

JOAQUIM JOSÉ DE CARVALHO

52

**EFITO DO COMPRIMENTO DO SIFÃO NO SEU
COEFICIENTE DE DESCARGA, EM DIFERENTES
CONDIÇÕES DE CARGA HIDRÁULICA**

ORIENTADOR: JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO

6611
Monografia apresentada à Escola
Superior de Agricultura de Mossoró
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Mossoró
Rio Grande do Norte-Brasil
Dezembro/1995

JOAQUIM JOSÉ DE CARVALHO

ARQUIVO - 100	
Cópia 12 original	
	12.000.000.000
	12.000.000.000
	12.000.000.000
	12.000.000.000

**EFEITO DO COMPRIMENTO DO SIFÃO NO SEU
COEFICIENTE DE DESCARGA, EM DIFERENTES
CONDIÇÕES DE CARGA HIDRÁULICA**

ORIENTADOR: JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO

Monografia apresentada à Escola
Superior de Agricultura de Mossoró
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Mossoró
Rio Grande do Norte-Brasil
Dezembro/1995

M.
627.52
C.377x



*Cuide bem deste livro,
ele é fundamental para seu conhecimento*

BOT - UFERSA
Campus Mossoró

Patrimônio N°	2013007899
Registro N°	33.554
Data:	02/06/13
Chamada N°	627.52

XX-1



BIBLIOTECA ORLANDO TEIXEIRA Escola Sup. de Agricultura de Mossoró - RN	
33.554	21/05/96

2948

Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e catalogação da Biblioteca "Orlando Teixeira". da ESAM.

C 377e Carvalho, Joaquim José de.

Efeito do comprimento do sifão no seu coeficiente de descarga, em diferentes condições de carga hidráulica / Joaquim José de Carvalho.-- Mossoró: ESAM, 1995.

42p. Monografia (Graduação em Agronomia) ESAM, 1995.

1. Hidráulica - Sifão.
- 2- Coeficiente de descarga - Sifão.
- 3- Comprimento e carga hidráulica - Sifão.

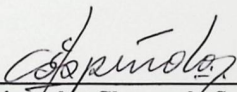
CDD 627.52

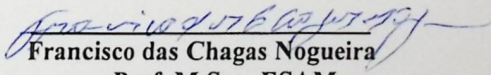
JOAQUIM JOSÉ DE CARVALHO

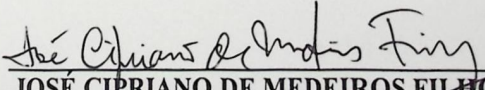
EFEITO DO COMPRIMENTO DO SIFÃO NO SEU
COEFICIENTE DE DESCARGA, EM DIFERENTES
CONDIÇÕES DE CARGA HIDRÁULICA

Monografia apresentada à Escola
Superior de Agricultura de Mossoró
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

APROVADA EM: 22/12/95


Francisco das Chagas da S. Espínola
Prof. M.Sc. - ESAM
Membro


Francisco das Chagas Nogueira
Prof. M.Sc. - ESAM
Membro


JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO
Prof. M.Sc. - ESAM
ORIENTADOR

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, MANOEL ANTÔNIO DE CARVALHO e SILVÉRIA MARIA DOS SANTOS, pela dedicação, compreensão e estímulos fornecidos ao longo da minha vida na realização de minhas aspirações.

A todos os meus irmãos que durante esses cinco anos, apoiaram-me e me estimularam ao longo dessa jornada.

A JEANNE, namorada, amiga, companheira, que muito contribuiu para obtenção desse objetivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção cotidiana nos momentos belos e difíceis de minha vida.

Ao orientador e amigo José Cipriano de Medeiros Filho pela colaboração neste trabalho, como também pelos estímulos e conhecimentos transmitidos no decorrer da monitoria.

Aos professores e conselheiros, pelo auxílio prestado a esta monografia.

Ao professor Alexandre Paula Braga, pela colaboração na realização da análise estatística, como também ao professor Paulo Sérgio Lima e Silva, pelas informações prestadas na execução da mesma.

Ao professor Everaldo Bernardino de Souza, pelas ilustrações.

Ao laboratorista Carlos Augusto Nunes, pela indispensável e honrosa ajuda na obtenção dos dados.

A Jeanne Paiva, minha namorada e amiga, pela ajuda cedida no acabamento deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, por nos ter dado condições para que o trabalho fosse realizado.

Aos colegas da casa 05 e 11, pelo companheirismo durante esses cinco anos de curso.

Aos que contribuíram para a concretização desse meu projeto.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR

JOAQUIM JOSÉ DE CARVALHO, filho de Manoel Antônio de Carvalho e Silvéria Maria dos Santos, nasceu em Campinas-PI, aos 11 de fevereiro de 1969.

Cursou o 1º grau na Unidade Escolar Isaías Coêlho - CNEC, em Simplício Mendes-PI, e o 2º grau na Escola Estadual 1º e 2º graus Senador Robert Kennedy, em São Bernardo do Campo-SP.

Ingressou no curso de Agronomia em 1991, na Escola Superior de Agricultura de Mossoró. Foi monitor de Hidráulica, no período de 1994 a 1995, e 1º secretário geral do Centro Acadêmico da ESAM em 1992.

Defende no momento monografia para ser consagrado com o título de Engenheiro Agrônomo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
TABELAS DO APÊNDICE	x
EXTRATO.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1. Origem, Definição e Funções do Sifão	03
2.2. Material do Sifão	04
2.3. Funcionamento do Sifão	04
2.4. A Vazão do Sifão	06
2.4.1. Carga hidráulica do sifão	07
2.5. Coeficiente de Descarga do Sifão	07
2.5.1. Influência do comprimento	09
2.5.2. Influência da carga hidráulica	11
3. MATERIAL E MÉTODO	12
3.1. Localização dos Ensaios	12
3.2. Materiais Utilizados nos Ensaios	12
3.3. Parâmetros Ensaiaados	13
3.4. Procedimento	13
3.5. Determinações	17
3.5.1. Área média	17

3.5.2. Carga hidráulica	18
3.5.3. Vazão	19
3.5.4. Coeficiente de descarga	19
3.5.5. Erro relativo dos coeficientes de descarga	19
3.6. Análise Estatística	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Coeficientes de Descarga Médios e Seus Erros Relativos	22
4.2. Efeitos dos Parâmetros Ensaçados	23
4.2.1. Efeito do comprimento do sifão.....	24
4.2.2. Efeito da carga hidráulica do sifão.....	25
4.2.3. Efeito da interação comprimento versus carga hidráulica do sifão	26
4.3. Equações do Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica	29
5. CONCLUSÕES	33
6. RESUMO	34
7. BIBLIOGRAFIA CITADA	35
8. APÊNDICE	38
8.1. Apêndice A	39
8.2. Apêndice B	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento do sifão	05
Figura 2 - Esquema de determinação em campo da carga hidráulica	08
Figura 3 - Projeção esquemática do sistema hidráulico da pesquisa	14
Figura 4A - Vista lateral do tanque da pesquisa	15
Figura 4B - Vista superior do tanque da pesquisa	16
Figura 5 - Coeficiente de descarga em função da carga hidráulica para os comprimentos ensaiados	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Coeficientes de Descarga Médios e Seus Erros Relativos para as Cargas Hidráulicas e Comprimentos Ensaiaados	23
TABELA 02 - Análise de Variância do Experimento Fatorial 3 x 10	24
TABELA 03 - Médias dos Coeficientes de Descarga para os Comprimentos Ensaiaados	24
TABELA 04 - Médias dos Coeficientes de Descarga para as Cargas Hidráulicas Ensaiaadas	25
TABELA 05 - Análise de Variância do Desdobramento dos Comprimentos Dentro das Cargas Hidráulicas	26
TABELA 06 - Médias dos Coeficientes de Descarga de Cada Comprimento Ensaiaado, Dentro de Cada Carga Hidráulica Ensaiaada	28
TABELA 07 - Análise de Variância do Desdobramento das Cargas Hidráulicas Dentro dos Comprimentos	29
TABELA 08 - Médias dos Coeficientes de Descarga de Cada Carga Hidráulica Ensaiaada, Dentro de Cada Comprimento Ensaiaado	29
TABELA 09 - Análise de Variância da Regressão Polinomial para o Comprimento de 1,5m	30
TABELA 10 - Análise de Variância da Regressão Polinomial para o Comprimento de 2,0m	30
TABELA 11 - Análise de Variância da Regressão Polinomial para o Comprimento de 2,5m	30

TABELA 12 - Equações de Regressão Polinomial do Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica, para os Comprimentos Ensaia- dos, e Suas Somas dos Valores Absolutos dos Desvios	31
---	----

TABELAS DO APÊNDICE

TABELA 1A - Equações de Regressão das Vazões em Função da Carga Hidráulica	32
TABELA 1B - Desvios Absolutos das Vazões em Função da Carga Hidráulica	33
TABELA 1C - Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica e Comprimento do Canal	34

TABELAS DO APÊNDICE

TABELA 1A - Especificações Técnicas das Mangueiras Utilizadas	40
TABELA 2A - Diâmetro Interno Médio dos Sifões Ensaiaados	40
TABELA 1B - Coeficientes de Descarga do Sifão para os Comprimentos e Cargas Hidráulicas Ensaiaadas	42

EXTRATO

CARVALHO, Joaquim José de. **Efeito do comprimento do sifão no seu coeficiente de descarga, em diferentes condições de carga hidráulica.** Mossoró: ESAM, 1995. 42 p. Professor orientador: José Cipriano de Medeiros Filho. Conselheiros: Francisco das Chagas da S. Espínola e Francisco das Chagas Nogueira.

Realizou-se no Laboratório de Hidráulica da ESAM, Mossoró-RN, um trabalho referente ao efeito do comprimento do sifão no seu coeficiente de descarga, em diferentes condições de carga hidráulica. Nos ensaios, foram empregados sifões de PVC flexível (SPIRAFLEX) com comprimentos de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m e diâmetro de uma polegada, sendo os coeficientes de descarga determinados pela relação entre as vazões real e teórica, para as cargas hidráulicas de 0,05 m a 0,50 m, com incremento de 0,05 m entre elas. As vazões reais foram determinadas pelo método volumétrico direto e as cargas hidráulicas foram estabelecidas através de um nível de mangueira e de um piezômetro. Constatou-se que o coeficiente de descarga diminuiu significativamente, tanto com o aumento do comprimento como com a diminuição da carga hidráulica e, também, que estes dois parâmetros são interdependentes. Para os comprimentos de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m, obtiveram-se as equações $C_d = 0,5309 + 0,2271 h - 0,2551 h^2$, $C_d = 0,5033 + 0,0934 h - 0,0343 h^2$ e $C_d = 0,4749 + 0,1223 h - 0,1056 h^2$, respectivamente.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação se originou remotamente e a sua história se confunde com a história do desenvolvimento da agricultura, sendo um fator de suma importância para o aumento da produção agrícola. Existem vários métodos de aplicação de água ao solo, destacando-se, dentre eles, o de irrigação por superfície, que é o mais difundido mundialmente, tendo como vantagem primordial a economicidade na implantação e manutenção de sua estrutura, porém sendo a água seu fator limitante. Presta-se a quase todas as culturas e a vários tipos de solos e terrenos. Nesse método, a distribuição e controle da água, a fim de se tornar mais eficiente, pode ser feita por sifões, que se tratam de dispositivos econômicos, de fácil colocação e mudança de posicionamento, sendo confeccionados em materiais leves (por exemplo, alumínio), borrachas ou plásticos.

Os sifões são largamente empregados, não só para facilitar a derivação da água de canais terciários ou de última ordem para os sulcos de infiltração e tabuleiros, como também para regulação de vazões nessas estruturas hidráulicas. São tubos de pequeno diâmetro e comprimento, curvados, que permitem irrigar sem necessidade de cortar o talude dos canais e as suas diferentes formas se adaptam perfeitamente a esses taludes. Desde que dimensionados e manejados convenientemente, são capazes de propiciarem aos sulcos de infiltração vazões adequadas, perfeitamente conhecidas e constantes durante o tempo de rega, a fim de

que não haja escassez nem excesso de água no solo e, conseqüentemente, que a eficiência de rega seja a mais elevada possível.

O sifão é de grande aplicabilidade tanto por grandes como por pequenos produtores, não só pelo baixo custo como também pelo fácil manuseio. Porém, para se tornar mais econômico o seu emprego, visando uma melhor racionalização do uso da água, torna-se imprescindível conhecer os parâmetros que influenciam a sua vazão, tais como: diâmetro, comprimento, carga hidráulica, material de que é constituído o tubo e o seu coeficiente de descarga.

O coeficiente de descarga do sifão é de grande importância na determinação da sua vazão real, pois é a relação entre as vazões real e teórica, que representa o rendimento do mesmo. Existem fórmulas que provam a influência do comprimento no coeficiente de descarga do sifão. No entanto, há poucos trabalhos que comprovam essa influência, dificultando com isso a elaboração de projetos e até mesmo as informações técnicas para uso comercial.

Com isso, objetivou-se, neste trabalho, detectar a influência que o comprimento exerce no coeficiente de descarga do sifão, utilizando-se sifões de mesmo diâmetro e material, com comprimentos diferentes, submetidos a diversas cargas hidráulicas, e determinar as equações dos coeficientes de descarga em função da carga hidráulica para os comprimentos ensaiados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem, Definição e Funções do Sifão

Segundo CORONEL (1975), os sifões eram conhecidos por nossos antepassados e foram utilizados por centenas de anos, constituindo-se em tubos em forma de “U” invertido, usados para descarregar a água armazenada para um nível mais baixo. Em nossos dias, o princípio sifônico tem sido aplicado em condutos de grande tamanho e capacidade.

Conforme NEVES (1979), sifões são os condutos em que parte da canalização se encontra acima do nível do reservatório que o alimenta, de modo que o líquido é elevado acima daquele nível e depois descarregado em ponto mais baixo que o mesmo.

De acordo com SILVESTRE (1979), sifões são condutos forçados parcialmente, que funcionam acima do plano de carga efetiva.

De acordo com o DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), além de se utilizar o sifão na extração da água de um canal para distribuí-la sobre um terreno, ele também é usado para medir o índice de fluxo nesse sistema de distribuição.

Segundo WITHERS & VIPOND (1979), na irrigação, utilizam-se sifões para transferir a água do canal para o início do sulco ou faixa lateral, a uma velocidade conhecida.

BERNARDO (1987) cita que os sifões são usados para remover água de diques ou canais e descarregá-la nos sucos ou em outros sistemas de distribuição, podendo também medir a vazão que está sendo distribuída.

Conforme DAKER (1988), pela facilidade de colocação e mudança de posicionamento é que os sifões são bem usados na distribuição e no controle da água em cada sulco.

2.2. Material do Sifão

De acordo com GRANADOS (1971), os sifões de borracha são muitos flexíveis, necessitando de um reforço de arame, para que se tornem mais indeformáveis e facilitem o escorvamento; já os de alumínio, resistem bem ao sol, são mais duráveis, porém, precisam de manejo cuidadoso, pois ao sofrerem deformações, dificilmente se consegue restabelecer a sua forma original. Ainda conforme GRANADOS (1971), recomenda-se utilizar os de alumínio ou de polietileno preto.

Segundo SILVA & DUARTE (1980), o de polietileno de cor escura é o mais utilizado por ser mais barato e por se mostrar menos sensível aos raios infravermelhos, o que não acontece com os de polietileno transparente, que se tornam quebradiços quando expostos às radiações solares.

2.3. Funcionamento do Sifão

Segundo SILVESTRE (1979), para que um sifão funcione, deve estar previamente cheio de líquido. Se assim não for, para que haja escoamento é necessário escorvá-lo, operação que pode se executar aspirando o líquido pela extremidade B. Uma vez escorvado, o sifão funciona por efeito do desnível H, entre o nível d'água do reservatório e a boca de saída B, como se pode observar na Figura 1.

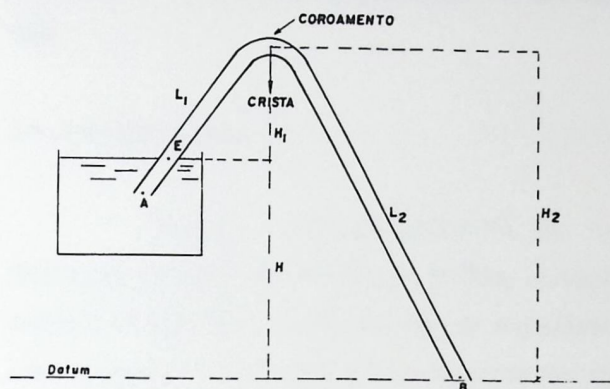


Figura 1 - Esquema de funcionamento do sifão

Para seu funcionamento, deve-se obedecer as três condições que são estabelecidas através da equação de Bernoulli, conforme SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985).

1ª condição: Necessariamente, a boca de saída do sifão deve situar-se abaixo da boca de entrada e do plano de carga efetiva;

2ª condição: A diferença de nível entre o vértice do sifão e o nível d'água no reservatório deve ser menor que a altura representativa da pressão atmosférica local;

3ª condição: O ramo descendente não pode prolongar-se indefinidamente.

De acordo com BERNARDO (1987), na instalação de um sifão, primeiramente tem-se que escorvã-lo, isto é, retirar todo o ar de dentro dele, o que se poderá fazer do seguinte modo: vedar com uma mão uma das extremidades do sifão e enchê-lo de água. Mantendo uma extremidade vedada, submergir a outra no

canal de onde retiraremos água, abaixar a extremidade vedada até que esta fique em nível inferior à superfície da água no canal. Ao desvedar o sifão, a água começará a fluir.

2.4. A Vazão do Sifão

Segundo o DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), a vazão de um sifão depende do diâmetro do tubo, do seu comprimento, da rugosidade do interior do tubo, assim como do número e do grau de dobras ou curvas que tenha e da carga sob a qual o mesmo opera.

Conforme DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), GILES (1978), NEVES (1979), SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985), determina-se a vazão do sifão pela seguinte fórmula:

$$Q = C_d \cdot A \sqrt{2gh} \quad (1)$$

onde:

Q = Vazão ou descarga do sifão, em $m^3.s^{-1}$;

C_d = Coeficiente de descarga;

A = Área da secção de escoamento do sifão, em m^2 ;

h = Carga hidráulica do sifão, em m;

g = Aceleração da gravidade, em $m.s^{-2}$.

2.4.1. Carga hidráulica do sifão

Segundo REBOUR & DELOYE (1971), a carga hidráulica é determinada pelo desnível entre a boca de saída e a superfície do líquido no canal, que deverá manter-se a nível constante para a obtenção de um fluxo uniforme.

Conforme GRANADOS (1971), DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973); WITHERS & VIPOND (1979), SILVA & DUARTE (1980) e BERNARDO (1987), para a determinação da carga hidráulica de um sifão, basta conhecer a diferença de cota entre o nível de água no canal e no terreno irrigado, quando o mesmo estiver afogado. No caso em que o sifão estiver com descarga livre, a carga é a diferença entre os níveis de água no canal e no centro da boca de saída.

Em condições de campo, de acordo com GRANADOS (1971), a instalação de um sifão para operar com uma determinada carga hidráulica pode ser feita utilizando-se um duplo esquadro rígido e indeformável em forma de "U", cujos braços A e A' têm o mesmo tamanho. No travessão central, coloca-se um pequeno nível de água a fim de que permaneça perfeitamente na horizontal. A' situa-se justamente sobre a corrente do canal e em A existe uma escala deslocável que nos permite colocar na altura desejada da boca de saída do sifão (extremidade livre), conforme pode ser observado na Figura 2. Basta para isto marcar em A o valor de h correspondente, e deslocar o sifão sobre o camalhão, num ou noutro sentido, até conseguir-se a carga desejada.

2.5. Coeficiente de Descarga do Sifão

O coeficiente de descarga representa o rendimento do sifão (NEVES, 1979) e é diretamente proporcional à vazão do mesmo.

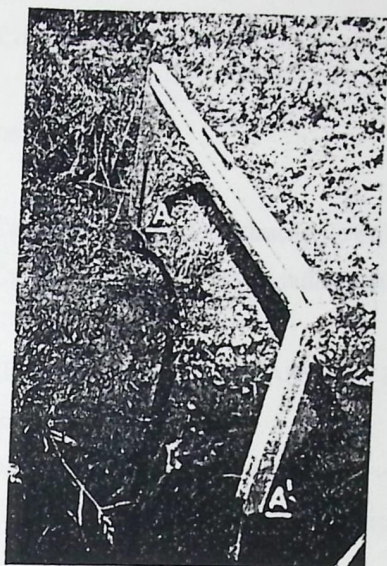


Figura 2 - Esquema de determinação em campo da carga hidráulica.

Segundo GILES (1978), o coeficiente de descarga é a relação da descarga real, através do dispositivo, para a descarga teórica, ou seja,

$$C_d = \frac{\text{Vazão real}}{\text{Vazão teórica}}$$

portanto, o coeficiente de descarga é dado pela seguinte equação:

$$C_d = \frac{Q}{A \sqrt{2gh}} \quad (2)$$

A equação do coeficiente de descarga do sifão pode ser estabelecida através dos seus coeficientes de contração e de velocidade (GILES, 1978), sendo obtida a expressão dada por:

$$C_d = C_c \cdot C_v \quad (3)$$

onde:

C_c = Coeficiente de contração do sifão;

C_v = Coeficiente de velocidade do sifão.

SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985) citam que este coeficiente geralmente varia de 0,5 a 0,8.

De acordo com NEVES (1979), os valores do coeficiente de descarga variam de 0,55 a 0,75 e até 0,80, dependendo do tipo e das disposições dos sifões.

2.5.1. Influência do comprimento

Conforme NEVES (1979), SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985), o coeficiente de descarga do sifão pode ser estabelecido através das equações da continuidade e de Bernoulli, sendo obtida a seguinte fórmula:

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{1 + f \cdot L/D + \sum K}} \quad (4)$$

onde:

f = Coeficiente de atrito do conduto;

L = Comprimento do sifão, em m;

D = Diâmetro interno do sifão, em m;

K = Coeficiente do dispositivo causador de perda de carga.

Segundo o DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), o coeficiente de descarga do sifão pode ser estimado pela fórmula:

$$C_d = C_o \sqrt{\frac{D^{4/3}}{5,087 n^2 C_o^2 L + D^{4/3}}} \quad (5)$$

onde:

C_o = Coeficiente de descarga para a boca de entrada (aproximadamente 0,83);

D = Diâmetro interno do tubo, em polegadas;

n = Coeficiente de rugosidade (para sifões de alumínio, este coeficiente é de 0,008, para tubos de até 3 polegadas de diâmetro, e de 0,012 para os tubos de 4 polegadas ou mais);

L = Comprimento do tubo, em pés.

Para a estimativa do coeficiente de descarga do sifão, SILVA & DUARTE (1980) apresentam a fórmula seguinte:

$$C_d = \sqrt{\frac{0,6889 D^{4/3}}{0,0683 L + D^{4/3}}} \quad (6)$$

onde:

D = Diâmetro interno do sifão, em polegadas;

L = Comprimento do sifão, em m.

As equações propostas, respectivamente, por NEVES (1979), SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985), DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (1973), e SILVA & DUARTE (1980) mostram que o aumento do comprimento do sifão, de mesmo material e diâmetro, acarreta uma redução no seu coeficiente de descarga.

2.5.2. Influência da carga hidráulica

De acordo com NEVES (1979) e BASTOS (1983), para bocais cilíndricos longos (comprimento do bocal maior que duas vezes o seu diâmetro interno), a veia líquida ocupa toda a área interna do bocal, ou seja, na seção de saída a veia é “colada”, não havendo contração e, portanto, o seu coeficiente de contração é igual à unidade ($C_c = 1$).

Segundo BASTOS (1983), o coeficiente de velocidade de um bocal cilíndrico longo aumenta com o aumento da sua carga hidráulica.

Como essas duas afirmativas são válidas também para o sifão, pois o mesmo funciona como um bocal curvo (NEVES, 1979), pode-se afirmar, baseado na equação (3), que o aumento da carga hidráulica do sifão aumenta o seu coeficiente de descarga.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização dos Ensaios

Conduziu-se os ensaios no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), em Mossoró-RN, no período de setembro a novembro de 1995.

3.2. Materiais Utilizados nos Ensaios

Utilizou-se para as medições nos experimentos os aparelhos descritos abaixo:

- a) paquímetro de 150 mm, marca SOMET, com precisão de $\pm 0,05$ mm;
- b) tanque de alvenaria de 1,5 m x 1,0 m e 1,4 m de profundidade;
- c) piezômetro de 1.100 mm, com precisão de ± 1 mm;
- d) nível de mangueira acoplado ao piezômetro;
- e) suporte para sifão em madeira;
- f) sifões de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m de comprimento, com o diâmetro de uma polegada (1"), sendo mangueiras flexíveis de PVC, marca SPIRAFLEX, azul transparente, caracterizadas na Tabela 1A do Apêndice;

g) recipiente volumétrico de aço inoxidável, marca COBEL, com capacidade para $(20,00 \pm 0,20)$ l e precisão de $\pm 0,02$ l;

h) proveta de vidro, marca PROVERMEX, com capacidade de 1,00 l e precisão de $\pm 0,01$ l;

i) cronômetro digital, marca TECHNOS, com precisão de $\pm 0,01$ s.

3.3. Parâmetros Ensaiaados

Para a avaliação do efeito do comprimento do sifão no seu coeficiente de descarga, foram ensaiados sifões do mesmo material e diâmetro e de comprimentos diferentes, submetidos a diversas cargas hidráulicas. Os comprimentos e as cargas hidráulicas ensaiadas foram as seguintes:

a) comprimentos: 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m;

b) cargas hidráulicas: 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m, 0,20 m, 0,25 m, 0,30 m, 0,35 m, 0,40 m, 0,45 m e 0,50 m.

3.4. Procedimento

Para a realização dos ensaios, utilizou-se o sistema hidráulico apresentado na Figura 3, onde se instalou o aparelho experimental, cujo esquema se encontra nas Figuras 4A e 4B.

Em cada ensaio, o sifão era submetido a uma determinada carga hidráulica, procedendo-se da seguinte forma:

a) ligava-se a bomba para recalcar a água do reservatório inferior para o reservatório superior, até que este transbordasse;

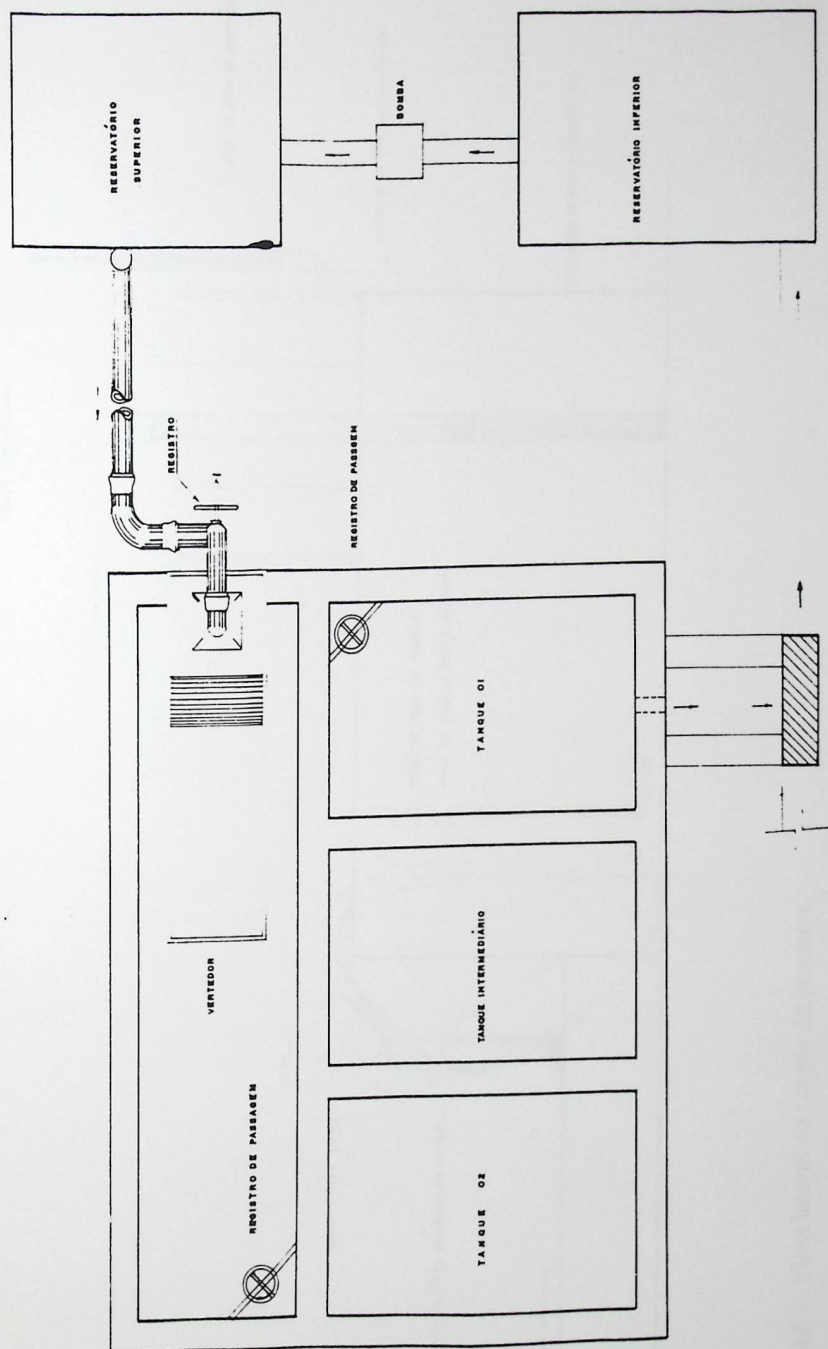


Figura 3 - Projção esquemática do sistema hidráulico da pesquisa.

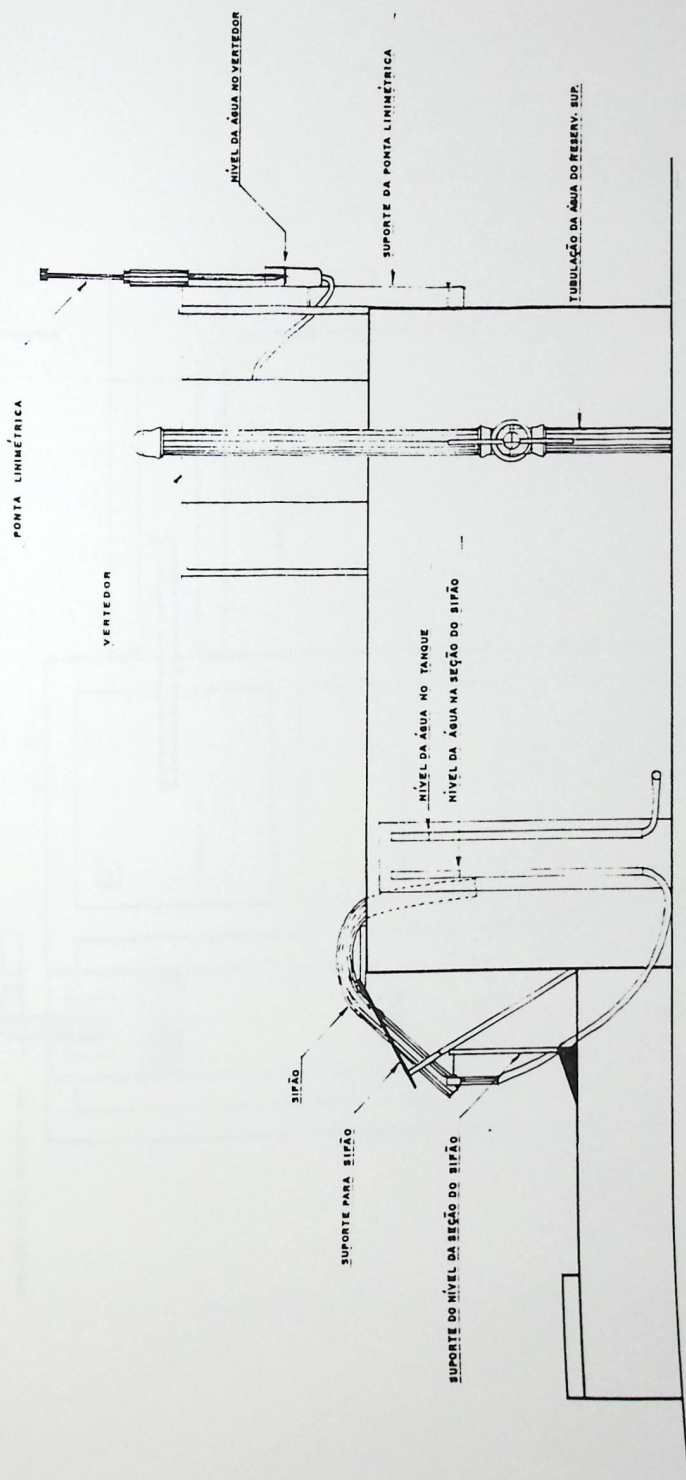


Figura 4A - Vista lateral do tanque da pesquisa.

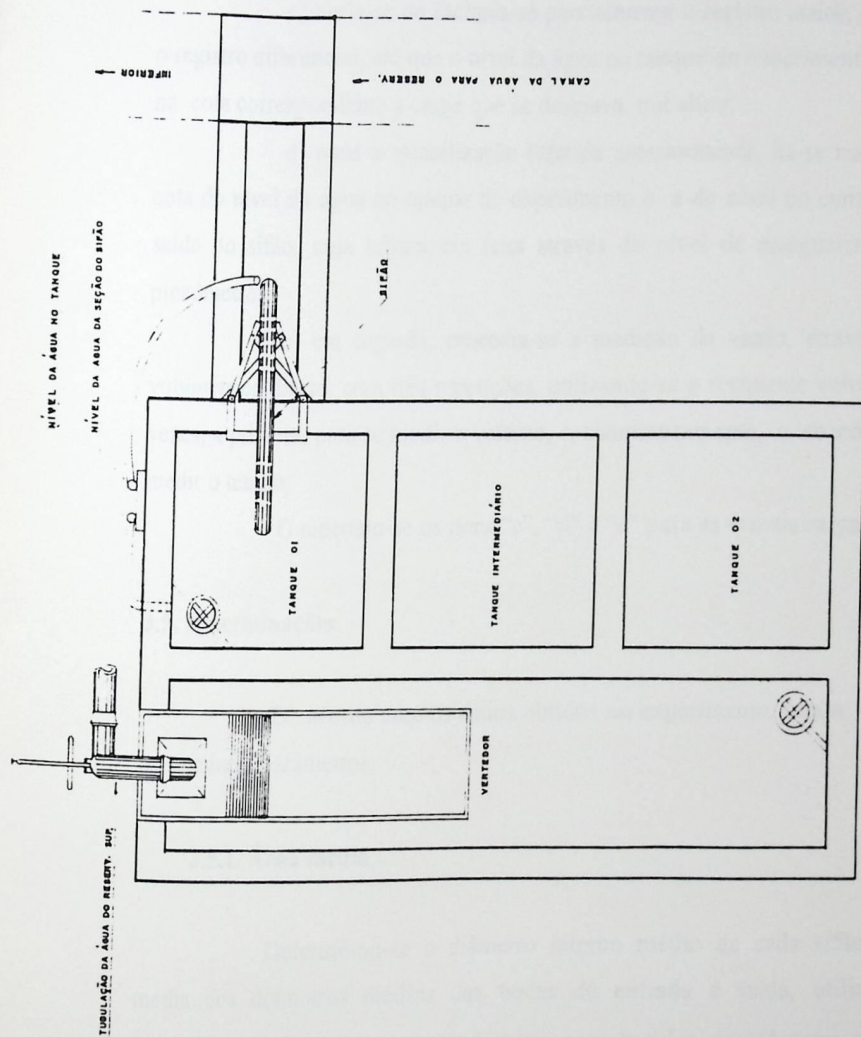


Figura 4B - Vista superior do tanque da pesquisa.

b) por gravidade, transferia-se a água do reservatório superior para o vertedor e deste para o tanque do experimento, até que o nível d'água no mesmo desse condições para que o sifão funcionasse;

c) abria-se ou fechava-se parcialmente o registro maior, e, em seguida, o registro diferencial, até que o nível da água no tanque do experimento estabilizasse na cota correspondente à carga que se desejava trabalhar;

d) após a estabilização referida anteriormente, lia-se no piezômetro a cota do nível da água no tanque do experimento e a do nível do centro da boca de saída do sifão, cuja leitura era feita através do nível de mangueira acoplado ao piezômetro;

e) em seguida, procedia-se a medição da vazão, através do método volumétrico direto, com três repetições, utilizando-se o recipiente volumétrico e, às vezes, a proveta, para se medir o volume, e, simultaneamente, o cronômetro para se medir o tempo;

f) repetiam-se os itens "c", "d" e "e" para as demais cargas.

3.5. Determinações

De acordo com os dados obtidos no experimento, foram determinados os seguintes parâmetros:

3.5.1. Área média

Determinou-se o diâmetro interno médio de cada sifão, através da média dos diâmetros médios das bocas de entrada e saída, utilizando-se um paquímetro e efetuando-se quatro leituras com ângulos de 45° entre elas, em cada uma das extremidades citadas, conforme metodologia proposta por PIMENTA

(1977) e DELMÉE (1982). Os resultados dessas medições encontram-se na Tabela 2A do Apêndice.

Para a área média dos sifões, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (7)$$

onde:

A = Área média do sifão, em m²;

D = Diâmetro interno médio, em m.

3.5.2. Carga hidráulica

A carga hidráulica foi determinada pela diferença entre as cotas do nível de água no reservatório e do nível do centro da boca de saída do sifão (GRANADOS, 1971; REBOUR & DELOYE, 1971; DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, 1973; WITHERS & VIPOND, 1979; SILVA & DUARTE, 1980 e BERNARDO, 1987), ou seja:

$$h = h_1 - h_2 \quad (8)$$

onde:

h_1 = Cota do nível de água no reservatório, em m;

h_2 = Cota do nível do centro da boca de saída do sifão, em m.

3.5.3. Vazão

A vazão ensaiada foi determinada pelo método volumétrico direto, utilizando-se a fórmula geral:

$$Q = \frac{\text{vol}}{t} \quad (9)$$

onde:

Q = Vazão de cada repetição, em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

vol = Volume coletado, em m^3 ;

t = Tempo de coleta, em s.

3.5.4. Coeficiente de descarga

Obteve-se o coeficiente de descarga correspondente a cada repetição através da equação (2).

3.5.5. Erro relativo dos coeficientes de descarga

Segundo o procedimento sugerido por BAJPAI *et al* (1980), para se estimar o erro relativo do coeficiente de descarga, utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{ErCd} = \text{ErQ} + \frac{2|dD|}{D} + \frac{|dh|}{2h} \quad (10)$$

onde:

Er_{Cd} = Erro relativo do coeficiente de descarga;

Er_Q = Erro relativo da vazão;

dD = Erro absoluto do diâmetro, em m;

dh = Erro absoluto da carga hidráulica, em m.

Para o erro relativo da vazão, utilizou-se o mesmo procedimento, sendo obtida a seguinte equação:

$$Er_Q = \frac{|d_{rec}| + n |d_{prov}|}{vol} + \frac{|dt|}{t} \quad (11)$$

onde:

d_{rec} = Erro absoluto do recipiente volumétrico, em l;

d_{prov} = Erro absoluto da proveta, em l;

n = Número de vezes em que a proveta foi utilizada;

dt = Erro absoluto do tempo, em s.

Para os termos “ d_{rec} ”, “ d_{prov} ”, “ dt ”, “ dD ” e “ dh ”, os valores adotados, respectivamente, foram: $\pm 0,02$ l, $\pm 0,01$ l, $\pm 0,01$ s, $\pm 0,00005$ m e $\pm 0,002$ m, que permitiram determinar o erro máximo de cada medição.

Para cada carga, determinou-se o erro relativo médio do respectivo coeficiente de descarga.

3.6. Análise Estatística

Realizou-se um experimento fatorial 3×10 , cuja análise de variância assumiu o delineamento inteiramente casualizado, onde o fator comprimento (L) e o fator carga hidráulica (h), e suas interações (Lxh), foram tomados como sendo os tratamentos. Utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 1% de significância, segundo GOMES (1987).

Para cada comprimento, efetuou-se a análise de regressão polinomial até o 3º grau, determinando-se três equações do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, e os seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), de acordo com GOMES (1987), sendo escolhida uma delas para representar a curva do respectivo comprimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Coeficientes de Descarga Médios e Seus Erros Relativos

Na Tabela 01, encontram-se os valores dos coeficientes de descarga médios e seus erros relativos, relacionados com as cargas de 0,05 m a 0,50 m e os sifões de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m de comprimento. Verifica-se que os coeficientes de descarga variaram de 0,541 a 0,582, com média de 0,569; de 0,504 a 0,542, com média de 0,526, e de 0,479 a 0,510, com média de 0,498, para os comprimentos de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m, respectivamente.

De acordo com SILVESTRE (1979) e CASTRO (1985), os coeficientes de descarga variam de 0,5 a 0,8. Portanto, os coeficientes obtidos nos ensaios encontram-se, em geral, dentro da faixa citada.

Conforme a Tabela 01, verifica-se que os erros relativos dos coeficientes de descarga médios variaram de 2,55 % a 0,80 %, com média de 1,15 %; de 2,50 % a 0,79 %, com média de 1,13 %, e de 2,46% a 0,77 %, com média de 1,12 %, para os comprimentos de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m, respectivamente. Observa-se que o erro é inversamente proporcional à carga hidráulica em um mesmo comprimento, ou seja, aumentando-se a carga, diminui-se o erro, sendo este fato explicado pela localização do termo “h” no denominador de uma das parcelas da equação (10).

Segundo KRAATZ & MAHAJAN (1976), os erros cometidos nas vazões até $\pm 5\%$ são aceitáveis e como a vazão real é proporcional ao coeficiente de descarga, ou seja, quanto maior o erro cometido no coeficiente, maior será o da

vazão, então os valores dos coeficientes de descarga obtidos nos ensaios podem ser considerados bem precisos, pois as médias dos seus erros relativos foram menores ou iguais a 1,15 %.

TABELA 01 - Coeficientes de Descarga Médios e Seus Erros Relativos para as Cargas Hidráulicas e Comprimentos Ensaçados.

CARGA HIDRÁULICA (m)	COMPRIMENTO (m)					
	1,5		2,0		2,5	
	Cd	ErCd (%)	Cd	ErCd (%)	Cd	ErCd (%)
0,05	0,541	2,55	0,504	2,50	0,479	2,46
0,10	0,551	1,51	0,516	1,52	0,488	1,54
0,15	0,561	1,19	0,519	1,19	0,493	1,18
0,20	0,565	1,06	0,521	1,02	0,494	1,01
0,25	0,573	0,92	0,522	0,94	0,499	0,92
0,30	0,576	0,92	0,529	0,89	0,501	0,86
0,35	0,579	0,87	0,529	0,87	0,505	0,81
0,40	0,580	0,84	0,535	0,83	0,507	0,82
0,45	0,581	0,81	0,539	0,76	0,508	0,80
0,50	0,582	0,80	0,542	0,79	0,510	0,77
MÉDIA GERAL	0,569	1,15	0,526	1,13	0,498	1,12

4.2. Efeito dos Parâmetros Ensaçados

A Tabela 02 apresenta a análise de variância do experimento fatorial 3x10 empregado no estudo dos resultados dos ensaios. Através do teste F ao nível de 1% de significância, verifica-se que o comprimento do sifão, a sua carga hidráulica e a interação desses dois parâmetros apresentaram efeitos significativos no seu coeficiente de descarga.

TABELA 02 - Análise de Variância do Experimento Fatorial 3x10.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
FATOR L	2	0,0756	0,0378	27435,9032 **
FATOR h	9	0,0111	0,0012	897,8504 **
FATOR Lxh	18	0,0005	0,0000	20,0520 **
(TRATAMENTOS)	29	0,0872	0,0030	
RESÍDUO	60	0,0001	0,0000	

4.2.1. Efeito do comprimento do sifão

De acordo com a Tabela 01, verifica-se que quanto maior o comprimento do sifão, menor o seu coeficiente de descarga, confirmando o previsto pelas equações (4), (5) e (6).

Para se evidenciar o efeito do comprimento do sifão no seu coeficiente de descarga, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 1% de significância, obtendo-se a Tabela 03. Conforme os dados mostrados na citada Tabela, observa-se que as médias dos coeficientes de descarga, para os comprimentos ensaiados, apresentaram diferenças significativas entre si.

TABELA 03 - Médias dos Coeficientes de Descarga para os Comprimentos Ensaçados.

TRATAMENTOS	MÉDIA ¹
1,5 m	0,5680 A
2,0 m	0,5256 B
2,5 m	0,4984 C

DMS = 0,0007

1. Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente ao nível de 1%, pelo teste de Tukey.

Assim, ficou evidenciado que o aumento do comprimento do sifão acarretou uma diminuição significativa no seu coeficiente de descarga.

4.2.2. Efeito da carga hidráulica do sifão

Segundo a Tabela 01, verifica-se que quanto maior a carga hidráulica do sifão, maior o seu coeficiente de descarga, o que é explicado pela equação (3), onde o termo “Cc” é igual a um (NEVES, 1979 e BASTOS, 1983) e o termo “Cv” aumenta com o aumento da carga hidráulica (BASTOS, 1983).

Para se comprovar o efeito da carga hidráulica do sifão no seu coeficiente de descarga, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 1 % de significância, obtendo-se a Tabela 04. De acordo com os dados mostrados na citada Tabela, observa-se que as médias dos coeficientes de descarga, para as cargas hidráulicas ensaiadas, diferiram significativamente entre si, com exceção das referentes às cargas hidráulicas de 0,45 m e 0,40 m.

TABELA 04 - Médias dos Coeficientes de Descarga para as Cargas Hidráulicas Ensaçadas.

TRATAMENTOS	MÉDIA ¹
0,50 m	0,5448 A
0,45 m	0,5424 B
0,40 m	0,5408 B
0,35 m	0,5374 C
0,30 m	0,5353 D
0,25 m	0,5313 E
0,20 m	0,5268 F
0,15 m	0,5243 G
0,10 m	0,5180 H
0,05 m	0,5080 I

DMS = 0,0018

1. Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente ao nível de 1%, pelo teste de Tukey.

Apesar dessas duas cargas hidráulicas não apresentarem diferença significativa entre as médias dos seus coeficientes de descarga, os demais resultados mostram que ocorreu um aumento significativo no coeficiente de descarga do sifão com o aumento da sua carga hidráulica.

4.2.3. Efeito da interação comprimento versus carga hidráulica do sifão

Como a interação comprimento versus carga hidráulica do sifão apresentou efeito significativo no coeficiente de descarga (Tabela 02), indicando que esses dois parâmetros são interdependentes, fez-se necessário os desdobramentos dos comprimentos dentro das cargas hidráulicas e das cargas hidráulicas dentro dos comprimentos.

De acordo com a análise de variância apresentada na Tabela 05, verifica-se que os comprimentos ensaiados do sifão, dentro de cada carga hidráulica ensaiada, tiveram efeito significativo no coeficiente de descarga, ao nível de 1% de significância.

TABELA 05 - Análise de Variância do Desdobramento dos Comprimentos Dentro das Cargas Hidráulicas.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
L D. h = 0,05 m	2	0,0058	0,0029	2118,6290 **
L D. h = 0,10 m	2	0,0060	0,0030	2169,4355 **
L D. h = 0,15 m	2	0,0071	0,0036	2582,6613 **
L D. h = 0,20 m	2	0,0077	0,0038	2792,5000 **
L D. h = 0,25 m	2	0,0086	0,0043	3123,1452 **
L D. h = 0,30 m	2	0,0085	0,0042	3073,3065 **
L D. h = 0,35 m	2	0,0085	0,0043	3097,3387 **
L D. h = 0,40 m	2	0,0082	0,0041	2981,9355 **
L D. h = 0,45 m	2	0,0080	0,0040	2897,7419 **
L D. h = 0,50 m	2	0,0077	0,0038	2779,6774 **
(L D. h)	(20)	(0,0761)		

L D. h = comprimento dentro da carga hidráulica.

Para se evidenciar o efeito do comprimento do sifão no seu coeficiente de descarga, dentro de cada carga hidráulica ensaiada, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 1 % de significância, obtendo-se a Tabela 06. Conforme os dados mostrados na citada Tabela, observa-se que as médias dos coeficientes de descargas referentes a cada comprimento ensaiado, dentro de cada carga hidráulica ensaiada, diferiram significativamente entre si.

Segundo a análise de variância mostrada na Tabela 07, verifica-se que as cargas hidráulicas ensaiadas, dentro de cada comprimento ensaiado do sifão, apresentaram efeito significativo no coeficiente de descarga, ao nível de 1% de significância.

Para se comprovar o efeito da carga hidráulica no coeficiente de descarga do sifão, dentro de cada comprimento ensaiado, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 1% de significância, obtendo-se a Tabela 08. De acordo com os dados apresentados na citada Tabela, observa-se que as médias dos coeficientes de descarga referentes a cada carga hidráulica ensaiada, dentro de cada comprimento ensaiado, no geral, diferiram significativamente. No entanto, em alguns casos de cargas próximas umas às outras, isso não ocorreu, o que pode ser atribuído ao pequeno incremento entre as cargas e ao nível de significância utilizado na comparação das médias.

Da análise das Tabelas 05, 06, 07 e 08, fica evidenciado que o comprimento e a carga hidráulica do sifão afetaram simultaneamente o coeficiente de descarga, sendo, portanto, parâmetros interdependentes. Verifica-se, também, que os comprimentos ensaiados apresentaram maior efeito no coeficiente de descarga do que as cargas hidráulicas ensaiadas.

TABELA 06 - Médias¹ dos Coeficientes de Descarga de Cada Comprimento Ensaado, Dentro de Cada Carga Hidráulica Ensaada.

TRATAMENTOS	CARGA HIDRÁULICA (m)									
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1,5 m	0,5410 A	0,5507 A	0,5610 A	0,5650 A	0,5730 A	0,5757 A	0,5787 A	0,5803 A	0,5807 A	0,5817 A
2,0 m	0,5040 B	0,5157 B	0,5193 B	0,5213 B	0,5220 B	0,5290 B	0,5290 B	0,5350 B	0,5387 B	0,5423 B
2,5 m	0,4790 C	0,4877 C	0,4927 C	0,4940 C	0,4990 C	0,5013 C	0,5047 C	0,5070 C	0,5080 C	0,5103 C

DMS = 0,0023

1. Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente ao nível de 1%, pelo teste de Tukey.

TABELA 07 - Análise de Variância do Desdobramento das Cargas Hidráulicas Dentro dos Comprimentos.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
h D. L = 1,5 m	9	0,0053	0,0006	430,2715 **
h D. L = 2,0 m	9	0,0036	0,0004	289,8091 **
h D. L = 2,5 m	9	0,0027	0,0003	217,8737 **
(h D. L)	(27)	(0,0116)		

h D. L = carga hidráulica dentro do comprimento.

TABELA 08 - Médias¹ dos Coeficientes de Descarga de Cada Carga Hidráulica Ensaada, Dentro de Cada Comprimento Ensaado.

TRATAMENTOS	COMPRIMENTO (m)		
	1,5	2,0	2,5
0,50 m	0,5817 A	0,5423 A	0,5103 A
0,45 m	0,5807 A	0,5387 B	0,5080 AB
0,40 m	0,5803 A	0,5350 C	0,5070 BC
0,35 m	0,5787 AB	0,5290 D	0,5047 C
0,30 m	0,5757 BC	0,5290 D	0,5013 D
0,25 m	0,5730 C	0,5220 E	0,4990 D
0,20 m	0,5650 D	0,5213 E	0,4940 E
0,15 m	0,5610 E	0,5193 E	0,4927 E
0,10 m	0,5507 F	0,5157 F	0,4877 F
0,05 m	0,5410 G	0,5040 G	0,4790 G

DMS = 0,0032

1. Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente ao nível de 1%, pelo teste de Tukey.

4.3. Equações do Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica

Para os comprimentos de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m, realizou-se a análise de regressão polinomial até o 3º grau, obtendo-se as análises de variância

apresentadas nas Tabelas 09, 10 e 11, respectivamente, e as equações polinomiais mostradas na Tabela 12.

TABELA 09 - Análise de Variância da Regressão Polinomial para o Comprimento de 1,5 m.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	R ²
REGRESSÃO GRAU 1	1	0,0047	0,0047	2221,3569 **	0,8743
REGRESSÃO GRAU 2	1	0,0006	0,0006	306,6679 **	0,9950
REGRESSÃO GRAU 3	1	0,0000	0,0000	4,0347 NS	0,9966
DESV. REGRESSÃO	6	0,0000	0,0000	1.4319 NS	
(TRATAMENTOS)	(9)	0,0053	0,0006		
RESÍDUO	(20)	0,0000	0,0000		

TABELA 10 - Análise de Variância da Regressão Polinomial para o Comprimento de 2,0 m.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	R ²
REGRESSÃO GRAU 1	1	0,0034	0,0034	2940,8216 **	0,9547
REGRESSÃO GRAU 2	1	0,0000	0,0000	10,0087 **	0,9580
REGRESSÃO GRAU 3	1	0,0001	0,0001	52,3648 **	0,9750
DESV. REGRESSÃO	6	0,0001	0,0000	12,8437 **	
(TRATAMENTOS)	(9)	0,0036	0,0004		
RESÍDUO	(20)	0,0000	0,0000		

TABELA 11 - Análise de Variância da Regressão Polinomial para o Comprimento de 2,5 m.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	R ²
REGRESSÃO GRAU 1	1	0,0026	0,0026	2950,2110 **	0,9464
REGRESSÃO GRAU 2	1	0,0001	0,0001	127,2756 **	0,9872
REGRESSÃO GRAU 3	1	0,0000	0,0000	11,7971 **	0,9910
DESV. REGRESSÃO	6	0,0000	0,0000	4,6643 **	
(TRATAMENTOS)	(9)	0,0027	0,0003		
RESÍDUO	(20)	0,0000	0,0000		

TABELA 12 - Equações de Regressão Polinomial do Coeficiente de Descarga em Função da Carga Hidráulica, para os Comprimentos Ensaçados, e Suas Somas dos Valores Absolutos dos Desvios¹.

COMPRIMENTO (m)	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO POLINOMIAL	SOMA DOS VALORES ABSOLUTOS DOS DESVIOS
1,5	$C_d = 0,5449 + 0,0868h$	0,0420
	$C_d = 0,5309 + 0,2271 h - 0,2551 h^2$	0,0083
	$C_d = 0,5283 + 0,2731 h - 0,4546 h^2 + 0,2419 h^3$	0,0059
2,0	$C_d = 0,5052 + 0,0745h$	0,0180
	$C_d = 0,5033 + 0,0934 h - 0,0343 h^2$	0,0182
	$C_d = 0,4963 + 0,2169 h - 0,5702 h^2 + 0,6496 h^3$	0,0156
2,5	$C_d = 0,4807 + 0,0643h$	0,0182
	$C_d = 0,4749 + 0,1223 h - 0,1056 h^2$	0,0086
	$C_d = 0,4720 + 0,1729 h - 0,3248 h^2 + 0,2657 h^3$	0,0074

1. Desvio é a diferença entre o valor do coeficiente de descarga obtido experimentalmente e o valor obtido através da equação de regressão.

Analisando as Tabelas 09, 10 e 11, verifica-se que as equações do 2º grau apresentaram coeficientes de determinação (R^2) ligeiramente inferiores aos das equações do 3º grau. De acordo com os dados mostrados na Tabela 12, observa-se que as equações do 2º grau apresentaram as somas dos valores absolutos dos desvios próximas às obtidas com as equações do 3º grau.

Com isso, pode-se afirmar que as equações do 2º grau proporcionam valores dos coeficientes de descarga aproximadamente iguais aos obtidos com as equações do 3º grau.

Além disso, a equação do 3º grau apresenta uma forma mais complexa que a do 2º grau, tornando mais fácil o uso desta.

Assim, escolheram-se as equações do 2º grau para representar a variação do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, para os comprimentos ensaiados.

A representação gráfica dessas equações e os respectivos pontos obtidos nos ensaios podem ser vistos na Figura 5. Os aspectos das curvas obtidas mostram, também, que as referidas equações representam adequadamente a variação do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica.

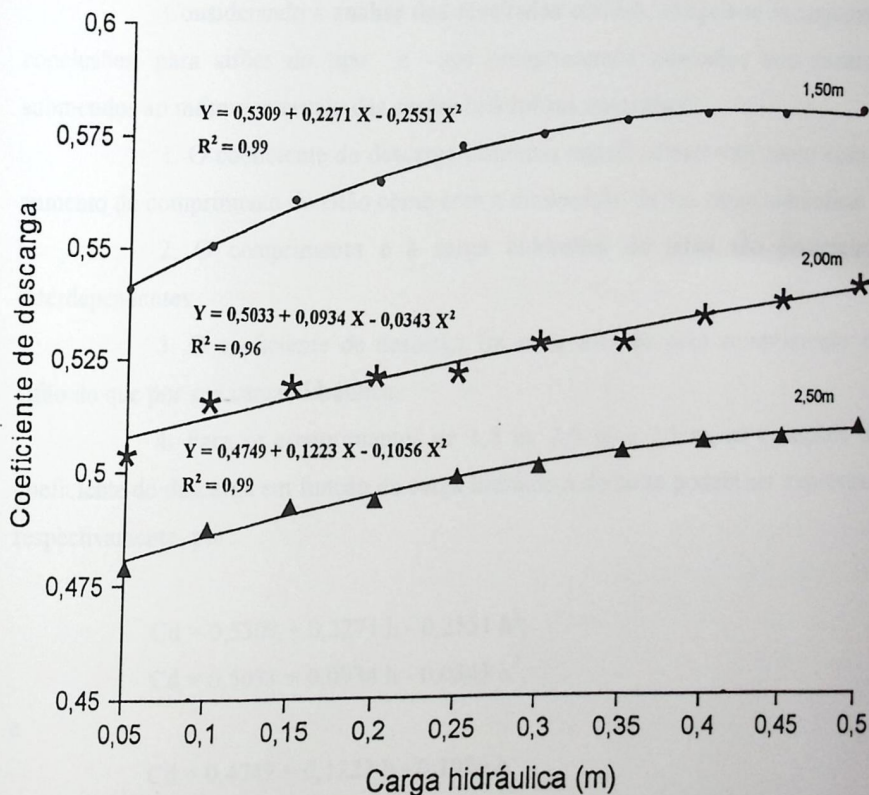


Figura 5 - Coeficiente de descarga em função da carga hidráulica para os comprimentos ensaiados.

5. CONCLUSÕES

Considerando a análise dos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões, para sifões do tipo e nos comprimentos utilizados nos ensaios, submetidos ao mesmo intervalo das cargas hidráulicas ensaiadas:

1. O coeficiente de descarga diminuiu significativamente, tanto com o aumento do comprimento do sifão como com a diminuição de sua carga hidráulica.
2. O comprimento e a carga hidráulica do sifão são parâmetros interdependentes.
3. O coeficiente de descarga foi mais afetado pelo comprimento do sifão do que por sua carga hidráulica.
4. Para os comprimentos de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m, as equações do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica do sifão podem ser expressas, respectivamente, por:

$$C_d = 0,5309 + 0,2271 h - 0,2551 h^2;$$

$$C_d = 0,5033 + 0,0934 h - 0,0343 h^2;$$

e

$$C_d = 0,4749 + 0,1223 h - 0,1056 h^2.$$

6. RESUMO

Realizou-se no Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), em Mossoró-RN, um trabalho referente ao efeito do comprimento do sifão no seu coeficiente de descarga, em diferentes condições de carga hidráulica. Nos ensaios, foram empregados sifões de PVC flexível (SPIRAFLEX) com comprimentos de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m e diâmetro de uma polegada, sendo os coeficientes de descarga determinados pela relação entre as vazões real e teórica, para as cargas hidráulicas de 0,05 m a 0,50 m, com incremento de 0,05 m entre elas. As vazões reais foram determinadas pelo método volumétrico direto e as cargas hidráulicas foram estabelecidas através de um nível de mangueira e de um piezômetro. Constatou-se que o coeficiente de descarga diminuiu significativamente, tanto com o aumento do comprimento como com a diminuição da carga hidráulica e, também, que estes dois parâmetros são interdependentes. Para os comprimentos de 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m, obtiveram-se as equações $C_d = 0,5309 + 0,2271 h - 0,2551 h^2$, $C_d = 0,5033 + 0,0934 h - 0,0343 h^2$ e $C_d = 0,4749 + 0,1223 h - 0,1056 h^2$, respectivamente.

7. BIBLIOGRAFIA CITADA

01. BAIJPAI, A. C. *et al.* **Matemática para engenheiros**. São Paulo: Hemus, 1980. v. 2, p. 406-411.
02. BASTOS, Francisco de Assis A. **Problemas de mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. p. 395-399, p. 416-418.
03. BERNARDO, Salassier. **Manual de irrigação**. Viçosa-MG: UFV, 1987. p. 97-98.
04. CASTRO, Paulo Teodoro de. **Elementos de hidrodinâmica: aplicações agronômica**. Fortaleza: CCA-UFC, 1985. p. 45-49.
05. CORONEL, Samuel Trueba. **Hidráulica**. 13. ed. México: Continental, 1975. p. 64.
06. DAKER, Alberto. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988. v. 3, p. 257.
07. DELMÉE, Gerald J. **Manual de medição de vazão**. São Paulo: Edgard Blucher, 1982. p. 139.

08. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. Servicio de Conservación de Suelos. **Medición del agua de riego**. México: Diana S.A., 1973. p. 26-27. (Colección ingeniería de suelos, 5).
09. GILES, Randal. V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. São Paulo: McGrawHill do Brasil, 1978. p. 200-202..
10. GOMES, Frederico Pimentel. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1987. p. 29-32, p. 38-41, p. 131-150, p. 299-305.
11. GRANADOS, A. H. **Métodos modernos de riego de superficie**. Madrid: Aguilar, 1971. p. 103-109
12. KRAATZ, D. B., MAHAJAN, I. K. **Pequenas obras hidráulicas**. Roma: FAO, 1976. v. 2., p. 267. (Estudo sobre riego y avenamiento, 26).
13. NEVES, Eurico Trindade. **Curso de hidráulica**. 6. ed. Porto Alegre: Globo, 1979. p. 127-140, p. 261-262.
14. PIMENTA, Carlito Flávio. **Curso de hidráulica geral**, 3. ed. São Paulo: Laboratório de Hidráulica, 1977, v. 1., p. 410-411.
15. REBOUR, H., DELOYE, M. **El riego**. 2. ed. Madrid: Mundiprensa, 1971. p. 160.

16. SILVA, A. T. da, DUARTE, E. F. **Irrigação: fundamentos e métodos.** Rio de Janeiro: UFRRJ, 1980. p. 88-89, p. 104.
17. SILVESTRE, P. **Hidráulica geral.** Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1979. p. 84-86.
18. WITHERS, Bruce, VIPOND, Stanley. **Irrigação: projeto e prática.** São Paulo: E.P.U./EDUSP, 1979. p. 271-272.

8. APÊNDICE

TABELA 1A - Distribuição da população residente no Brasil, segundo o sexo e o grau de instrução, em 1991

Sexo	Grado de Instrução	População residente
Homens	Alfabetizado	10.100.000
Homens	Não alfabetizado	1.900.000
Mulheres	Alfabetizada	10.100.000
Mulheres	Não alfabetizada	1.900.000

TABELA 1A - Distribuição da população residente no Brasil, segundo o sexo e o grau de instrução, em 1991

Sexo	Grado de Instrução	População residente
Homens	Alfabetizado	10.100.000
Homens	Não alfabetizado	1.900.000
Mulheres	Alfabetizada	10.100.000
Mulheres	Não alfabetizada	1.900.000

8.1. APÊNDICE A

TABELA 1A - Especificações Técnicas das Mangueiras Utilizadas.

DIÂMETRO NOMINAL (pol)	DIÂMETRO INTERNO (mm)	DIÂMETRO EXTERNO (mm)	PRESSÃO DE TRABALHO		PRESSÃO DE RUPTURA		VÁCUO (pol de Hg)	RAIO DE CURVATURA A 25°(mm)	COMPRI- MENTO PADRÃO (m)
			(lb/pol ²)	(kg/lcm ²)	(lb/pol ²)	(kg/lcm ²)			
1	25,4±1,0	32,6±1,0	130	9,14	390	27,42	29	120	50/100

Fonte: Catálogo de tubos plásticos SPIRAFLEX LTDA

TABELA 2A - Diâmetro Interno Médio dos Sifões Ensaaiados.

ÂNGULOS DAS LEITU- RAS (grau)	COMPRIMENTO (m)					
	1,5		2,0		2,5	
	BOCA DE ENTRADA	BOCA DE SAÍDA	BOCA DE ENTRADA	BOCA DE SAÍDA	BOCA DE ENTRADA	BOCA DE SAÍDA
0° – 180°	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255
45° – 225°	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255
90° – 270°	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255
135° – 315°	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255
MÉDIA	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255	0,0255

TABLE 10: Comparison of the results of the two different methods for the calculation of the χ^2 statistic.

Method	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

8.2. APÊNDICE B

TABELA 1B - Coeficientes de Descarga do Sifão para os Comprimentos e Cargas Hidráulicas Ensaaiadas.

CARGA HIDRÁULICA (m)	COMPRIMENTO (m)								
	1,5			2,0			2,5		
	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
0,05	0,541	0,541	0,541	0,504	0,504	0,504	0,479	0,479	0,479
0,10	0,550	0,552	0,550	0,515	0,517	0,515	0,488	0,488	0,487
0,15	0,561	0,560	0,562	0,518	0,520	0,520	0,493	0,493	0,492
0,20	0,566	0,567	0,562	0,521	0,522	0,521	0,494	0,493	0,495
0,25	0,574	0,572	0,573	0,523	0,521	0,522	0,499	0,498	0,500
0,30	0,576	0,575	0,576	0,527	0,530	0,530	0,503	0,501	0,500
0,35	0,579	0,580	0,577	0,529	0,529	0,529	0,505	0,505	0,504
0,40	0,578	0,580	0,583	0,536	0,533	0,536	0,507	0,508	0,506
0,45	0,580	0,582	0,580	0,539	0,539	0,538	0,508	0,507	0,509
0,50	0,581	0,582	0,582	0,543	0,541	0,543	0,511	0,511	0,509

UFERSA SIGAA - BIBLIOTECAS



SIGAA

2013007899