

**UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM CARNEIRO HIDRÁULICO**  
**ALTERNATIVO**

**RODOLFFO COLOMBO OLIVEIRA**

MARINGÁ – PR

2017

Rodolfo Colombo Oliveira

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM CARNEIRO HIDRÁULICO  
ALTERNATIVO**

Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da UniCesumar – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel(a) em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Esp. Yutaka Mario Kobayashi Junior

MARINGÁ – PR

2017

**FOLHA DE APROVAÇÃO**  
**RODOLFFO COLOMBO OLIVEIRA**

**MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM CARNEIRO HIDRÁULICO**  
**ALTERNATIVO**

Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da UniCesumar – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel(a) em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Esp. Yutaka Mario Kobayashi Junior.

Aprovado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Esp. Yutaka Mario Kobayashi Junior - UniCesumar.

---

---

# MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM CARNEIRO HIDRÁULICO ALTERNATIVO

Rodolfo Colombo Oliveira

## RESUMO

O objeto de estudo do presente artigo resume-se a um sistema de captação da água da chuva, em que, ao escorrer pelo telhado e calhas, a água segue para o Carneiro Hidráulico (CH), um mecanismo que tem como princípio de funcionamento o “golpe de aríete”, utilizando diferenças de pressão para elevar a água a níveis mais altos, sem necessidade de fontes externas de energia. Com um modelo alternativo, fixando o diâmetro do tubo de alimentação, da válvula de impulso, da campânula e do tubo de recalque e variando o diâmetro da válvula de retenção, busca-se determinar um modelo que possua o maior rendimento para as condições do sistema. Após confecção de três modelos de CH, um primeiro com a válvula de retenção com diâmetro igual ao tubo de alimentação, um segundo com a válvula de retenção com diâmetro igual ao tubo de recalque e um terceiro com diâmetro intermediário para válvula de retenção, testou-se os protótipos considerando uma altura entre a fonte e o dispositivo de 2,10m, elevando água a 4,40m de altura. Por fim, obtiveram-se as curvas de dimensionamento, tendo a vazão de recalque e o rendimento em função da razão entre o diâmetro das válvulas do dispositivo, além de detectarmos que a válvula de retenção de mesmo diâmetro que o tubo de alimentação apresenta o maior aproveitamento da água.

**Palavras-chave:** Carneiro Hidráulico; Dimensionamento; Rendimento.

## MATHEMATICAL MODELING OF A HYDRAULIC RAM ALTERNATIVE

### ABSTRACT

The subject of this article, about a system of rainwater catchment, where the drain from the roof and gutters, water follows to the hydraulic RAM (CH), a mechanism which has the operating principle of the "water hammer", using pressure differences to raise water to higher levels, without the need for external sources of energy. With an alternative model, the diameter of the tube, the valve, the canopy and the discharge tube and varying the diameter of the valve, the aim is to establish a model that has the most to system conditions. After making three CH models, a first with the check valve with a diameter equal to that of a second feeding tube with the check valve with diameter equal to the discharge tube and a third with intermediate diameter to valve tested the prototypes considering a height between the source and the device of 2, 10 m, and raising water at 4, 40 m high. Finally sizing curves were obtained and the discharge flow and yield as a function of the ratio between the diameter of the valves of the device, in addition to detect that the shut-off valve of the same diameter as the inlet hose features the largest use of water.

**Keywords:** Hydraulic Ram; Sizing; Efficiency.

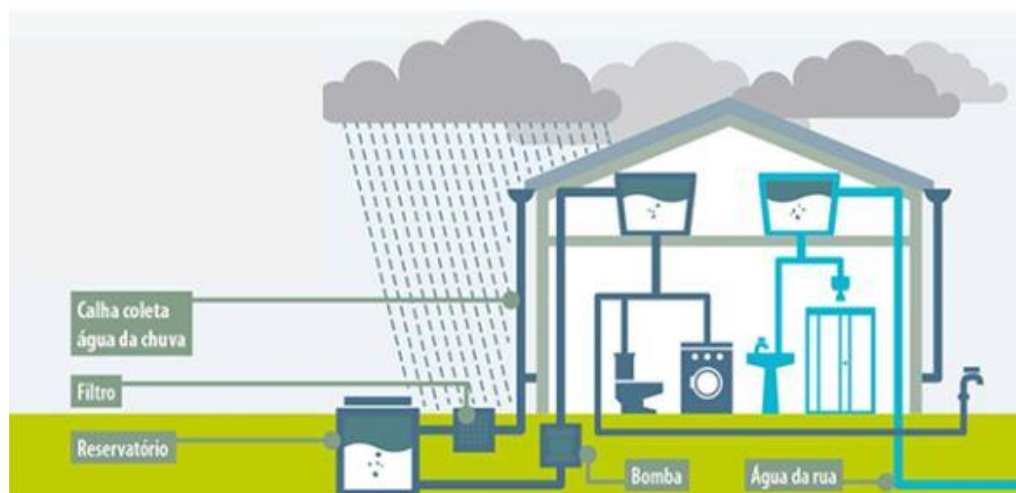
## 1 INTRODUÇÃO

“O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU número 6 diz: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” (ONUBR, 2017). A ONU (ONUBR, 2017) ainda afirma que a população mundial crescerá de 7 bilhões para 9 bilhões de pessoas entre 2011 e 2050, além da expectativa que a cada grau de aquecimento global, aproximadamente 7% da população mundial enfrente uma diminuição de quase 20% dos recursos hídricos renováveis.

Dessa maneira, faz-se necessário desenvolver e/ou aprimorar meios para reduzir o consumo de água potável e o consumo energético, pois “essa projeção de escassez de água exigirá recursos hídricos não convencionais, como aproveitamento de águas pluviais, águas residuais recicladas e drenagem urbana” (ONUBR, 2017).

Há diversos sistemas para captação e aproveitamento de água da chuva que podem aliviar as galerias pluviais e minimizar inundações, gerar economia de água potável, porém podem aumentar os gastos com eletricidade, pois demandam bombas elétricas para utilização e/ou recalque para reservatórios elevados, conforme exemplificado na figura 1.

**Figura 1 - Sistema de Aproveitamento de água de chuva convencional.**



Fonte: Adaptado - Aidê Arquitetura.

“O uso desses recursos hídricos alternativos criará novos empregos no desenvolvimento de pesquisas e tecnologias e na implementação de seus resultados” (ONUBR, 2017), e a busca por fontes alternativas de energia atreladas a economia de recursos naturais e financeiros nos leva a inúmeras inovações tecnológicas de última geração, distanciando de tecnologias já existentes, de fácil acesso e emprego. Assim o carneiro hidráulico ou bomba carneiro (também denominado de CH, neste artigo), pode ser associado a

um conjunto de coletores de água e um reservatório elevado, solucionando prática e economicamente a crise de recursos hídricos.

O modelo de carneiro hidráulico escolhido para o desenvolvimento da pesquisa é similar ao proposto por Barreto (2000), no qual “o PVC vem sendo largamente utilizado na substituição dos materiais ferrosos, na fabricação de produtos”, e o modelo já empregado em propriedades rurais em Santa Catarina pela EPAGRI (GLOBO RURAL, 2015).

Mohammed (2007, p.61) afirma que a bomba carneiro, similar ao modelo adotado, é composta essencialmente por duas partes móveis, uma válvula de impulso e outra de distribuição, sendo construída basicamente com conexões de tubos de dimensões adequadas conforme o projetado.

Considerando as proposições acima e a necessidade de se determinar as dimensões dessas conexões considerando o aproveitamento de água de chuva, para se alcançar o maior rendimento, este artigo visa determinar um modelo matemático para o dimensionamento de um carneiro hidráulico artesanal, pois de acordo com Stewart (2010, p.15) “o propósito desses modelos é entender o fenômeno e [...] fazer previsões sobre seu comportamento.”.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO CARNEIRO HIDRÁULICO**

O Carneiro Hidráulico, “[...] é barato e livre de poluição” (YOUNG, 1995 apud ROJAS, 2002, p.4), e “[...] uma máquina mista, com características de geratriz e de operatriz, que funciona pelo movimento da água, através de válvulas, de modo que a única fonte de energia é a própria descarga e a altura da água disponível na captação” (MACINTYRE, 2012, p.553), conforme ilustra a figura 2.

O golpe de aríete “é uma sobrepressão que ocorre em um líquido, [...] se transmite no próprio líquido” (MACINTYRE, 2012, p. 553), em condutos quando há variação na vazão do escoamento, como uma brusca interrupção, por exemplo. A transformação da energia cinética do fluido em energia potencial gera variações da pressão interna nos tubos, que se propagam velozmente; provocando a abertura da válvula de entrega, sem ter por onde sair, a água é forçada para a campânula e em seguida para o tudo de saída.

**Figura 2** - Funcionamento do CH alternativo.



Fonte: Globo Rural.

### 2.1.1 Fatores que influenciam o desempenho do Carneiro Hidráulico

A eficiência do sistema está basicamente atrelada aos aspectos demonstrados na figura 3, entre os quais se destaca a relação entre a altura de alimentação e a altura que a água será recalçada.

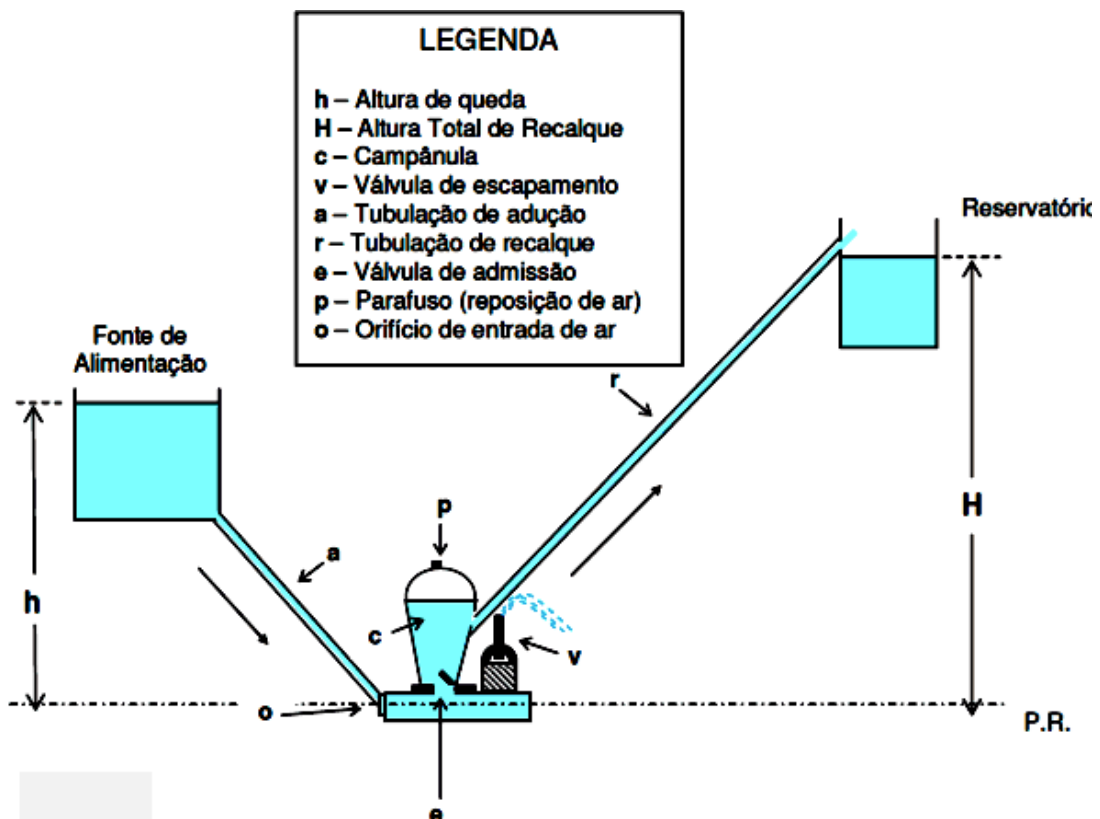
De acordo com Kitani e Willardson (1984) e Rojas (2002, p.9),

O material de que é feita a tubulação de alimentação também afeta a performance do carneiro hidráulico. O módulo de elasticidade do material da tubulação provoca alteração no aumento da pressão, causado pelo golpe de aríete, pelas mudanças na velocidade acústica da onda de pressão na tubulação de alimentação.

“A altura de queda deve estar compreendida entre 1 e 9 m. Um  $h < 1$  m, ocasiona baixo rendimento e  $h > 9$  m ocorre um desgaste excessivo da válvula de escape.” (DAKER, 1987; DENÍCULI, 1992 apud ROJAS, 2002, p.10).

A campânula exerce fundamental função no CH, para Rojas (2002, p.7) “a água ao penetrar na campânula, comprime o ar contido neste; por reação, o ar empurra a água e esta é elevada até o reservatório superior.”. Para que isto ocorra, a pressão na campânula deve ser superior à altura de recalque e o golpe de aríete ser superior à pressão da campânula. (DENÍCULI, 1992 apud ROJAS, 2002, p.7).

Figura 3 - Instalação Bomba de Carneiro.



Fonte: EMBRAPA apud UFLA.



Para Macintyre (2012, p. 554), a instalação do carneiro deve atender a alguns critérios como:

- O comprimento do tubo de alimentação deve variar entre 3 e 8 vezes a altura do desnível de admissão;
- Considerar um desnível mínimo de 1,5 m entre o carneiro e a fonte de água;
- É aconselhável uma altura de recalque de cerca de 6 vezes o desnível de admissão;
- O tubo de recalque deve possuir entre 1/3 e 1/2 do diâmetro do tubo de alimentação, sendo o mais reto possível.

Já o modelo e/ou dimensão do CH devem ser escolhido a partir dos fatores que determinam a capacidade do carneiro, considerando-se a vazão de alimentação e, principalmente, o desnível entre os pontos de água para o abastecimento do carneiro, e o reservatório elevado influencia diretamente o rendimento do dispositivo, pois sua eficiência deve-se a proporção entre a altura de queda e a altura de recalque.

“Para carneiros hidráulicos comerciais a eficiência esperada será no máximo de 60 %. A eficiência se converte em um importante fator principalmente quando o carneiro hidráulico é instalado em lugares onde a água é escassa.” (ROJAS, 2002, p.17), podendo ser estendido também para locais onde o volume intermitente de água, como acontece no caso do uso deste dispositivo associado a um sistema de aproveitamento de água da chuva.

Conforme Young (1995) e Rojas (2002, p.17), uma forma tradicional de medir o desempenho é dado pela eficiência Rankine (1):

$$\eta_R = q \frac{(H-h)}{(Q_w h)} \dots\dots\dots(1)$$

Em que:

q = vazão de descarga, (m<sup>3</sup>/s);

Q<sub>w</sub> = vazão perdida pela válvula de escape, (m<sup>3</sup>/s);

h = altura ou pressão de alimentação (m);

H = altura ou pressão recalque (m);

η<sub>R</sub> = eficiência Rankine, decimal.

Mead (1933), Kitani e Willardson (1984) e Rojas (2002, p.17) apresentam a fórmula de D’Aubisson, para calcular a eficiência do CH, conforme se verifica na equação (2).

$$q = \frac{\varepsilon \times Q \times h}{H} \dots\dots\dots(2)$$

Em que:

q = vazão recalçada (L/min)

Q = vazão de alimentação (L/min)

h = altura de queda (m)

H = altura total de recalque (m)

$\varepsilon = \frac{h}{H}$  = rendimento d D'Aubisson

O rendimento estabelecido por D'Aubisson considera a razão entre os níveis de descarga e recalque, apresetando um valor em função da proporção deste desnível, como apresenta o quadro 1.

**Quadro 1** – Relação entre desnível e rendimento.

RELAÇÃO h/H	RENDIMENTO (%)
1:2	80
1:3	75
1:4	70
1:5	65
1:6	60
1:7	55
1:8	50

Fonte: CARVALHO, 1998, apud NETO, 2004.

## 2.2 SISTEMA PROPOSTO

O sistema de aproveitamento de água de chuva associado ao CH é similiar a qualquer sistema de captação de água pluvial, no entanto, apresenta algumas alterações e o carneiro hidráulico como mecanismo motriz do bombeamento.

As calhas recebem a água do telhado e a direcionam para o tubo de alimentação (condutor da calha acoplado a um sistema de pré-reservação similar a uma válvula de descarga) do CH, o qual bombeia parte dessa água para um reservatório elevado para posterior utilização para fins não potáveis.

O armazenamento da água em um reservatório elevado garante pressão suficiente nas torneiras, apenas com a força da gravidade, trazendo assim maior conforto para o usuário.

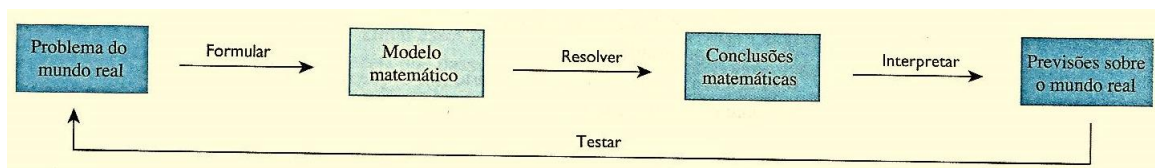
## 2.3 MODELAGEM MATEMÁTICA

A Modelagem Matemática é livre e espontânea, ela surge da necessidade do homem em compreender os fenômenos que o cercam para interferir ou não em seu processo de construção (SILVEIRA e RIBAS, 2004).

Considerando, inicialmente, um fenômeno ou problema real, podemos formular um modelo matemático por meio da identificação e especificações das variáveis dependentes e independentes e da formulação de hipóteses que simplifique o fenômeno, para podermos obter uma equação que relacione estas variáveis e, a partir da resolução matemática desta função, obtêm-se algumas conclusões que devem ser interpretadas para que se estabeleçam previsões sobre o fenômeno (STEWART, 2010, p.15).

A etapa final do processo de modelagem, como ilustra a figura 4, “é testar nossas previsões, comparando-as com novos dados reais. Se as previsões não se ajustam bem à realidade, precisamos refinar nosso modelo ou formular um novo, começando novamente o ciclo.” (STEWART, 2010, p.15).

**Figura 4** - Processo de modelagem.



Fonte: Stewart.

Stewart (2010, p.15) afirma que “um modelo matemático nunca é uma representação completamente precisa de uma situação física – é uma idealização. Um bom modelo simplifica a realidade o bastante para permitir cálculos matemáticos, mantendo, porém, precisão suficiente para conclusões significativas.”.

Para Rojas (2002, p.11) “as quatro principais variáveis dependentes que afetam o desempenho de um carneiro hidráulico são: pressão de alimentação, pressão de recalque, comprimento da tubulação de alimentação e assentamento da válvula de escape.”.

Rennie e Bunt (1990), em trabalho de modelagem de um carneiro hidráulico, afirmam que foi preferível começar analisando o período de recalque para o carneiro com uma válvula de escape com o mecanismo aperfeiçoado. Os resultados matemáticos obtidos usando os princípios de fluidos compreensíveis foram descritos como difíceis de manejar e foram simplificados a uma forma mais utilizável. A escolha dos princípios para fluidos compressíveis foi comprovada como eficiente, por estar de acordo com os valores estimados e os valores experimentais de quantidades recalçadas e pelas velocidades e pressões obtidas. De qualquer maneira os princípios de fluidos incompreensíveis foram utilizados no tratamento do período de aceleração na crença de que erros quantitativos incorridos poderiam ser

pequenos. Porém, foi encontrado experimentalmente que grandes pressões relativas, e flutuações de velocidade persistiram neste período. (ROJAS, 2002, p.11).

Segundo Mohammed (2007, p.61), Calvert (1957) avaliou as características de desempenho do carneiro hidráulico e considerou como possíveis variáveis independentes e com certas suposições, parâmetros adimensionais, tais como o número de Reynolds, a proporção da campânula e o coeficiente de atrito fluido.

Ainda, de acordo com Mohammed (2007, p. 61), Krol (1951) estabeleceu que há a possibilidade de prever o comportamento de qualquer CH, a partir de algumas propriedades, como:

- Perda de carga devido à válvula de impulso;
- O coeficiente de atrito da válvula de impulso;
- Perda de carga do tubo;
- A carga perdida durante o período do choque – golpe de aríete.

## 2.4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Para realizar os ensaios necessários para o estudo apresentado por este artigo, simulou-se o sistema de aproveitamento de água com auxílio de reservatório de polietileno em diferentes níveis, considerou-se para o coletor do reservatório adotado como calha, e conseqüente tubo de alimentação do CH, um tubo de 50 mm, a menor dimensão recomendada para coletores verticais por norma, conforme indica a Tabela 1, e associou ao sistema o carneiro hidráulico alternativo, conforme ilustra a figura 5.

**Tabela 1** - Capacidade de condução de condutores verticais PVC ou Chapa Galvanizada.

Diâmetro		Vazão
Polegadas	Milímetros	(Litros Por Segundo)
1.1/2	50	0,57
3	75	1,76
4	100	3,83
6	150	11,43

Fonte: ABNT NBR 10844 (1989).

Adotou-se preliminarmente como tubo de alimentação o coletor vertical do reservatório-calha, ou seja, um tubo de 50 mm ou 1.1/2” de diâmetro. Conseqüentemente,

adotou-se a válvula de sucção adaptada com o mesmo diâmetro, analisando e alterando a válvula de admissão ou retenção, tomando como parâmetro os seguintes critérios:

- Mesmo diâmetro do tubo de alimentação;
- Mesmo diâmetro do tubo de recalque;
- Um diâmetro intermediário.

**Figura 5** - Simulação do Sistema de Aproveitamento de água de chuva com CH.



Fonte: O Autor.

Para a campânula, adotou-se um tubo de PVC soldável de 50 mm de diâmetro, com 65,0 cm de comprimento, resultando num volume de 32,5L, com um cap soldável de igual diâmetro em uma das extremidades e um adaptador soldável curto bolsa e rosca para registro de 50 mm x 1.1/2” na extremidade oposta.

A válvula de escapamento ou sucção foi adaptada conforme ilustra a figura 6 para cada caso, visando o menor desperdício pela válvula e, conseqüente, maior aproveitamento, pois segundo Rojas (2002, 66) “existe uma tendência decrescente do rendimento máximo na medida em que aumenta o tempo de pulso [...]” da válvula.

**Figura 6 - Adaptação da válvula de sucção.**



Fonte: Globo Rural.

Para o tubo de recalque, adotou-se o diâmetro recomendado pela literatura, de 1/2 a 1/3 do diâmetro do tubo de alimentação, assim utilizou-se um condutor, tipo mangueira marrom de polietileno flexível, com 25 mm ou 3/4”.

#### 2.4.1 Caso “A”

Considerando como fixos os diâmetros do tubo de alimentação, da válvula de sucção, da campânula e do tubo de recalque, variou-se somente o diâmetro da válvula de retenção. Para o caso “A”, adotou-se uma válvula de admissão ou retenção de 1.1/2”. Na montagem do CH no caso “A”, utilizaram-se as peças de acordo com o catálogo TIGRE e as respectivas quantidades, conforme apresenta o Quadro 2 e a figura 7.

**Quadro 2 - Relação de peças e quantidades**

Nº	DISCRIMINAÇÃO	QUANT.
1	Cap Soldável 50 mm	1
2	Adaptador Soldável Curto Bolsa e Rosca para Registro 50 mm x 1.1/2”	2
3	Tê Roscável 1.1/2”	2

4	Bucha de Redução Roscável 1.1/2" x 1"	1
5	Bucha de Redução Roscável 1" x 3/4"	1
6	Adaptador Interno 3/4" p/ Mangueira (Tubo de recalque)	1
7	Nípel Roscável 1.1/2"	4
8	Válvula de Retenção 1.1/2"	1
9	Joelho 90° Roscável 1.1/2"	1
10	Válvula de Sucção Adaptada 1.1/2"	1
11	Curva 90° Soldável 50 mm (Tubo de alimentação)	1

Fonte: O Autor (2017).

Realizou-se o ensaio para testar o rendimento do CH neste caso por três vezes, considerando um volume inicial para o reservatório-calha de 90L e o parafuso com 4,0 cm acima da parte superior da válvula de escapamento ou sucção.

**Figura 7 - Carneiro Hidráulico "A".**



Fonte: O Autor

### 2.4.2 Caso “B”

Considerando como fixos os diâmetros do tubo de alimentação, da válvula de sucção, da campânula e do tubo de recalque, variou-se somente o diâmetro da válvula de retenção. Para o caso “B”, adotou-se uma válvula de admissão ou retenção de 1”. Na montagem do CH no caso “B”, utilizaram-se as peças de acordo com o catálogo TIGRE e as respectivas quantidades, conforme apresenta o Quadro 3 e a figura 8.

**Quadro 3 -** Relação de peças e quantidades

Nº	DISCRIMINAÇÃO	QUANT.
1	Cap Soldável 50 mm	1
2	Adaptador Soldável Curto Bolsa e Rosca para Registro 50 mm x 1.1/2”	2
3	Luva Roscável 1.1/2”	1
4	Bucha de Redução Roscável 1.1/2” x 1”	2
5	Nípel Roscável 1”	3
6	Tê de Redução Roscável 1” x 3/4”	1
7	Adaptador Interno 3/4” p/ Mangueira (Tubo de recalque)	1
8	Válvula de Retenção 1”	1
9	Tê Roscável 1.1/2”	1
10	Nípel Roscável 1.1/2”	2
11	Joelho 90° Roscável 1.1/2”	1
12	Válvula de Sucção Adaptada 1.1/2”	1
13	Curva 90° Soldável 50 mm (Tubo de alimentação)	1

Fonte: O Autor (2017).

Realizou-se o ensaio para testar o rendimento do CH neste caso por três vezes, considerando um volume inicial para o reservatório-calha de 90L e o parafuso com 4,5 cm acima da parte superior da válvula de sucção.



**Figura 8 - Carneiro Hidráulico "B"**

Fonte: O Autor

### 2.4.3 Caso "C"

Considerando como fixos os diâmetros do tubo de alimentação, da válvula de sucção, da campânula e do tubo de recalque, variou-se somente o diâmetro da válvula de retenção. Para o caso "C", adotou-se uma válvula de retenção de 3/4". Na montagem do CH no caso "C", utilizaram-se as peças de acordo com o catálogo TIGRE e as respectivas quantidades, conforme apresenta o Quadro 4 e a figura 9.

**Quadro 4 -** Relação de peças e quantidades

Nº	DISCRIMINAÇÃO	QUANT.
1	Cap Soldável 50 mm	1
2	Adaptador Soldável Curto Bolsa e Rosca para Registro 50 mm x 1.1/2"	2
3	Luva Roscável 1.1/2"	1
4	Bucha de Redução Roscável 1.1/2" x 3/4"	2
5	Nípel Roscável 3/4"	3
6	Tê Roscável 3/4"	1

7	Adaptador Interno 3/4" p/ Mangueira (Tubo de recalque)	1
8	Válvula de Retenção 3/4"	1
9	Tê Roscável 1.1/2"	1
10	Nípel Roscável 1.1/2"	2
11	Joelho 90° Roscável 1.1/2"	1
12	Válvula de Sucção Adaptada 1.1/2"	1
13	Curva 90° Soldável 50 mm (Tubo de alimentação)	1

Fonte: O Autor (2017).

Realizou-se o ensaio para testar o rendimento do CH neste caso por três vezes, considerando um volume inicial para o reservatório-calha de 90L e o parafuso com 4,0 cm acima da parte superior da válvula de sucção.

**Figura 9 - Carneiro Hidráulico "C"**



Fonte: O Autor

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelos testes em cada caso, considerando a configuração e níveis das fontes e reservatório de água de acordo com a figura 5 e conforme enunciado anteriormente, estão expressos para o caso “A” nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2** - Resultados do caso "A"

Teste	Volume alimentação (v - L)	Volume recalcado (V - L)	Tempo de recalque (s)
1	90,0	26,39	188,23
2	90,0	24,92	176,45
3	90,0	20,01	195,66
Média	90,0	23,77	186,78

Fonte: O Autor (2017).

**Tabela 3** - Resultados de vazões e rendimento do caso "A"

Teste	Vazão de alimentação (Q - L/s)	Vazão de recalque real (q - L/s)	Vazão perdida (Q <sub>w</sub> - L/s)	Rendimento real (ε')	Rendimento teórico (ε)
1	0,478	0,140	0,338	29,32	61,44
2	0,510	0,141	0,369	27,69	58,02
3	0,460	0,102	0,358	22,23	46,57
Média	0,483	0,128	0,355	26,41	0,483

Fonte: O Autor (2017).

Para o caso “B” os resultados estão nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4** - Resultados do caso "B"

Teste	Volume alimentação (v - L)	Volume recalcado (V - L)	Tempo de recalque (s)
1	90,0	15,458	161,61
2	90,0	16,317	180,44
3	90,0	18,035	198,90

Média	90,0	16,603	180,32
-------	------	--------	--------

Fonte: O Autor (2017).

**Tabela 5** - Resultados de vazões e rendimento do caso "B"

Teste	Vazão de alimentação ( $Q - L/s$ )	Vazão de recalque real ( $q - L/s$ )	Vazão perdida ( $Q_w - L/s$ )	Rendimento real ( $\epsilon'$ )	Rendimento teórico ( $\epsilon$ )
1	0,557	0,096	0,461	17,18	35,99
2	0,499	0,090	0,408	18,13	37,99
3	0,452	0,091	0,362	20,04	41,99
Média	0,503	0,092	0,410	18,45	38,65

Fonte: O Autor (2017).

Para o caso "C" os resultados estão nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6** - Resultados do caso "C"

Teste	Volume alimentação ( $v - L$ )	Volume recalcado ( $V - L$ )	Tempo de recalque (s)
1	90,0	12,520	122,3
2	90,0	10,21	115,81
3	90,0	10,06	126,21
Média	90,0	10,93	121,44

Fonte: O Autor (2017).

**Tabela 7** - Resultados de vazões e rendimento do caso "C"

Teste	Vazão de alimentação ( $Q - L/s$ )	Vazão de recalque real ( $q - L/s$ )	Vazão perdida ( $Q_w - L/s$ )	Rendimento real ( $\epsilon'$ )	Rendimento teórico ( $\epsilon$ )
1	0,736	0,102	0,634	13,91	29,15
2	0,777	0,088	0,689	11,34	23,77
3	0,713	0,080	0,633	11,18	23,42
Média	0,742	0,090	0,652	12,14	25,45

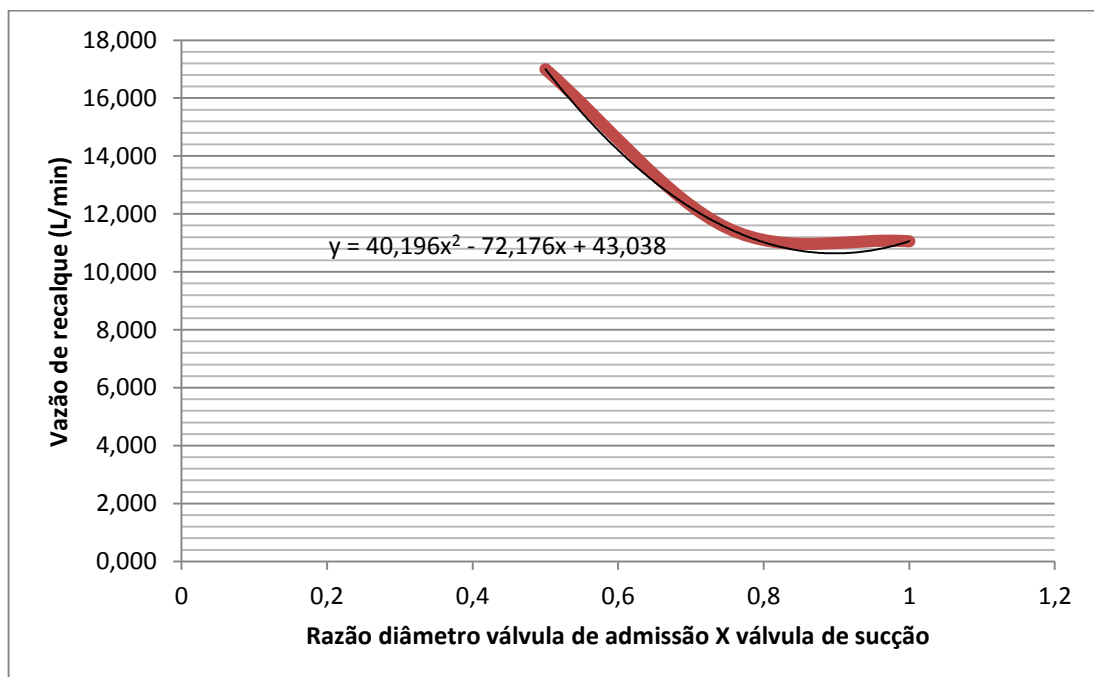
Fonte: O Autor (2017).

Nota-se que as vazões são proporcionais ao diâmetro da válvula de retenção, uma vez que os demais componentes mantêm diâmetro constante e preestabelecido igual a 1.1/2”, pois de acordo com a Lei Universal da Perda de Carga, estabelecida por Darcy–Weisbach, a perda de carga do fluxo bombeado diminui com o aumento do diâmetro da seção, pois são grandezas inversamente proporcionais, além do coeficiente de atrito diminuir com o aumento do diâmetro do tubo.

Considerando os dados apresentados nas tabelas acima, podem-se elaborar as seguintes curvas de dimensionamento, considerando como variável independente a proporção entre as válvulas de admissão e escapamento, válvulas de retenção e sucção adaptadas, respectivamente, e adotando como variável dependente a vazão de recalque e o rendimento do carneiro hidráulico, determinados a partir da equação (2), tomando como parâmetro a vazão de alimentação média obtido de forma experimental, conforme exposto nos Gráfico 1 e 2, respectivamente.

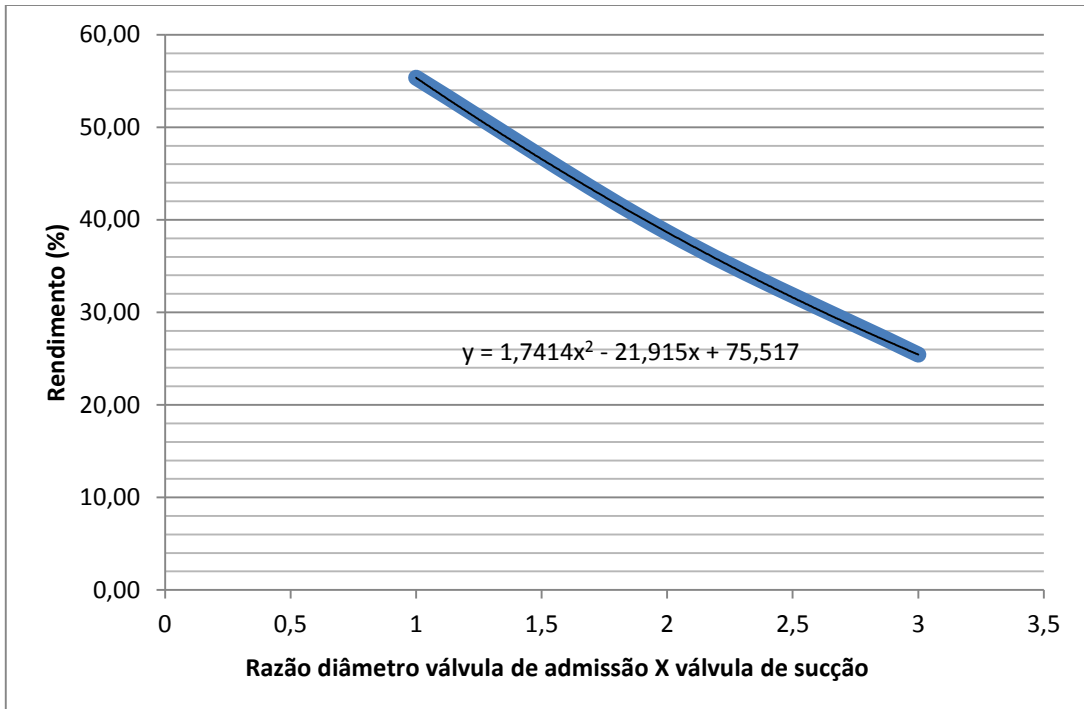
Elaborados a partir do Excel, e adotando-se como linha de tendência o tipo polinomial, devido à aproximação com a curva original, desta forma adotam-se as equações do segundo grau como lei para dimensionamento do carneiro hidráulico.

**Gráfico 1** - Curva de Dimensionamento em função da vazão de recalque



Fonte: O Autor (2017).

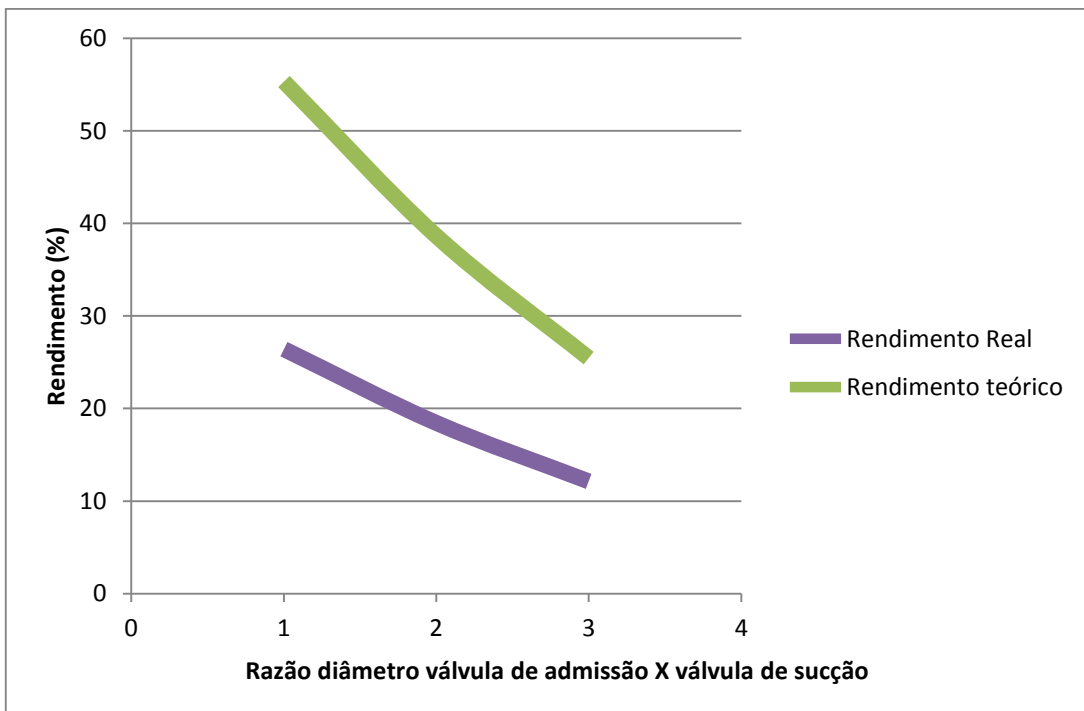
**Gráfico 2 - Curva de dimensionamento em função do rendimento.**



Fonte: O Autor (2017).

Considerando o modelo teórico, avaliaram-se os resultados dos testes, conforme ilustra o Gráfico 3.

**Gráfico 3 - Comparação do rendimento teórico com rendimento real**



Fonte: O Autor (2017).

Verifica-se que o rendimento real ficou abaixo do rendimento teórico, apesar de as curvas apresentarem inclinações similares, pois o rendimento real foi determinado somente considerando a razão entre o volume recalcado e o volume de alimentação e o rendimento teórico foi calculado considerando a equação (2), em que as alturas de alimentação e recalque são consideradas, além das vazões de alimentação e recalque.

Já o rendimento teórico ficou abaixo do rendimento estabelecido pelo Quadro 1, que considera somente a proporção entre os níveis de alimentação e recalque do sistema e é tido como parâmetro para determinar o rendimento do dispositivo.

#### 4 CONCLUSÃO

Mediante os dados e resultados obtidos por este estudo, podemos concluir inicialmente que o dispositivo com melhor desempenho em função da vazão de recalque e o rendimento é o dispositivo do caso “A”, ou seja, com tubo de alimentação, válvula de sucção e válvula de rendimento com o mesmo diâmetro de 1.1/2”, pois ao se manter a seção constante em todos os pontos o fluxo encontra menos resistência à sua passagem.

A modelagem matemática focou-se na elaboração de curvas de dimensionamento, a partir dos valores das vazões de alimentação obtidos nos testes, apresentou valores cerca de 50% acima dos valores obtidos nos testes. Desta forma o modelo exposto neste estudo se mostra pouco confiável e fiel à realidade, não sendo recomendável para dimensionamento de carneiro hidráulico alternativo. Essa disparidade pode ser devido às condições dos testes, que não contemplaram diferentes desníveis e/ou a uma pressurização insuficiente da campânula ou velocidade dos golpes da válvula de sucção descompassada ou inferior.

#### REFERÊNCIAS

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

AIDE ARQUITETURA. **Aproveitamento da água**. Disponível em <<http://aidearquitectura.com.br/aproveitamento-da-agua/>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações Prediais de Águas Pluviais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

BARRETO, A.C.; **Carneiro Hidráulico de PVC-Comercial**; Escola Agrotécnica Federal de Uberaba; Uberaba-MG; 2000.

EMBRAPA. **Tecnologia muda vida de agricultores na África**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/meio-norte/busca-de-noticias/-/noticia/1870405/tecnologia-muda-vida-de-agricultores-na-africa>>. Acesso em 18 nov. 15.

GLOBO RURAL. **Como fazer o carneiro hidráulico**. Disponível em <<http://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/noticia/2015/05/como-fazer-o-carneiro-hidraulico.html>>. Acesso em 18 nov. 2015.

KOBIYAMA, M. et al. **Aproveitamento da Água da Chuva**. 1. ed. Curitiba: Organic Trading, 2002.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2. ed.rev. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MOHAMMED, Shuaibu Ndache. Design and Construction of a Hydraulic Ram Pump (Design e Construção de uma bomba carneiro hidráulico). **Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies ISSN 1583-1078**. Universidade Federal de Tecnologia, Minna, Nigéria, n. 11, p. 59-70, 2007.

NETO, Manuel R. Borges; BORGES, Grace A. Pontes; BORGES, Everton Pontes. Software para dimensionamento de carneiro hidráulico. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5. 2004, Campinas. Disponível em <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200053&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200053&script=sci_arttext)> Acesso em 17 jun. 2015.

ONUBR. **Água potável e saneamento**. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/tema/ods6/>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

ONUBR. **Escassez de água pode limitar crescimento econômico nas próximas décadas, diz ONU**. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/escassez-de-agua-pode-limitar-crescimento-economico-nas-proximas-decadas-diz-onu/>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

ROJAS, Ricardo N. Zárate. **Modelagem, Otimização e Avaliação de um Carneiro Hidráulico**. 82f. Tese (doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

TIGRE. **Catálogo técnico água fria predial**. Disponível em <<https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-agua-fria.pdf>>. Acesso em 05 nov. 2017.