimentação, razão entre comprimento e diâmetro da tubulação de alimentação, diâmetro da tubulação de alimentação, comprimento da tubulação de recalque, material de confecção do carneiro e material de tubulação de recalque, entre outros.

O Quadro 2 exemplifica as inconsistências apresenta uma síntese das indicações de duas variáveis por diferentes autores já citados neste trabalho.

Como se pode ver, as recomendações são variadas e mudam conforme o material de confecção da bomba bem como de um ambiente de instalação para outro.

Sendo:

- h : Altura de alimentação
- L_{alim} : Comprimento da tubulação de alimentação
- D_{alim} : Diâmetro da tubulação de alimentação
- h_{min} : Altura de alimentação mínima
- L_{rec} : Comprimento da tubulação de recalque

Quadro 2 – Divergências entre as características e configurações de montagem do aríete hidráulico e síntese das indicações de duas variáveis por diferentes autores

Autor	PARÂMETROS				
	L_{alim} (m)	D_{alim} (m)	Material	h_{min} (m)	L_{rec} (m)
BC Livestock Watering (2000)	5 a 10h	-	aço galvanizado.	-	-
Aqua Environment Co (1997)	8 a 12h p/ desníveis>3m; 5 a 8h p/ desníveis de 3 a 7,5m.	-	-	-	-
Lifewater International (2000)	4 a 6h	$D_{rec} + 1$	aço galvanizado.	-	-
Kitani e Willardson (1984) e Krol (1976)	6 a 12h	-	PVC	-	-
Corvalán e Gálvez (2000)	-	0,05 a 0,5m	-	-	-
Horne & Newman (2000)	-	0,025 a 0,1m	-	-	-
Jennings (1996)	$\geq 5h$	-	-	-	-
Pedrao (20--)	-	-	-	2,5	18
Evangelista (201?)	-	-	-	1,5 a 9	5 a 10h
Barreto e Lima (201?)	-	-	-	1,5	6 a 9
Jica (2012)	-	-	-	1	-
Grupo Wot (2006)	-	-	-	0,7 a 35	-
Griffin (2000)*	-	-	-	0,6	-
Jeffery (1992)*	-	-	-	2	-
Aqua Environment Co (1997)*	-	-	-	0,45 a 7,5	8 a 12h p/h $\leq 3m$; 5 a 8h p/ $h > 3m$
BC Livestock Watering (2000)*	-	-	-	-	5 a 10h
Lifewater International (2000)*	-	-	-	-	4 a 6h
Kitani e Willardson (1984) e Krol (1976)*	-	-	-	-	6 a 12h
Jennings (1996)*	-	-	-	-	$\geq 5h$

*Apud ABATE e BOTREL (2002)

Fonte própria: Adaptado do texto de Abate e Botrel (2002, p.198)

2.4 Variações e escolha do modelo

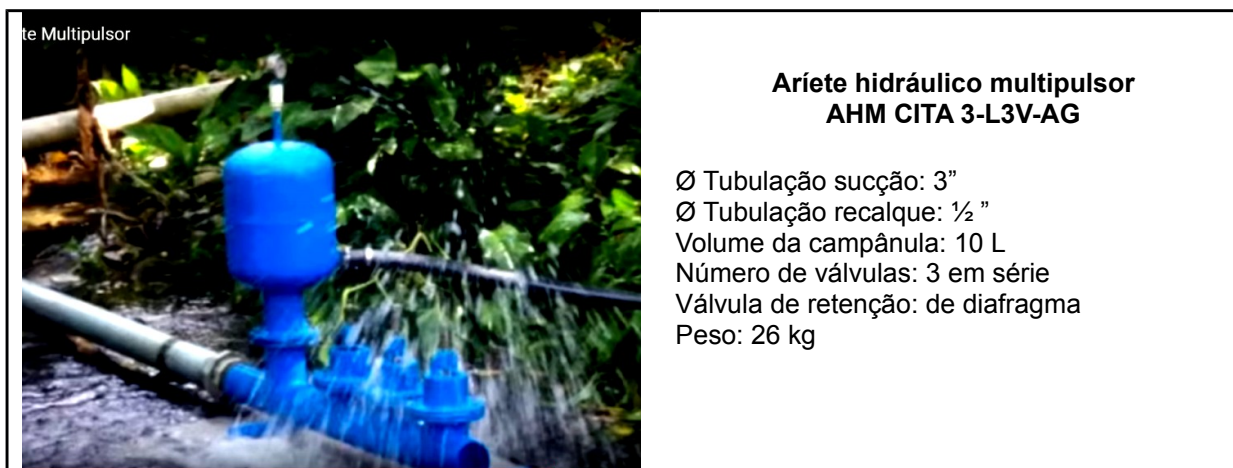
Diversos modelos de carneiros hidráulicos já foram confeccionados: em PVC, galvanizados, com garrafas PET recicladas (de refrigerante) e outros materiais alternativos. Existem também os aríetes industrializados das marcas: CITA (multipulsor), DANÉS (multipulsor), ambos fabricados em CITA – Camagüey; IMPAG, fabricado por uma empresa de equipamentos agrícolas em Cuba, na cidade de Holguín; Gaviotas, produzido pelo Centro Las Gaviotas; entre outros. As Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12 mostram alguns modelos industrializados disponíveis no mercado, e as Figuras 13, 14, 15 e 16 mostram modelos caseiros e personalizados.

Figura 7 – Bomba de aríete IMPAG AH-4



Fonte: Larrosa y Quiñones, 2004

Figura 8 – Bomba de aríete CITA AHM 3 L3V-AG



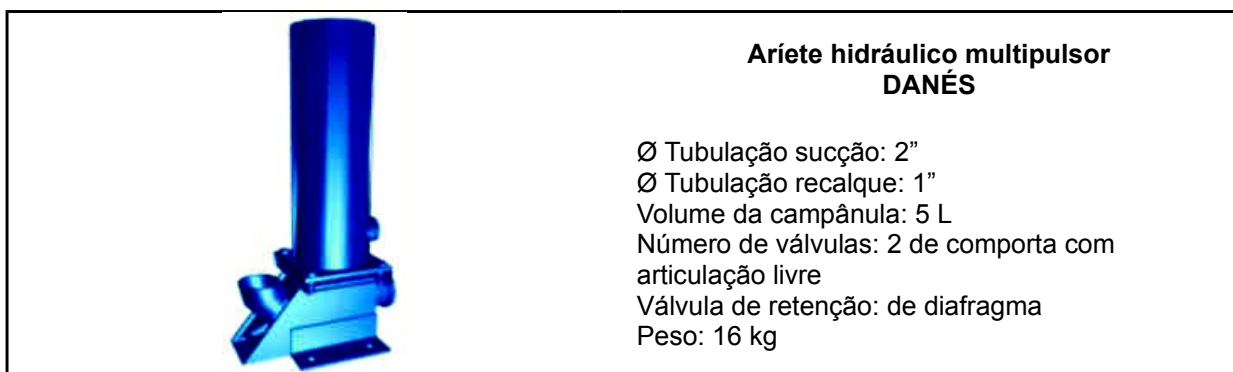
Fonte: Larrosa y Quiñones, 2004

Figura 9 – Bomba de aríete CITA AHM 6 L3V



Fonte: Larrosa y Quiñones, 2004

Figura 10 – Bomba de aríete CITA Danés




Fonte: Larrosa y Quiñones, 2004

Figura 11 – Bomba de aríete Gaviotas

	<p style="text-align: center;">Aríete hidráulico Gaviotas</p> <p>Máxima distância de bombeamento: 1 km Queda d'água: de 1 a 4 m Vazão disponível: 40 L/min Comprimento da tubulação de sucção: 6 m Ø Tubulação sucção galvanizada: 1-1/4"</p> <p style="text-align: center;">Modelo 1</p> <p>Capacidade de recalque: 12000 L/dia Altura de elevação: 10 m</p> <p style="text-align: center;">Modelo 2</p> <p>Capacidade de recalque: 1000 L/dia Altura de elevação: 100 m</p>
---	--

Fonte: Gaviotas, entre 2009 e 2016a

Figura 12 – Bomba de aríete Marumby

				
ESPECIFICAÇÕES				
Nº	Quantidade de água para alimentação por minuto	Tubo de entrada	Tubo de saída diâmetro interno	Peso Kg
2	7 a 11 litros	3/4"	3/8"	12
3	7 a 15 litros	1"	1/2"	19
4	11 a 26 litros	1.1/4"	1/2"	24
5	22 a 45 litros	2"	3/4"	31
6	70 a 120 litros	3"	1.1/4"	65

Fonte: Marumby, 2016

Figura 13 – Bomba de aríete de PVC



Fonte: Mercado Livre, 2016

Figura 14 – Bomba de aríete de aço galvanizado



Fonte: YouTube, 2012

Figura 15 – Bomba de aríete com garrafa PET



Fonte: YouTube, 2010

Figura 16 – Bomba de aríete: outros modelos



Fonte: YouTube, 2012 (16a); Raja, 2012 (16b); Handayanto, 2014 (16c); Rife, 2016 (16d)

Devido a sua utilidade, a bomba de aríete tem se difundido pelo mundo nos últimos anos, mas ainda não existe um modelo padrão para sua determinação. De acordo com Evangelista (201?), alguns parâmetros devem ser considerados na escolha da bomba:

- A vazão fornecida pela bomba depende da altura de queda e da vazão de acionamento;
- O rendimento da bomba é diretamente influenciado pela altura de elevação e pela relação entre esta e o desnível da queda d'água, diminuindo conforme aumenta a perda de carga no escoamento.

Portanto, segundo o referido autor, a escolha do aríete deve ser feita em função da vazão de alimentação e da altura de queda.

2.5 Aplicações

O aríete hidráulico é utilizado principalmente nas áreas rurais, podendo elevar água de um rio, córrego, vertente etc. tanto para irrigação de lavouras quanto para consumo humano e abastecimento de bebedouros para animais (BAROJAS; XOTLANIHUA, 2012).

Ponsoni et al. (2014) executou com êxito um estudo de caso da aplicabilidade da bomba de aríete na construção civil para uso habitacional de bombeamento da água da chuva para reservatórios superiores, onde concluiu que a alternativa é possível tanto na questão de eficácia quanto financeira.

Em trabalho desenvolvido por Ferreira (2016), a bomba de aríete foi instalada na aldeia de Pitilete, do suco Tutuala, subdistrito pertencente ao distrito de Lautem, em Timor-Leste¹, para abastecimento de água. A comunidade era composta por 84 habitantes (12 casas de família), com estimativa de crescimento de 1,6 hab/ano, e o fornecimento deveria garantir as necessidades básicas dos habitantes. A aplicação do sistema foi bem sucedida, e teve como principais características de instalação: $h = 10$ m; $H_o = 35$ m; $d_{\text{sucção}} = 50$ m; vazão = 60 L/hab/dia; $m_{\text{recalque}} = 260$ m (FERREIRA, 2016).

Kitani e Willardson (1984; *apud* ROJAS, 2002) conseguiram irrigar uma área de 24,3 ha de pastagem com quatro aríetes hidráulicos instalados em paralelo.

¹ O Timor-Leste é um dos países mais jovens do mundo, ocupa a parte oriental da ilha de Timor no Sudeste Asiático, onde existem apenas duas fontes de água (Cene e Came), o que faz com que a maioria da população (cerca de 1650 habitantes) viva sem o abastecimento direto, tendo que se deslocar para as zonas mais baixas por questões de sobrevivência.

Um campo de área não especificada foi satisfatoriamente irrigado por uma bomba de aríete alternativa, construído com garrafa PET e outros acessórios como tubos e conexões hidráulicas de baixo custo, com uma vazão diária atingida de 0,05 L/s, com $H_o = 4,41$ m, $h = 1,45$ m, $m = 12$ m (COSTA et al., 2011).

Pertanian e Pangan (2012) realizaram uma reportagem em um vilarejo de Jembangan, localizado em Poncowarno de Kebumen Regency na Indonésia, onde foram instaladas bombas de aríete para irrigação de lavouras de arroz, vegetais e árvores de laranja:

“O Rio Cemara que atravessa a vila de Jembangan, Distrito de Pluph Residente de Sragen, possui uma taxa de fluxo relativamente constante, mesmo na estação seca. A quantidade deste fluxo fluvial é capaz de fornecer água à área agrícola circundante. Mas o terreno geográfico possui nível variável, tornando difícil a obtenção adequada de água. Uma bomba comum não pode elevar água tão alto. É por isso que eles precisam de tecnologia adequada para fornecer água para o seu campo de arroz. O governo de Sragen Resident tomou a iniciativa de instalar o aríete hidráulico no rio Cemara. (...) Hoje temos 5 bombas, de modo que o fluxo total é de aproximadamente 20 a 22,5 L/s. A água que sai do reservatório atinge 14 a 16 L/s, reunindo especificações técnicas divulgadas pela Câmara de Processamento de Águas e Terras, Departamento de Agricultura. (...) A água do reservatório é utilizada para irrigar 70 ha de campo seco usado para arroz, vegetais e outras culturas secundárias, 40 ha de campo seco para plantar laranjeiras e árvores orgânicas. Em um futuro próximo, a aldeia de Jembangan será o centro da laranja e de commodity orgânicos - Terimakasih Atas Perhatianya (PERTANIAN e PANGAN, 2012)...”

Tradução nossa

A vazão total produzida pelas 10 bombas instaladas foi de aproximadamente 40 a 45 L/s, mas devido à diferença de nível e à distância entre as bombas e o reservatório (43 m e 400 m, respectivamente), a vazão de água recalcada do reservatório é de aproximadamente 12 a 16 L/s; resultado que atende aos requisitos técnicos divulgados pelo Conselho de Processamento de Águas e Terras.

De acordo com uma reportagem do Globo Rural (2015b) a bomba de aríete faz sucesso em pequenas propriedades de Santa Catarina, e enfatiza: *“bombinha artesanal de PVC permite irrigar a plantação sem gastar energia e combustível”*. A reportagem completa pode ser vista no vídeo Carneiro Hidráulico Globo Rural (GLOBO RURAL, 2015).

A bomba de aríete é uma fonte alternativa ao bombeamento de água onde a energia é escassa ou inexistente e, de acordo com os autores pesquisados, tem se mostrado de importante utilidade, podendo ser adaptada para diferentes cenários e inúmeras necessidades.

2.6 Vantagens, desvantagens e limitações da bomba de aríete

Horne e Newman (2005; *apud* CARARO et al., 2007) apresentam como vantagens:

- Não necessita de fontes externas de energia;
- De simples manutenção e operação;
- Não exige mão de obra qualificada;
- Baixo custo de aquisição e instalação;
- Possibilidade de uso 24 h/dia;
- Fonte de energia limpa (não emite gases ou poluentes).

Abate e Botrel (2002) acrescentam a possibilidade de instalação ao ar livre, sem necessitar de casa de bombas ou de motor para funcionamento.

Evangelista (201?) destaca o ótimo rendimento (entre 50 e 80%) e os gastos com manutenção, por serem praticamente desprezíveis.

De acordo com Jica (2012), a bomba de aríete é a alternativa ideal para atender a demandas onde não se dispõe de energia elétrica. O mesmo autor, em seu estudo de promoção e difusão de boas práticas, onde foi aplicada a bomba de aríete no projeto Tawan Ingnika, salienta que o equipamento pode ser instalado em qualquer lugar que tenha um desnível geométrico maior ou igual a 1 m; não desprende calor; pode alcançar vida útil de até 10 anos sem a necessidade de substituição do equipamento; com 1 m de tubulação de alimentação é possível elevar 10 vezes uma coluna de água; as peças para montagem são encontradas facilmente em qualquer loja de material de construção (tubulações e conexões de PVC ou metálicas) e gera benefícios sociais, porque permite levar água a diferentes áreas de terreno com o mínimo esforço, oportunizando a utilização para outros fins como o consumo humano e abastecimento de bebedouros para animais.

Também é importante salientar a possibilidade de aumento da vazão pela instalação de carneiros em paralelo (KITANI e WILLARDSON, 1984; *apud* ROJAS, 2002), e da altura manométrica pela instalação de carneiros em série (MACYNTIRE, 1987; *apud* DARDOT, 2012).

Segundo Cararo et al.(2007), Jica (2012) e Rojas (2002), dentre as principais desvantagens e limitações do aríete hidráulico, destacam-se:

- As condições locais determinam a eficiência da bomba;
- O golpe de aríete produz ruído desagradável;

- Para um bom funcionamento é necessário a existência de uma queda d'água e que esta seja limpa;
- Recalca somente uma pequena fração da vazão de alimentação;
- Pouco acesso à tecnologia;
- Não existe assistência técnica;
- A altura de elevação depende da altura de queda d'água;
- Bombeamento por pulsação;
- Bomba de baixo fluxo;
- Baixo rendimento relativo às motobombas;
- O aríete metálico é artesanal, dificilmente poderá ser construído pelo usuário no local de instalação e requer conhecimento especializado para sua fabricação, além de possuir maior custo de aquisição se comparado ao de PVC;
- Falta de modelagem de funcionamento, o que dificulta a escolha da bomba em relação ao diâmetro e material das peças de fabricação.

2.7 Custos

Ainda não existem comparações de custos entre um sistema elevatório montado com motobomba e o mesmo sistema funcionando com uma bomba de aríete. Para noções de diferença de preço entre os dois tipos de bombas, considerou-se uma altura manométrica de 50 m e verificou-se o preço de mercado de duas bombas, sendo o aríete industrializado, que atendessem a este critério. O Quadro 3 mostra os valores em 28/11/2016.

Quadro 3 – Preço de uma motobomba e de uma bomba de aríete comercializada no mercado que comportam elevar a água a uma altura manométrica de 50 m

Bomba	Modelo	Q_{entr} (L/min)	$L_{máx}$ (m)	H (m)	h (m)	Preço R\$
Marumby*	6	70 a 120	600	50	1	769,44
Dancor** (5 cv)	620 MJM	110	Não informa	50	Não informa	3261,31

Fonte: Elaboração própria

No site do Mercado Livre (2017) encontram-se carneiros hidráulicos caseiros, do tipo Globo Rural, a partir de R\$139,00.

Apesar de constarem apenas dois produtos para comparação no Quadro 3, é possível perceber que o custo de uma bomba de aríete ainda é menor que o de uma

bomba centrífuga, isto sem considerar que a motobomba consome 5,16 kw/h de energia elétrica para funcionar e o aríete hidráulico é isento de custos com energia ou combustível. Hoje, na cidade de Alegrete/RS, paga-se R\$0,785 por kw/h. Mesmo que a motobomba necessite de poucas horas de funcionamento no mês, ainda assim haverá custo fixo mensal com energia elétrica.

Sendo assim, a maior economia gerada pelos carneiros é em relação ao consumo de energia, pois em relação à instalação geral das tubulações os custos são os mesmos, variando somente no preço de aquisição da bomba. Para pequenas vazões a diferença de custo entre as bombas é significativa, já para grandes vazões o custo de fabricação do aríete hidráulico pode aumentar bastante.

2.8 Curva de operação

Assim como as motobombas, as bombas de aríete hidráulico também devem ser adequadas para determinada vazão e altura manométrica. As motobombas, por exemplo, possuem em seus catálogos técnicos a curva característica de operação, que é um gráfico onde constam relações entre vazões e alturas manométricas diferentes para facilitar a escolha do equipamento para um fim específico. Essas curvas são fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos e são definidas com base nos dados obtidos por meio de ensaios experimentais.

Para Porto (2006) a curva de operação ou curva característica de uma bomba é a representação gráfica, ou em forma de tabela, das funções que relacionam os parâmetros envolvidos em seu funcionamento. As curvas mais comumente encontradas nos catálogos das motobombas são:

- Altura manométrica em função da vazão: $H_m (m) = fQ (m^3/h)$;
- Potência necessária em função da vazão: $P (hp) = fQ (m^3/h)$;
- Rendimento em função da vazão: $n (\%) = fQ (m^3/h)$

Para obtenção da curva de operação de uma bomba são medidas a vazão e altura de elevação com o auxílio de manômetros para cada diâmetro desejado; e para cada par de Q e H_o , a potência hidráulica é dada pela Equação 1 e o rendimento da bomba pela Equação 2 (PORTO, 2006):

$$Ph = \gamma \cdot Q \cdot Hm \quad \dots(1)$$

Onde:

- Ph: Potência hidráulica (W)
- γ : Peso específico da água (kN/m³)
- Q: Vazão (m³/h)
- Hm: Altura manométrica (m)

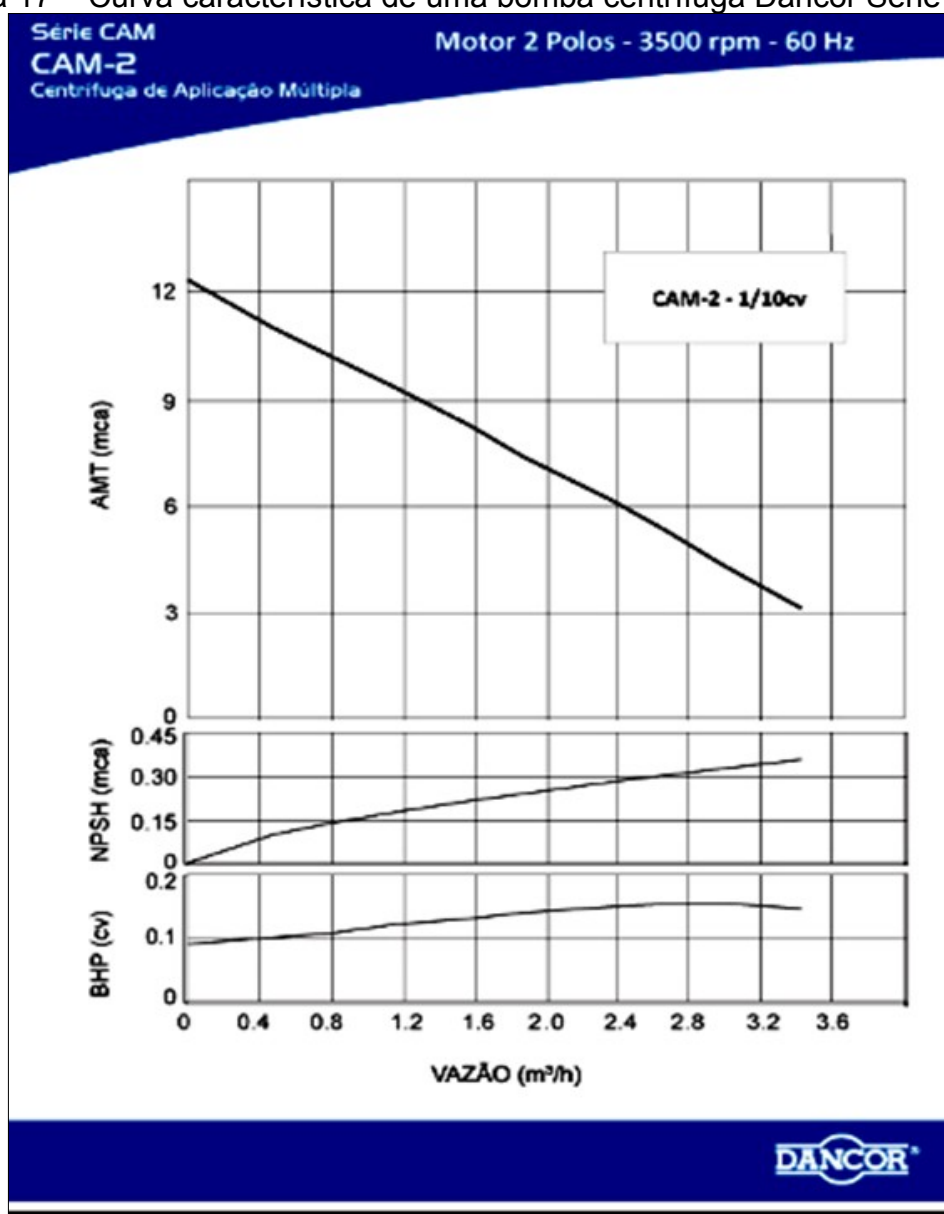
$$n = \gamma \cdot Q \cdot \frac{Hm}{T\omega} \quad \dots(2)$$

Onde:

- n: Rendimento da bomba (%)
- γ : Peso específico da água (kN/m³)
- Q: Vazão (m³/h)
- Hm: Altura manométrica (m)
- T: Torque no eixo (N.m)
- ω : Rotação (rad/s)

Os ensaios repetem-se para cada diâmetro e, posteriormente, são construídas as curvas características (PORTO, 2006). A determinação destas curvas, principalmente as que contêm as informações de vazão, altura manométrica e rendimento são úteis para análise de desempenho e escolha da bomba. A Figura 17 mostra um exemplo de curva característica de uma bomba.

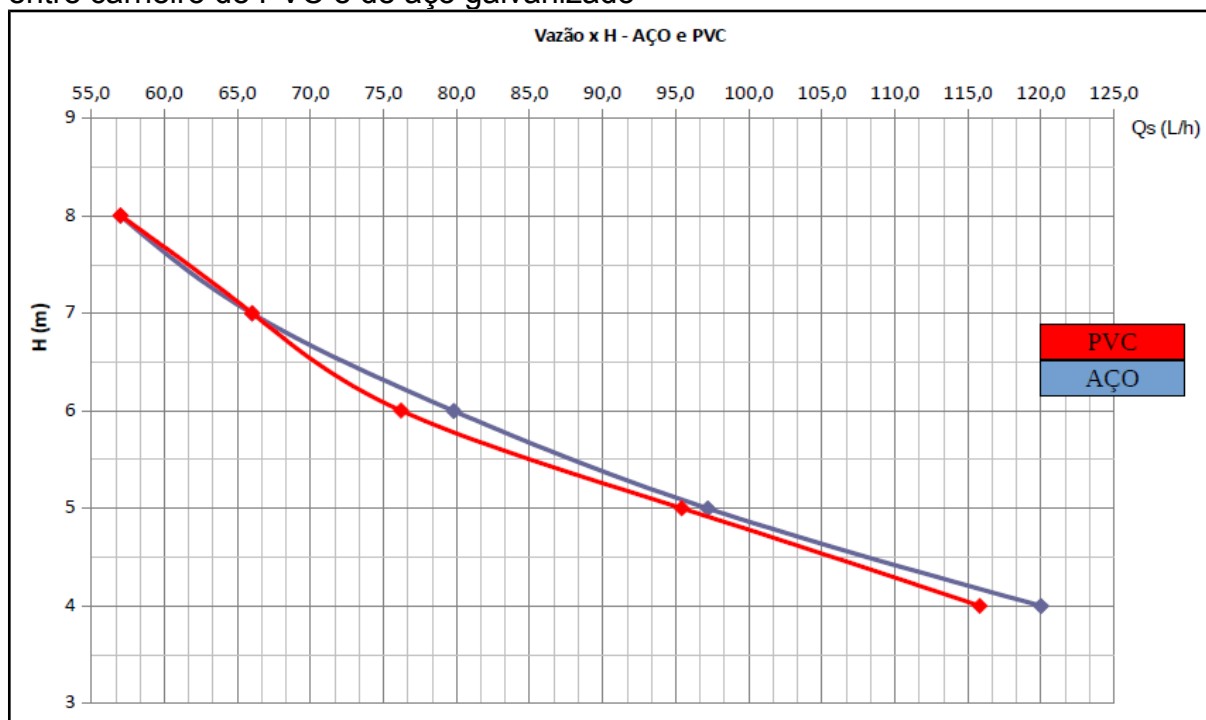
Figura 17 – Curva característica de uma bomba centrífuga Dancor Série CAM 2



Fonte: Dancor (2014, p.6)

Ferreira (2016) efetuou um estudo comparativo entre carneiros hidráulicos de PVC e de aço galvanizado. Seu experimento foi efetuado para cinco relações h/H: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{7}$ e $\frac{1}{8}$. As condições de instalação e geometria foram as mesmas para ambas as bombas: 6 m de comprimento de tubulação de alimentação e 25 mm de diâmetro (carneiros e demais tubulações e peças componentes). O Gráfico 1 mostra os resultados obtidos para cada altura manométrica.

Gráfico 1 – Resultados do experimento de Ferreira (2016): Estudo comparativo entre carneiro de PVC e de aço galvanizado



Fonte: Adaptado dos Quadros 1 e 2 de Ferreira, 2016 (p. 34)

Inúmeros trabalhos vêm sendo realizados a fim de encontrar um modelo matemático para dimensionamento do aríete hidráulico, mas até o momento inexistente um padrão de cálculo que sirva para todos os tipos e materiais de confecção da bomba. O método de dimensionamento do sistema como um todo, em geral, baseia-se nas teorias de hidráulica geral e experimental, mas não é possível determinar o rendimento da bomba de forma teórica caso esta nunca tenha sido construída e testada; e este é um dado importantíssimo para a escolha do equipamento adequado para uma necessidade específica.

Portanto, torna-se imprescindível o ensaio de campo – ou em laboratório – para obtenção dos valores necessários ao dimensionamento da instalação para cada cenário distinto.

Evangelista (201?) propõe uma tabela (Tabela 2) para auxiliar na escolha do diâmetro da bomba de aríete em função da vazão e altura de queda disponível para instalação.

Tabela 2: Tabela da vazão e altura de queda para determinação do diâmetro da tubulação de alimentação e de recalque

Q_{ALIM.} (L/min)	Tubulação de entrada (mm)	Tubulação de recalque (mm)	Altura de queda (m)
7 a 15	25	12	2,5 a 4
11 a 26	32	12	3 a 5
22 a 45	50	20	4 a 6
70 a 120	75	32	5 a 7

Fonte: Evangelista (2017, p.5)

Para determinar a altura manométrica (Hm) necessária deve-se dimensionar calculando o desnível geométrico (DG) e a perda de carga (Δh); a escolha se dá pela faixa de operação que satisfaça a Hm e a vazão calculada. A perda de carga pode ser calculada pela Equação 3 (equação Universal de Darcy-Weisbach), Equação 4 (equação de Hazen-Williams) ou Equação 5 (equação Fair-Whipple-Hsiao). O cálculo da Hm parte da Equação da Energia (Equação 6).

$$\Delta h = f \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \quad \dots(3)$$

Onde:

- f: Fator de atrito
- L: Comprimento da tubulação (m)
- V: Velocidade (m/s)
- g: Aceleração da gravidade (9,81m/s²)
- Δh : Perda de carga (mca)

$$\Delta h = 10,6451 \cdot \frac{Q^{1,852} \cdot L}{C^{1,852} \cdot D^{4,871}} \quad \dots(4)$$

Onde:

- Δh : Perda de carga (mca)
- L: Comprimento da tubulação (m)
- Q: Vazão (m³/h)
- C: Coeficiente de rugosidade
- D: Diâmetro do tubo (m)

$$\Delta h = 0,000874 \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot L \quad \dots(5)$$

Onde:

- Δh : Perda de carga (mca)
- L: Comprimento da tubulação (m)
- Q: Vazão (m³/h)
- D: Diâmetro do tubo (m)

$$E_i = E_f + \Delta h$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + \Delta h \quad \dots(6)$$

Onde:

- E_i : Energia Inicial (mca)
- E_f : Energia final (mca)
- Δh : Perda de carga (mca)

3 METODOLOGIA

Na metodologia serão referenciados os seguintes itens: reprodução da bomba de aríete com tubos de PVC; ensaios e construção da curva da bomba; análise do custo para construção de um aríete hidráulico em PVC; comentário geral sobre os ensaios; comparação dos resultados obtidos com os valores encontrados na literatura.

3.1 Reprodução da bomba de aríete com tubos de PVC

3.1.1 Montagem da bomba

A bomba foi montada com tubos de PVC do tipo “água soldável” de 32 mm. As peças foram lixadas e coladas. A Tabela 3 apresenta o quantitativo dos materiais de montagem e a Figura 18 ilustra os principais materiais utilizados.

Tabela 3 – Quantitativo dos materiais utilizados na construção da bomba

Nº	Descrição	Unidades
1	Registro de Globo 32 mm	1
2	Tubo (luva) 32 mm com 7 cm de comprimento	7
3	Tê 32 mm	2
4	Joelho de 90° 32 mm	1
5	Adaptador solda/rosca 32 mm	4
6	Válvula de pé com crivo 32 mm	1
7	Parafuso 5/16” com 2 porcas	1
8	Mola	1
9	Válvula de retenção vertical (de metal) 32 mm	1
10	Adaptador 32 mm / 50 mm	1
11	Adaptador para mangueira	1
12	Tubo de 50 mm com 40 cm de comprimento	1
13	Luva 50 mm	1
14	Tampa (Cap) para o tubo de 50 mm	1

Outros materiais utilizados: Cola Tigre para PVC, fita veda-rosca, lixa nº 120, trena, mini-serra de ferro, mangueira de jardim com 15 m de comprimento, tubo flexível 32 mm com 2 m de comprimento, torneira simples de plástico ½”, 2 hidrômetros, 2 manômetros, 1 tubo Becker graduado, mesa nivelada.

Fonte: Autor, 2017

Figura 18 – Principais materiais utilizados na construção da bomba



Fonte: Autor, 2017

A válvula de pulso foi montada conforme os passos:

- a) A válvula de pé com crivo foi desrosqueada para separação das partes (válvula de retenção vertical e crivo) ^[1º];
- b) Com uma furadeira e broca nº 7 o crivo foi perfurado na parte superior para posterior inserção do parafuso;
- c) A mola foi soldada em 1 das porcas;
- d) O parafuso foi inserido no crivo (rosqueando) ^[2º];
- e) Foi rosqueada a 1ª porca no parafuso na parte inferior, dentro do crivo ^[3º];
- f) Foi rosqueada a 2ª porca - já com a mola soldada - no parafuso na parte inferior, dentro do crivo, até encostar na 1ª porca, apertando muito bem uma à outra para evitar o deslocamento indevido da mola após a regulagem da válvula de pulso ^[3º];
- g) Foi parafusada uma chapa quadrada com 1cm de lado sobre a válvula de retenção vertical, pois após o primeiro teste notou-se que a mola escapava, deslocando-se da direção original, mantendo a válvula sempre aberta e impedindo o golpe de aríete; isto ocorreu devido ao formato da válvula (redonda levemente oval);
- h) As partes foram novamente unidas rosqueando-se uma à outra ^[4º e 5º].

A Figura 19 mostra as principais etapas de montagem da válvula de pulso da bomba de aríete; e a Figura 20 apresenta o esquema de montagem da bomba com os acessórios de medição (hidrômetros e manômetros).

Figura 19 – Principais etapas da montagem da válvula de pulso da bomba de aríete

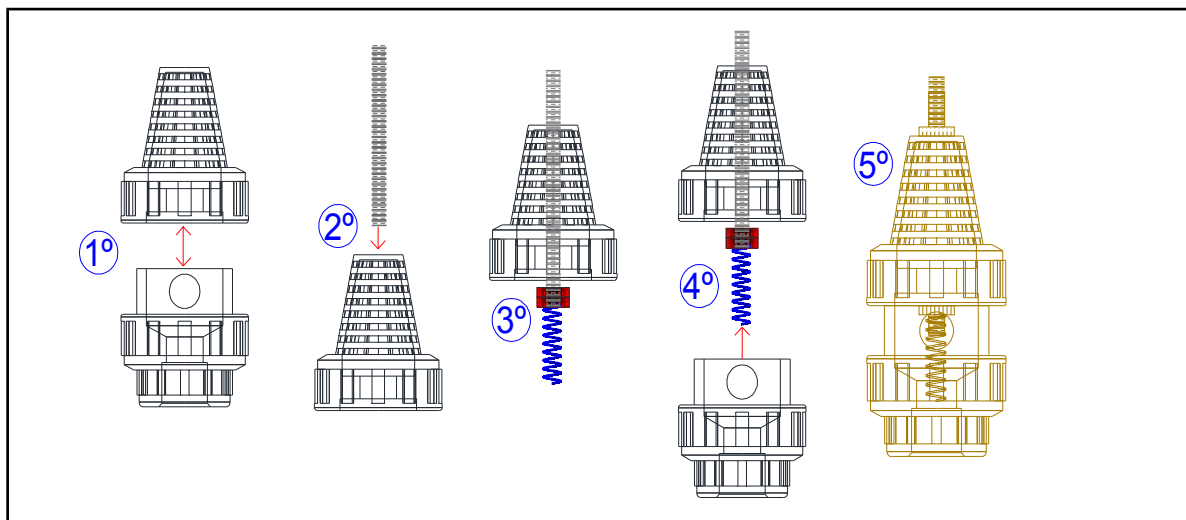
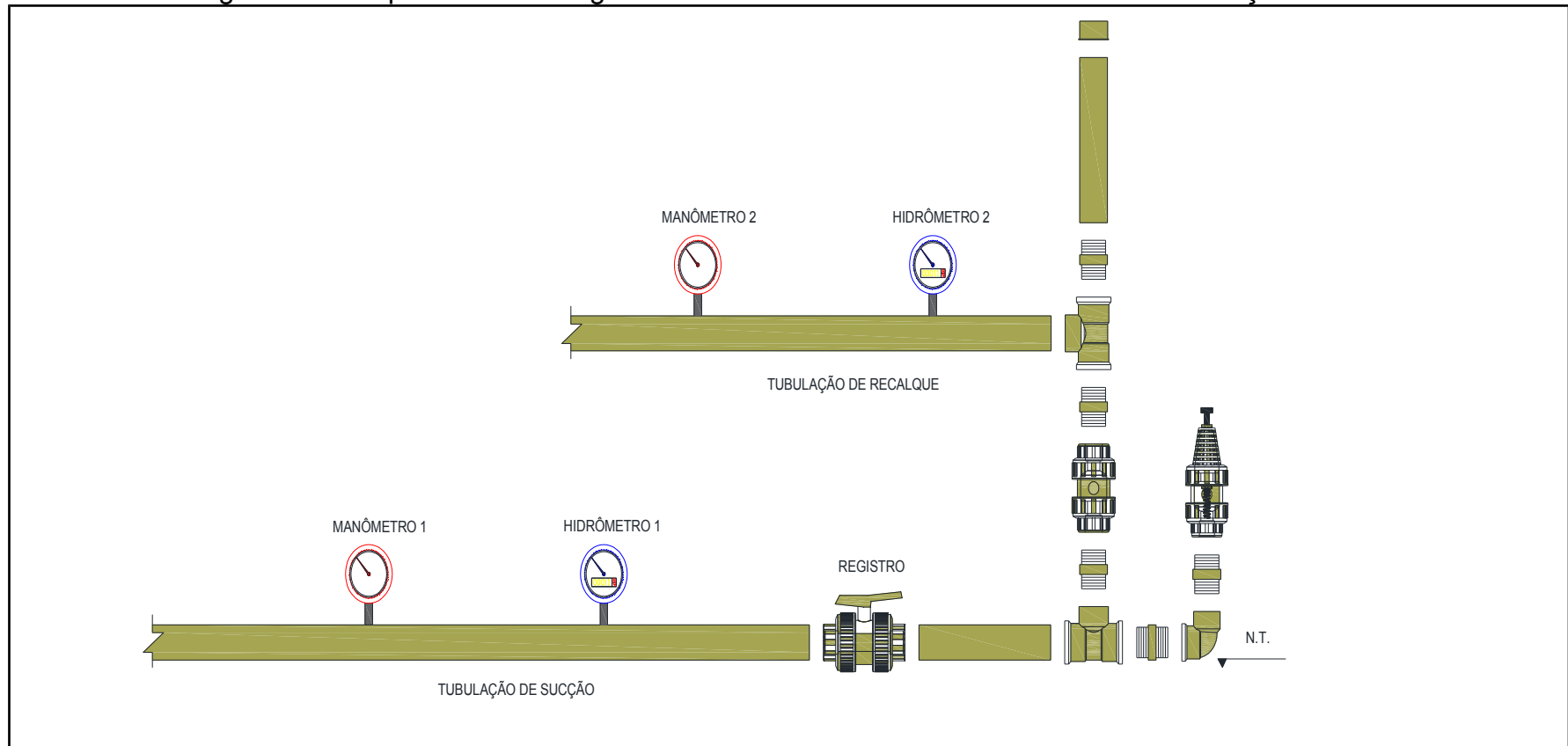


Figura 20 – Esquema de montagem da bomba de aríete com os acessórios de medição



Fonte: Autor, 2017

3.1.2 Configuração do sistema

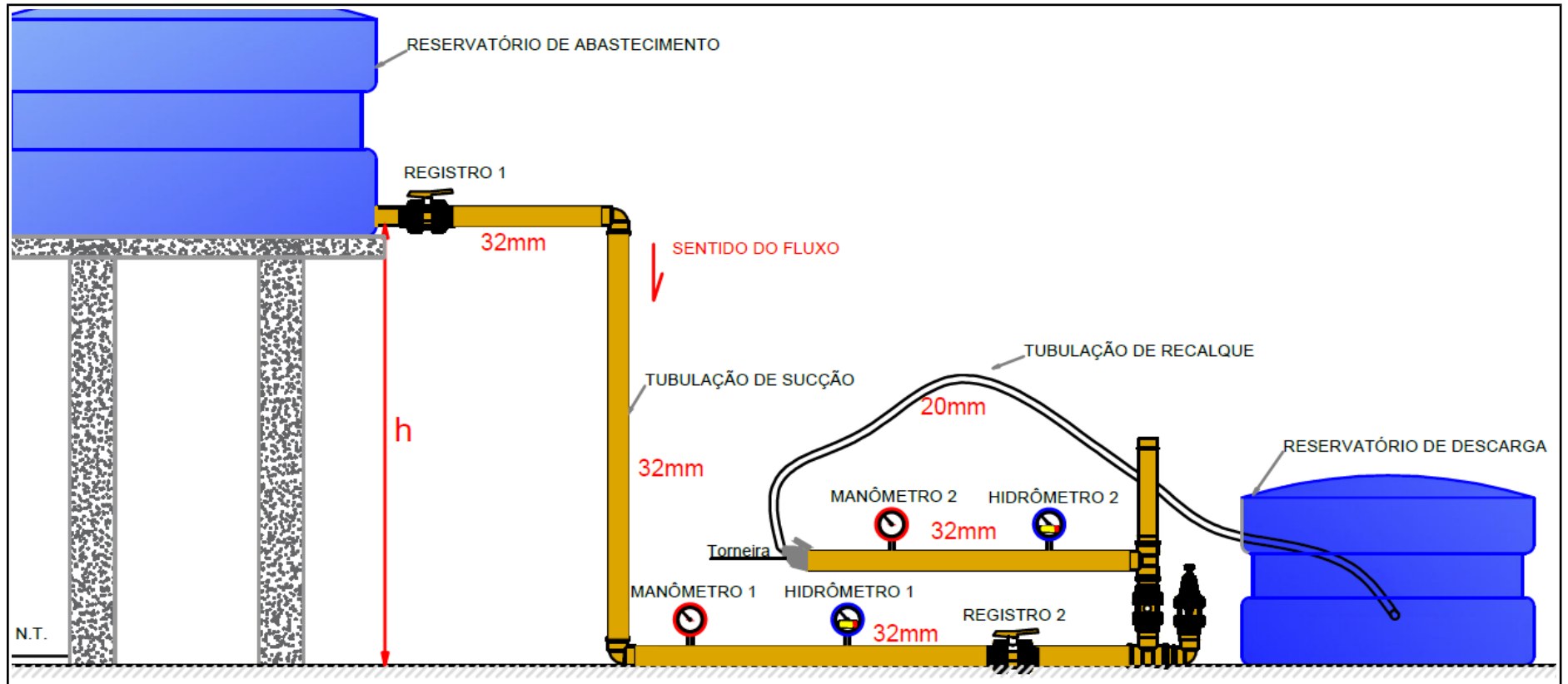
A configuração do sistema pode ser visualizada no esquema da Figura 21.

Para o abastecimento foi utilizado um reservatório de água de 3000 L disponibilizado pela UNIPAMPA (Campus Alegrete), localizado aos fundos do prédio dos laboratórios. A bomba foi instalada em 3 diferentes alturas, variando assim a carga h (desnível geométrico entre o reservatório e o carneiro). As alturas h variadas foram consideradas medindo-se a distância em metros entre a bomba e o fundo do reservatório de alimentação, sendo $h_1 = 2,00$ m; $h_2 = 2,90$ m e $h_3 = 3,50$ m. Seria interessante testar desníveis maiores, mas não foi possível devido às limitações impostas pelo terreno disponível para os ensaios.

A Figura 22 mostra o esquema de funcionamento da bomba de aríete de PVC, que começa assim que a água chega na bomba. Nesse momento regulou-se a bomba de sucção desrosqueando o parafuso até o ponto em que a bomba apresentava um bom funcionamento, iniciando as batidas referente aos golpes. Na Figura 22, os números representam:

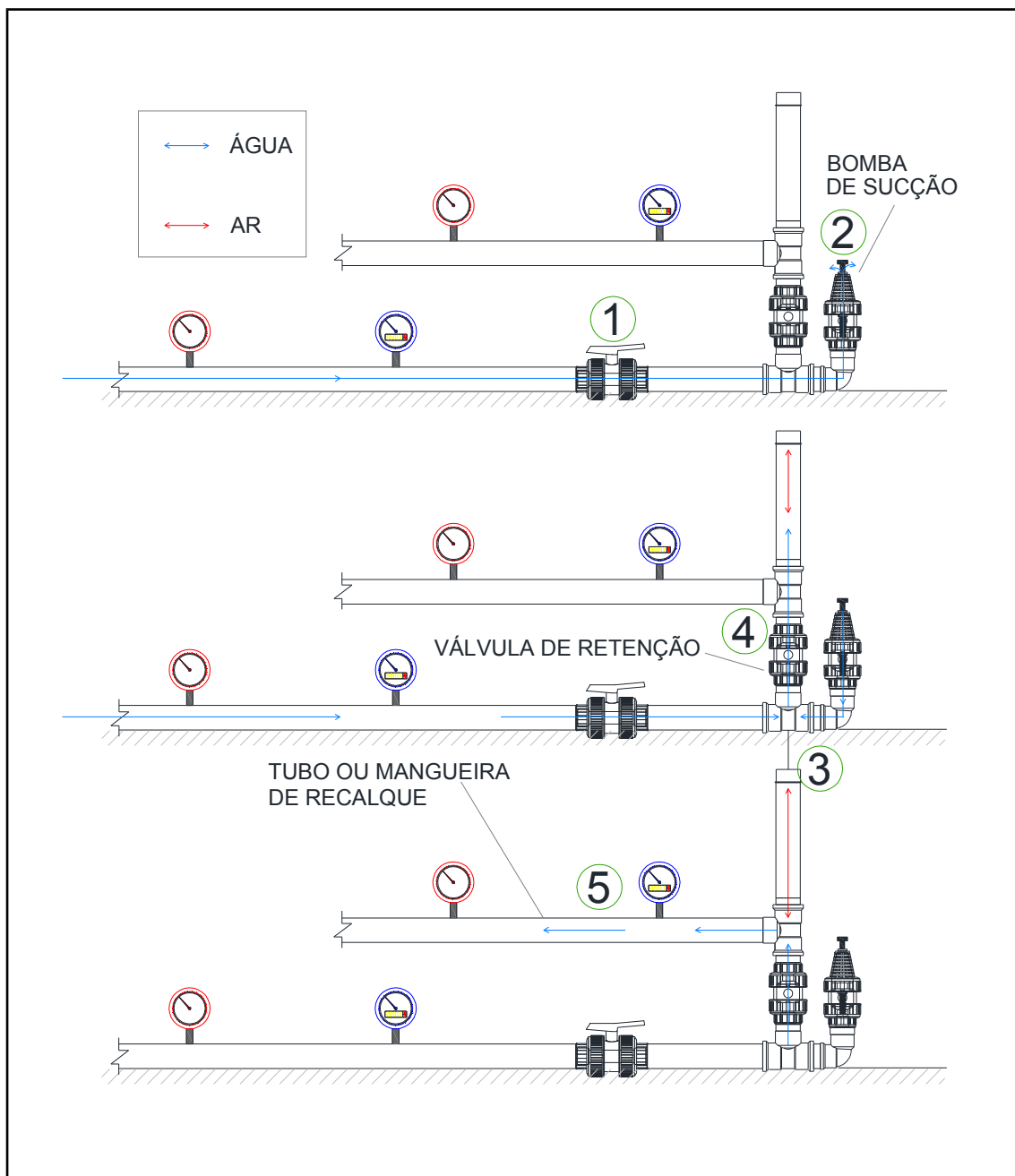
- a) A água entra no carneiro com a força da gravidade e aciona a tampa (ou martelo) da bomba de sucção, que abre e fecha repetidas vezes graças à mola;
- b) Quando a tampa abre, uma parte da água jorra para fora;
- c) Quando fecha a tampa a água tende a voltar com muita força e se choca com a corrente de água que está vindo da fonte, o que faz com que a água suba pela válvula de retenção;
- d) A válvula de retenção se fecha assim que a água passa por ela, e o ar contido no tubo superior (câmara de ar comprimido) empurra a água;
- e) A água sai pela mangueira (ou tubulação de recalque). A pressão é suficiente para fazer a água subir porque esses movimentos são repetitivos.

Figura 21 – Esquema geral da configuração do sistema de montagem



Fonte: Autor, 2017

Figura 22 – Esquema de funcionamento da bomba de aríete de PVC



Fonte própria: Adaptado de Globo Rural, 2015a

3.2 Ensaio

Os ensaios foram realizados e repetidos para as 3 alturas h , sendo efetuadas 4 medições para 3 diferentes vazões em cada altura, reguladas por uma torneira simples de 1/2" acoplada à 2 m da mangueira. Para uma exata leitura dos manômetros e do hidrômetro instalado na tubulação de sucção foram utilizadas câmeras de filmagem. Para cada medição foram considerados 60 segundos. Os três equipamentos foram filmados e a medição foi verificada no computador exatamente no tempo considerado. Ao mesmo tempo a água recalçada foi colhida no tubo Becker e sua leitura foi realizada sobre uma bancada nivelada.

A cada troca de vazão o registro era fechado e o pulso novamente regulado. Procurou-se mudar o número de pulsos, dentro do possível, pois a bomba só funcionava dentro de uma pequena variação no número de pulsos por minuto.

A altura manométrica foi determinada pela diferença de pressão medida antes e depois da bomba, observada nos manômetros instalados na tubulação de sucção e de recalque, calculada pela Equação 7, como segue:

I. A Equação da Energia (Equação 7) foi aplicada antes e depois da bomba:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_m = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h \quad \dots(7)$$

Onde:

- z_1 : Energia de posição antes da bomba (mca)
- z_2 : Energia de posição depois da bomba (mca)
- $\frac{p_1}{\gamma}$: Pressão antes da bomba (mca)
- $\frac{p_2}{\gamma}$: Pressão depois da bomba (mca)
- $\frac{v_1^2}{2g}$: Carga cinética antes da bomba (mca)
- $\frac{v_2^2}{2g}$: Carga cinética depois da bomba (mca)
- H_m : Altura manométrica (mca)

II. Foi considerado que as cotas e as energias cinéticas em 1 (antes da bomba) e em 2 (depois da bomba) eram iguais:

$$z_1 = z_2; \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} \quad \dots(8)$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + H_m = \frac{p_2}{\gamma} + \Delta h \quad \dots(9)$$

III. A perda de carga entre os pontos 1 e 2 (na bomba) foi desconsiderada, pois já estava embutida na diferença de pressão:

$$\frac{p_1}{\gamma} + H_m = \frac{p_2}{\gamma} \quad \dots(10)$$

IV. Assim, a altura manométrica foi determinada pela diferença de pressão entre os pontos 1 e 2:

$$H_m = \frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} \quad \dots(11)$$

Na Figura 20 o ponto 1 localiza-se antes da bomba (manômetro 1 - sucção) e o ponto 2 localiza-se depois da bomba (manômetro 2 - recalque).

A vazão desperdiçada foi calculada pela diferença entre a vazão de saída e a vazão de entrada na bomba. Todas as medições foram registradas em uma planilha para posterior confecção da curva da bomba, que estabelece uma relação entre a vazão e a altura manométrica. Todo o processo foi repetido para cada variação de altura h . A interrupção do processo se dava pelo fechamento do registro.

Como a vazão é recalçada por pulso, e não de forma contínua, foi importante medir a mesma com o hidrômetro, pois este mede o volume acumulado em um determinado intervalo de tempo.

3.3 Construção da curva da bomba

Para a construção da curva da bomba, a altura manométrica ficou comprometida, não representando a real energia inserida pela bomba. Notou-se que a altura manométrica (Hm) variou de 4,6 mca a 6,55 mca (Tabela 5). Com isso é possível afirmar que esta variável não está correta, pois o tubo de sucção tinha 7,30 m de comprimento e a mangueira de recalque tinha 17 m de comprimento, sendo que sua ponta final estava situada a 6,5 m de altura, por onde saía a água recalçada. Para calcular a Hm é necessário subtrair a pressão mínima da máxima encontrada na tubulação de recalque, o que não foi possível devido à indisponibilidade de equipamento de medição para determinar a pressão negativa, pois a escala do equipamento disponível não era adequada às necessidades do experimento.

No entanto, a vazão e demais parâmetros medidos, como a carga sobre a bomba, são valores que ilustram seu real funcionamento.

Os gráficos 2, 3 e 4 mostram as curvas da bomba construídas. Ambos mostram a relação entre a Qs e Hm; e Qs e pulsos para as três cargas h testadas: 2,0 m, 2,9 m e 3,5 m respectivamente.

Gráfico 2 – Vazão Qs (L/min) versus Hm (mca) e Pulso (p/seg)

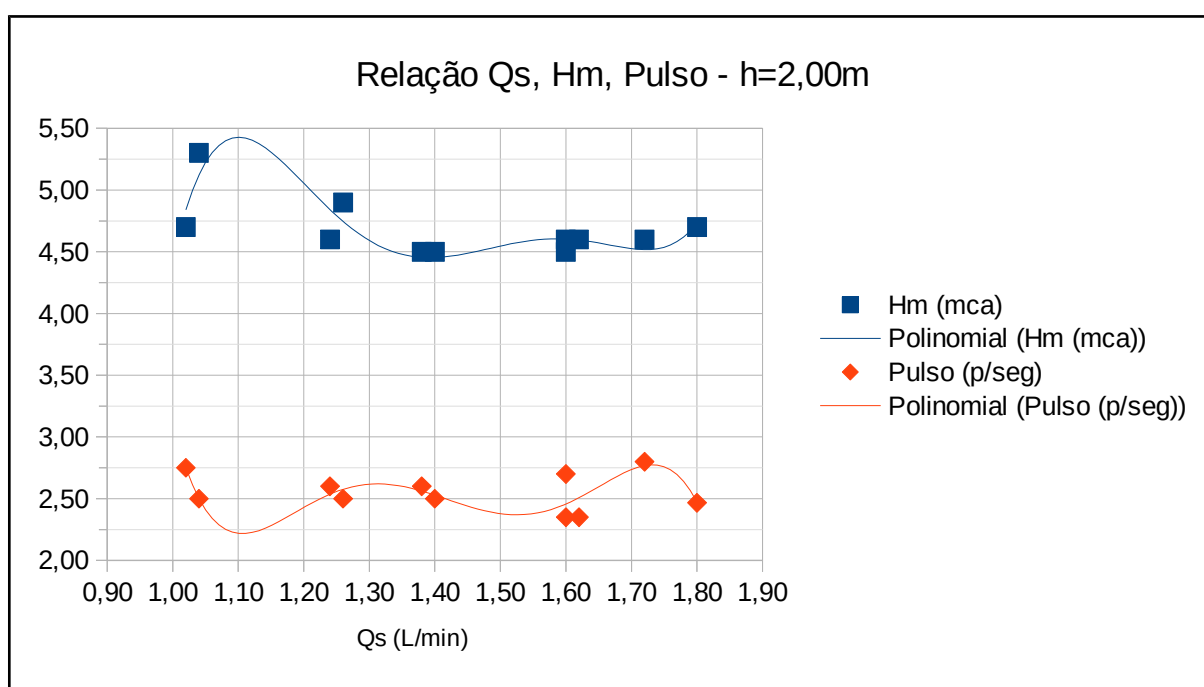
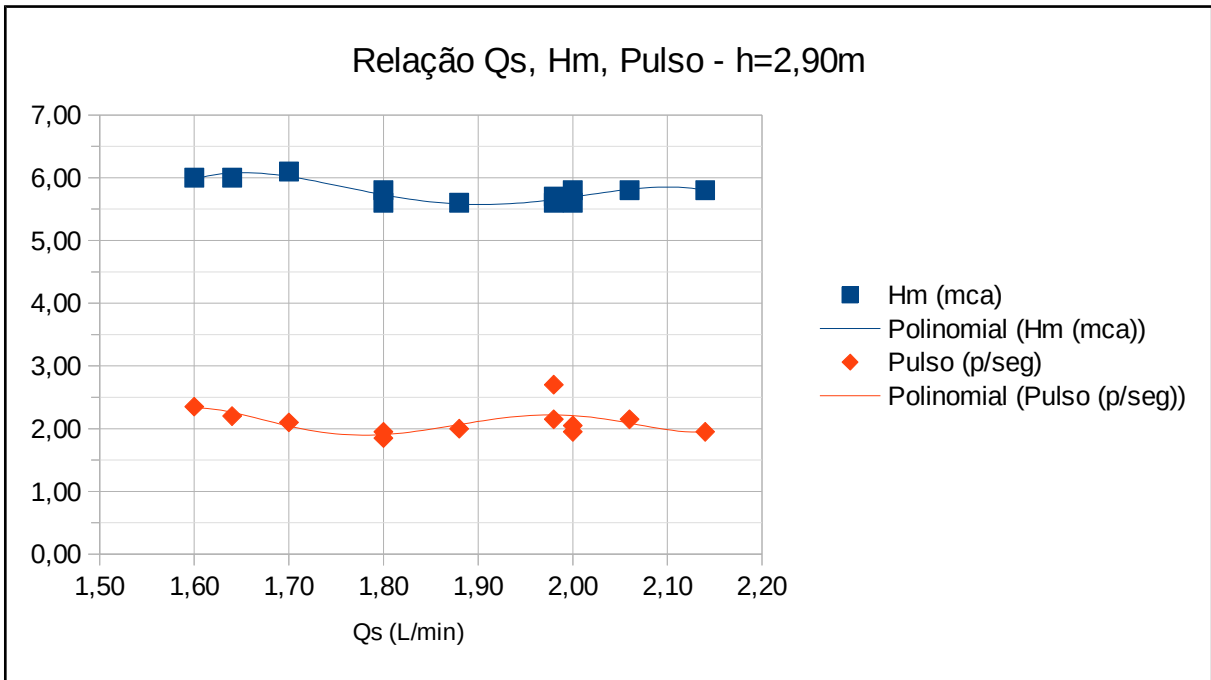
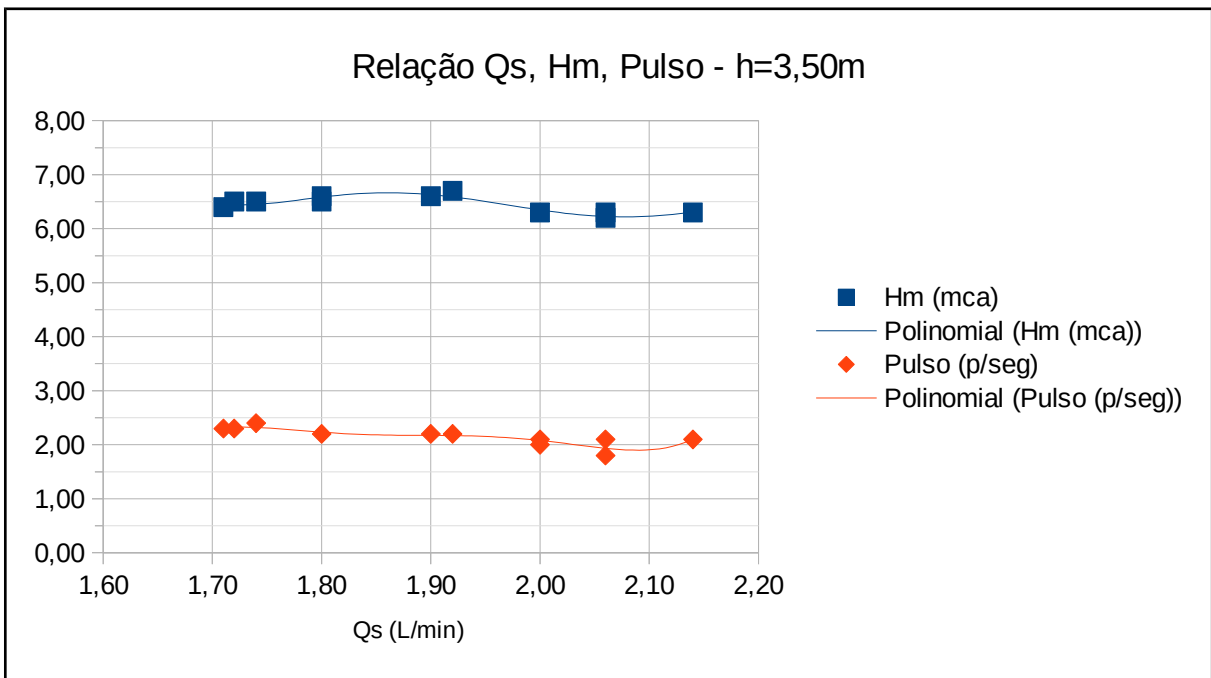


Gráfico 3 – Vazão Qs (L/min) versus Hm (mca) e Pulso (p/seg)



Fonte: Autor, 2017

Gráfico 4 – Vazão Qs (L/min) versus Hm (mca) e Pulso (p/seg)



Fonte: Autor, 2017

Na Tabela 5, em geral, pode-se ver que quanto maior a altura h, maior é a altura manométrica (Hm), ainda que a mesma esteja errada a relação é válida e confirma as pesquisas já realizadas por diversos autores, como os citados neste trabalho. A

média de Hm para h = 2,00 m foi de 4,7 m; para h = 2,90 m foi de 5,8 m e para h = 3,50 m foi de 6,4 m.

3.4 Custo da construção do aríete hidráulico em PVC (considerando o modelo utilizado)

Para o levantamento do custo de construção de um aríete hidráulico escolheu-se o modelo construído para a elaboração deste trabalho, com algumas sugestões de melhorias, principalmente no que diz respeito a futuras manutenções ou alterações na configuração da bomba. A Tabela 4 mostra a lista dos materiais com os respectivos preços em Reais, pesquisados na cidade de Alegrete/RS. No custo foi considerada apenas a bomba, ficando excluídas as tubulações de sucção e de recalque, pois estas variam conforme a necessidade. Também não foram considerados no orçamento os materiais de conexão e medição utilizados para execução dos ensaios.

Tabela 4 – Custo para construção de um aríete hidráulico em PVC de 32mm de diâmetro

Material	Quantidade	Preço R\$	Custo Total R\$
Registro de globo rosqueável 32mm PVC	1	32,60	32,60
Nípel rosqueável 32mm PVC	7	2,18	15,26
Tê rosqueável PVC	2	2,90	5,80
Joelho 90° rosqueável 32mm PVC	1	1,80	1,80
Válvula de pé com crivo rosqueável 32mm METAL	1	36,00	36,00
Válvula de retenção vertical rosqueável 32mm METAL	1	26,90	26,90
Adaptador rosqueável 32mm/soldável 50mm PVC	1	3,96	3,96
50 cm Tubo de PVC 32mm soldável	1	11,60	11,60
Tampão (CAP) de PVC 32mm soldável	1	5,73	5,73
Adaptador para mangueira rosqueável PVC 32mm para ½"	1	2,37	2,37
Barra roscada 5/16 de 30 cm com 2 porcas	1	0,94	0,94
Mola	1	5,00	5,00
Adesivo plástico para PVC incolor (cola)	1	5,00	5,00
Fita veda-roscas	1	12,71	12,71
Lixa Nº 120	1	1	1,00
Custo total da bomba R\$:			166,67

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas dificuldades foram enfrentadas na realização dos ensaios, o que levou à execução de inúmeras repetições até se chegar aos resultados finais. Após a realização dos primeiros ensaios, notou-se que o hidrômetro instalado na tubulação de recalque não estava medindo corretamente a vazão, ficando quase parado durante o experimento, marcando uma vazão de recalque em torno de 50 ml por minuto. Este problema ocorreu devido ao modelo do hidrômetro, pois verificou-se que os hidrômetros tradicionais não medem vazão a maiores pressões. Logo, optou-se por medir a vazão de recalque de forma manual, com o auxílio de um tubo Becker.

Os principais problemas e eventos a serem relacionados foram:

- A válvula de pulso não funcionava. Após muitas tentativas, começou a funcionar e parou antes de 60 segundos. Verificou-se que o problema era o formato da válvula de retenção (com crivo) que, por ser redonda, forçava a mola a se deslocar, impedindo o seu fechamento para que ocorresse o golpe de aríete;
- Foi realizada uma adaptação na válvula redonda a fim de impedir o deslocamento da mola durante os pulsos (Figura 23). Novos testes foram realizados e novamente não se conseguia regular o pulso para funcionamento da bomba, ficando este exageradamente rápido. Notou-se que a mola deveria ser mais rígida para que o pulso fosse regulado;
- A mola foi trocada por outra bem mais rígida, o que possibilitou a regulação dos pulsos e o início do funcionamento da bomba;

Figura 23 – Válvula de pulso adaptada



- A vazão era alterada com o auxílio de uma torneira de 1/2" instalada há 2 m da bomba na mangueira de recalque. Inicialmente, os ensaios foram realizados somente com a mangueira de 2 m de comprimento, mas notou-se que a pressão no manômetro de recalque não era marcada, ficando em torno de zero devido à pressão atmosférica que atuava na extremidade da mangueira de recalque. Optou-se, então pela colocação e elevação da mangueira no recalque, sendo assim possível a medição da pressão no manômetro 2;
- Após finalizados os ensaios, realizou-se o preenchimento e os cálculos da Tabela 4, onde se verificou que a vazão de recalque estava excessivamente baixa, marcando em torno de 50 ml por minuto. Pela observação da água de saída na mangueira de recalque comprovou-se a irregularidade, onde foi constatado que o hidrômetro utilizado não efetua medições a maiores pressões. Foi efetuada a retirada do hidrômetro 2 e os ensaios foram refeitos, medindo-se a água recalçada com um tubo Becker;
- Outra descoberta foi de que a mangueira de recalque jamais deve ficar em formato de sifão, pois a pressão negativa impede o perfeito funcionamento da bomba;
- Maiores variações no número de pulsos não foram possíveis devido à pressão exercida na válvula de pulso. Percebeu-se que para maiores alterações nos pulsos seria necessário utilizar uma mola mais rígida ou aumentar o desnível h;
- Após a realização de todos os ajustes, efetuou-se novamente todos os ensaios. As anotações e cálculos foram realizados e notou-se erro na Hm, pois esta ficou menor que o desnível geométrico entre a bomba e a saída da água (ponta da mangueira de recalque). Logo, para efetuar o cálculo correto e determinar a Hm seria necessária a instalação de um vacuômetro para medir a pressão negativa atuante na bomba durante os golpes, mas a Unipampa não dispõe de equipamento com escala necessária para esta medição;
- O Ar presente na tubulação prejudica o correto funcionamento da bomba, pois a cada ensaio era necessário o desligamento da bomba para alteração da vazão ou dos pulsos ou para medição da pressão de entrada que, ao desligar fazia com que a câmara de ar ficasse cheia de água, impedindo também o funcionamento da bomba devido à falta de pressão suficiente para gerar o golpe de aríete. Logo, era necessário esvaziar a câmara de ar antes de religar a bomba. Ao retirar a água da câmara, o sistema enchia-se de ar, o que ocasionava um pulso irregular, uma queda

de pressão (no recalque) e diminuição na vazão Q_s até que todo o sistema ficasse cheio de água novamente (exceto a câmara de ar);

- Após a instalação da bomba e seu acionamento, ela passa a funcionar sozinha sem necessidade de interferência humana, mostrando muita prática e eficiência.

Em relação à montagem da bomba, sugere-se montar a tubulação de alimentação para um lado e a mangueira de recalque para outro (lado oposto), o que facilita o manuseio do equipamento e evita uma curva no início da mangueira de recalque.

A bomba foi montada com luvas de PVC soldável. Neste caso, sugere-se que seja montada com nípels rosqueáveis, o que diminui o custo e facilita a montagem, evitando cortes e facilitando futuras manutenções ou ajustes no aparelho.

Outro ponto importante é utilizar um diâmetro maior na tubulação de sucção, devendo ter a mangueira de recalque pelo menos um diâmetro imediatamente menor que o da sucção. Inicialmente os ensaios foram realizados com diâmetros iguais, tanto na sucção quanto no recalque, mas notou-se um baixo rendimento, vazão excessivamente baixa e bloqueio frequente do sistema. Ao se trocar o diâmetro no recalque (mangueira de 1/2") o sistema passou a funcionar de forma perfeita, não ocorrendo mais os bloqueios no bombeamento e aumentando a vazão.

Observou-se nos resultados que quanto maior o desnível h , maior a H_m e a vazão recalçada; e quanto menor o número de pulsos/min maior é a vazão. Isto confirma a afirmação de algumas referências consultadas, como por exemplo o vídeo de Fabiano Pontes (2013), onde mostra o carneiro instalado em funcionamento em uma propriedade rural, e relata que a maior vazão é obtida quando a válvula de pulso opera com 40 a 45 golpes/min. Quanto menor a altura h , maior o número de p/min e menor a Q_s . Acredita-se que a maior vazão Q_s é obtida com 1 pulso a cada 2 segundos, com base nos testes realizados, mas não foi possível manter este número de pulsos devido às restrições do terreno e da instalação em geral, já que o pulso depende da pressão na tubulação de sucção, do desnível h principalmente e da resistência da mola. E considerando esta variação também se pode concluir que a resistência da mola deve ser maior à medida que aumenta o desnível h . Uma mola muito flexível produz muitos pulsos por minuto, uma mola mais rígida produz menores pulsos por minuto e diminui um pouco da água desperdiçada pela válvula de pulso, pois mantém a válvula de escape aberta por um tempo menor que as molas menos resistentes, motivo este também

responsável pelo aumento da Qs. A vazão pode ser aumentada com o aumento do diâmetro da tubulação da bomba.

Durante os ensaios, após testar diversas configurações de instalação, concluiu-se que em relação à instalação do equipamento em campo, para aproveitar o máximo de eficiência no funcionamento da bomba, deve-se observar os seguintes requisitos:

- Instalar a bomba pelo menos 50 cm distante da captação;
- Deve haver um desnível entre a captação e a bomba, sendo o ideal instalar a bomba a partir de 3 m abaixo do nível de captação, onde se começa a obter melhores resultados de vazão de recalque;
- A bomba é eficiente para longas distâncias, e não funciona caso a mangueira de recalque seja muito curta (testou-se até 3 m), pois neste caso a pressão de saída atinge a pressão atmosférica, não propiciando consecutivos pulsos na válvula;
- A elevação na tubulação de recalque não deve ser brusca, repentinamente íngreme;
- Testar pelo menos duas molas de diferentes resistências.

A Tabela 5 mostra os resultados dos ensaios. A Tabela 6 apresenta a média dos ensaios para cada item observado.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios

h (m)	Qv	t (s)	Hidr-S (L/min)	Man-S (kgf/cm ²)	Hidr-R (L/min)	Man-R (kgf/cm ²)	Pulso (p/min)	Qd (L/min)	Hm (kgf/cm ²)	Hm (mca)	Qr em L/h
2,00	A	60	6,60	0,03	1,80	0,50	148	4,80	0,47	4,70	108
2,00	A	60	5,68	0,03	1,72	0,49	168	3,96	0,46	4,60	103
2,00	A	60	5,60	0,03	1,60	0,48	162	4,00	0,45	4,50	96
2,00	B	60	5,80	0,03	1,04	0,56	150	4,76	0,53	5,30	62
2,00	B	60	5,80	0,03	1,60	0,49	141	4,20	0,46	4,60	96
2,00	B	60	6,00	0,03	1,62	0,49	141	4,38	0,46	4,60	97
2,00	B	60	4,60	0,03	1,38	0,48	156	3,22	0,45	4,50	83
2,00	C	60	4,80	0,03	1,26	0,52	150	3,54	0,49	4,90	76
2,00	C	60	5,20	0,03	1,40	0,48	150	3,80	0,45	4,50	84
2,00	C	60	4,40	0,03	1,02	0,50	165	3,38	0,47	4,70	61
2,00	C	60	4,80	0,03	1,24	0,49	156	3,56	0,46	4,60	74
2,90	A	60	9,60	0,04	2,14	0,62	117	7,46	0,58	5,80	128
2,90	A	60	9,80	0,04	2,00	0,60	117	7,80	0,56	5,60	120
2,90	A	60	8,00	0,04	2,06	0,62	129	5,94	0,58	5,80	124
2,90	A	60	7,40	0,04	1,60	0,64	141	5,80	0,60	6,00	96
2,90	B	60	9,40	0,04	1,80	0,60	111	7,60	0,56	5,60	108
2,90	B	60	8,20	0,04	2,00	0,62	123	6,20	0,58	5,80	120
2,90	B	60	7,40	0,04	1,98	0,61	129	5,42	0,57	5,70	119
2,90	B	60	7,20	0,04	1,64	0,64	132	5,56	0,60	6,00	98
2,90	C	60	10,00	0,04	1,98	0,60	162	8,02	0,56	5,60	119
2,90	C	60	11,20	0,04	1,80	0,62	117	9,40	0,58	5,80	108
2,90	C	60	8,20	0,04	1,88	0,60	120	6,32	0,56	5,60	113
2,90	C	60	8,40	0,04	1,70	0,65	126	6,70	0,61	6,10	102
3,50	A	60	11,20	0,05	2,06	0,68	108	9,14	0,63	6,30	124
3,50	A	60	11,50	0,05	1,92	0,72	132	9,58	0,67	6,70	115
3,50	A	60	8,70	0,05	1,90	0,71	132	6,80	0,66	6,60	114
3,50	A	60	8,00	0,05	1,80	0,71	132	6,20	0,66	6,60	108
3,50	B	60	9,10	0,05	2,14	0,68	126	6,96	0,63	6,30	128
3,50	B	60	8,60	0,05	2,06	0,67	126	6,54	0,62	6,20	124
3,50	B	60	9,40	0,05	2,00	0,68	120	7,40	0,63	6,30	120
3,50	B	60	8,48	0,05	2,00	0,68	126	6,48	0,63	6,30	120
3,50	C	60	7,80	0,05	1,80	0,70	132	6,00	0,65	6,50	108
3,50	C	60	7,60	0,05	1,72	0,70	138	5,88	0,65	6,50	103
3,50	C	60	7,40	0,05	1,71	0,69	138	5,69	0,64	6,40	103
3,50	C	60	7,00	0,05	1,74	0,70	144	5,26	0,65	6,50	104

Fonte: Autor, 2017

Tabela 6 – Média dos ensaios para cada item observados

h1 (m)	Q em L/h	Hm (mca)	Pulso (p/min)	Q Média (L/h)	Média Hm (m)	Média p/min	Qr
2,0	108,00	4,70	148	102,40	4,60	159	A
2,0	103,20	4,60	168				A
2,0	96,00	4,50	162				A
2,0	62,40	5,30	150	84,60	4,75	147	B
2,0	96,00	4,60	141				B
2,0	97,20	4,60	141				B
2,0	82,80	4,50	156				B
2,0	75,60	4,90	150	73,80	4,68	155	C
2,0	84,00	4,50	150				C
2,0	61,20	4,70	165				C
2,0	74,40	4,60	156				C
h2 (m)	Q em L/h	Hm (mca)	Pulso (p/min)	Q Média (L/h)	Média Hm (m)	Média p/min	Qr
2,9	128,40	5,80	117	117,00	5,80	126	A
2,9	120,00	5,60	117				A
2,9	123,60	5,80	129				A
2,9	96,00	6,00	141				A
2,9	108,00	5,60	111	111,30	5,78	124	B
2,9	120,00	5,80	123				B
2,9	118,80	5,70	129				B
2,9	98,40	6,00	132				B
2,9	118,80	5,60	162	110,40	5,78	131	C
2,9	108,00	5,80	117				C
2,9	112,80	5,60	120				C
2,9	102,00	6,10	126				C
h3 (m)	Q em L/h	Hm (mca)	Pulso (p/min)	Q Média (L/h)	Média Hm (m)	Média p/min	Qr
3,5	123,60	6,30	108	115,20	6,55	126	A
3,5	115,20	6,70	132				A
3,5	114,00	6,60	132				A
3,5	108,00	6,60	132				A
3,5	128,40	6,30	126	123,00	6,28	125	B
3,5	123,60	6,20	126				B
3,5	120,00	6,30	120				B
3,5	120,00	6,30	126				B
3,5	108,00	6,50	132	104,55	6,48	138	C
3,5	103,20	6,50	138				C
3,5	102,60	6,40	138				C
3,5	104,40	6,50	144				C

Fonte: Autor, 2017

Sendo:

- h = Desnível Geométrico (DG) entre o reservatório de alimentação e a bomba;
- Qv = Vazão variada;
- Hidr-S = Hidrômetro de Entrada; Vazão inicial (de sucção);
- Man-S = Manômetro de Entrada; Pressão inicial (sucção);

- Q_r = Hidrômetro de Saída; Vazão final (de recalque);
- $Man-R$ = Manômetro de Recalque; Pressão final (de recalque);
- Pulso = Número de Pulsos do martelo na válvula de pulso (por minuto);
- Q_d = Vazão desperdiçada; $Q_d = Vazão\ inicial - Vazão\ final$;
- t = Tempo;
- H_m = Altura Manométrica;
- Q_r em L/h = Vazão em Litros por hora.

Ressalta-se que o manômetro instalado na tubulação de sucção deveria medir a carga menos a perda de carga na situação estática. Em funcionamento deveria ser utilizado o vacuômetro devido ao golpe de aríete. Não foi possível utilizar o vacuômetro, pois o disponibilizado pela Unipampa não possuía escala necessária para a medição.

Portanto, os valores de pressão e altura manométrica não representam a realidade, pois não foi possível estabelecer a diferença de pressão entre sucção e recalque devido à falta do vacuômetro.

Nos ensaios realizados percebeu-se que a vazão varia com o número de pulsos, mas não é diretamente proporcional. Notou-se que a vazão aumentava quando diminuía o número de pulsos, obtendo-se a maior vazão (123L/h) com 124,5 golpes/min, sendo estes resultados a média dos ensaios realizados com a vazão máxima (torneira totalmente aberta) e com a carga $h=3,5m$.

Na Tabela 6 constam as médias aritméticas entre os resultados, onde $h_1 = 2,00\ m$; $h_2 = 2,90\ m$; $h_3 = 3,50\ m$. As maiores vazões ocorreram com a torneira totalmente aberta. As vazões foram variadas (Q_v) regulando-se a torneira para que fosse possível construir a curva da bomba, relacionando vazão (Q_s) com H_m , o que não foi possível devido à falta do vacuômetro.

4.1 Comparação dos resultados obtidos com os encontrados na literatura

A maioria dos autores das bibliografias consultadas não realizaram testes com a bomba em PVC de 32 mm. O modelo mais utilizado como base para a construção da bomba de aríete é do Globo Rural. No catálogo do Globo Rural (2015a) encontra-se uma relação entre vazão e diâmetro, onde consta uma vazão Q_s de 120 L/h para um diâmetro de 32 mm, não especificando a carga sobre a bomba. Os valores encontrados nos ensaios foram equivalentes aos descritos pelo Globo Rural (2015a), como pode ser observado na tabela 5.

Para uma comparação fidedigna necessita-se de equipamentos e arranjos idênticos. Por esse motivo, realizou-se uma comparação com as bombas mais parecidas com a construída. A Tabela 7 apresenta um comparativo de resultados com as referências consultadas.

Tabela 7 – Comparativo de resultados com as referências consultadas

Autor	Φ (mm)	Q sucção (L/min)	Q recalque (L/min)	h queda (m)	Hm recalque (m)
Globo Rural	20		1 a 2		10h
Globo Rural	25		1 a 2		10h
Globo Rural	32		2 a 4,2		10h
Globo Rural	50		6,7 a 10		10h
Abate e Botrel	40s; 20r		3,49	2,1	15,54
Abate e Botrel	40s; 20r		6,68	3,8	31,51
Abate e Botrel	40s; 20r		6,12	4,7	35,06
Adão Evangelista	32s; 25r	7 a 15	2,4	3,5	$h + \Delta h$
Adão Evangelista	32s; 25r	7 a 15	2,18	2,9	$h + \Delta h$
Adão Evangelista	32s; 25r	7 a 15	1,76	2	$h + \Delta h$
Barojas e Xotlanihua 150 p/min	40s; 32r		6	9	60
Barojas e Xotlanihua 150 p/min	40s; 20r		4,5	4	10
Ferreira	25	14,03	1,92	1	4
Ferreira	25	14,93	1,58	1	5
Ferreira	25	14,68	1,26	1	6
Ferreira	25	15,14	1,09	1	7
Ferreira	25	15,51	0,94	1	8
Fernanda Kemel	32s; 20r	5,96	1,7	2	4,6
Fernanda Kemel	32s; 20r	8,7	1,95	2,9	5,8
Fernanda Kemel	32s; 20r	8,9	2,05	3,5	6,3

Nota-se na Tabela 7 que os resultados que mais se aproximam dos verificados nos ensaios são os do Globo Rural (2015a) e de Evangelista (201?), onde foram utilizadas as equações sugeridas pelo autor para o cálculo da vazão de recalque. As diferenças encontradas devem-se ao fato de que os ensaios não mantiveram um fluxo constante devido à necessidade de repetições, o que ocasionava a entrada de ar no sistema, ocasionando diferença na vazão de recalque.

Logo, indica-se os catálogos do Globo Rural (2015a) para consulta, por ser o que mais se aproxima da realidade em relação à vazão, variável principal que define o diâmetro da bomba e as equações (Equações 12 e 13) sugeridas por Evangelista (201?) com base em suas tabelas de perda de carga e de rendimento.

$$Q_r = R \cdot Q_s \cdot h / H \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$H = h + \Delta h \quad \dots\dots\dots(13)$$

Outra limitação para comparação com demais trabalhos foi o erro na observação da altura manométrica.

Em relação às orientações citadas no item 2.3 pode-se dizer que são válidas, ainda que possuam algumas diferenças entre autores. Praticamente todas as referências consultadas indicam a necessidade de desnível geométrico entre o reservatório de alimentação e a bomba, devendo a bomba ficar abaixo da linha piezométrica, bem como uma distância entre ambos, não devendo a bomba ficar imediatamente ao lado do abastecedor. Todas essas indicações foram confirmadas nos ensaios, pois quanto maior o desnível geométrico entre o reservatório de alimentação e a bomba, e a distância entre ambos, melhor é o funcionamento da mesma e também maior é a vazão Q_s . Como exemplo pode-se relatar que a bomba apresentou maiores dificuldades e irregularidades no funcionamento quando instalada imediatamente abaixo do reservatório de alimentação ($h=2,00$ m e $h=2,90$ m), sem distância linear entre ambos, onde ocorriam falhas nos golpes e a regulagem para início do bombeamento era muito demorada. Ao se instalar a bomba mais longe do reservatório de alimentação ($h=3,50$ m com distância de aproximadamente 3 m) os ensaios foram realizados rapidamente, sem nenhum problema para ligar ou regular a bomba, com pulsos regulares e sem falhas.

5 CONCLUSÕES

O principal objetivo que era construir a curva de bomba, relacionando vazão com altura manométrica não foi atingido, pois não foi possível determinar a altura manométrica devido à falta de equipamento adequado de medição, pois para efetuar a medição correta seria necessário utilizar um vacuômetro com escala de pelo menos 6 kgf/cm², e o vacuômetro disponibilizado pela Unipampa possui escala de apenas 1 kgf/cm², não sendo possível então medir a pressão negativa exercida na bomba durante o funcionamento.

Em relação aos objetivos específicos, pode-se dizer que foram atingidos. A bomba foi construída com facilidade, apesar da dificuldade para encontrar algumas peças na cidade de Alegrete, como a mola e as válvulas de 32 mm, por exemplo. A bomba em PVC funcionou perfeitamente, mas devido ao formato da válvula de retenção utilizada na válvula de pulso e visando maior durabilidade a longo prazo sugere-se que todas as válvulas sejam de metal; os demais componentes podem ser em PVC.

Comparando os resultados obtidos com as referências pesquisadas, nota-se que, em geral, os resultados obtidos são compatíveis com os resultados informados pelo Globo Rural (2015), pois seus resultados são baseados em instalações de bombas que já se encontram em funcionamento; e com os cálculos das Equações 12 e 13 de Evangelista (201?), que apresentaram resultados muito parecidos com os obtidos nos ensaios.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bomba mostrou-se uma eficiente solução para a adução de água em locais onde não se dispõe de energia elétrica ou onde os recursos financeiros são reduzidos, pois seu custo é baixo e sua durabilidade estende-se há pelo menos 10 anos, sendo de manutenção quase desnecessária. Ela pode ser utilizada para abastecer reservatórios em vilarejos, para irrigação de lavouras, etc. Sua amplitude de funcionamento é grande; aceita longas distâncias e elevadas alturas manométricas, instalações em série e em paralelo.

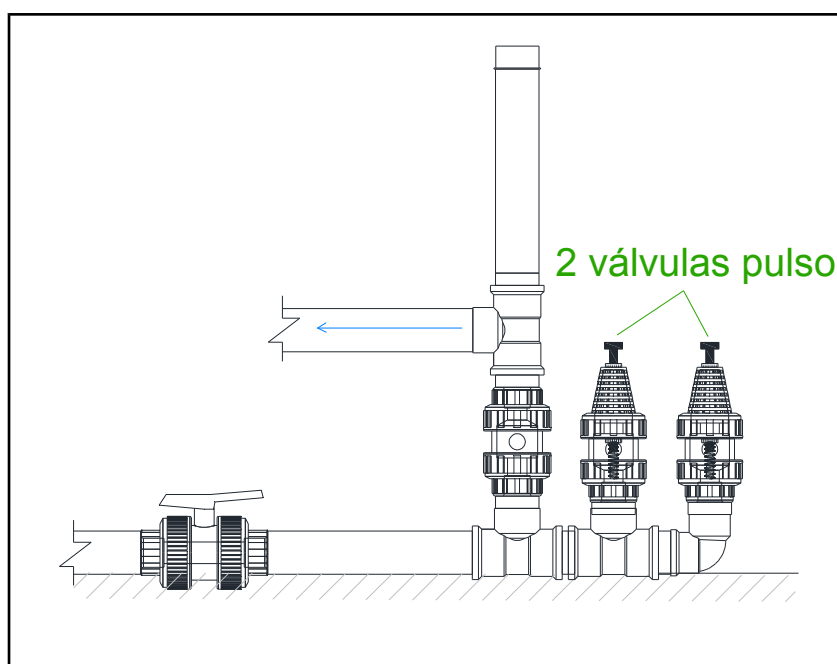
Em resumo, o trabalho foi muito interessante e proporcionou um aprofundado conhecimento, principalmente durante os ensaios, pois a cada ensaio ocorreu um problema que precisou ser solucionado na prática, fazendo-se uso da base curricular já aprendida na graduação do Curso de Engenharia Civil, especialmente na área de Instalações Hidráulicas.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguem algumas sugestões para futuros trabalhos:

- Utilizar manômetro e vacuômetro com escala de 10 bar para medição das pressões, instalando o manômetro na tubulação de recalque e o vacuômetro na tampa da câmara de ar; utilizar hidrômetros para alta pressão e medir manualmente a vazão de recalque e a vazão desperdiçada para verificação;
- Testar uma válvula de pulso com a mola substituída por um peso, o que facilitaria a regulação dos pulsos (para diâmetros menores e menores vazões);
- Realizar ensaios com uma bomba montada com duas válvulas de pulso (Figura 24). Acredita-se que a vazão Q_s pode ser aumentada (de 60 a 70%) com esta configuração;

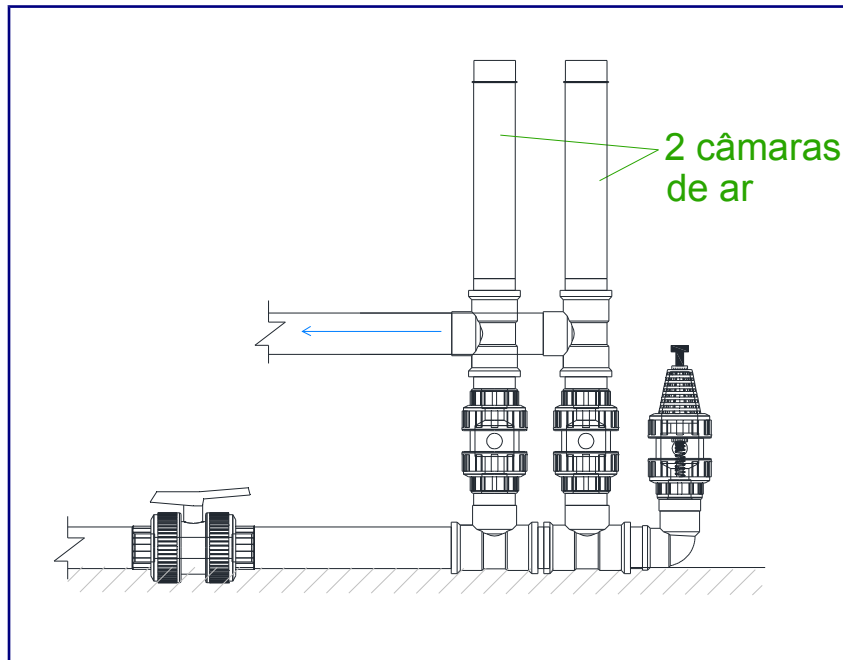
Figura 24 – Modelo de Bomba de Aríete com duas válvulas de pulso



Fonte: Autor, 2017

- Realizar ensaios com uma bomba montada com duas câmaras de ar (Figura 25). Acredita-se que a vazão Q_s seja aumentada (de 10 a 30%) e a vazão desperdiçada seja diminuída;

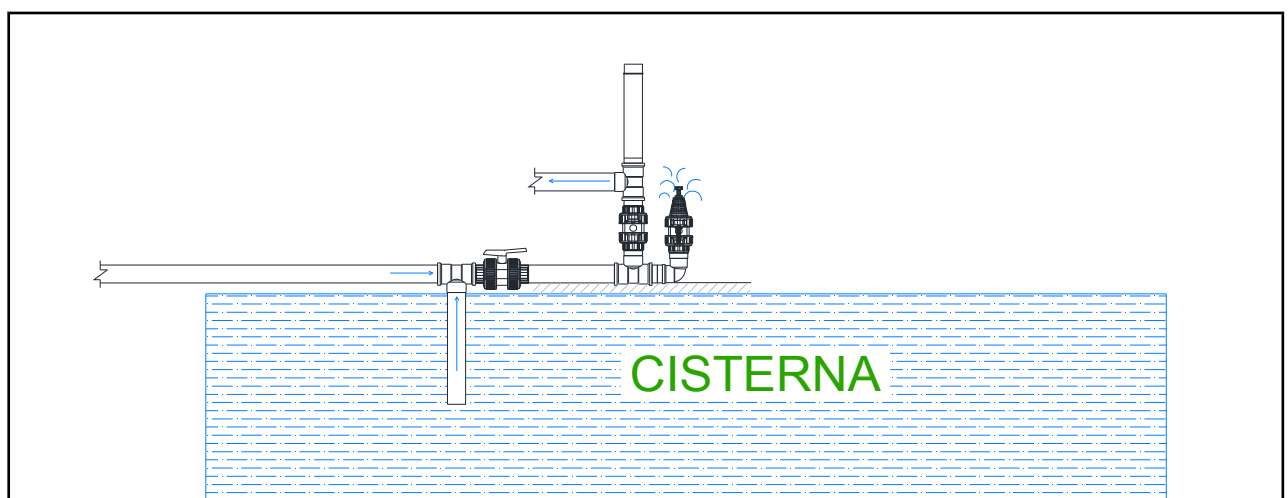
Figura 25 – Modelo de Bomba de Aríete com duas câmaras de ar



Fonte: Autor, 2017

- Testar bombas em série e em paralelo;
- Testar diâmetros maiores;
- Construir uma cisterna e instalar a bomba sobre um suporte (uma tábua por exemplo) sobre a superfície da mesma (Figura 26), que servirá para colher a água desperdiçada pela válvula de pulso e retornará à bomba pela tubulação de sucção.

Figura 26 – Modelo de instalação da bomba para reaproveitamento da água desperdiçada



Fonte: Autor, 2017

REFERÊNCIAS

ABATE, Caroline; BOTREL, Tarlei Arriel. **Carneiro hidráulico com tubulação de alimentação em aço galvanizado e em PVC**. Scientia Agrícola, v.59, n.1, p.197-203, Piracicaba, SP. jan/mar, 2002.

BAROJAS, Hugo Vasquez; XOTLANIHUA, Emanuel Sanchez. **Utilizacion de La bomba golpe de ariete para sistema de riego ecológico em Coscomatepec**. Monografia para título de Ingeniero Mecanico Electricista. Universidad Veracruzana, Facultad de Ingenieria, Cd. Mendoza, Ver. Nov, 2012. 105 p.

BARRETO, Antonio Carlos; LIMA, Luiz Antônio. **Carneiro hidráulico de PVC comercial. Construção, instalação e operação**. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia; Centro Federal de Ensino Tecnológico de Uberaba. MG: Lavras. [201?], 4 p.

CARARO, Denis C.; DAMASCENO, Flavio A.; GRIFFANTE, Greta; ALVARENGA, Livia A. **Características construtivas de um carneiro hidráulico com materiais alternativos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.4, p.349-354. PB, Campina Grande. Agriambi, UAEAg/UFCG. 2007, 6 p.

CONVALLIS, Disponível em: <http://convallis.com.br/site/como-fazer-o-carneiro-hidraulico/>. Acesso em: 01/10/2016, 01h03.

COSTA, Niedja Bezerra; SILVA, Raphael Pereira da; SILVA, Wilson Araújo da. **Bombeamento de água no meio rural utilizando um carneiro hidráulico de baixo custo**. Agroecossistemas, v.3, n.1, p.13-17. Universidade Estadual do Maranhão, Campus Cesi. MA: Imperatriz. 2011, 5 p.

DANCOR. **Catálogo geral de produtos 60 Hz**. Soluções inteligentes em bombeamento e tratamento de líquidos. Site: www.dancor.com.br; Unidade Fabril Rio de Janeiro/RJ; 2014, 194 p.

DARDOT, Jean-Paul. **Comportamento hidráulico de gotejadores pressurizados por carneiro hidráulico**. TCC de Pós Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2012. 83 p.

EVANGELISTA, Prof. Adão Wagner Pêgo. **Carneiro hidráulico**. Apostila de aula, Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Setor de Engenharia Rural. Goiás. [201?], 7 p.

FERREIRA, Alfredo. **Aplicação e otimização da bomba de ariete para elevação de água em meios rurais de Timor-Leste**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica. Universidade do Porto – U.PORTO. Faculdade de Engenharia do Porto - FEUP. Portugal: Porto. Julho, 2016. 79 p.

GALLO, Carlos Andrés Sierra; GUTIERREZ, Gerson Eduardo Biancha. **Análisis del ariete hidráulico para diferentes configuraciones**. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga. Septiembre, 2012. 104 p.

GAVIOTAS, Centro Las. **Ariete hidráulico Gaviotas. Manual de instalación, operación y mantenimiento**. Orinoquía Colombiana. Bogotá D. C., Colombia. Pág. web: www.centrolasgaviotas.org. Entre 2009 e 2016a. 19 p.

_____. **Gaviotas Hyddraulic Ram. Installation, operation and maintenance manual**. Orinoquía Colombiana. Bogotá D. C., Colombia. Pág. web: www.centrolasgaviotas.org . Entre 2009 e 2016b. 20 p.

GLOBO RURAL, Revista Online. **Vida na fazenda – como fazer o carneiro hidráulico**. Editora Globo S/A. Por Redação Globo Rural. Foto de Filipe Borin (Ed. Globo). Edição de 14/5/2015a. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/noticia/2015/05/como-fazer-o-carneiro-hidraulico.html>. Acesso em: 22/11/2016, 00h25.

_____. **Carneiro hidráulico Globo Rural 2015 – Como fazer**. Vídeo do youtube publicado em 11/07/2015 por Stênio Caixeta Tibúrcio. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AOoTutc5FOA>. Acesso em: 05/03/2017, 21h02.

_____. **Carneiro hidráulico faz sucesso nas pequenas propriedades de SC. Bombinha artesanal de PVC permite irrigar a plantação sem gastar energia e combustível**. Por Redação Globo Rural, em 10/05/2015b. Pesquisa e Tecnologia. Reportagem disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Pesquisa-e-Tecnologia/noticia/2015/05/carneiro-hidraulico-faz-sucesso-nas-pequenas-propriedades-de-sc.html>. Acesso em: 28/11/2016, 01h59. Vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AOoTutc5FOA>. Acesso em: 28/11/2016, 02h00.

HANDAYANTO, Yuli. Publicado em 08/06/2014. **Pompa hydram murah dan Berkualitas**. Pusat Penjualan Dan Pemasangan Pompa Hydram. Disponível em: <http://karyateknikjogja.blogspot.com.br/>. Acesso em: 18/10/2016, 01h59.

JICA, Agencia de Cooperación Internacional Del Japón. **Estudio de promoción y pifusión de puenas prácticas "Bomba de Ariete" del proyecto Tawan Ingnika**. Informe Final. Presentado por Guía Agropecuaria. Hagamos del campo um negocio rentable para todos. Diriamba (Carazo), San Dionisio (Matagalpa), San Rafael del Norte y La Concordia (Jinotega), Nicaragua. Marzo, 2012. 64 p.

KENYA, Cataventos. **Carneiro hidráulico**. Disponível em: <http://www.cataventoskenya.com.br/carneirohidr.html>. Acesso em: 02/11/2016, 23h57.

LARROSA, Alejandro Montecinos; QUIÑONES, Leopoldo Gallardo. **Los secretos del aríete hidráulico**. Conciencia energética. Respeto ambiental. Revista Científico Energía y tu, 25ª Ed, Artículo 05. Popular trimestral. Editora Cubasolar. Enero – Marzo de 2004. De Sociedad Cubana para La promoción de las fuentes renovables de energía y El respeto ambiental. Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: editora@cubasolar.cu. Disponível em: <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Energia/revista25.htm>. Acesso em: 17/10/2016, 23h35.

MAEDA, Leonardo Kenji. **Análise de sistemas alternativos de bombeamento, condução de água e irrigação: Estudo de caso a horta municipal de São Carlos**. TCC em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de São Carlos. SP: São Carlos. 2010, 114 p.

MARTÍNEZ, Francisco Javier Acitores. **Estudio teórico y experimental de la bomba de aríete**. Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Área de Ingeniería Térmica. Ingeniería Superior Industrial. Madrid. Febrero, 2012. 89 p.

MARUMBY, Indústria Comércio de Bombas Ltda. **Bomba carneiro**. Disponível em: <http://www.bombasmarumby.com.br/p/bombas.html>. Acesso em: 17/10/2016, 23h57.

MERCADO LIVRE. **Bomba carneiro hidráulico de 1 polegada Globo Rural**. Vendedor de Holambra II, São Paulo. Disponível em: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-698731150-bomba-carneiro-hidraulico-de-1-polegada-globo-rural-_JM. Acesso em: 17/10/2016, 00h54.

_____. **Carneiro hidráulico ¾ bomba aríete PVC válvulas bronze**. Vendedor de Venda Nova do Imigrante, Espírito Santo. Disponível em: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-785108253-carneiro-hidraulico-34-bomba-ariete-pvc-valvulas-bronze-_JM. Acesso em: 06/03/2017, 23h04.

NETTO, José Martiniano de Azevedo; FERNANDEZ, Miguel Fernandez y; ARAUJO, Roberto de; ITO, Acácio Eiji. **Manual de hidráulica**. 8ª Ed.. Editora Edgard Blücher Ltda. SP: São Paulo. 2000, 1ª reimpressão de 1998, 342 p.

ONUBR, Nações Unidas no Brasil. **Banco Mundial: 1,2 bilhão de pessoas ainda vivem sem eletricidade e 663 milhões sem água potável**. Publicado e atualizado em 18/04/2016 em Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/banco-mundial-12-bilhao-de-pessoas-ainda-vivem-sem-eletricidade-e-663-milhoes-sem-agua-potavel/>. Acesso em: 04/12/2016, 15h53.

OPENCLIMA, Blog Online. **Golpe Aríete Hidráulico. Solución**. “Figura 1”. Climatización y agua cliente sanitária. Disponível em: <http://blog.openclima.com/wp-content/uploads/Golpe-Ariete-Hidr%C3%A1ulico.jpg>. Acesso em: 02/10/2016, 21:10h. Espanha. 6 de abril de 2015.

PEDRÃO, Elcio. **Carneiro Hidráulico: Dispositivo simples, prático e barato que bombeia água sem energia elétrica ou combustível fóssil.** Governo do Estado de Santa Catarina, Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI. SC: Frei Rogério. [20--]. Disponível em: <http://www.epagri.sc.gov.br/>. Acesso em: 08/09/2016, 19h03.

PERTANIAN, Dinas; PANGAN, Ketahanan. **Pemerintah Kabupaten Sragen. Sragen Smart Regency.** Alamat: Jl.Hasanudin nº.1. Telp. (0271)891277. Terimakasih Atas Perhatianya. Entrevista em forma de vídeo de 3min47 publicada no youtube por: Hulil Herdianto em 09/01/2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZOcPFdryl3E>. Acesso em: 26/11/2012, 18h14.

PONSONI, Janieli Andressa; KLAHOLD, Karine; KLUMB, Wesley; YAMAUCHI, Vander. **Aplicabilidade do carneiro hidráulico na construção civil.** Artigo apresentado no 3º SNCS – Seminário Nacional de Construções Sustentáveis, Núcleo de Estudo e Pesquisa em Edificações Sustentáveis (IMED). RS: Passo Fundo. 5 e 6 de Nov. 2014, 10 p.

PONTES, Fabiano. **Carneiro hidráulico caseiro de 1”.** Vídeo do YouTube; Publicado em 19 de dezembro de 2013; 2,59 min; Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=We51IV39AEY>. Acesso em: 13/06/2017; 23h58.

PORTAL PLANALTO. **Prorrogado até 2018, Luz para Todos deve beneficiar mais um milhão de brasileiros.** Palácio do Planalto. Presidência da República. Notícia de desenvolvimento social. Publicado em 26/05/2015, 15h02. Disponível em <http://www2.planalto.gov.br/noticias/2015/05/prorrogado-ate-2018-luz-para-todos-deve-beneficiar-mais-um-milhao-de-brasileiros>. Acesso em: 26/11/2016, 16h56.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica.** 4ª Ed. EESC USP. Projeto REENGE. SP: São Carlos. 2006, 540 p.

RAJA, Inti Net. **Pompa air gravitasi (hydram).** Publicado em 16/06/2012. Disponível em: <http://rajainti.blogspot.com.br/>. Acesso em: 18/10/2016, 01h53.

RIFE, Rife Hydraulic Engine Mfg Co. **Rife universal heavy duty rams.** Nanticoke, PA 18634. Disponível em: <http://www.riferam.com/rams.html>. Acesso em: 18/10/2016, 02h16.

ROJAS, Ricardo Nicoláz Zárate. **Modelagem, otimização e avaliação de um carneiro hidráulico.** Piracicaba, SP: USP. Tese de Doutorado. Out. 2002. 82 p.

WATT, S. B. **A manual on the hydraulic ram for pumping water.** Intermediate Technology Development Group. Water Development Unit, National College of Agricultural Engineering, Silsoe, Bedford, MK45 4DT, U.K. London: Intermediate Technology Publications Ltda. 1975, reprinted November 1981. 55 p.

WERNECK, Guilherme Augusto Miguel. **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: O estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Piraí, RJ.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Conforto Ambiental e Eficiência Energética. RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006. 316 p.

WOT, Grupo. **Ariete hidráulico “De Breurram”.** University of Twente, Holanda, Overijssel/Enschede. January, 2006. 7 p.

YOUTUBE. **Prototype Pompa Hydram.** Vídeo disponibilizado por Surachmad Sur em 24/12/2012. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=lkbXtn_5hpl. Acesso em: 17/10/2016, 01h05.

_____. **Carneiro hidráulico de garrafa pet 2/2 (Hydraulic Ram Pump).** Vídeo disponibilizado por Flávio Damasceno em 06/04/2010. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LIFNjVkZIQo>. Acesso em: 17/10/2016, 01h15.

_____. **Carneiro hidráulico caseiro.** Vídeo publicado em 19/06/2012 por Jonas Serro. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=I19ABYJyqqE>. Acesso em: 18/10/2016, 02h27.

* Dados do site: DINAMAC Máquinas e Equipamentos. Curitiba, PR. www.dinamac.com.br. Disponível em: <http://www.dinamac.com.br/produtos/222/274/MOTOBOMBAS/--Carneiro-Hidraulico/Carneiro-Hidraulico-N-3---Marumby>. Acesso em: 06/03/2017, 22h49.

** Dados do site: BRASIL Bombas. Administrada por MV MKT Comércio Eletrônico de Máquinas e Equipamentos Ltda. – ME. Jacarepagua, RJ. www.brasilbombas.com.br. Disponível em: <https://www.brasilbombas.com.br/prod,idloja,24308,idproduto,3807831,bombas-centrifuga-cam-bombas-cam-5cv-bomba-centrifuga-cam-padrao-620-jm-5cv-dancor>. Acesso em: 06/03/2017, 22h52.