

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

+ DESENVOLVIMENTO DE TUBOS PERFURADOS
PARA A IRRIGAÇÃO POR SULCOS

por
Gedeilda Morais Braz

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
AGOSTO - 1981





B827d Braz, Gedeilda Moraes.
Desenvolvimento de tubos perfurados para a irrigação por sulcos / Gedeilda Moraes Braz. - Campina Grande, 1981.
43 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1981.
"Orientação : Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, Prof. M.Sc. Manoel Gilberto de Barros".
Referências.

1. Irrigação por Sulcos. 2. Hidráulica. 3. Tubos Perfurados - Irrigação. 4. Dissertação - Ciências. I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho. II. Barros, Manoel Gilberto de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 626.842(043)

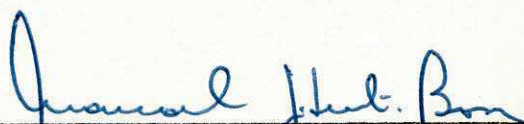
DESENVOLVIMENTO DE TUBOS PERFURADOS PARA
A IRRIGAÇÃO POR SULCOS

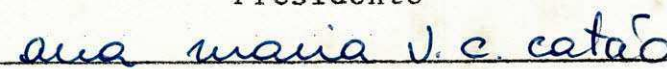
GEDEILDA MORAIS BRAZ

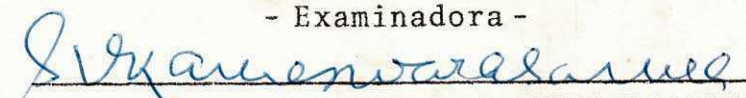
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PRO
GRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TEC
NOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUI
SITOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

APROVADA POR:

COMISSÃO:


Prof. MANOEL GILBERTO DE BARROS
- Presidente -


Profª ANA MARIA VILAR C. CATÃO
- Examinadora -


Prof. SARMA KAMESWARA V. SEEMANAPALLI
- Examinador -

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

A memória do meu pai.
A minha mãe, meus ir
mão, esposo e a minha
filha Geanne Karla.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece:

Aos professores Dr. Hugo Carvallo Guerra, ao M.Sc. Manoel Gilberto de Barros, pela dedicada orientação e ensinamentos, como também ao M.Sc. Hamilton Medeiros de Azevedo, todos da Universidade Federal da Paraíba.

Ao Banco do Nordeste do Brasil S.A e Campina Grande Industrial S.A. (CANDE) pelo custeio dos recursos necessários ao desenvolvimento do trabalho; à CAPES e ao CNPq, pela bolsa de mestrado; a Comissão Estadual de Planejamento Agrícola (CEPA) pelos trabalhos de impressão, ao Projeto Sertanejo, a Subcoordenadoria de Irrigação e Recursos Hídricos e a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado da Paraíba, pelo apoio e compreensão.

Aos técnicos e funcionários do Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela cooperação durante a parte experimental do presente trabalho.

R E S U M O

Com o objetivo de avaliar um modelo de tubo perfurado para ser usado na irrigação, testes foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande. O modelo possui bocais adaptáveis de diâmetro variável e uma peça dissipadora de energia do jato. Visando sua utilização no campo, mediram-se as vazões dos tubos perfurados com bocais de 10, 15 e 20 mm quando submetidos a cargas hidráulicas de 2, 3, 4, 5 e 6 m. Os resultados obtidos foram estatisticamente comparados com as vazões determinadas empiricamente através das equações da energia e da continuidade.

As vazões medidas no laboratório variaram entre 0,413 e 2,431 l/s, incluindo assim as vazões mais comumente usadas na Irrigação. Diferenças não significativas entre as vazões obtidas experimental e empiricamente foram obtidas apenas para os bocais de 10 mm. Para evidenciar a validade do modelo desde o ponto de vista hidráulico e operacional, recomenda-se testar este no campo.

A B S T R A C T

Laboratory tests were conducted at the Federal University of Paraiba, in Campina Grande - Pb to evaluate a gated pipe to be used in irrigation. The model consisted of a pipe with adapted gates and an energy dissipator. Water flow throughout gates of 10, 15 and 20 mm, submitted to hydraulic heads of 2, 3, 4, 5 and 6 m were measured. The results obtained were statistically compared with those calculated empirically by using the energy and continuity equations.

Water flows obtained in the tests varied within 0,413 and 2,431 l/s and included the water requirements usually needed on irrigation. For the 10 mm diameter gate no significant differences were found among experimental and empirically obtained water flow values. To be able to evaluate the hydraulic and operational validity of the model its testing on the field is recommended.

Í N D I C E

	Página
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO II	
REVISÃO DE LITERATURA	03
1.0 EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO	03
1.1 Eficiência de Condução	03
1.2 Eficiência de Distribuição	04
1.3 Eficiência de Aplicação	04
2.0 IRRIGAÇÃO POR SULCOS	05
2.1 Generalidades	05
2.2 Formas de Distribuição de água nos Sulcos	06
2.2.1 Abertura na parede dos canais de distribuição	06
2.2.2 Sifões	06
2.2.3 "Spiles"	07
2.2.4 Tubos janelados ou perfurados	07
3.0 TUBOS JANELADOS OU PERFURADOS	07
3.1 Introdução	07
3.2 Classificação	08
3.3 Descrição do Sistema de Tubos Janelados ou Perfurados	10
3.4 Hidráulica dos Tubos Perfurados	11

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS	16
1.0 APARELHO EXPERIMENTAL	16
1.1 Introdução	16
1.2 Equipamento Teste	16
1.2.1. Sistema de Alimentação	17
1.2.2 Sistema de Distribuição ou Tubos Perfurados	17
1.3 Desenvolvimento dos Ensaios	20
1.4 Resultados	20

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
1.0 VAZÃO VERSUS CARGA HIDRÁULICA	24
2.0 VARIAÇÃO DA PRESSÃO HIDRÁULICA ATRAVÉS DO TUBO PERFURADO	35
3.0 ESTUDO DE CUSTOS	35

CAPÍTULO V

BIBLIOGRAFIA	42
--------------	----

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A irrigação é uma das práticas agrícolas de maior importância, desde que seja bem projetada e manejada. Dentre os métodos de irrigação usados, o de sulcos é o mais conhecido e usado, sendo inclusive tradição de irrigação no Nordeste do Brasil. Embora o método de irrigação por sulcos se adapte a diversos tipos de solos e culturas, e seja um dos métodos de menor emprego de capital, apresenta alguns inconvenientes por ser um sistema fixo, bastante exigente em mão-de-obra e geralmente de baixa eficiência devido as perdas de água por infiltração e evaporação nos canais de distribuição.

Com o objetivo de eliminar os inconvenientes apontados e oferecer maiores opções em sua utilização, projetou-se um sistema de irrigação, onde tenta-se substituir os canais parciais por tubos perfurados. O equipamento consiste de linhas portáteis com aberturas para o encaixe de bocais de diferentes diâmetros, fornecendo assim variação na vazão que entra nos sulcos. Os tubos poderão ser produzidos por indústrias regionais, já existindo a Campina Grande Industrial S.A., com "Know-how" para fabricação de tal material.

Do ponto de vista hidráulico, a tecnologia desenvolvida em qualquer sistema de irrigação visa obter a máxima eficiência na aplicação de água no solo, procurando minimizar as perdas ocasionais da água, mediante planejamento e controle adequados. O presente trabalho visa analisar e estudar a viabilidade do uso de tubos perfurados na distribuição de água nos sulcos. eli

minando assim os inconvenientes dos canais convencionais de dis
tribuição.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

1.0 EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO

Nos projetos de irrigação, a água derivada da fonte de suprimento não é aproveitada em sua totalidade pelas espécies vegetais. O aproveitamento da água num sistema de irrigação, desde a fonte de abastecimento até às culturas é geralmente analisado em três etapas distintas: Condução, Distribuição e Aplicação. Em cada uma dessas etapas ocorrem perdas, ocasionando assim, baixas eficiências (BOS e NUGTEREN, 1974).

1.1 Eficiência de Condução

É a relação entre o volume de água que entra na parcela de irrigação e o volume derivado da fonte (DAKER, 1976). Segundo BOS e NUGTEREN (1974), a eficiência de condução da água nos perímetros irrigados, está diretamente relacionada com os meios pelos quais ela é conduzida desde a fonte de suprimento (açude, poço, rio, etc) até a entrada na parcela de irrigação.

Quando o sistema de condução é formado por canais, e principalmente quando estes são construídos de terra, as perdas de água por infiltração são muito altas. A extensão dos canais de condução e os tipos de materiais dos quais estão construídos influem diretamente nestas perdas. Deve-se também considerar as perdas por evaporação na superfície livre da água nos canais e nas áreas adjacentes úmidas, além da vegetação que cresce ao

longo dos canais. Segundo DAKER (1976), a eficiência de condução, na maioria dos casos varia entre 30 e 85%.

A eficiência de condução é um parâmetro de grande importância, principalmente naquelas regiões onde a água é limitada e nos projetos com grande distância entre a fonte de derivação e a área irrigada (BERNARDO, 1980).

1.2 Eficiência de Distribuição

É a relação entre a lâmina infiltrada no final do sulco e a média da lâmina infiltrada no início e final do mesmo (ISRAELSEN & HANSEN, 1965). Em outras palavras, é a estimativa da uniformidade de infiltração ao longo do sulco. Sob condições ideais de manejo de irrigação, ou seja, quando o tempo de opor-tunidade de infiltração no final do sulco é suficiente para infiltrar a lâmina de irrigação naquela extremidade, o valor da eficiência de distribuição normalmente é maior do que 80%, exce-to nos solos muito permeáveis (BERNARDO, 1980). O projeto de Irrigação Bebedouro, em Petrolina, Pernambuco, apresentou uma eficiência média de distribuição de água de 48%, sob as condi-ções de irrigação ali praticadas (LEAL, 1979).

1.3 Eficiência de Aplicação

A eficiência de aplicação é a relação entre a quanti-dade de água fornecida à cultura e a utilizada por ela (ISRAELSEN & HANSEN, 1965).

Sob o ponto de vista de economia de água, a irrigação ideal será aquela na qual se aplica água suficiente no solo pa-rra umedecê-lo uniformemente em toda a zona ocupada pelas raízes das plantas. A qualidade com que se consegue esta aplicação ideal de água, é definida como eficiência de aplicação de água (THORNE & PETERSON, 1965).

KELLER & Mc CULLOCH (1962) levando em consideração os parâmetros textura do solo e topografia, encontraram valores extremos de eficiência de aplicação, para métodos de irrigação

superficiais, que oscilaram entre 20 e 75%. Eles consideram uma eficiência média de 65% como adequada. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos admite que os agricultores nos projetos em operação tenham uma eficiência de aplicação de 70 a 75% (JENSEN, 1967).

HOUK (1951), depois de estudar um grande número de projetos, concluiu que a eficiência de aplicação de água, para culturas comuns, oscilava entre 20 e 50%, no entanto para frutíferas estava em torno de 35 a 70%.

NOGUEIRA (1976), trabalhando com eficiência de irrigação em áreas irrigadas da Paraíba encontrou eficiências médias de aplicação da água de irrigação de 40, 51 e 55% para os perímetros irrigados de Engenheiro Arcoverde, São Gonçalo e Sumé, respectivamente. A eficiência média para os três perímetros foi de 48,7%.

Em Petrolina, Pernambuco, no Projeto de Irrigação Bebedouro, encontrou-se uma eficiência média de aplicação de água de 33%, nas condições de irrigação ali praticada (LEAL, 1979).

Segundo BERNARDO (1980), a eficiência de aplicação de água é um dos parâmetros mais importantes ao se avaliar um projeto de irrigação por superfície. Ele considera 60% o valor mínimo aceitável da eficiência de aplicação em um projeto.

2.0 IRRIGAÇÃO POR SULCOS

2.1 Generalidades

O escoamento da água através de sulcos entre as fileiras de plantas, é hoje um dos métodos de aplicação superficial de água, mais conhecido e usado, na agricultura. A irrigação por sulcos se adapta à maioria das culturas, principalmente às cultivadas em fileiras, e a quase todos os tipos de solos, exceto os solos muito arenosos com alta velocidade de infiltração. Com este sistema a água se move lateral e verticalmente umedecendo o solo na zona radicular da cultura. Como em qualquer outro método, o objetivo básico é colocar água até a profundidade efeti

va do sistema radicular em cada irrigação, sem causar erosão (IRRIGATION HANDBOOK & DIRECTORY, 1972). Este método de irrigação é o que em geral exige mais mão-de-obra, por unidade de área. Ele também exige experiência do irrigante para distribuir a água do canal secundário nos sulcos e manter o controle da vazão durante a irrigação. Para que se possa obter boa eficiência de irrigação com este método, é necessário que o terreno seja sistematizado (BERNARDO, 1980).

Os fatores envolvidos na eficiência de irrigação por sulcos são: comprimento e declividade dos sulcos, lâmina de irrigação aplicada, espaçamento e forma geométrica dos sulcos. Estes fatores têm sido objetivo de muitos estudos (ISRAELSEN & HANSEN, 1965; DAKER, 1976; BERNARDO, 1980).

2.2 Formas de Distribuição de Água nos Sulcos

Existem várias maneiras para distribuir e controlar a vazão aplicada a cada sulco: Abertura na parede dos Canais de Distribuição, Sifões, "Spiles" e Tubos Perfurados (ISRAELSEN & HANSEN, 1965).

2.2.1 Aberturas na Parede dos Canais de Distribuição

A água é conduzida por meio de canais, nos quais se pratica pequenas aberturas através das quais a água flue para o interior dos sulcos. Este método exige cuidados especiais para que se evite a erosão do solo nas saídas de água dos canais de terra e conseqüente excesso de água nos sulcos.

2.2.2 Sifões

São tubos usados para distribuir a água do canal para os sulcos de irrigação, fabricados em plástico, alumínio, aço galvanizado ou borracha; embora o de plástico seja o mais usado. Podem ser usados em vários diâmetros para o controle da vazão, podendo ainda, usar-se mais de um em cada sulco.

Sua vazão, depende do diâmetro do sifão e da diferença de nível entre a superfície livre da água no canal e a parte final do sifão (DAKER, 1976). Eles são fáceis de instalar, não afetam a erodibilidade dos canais e permitem um bom controle da vazão aplicada, mas exigem mão-de-obra e experiência do irrigante. O uso de sifões se presta muito bem para fazer irrigação com redução da vazão inicial. Para isto usam-se inicialmente 2 ou 3 sifões de mesmo diâmetro por sulco, de modo a aplicar, de início, uma vazão máxima não erosiva; quando a frente de avanço chega ao final do sulco retiram-se 1 ou 2 sifões de modo a ajustar a vazão reduzida para o tempo necessário de irrigação (BERNARDO, 1980).

2.2.3 "Spiles"

São tubos de 0,6 a 1,0 metro de comprimento, instalados permanentemente na parede dos canais, sendo um "spile" para cada sulco. A regulagem da vazão dos "spiles" é obtida pela variação da carga hidráulica e do grau de obstrução da entrada do fluxo nos "spiles" (BERNARDO, 1980).

2.2.4 Tubos Janelados ou Perfurados

Entre os vários processos de distribuição e controle de água, embora pouco difundido, existem os tubos janelados ou perfurados, que funcionam sob carga hidráulica. Estes tubos podem substituir os canais parcelares e são providos de janelas ou orifícios abertos no próprio tubo, permitindo o encaixe de válvulas ajustáveis (janelas ou bocais de diferentes diâmetros) para o controle da vazão que entra nos sulcos. Uma análise detalhada dos tubos janelados ou perfurados encontra-se a seguir.

3.0 TUBOS JANELADOS OU PERFURADOS

3.1 Introdução

A idéia de usar tubos com aberturas para a alimenta

ção de sulcos, foi colocada em prática inicialmente, na Califórnia, USA, em 1940. A Companhia de Tubos de Irrigação Hastings - Nebraska, começou a fabricar tubos janelados e válvulas ajustáveis em 1949 (IRRIGATION HANDBOOK & DIRECTORY, 1972). Os tubos janelados foram os primeiros produtos da Companhia Hastings e ela vem pesquisando constantemente este sistema de irrigação, no intuito de aperfeiçoá-lo e torná-lo mais adequado às condições de campo (HASTINGS IRRIGATION SYSTEMS, s.d.).

O uso de tubos janelados em culturas em fileiras, facilita o controle da água de maneira superior ao método ordinário de irrigação por sulcos. É muito comum seu uso nos Estados Unidos em culturas que são frequentemente irrigadas por inundações tais como alfafa e pastagem. Embora eles não substituam os canais na irrigação por sulcos, são usados em culturas que não são facilmente irrigadas por aspersão. O uso de tubos janelados na região das Montanhas Rochosas nos Estados Unidos, tem aumentado sensivelmente nestes últimos três anos (GIFFORD-HILL & COMPANY INCORPORATED, 1979).

Os tubos janelados ou perfurados apresentam distintas vantagens inerentes à sua aceitação e uso e podem resumir-se nas seguintes (GIFFORD-HILL & COMPANY INCORPORATED, 1979):

- permitem a distribuição da água nos sulcos, eliminando o uso de canais e as perdas de água por infiltração;
- podem ser facilmente transportados e colocados em várias posições, facilitando o processo de irrigação e a utilização de máquinas agrícolas;
- podem ser colocados diretamente no terreno proporcionando uniformidade no comprimento das fileiras, visto que os canais de irrigação podem apresentar sinuosidade no comprimento dos sulcos;
- permitem regular a vazão que entra no sulco;
- permitem a entrega de uma vazão uniforme.

3.2 Classificação

Os tubos realmente podem ser classificados quanto ao tipo de abertura usado e quanto ao material de construção. Quanto ao tipo de abertura podem ser classificados em tubos janelados e tubos perfurados.

Tubos Janelados

As aberturas são providas de comportas laterais reguláveis chamadas janelas, que permitem controlar a vazão que entra nos sulcos. Geralmente são fabricados de tal forma a proporcionar vazões até 5,6 l/s, embora estas não sejam usualmente exigidas pela irrigação por sulcos. A operação deste sistema envolve bastante experiência do irrigante para controlar a vazão através da abertura e fechamento das janelas (IRRIGATION HANDBOOK & DIRECTORY, 1972).

Tubos Perfurados

As aberturas são feitas diretamente no tubo de modo a proporcionar o encaixe de bocais. Tais bocais são de fácil adaptação e fornecem vazões predeterminadas de acordo com a combinação carga hidráulica-diâmetro dos bocais.

Quanto ao material de construção os tubos janelados e perfurados podem se classificar em tubos de aço, alumínio e plástico.

Tubos de Aço

Os primeiros sistemas de tubos janelados foram de aço galvanizado. O tubo de aço é firme suportando variações de pressão e o manejo normal sobre o solo, no entanto, a séria desvantagem do seu peso o tem retirado do campo (GIFFORD-HILL & COMPANY INCORPORATED, 1979).

Tubos de Alumínio

Este é provavelmente o mais usado de todos os tipos

de tubos janelados, especialmente em países desenvolvidos. Ele é leve e suficientemente firme para suportar variações de pressão e o manejo normal sobre o solo. A espessura da parede do tubo é um pouco mais fina do que a espessura das paredes dos tubos usados em aspersão. A espessura mínima da parede que parece satisfazer é de 1,3mm para todos os diâmetros. Existe uma parede de espessura mais fina, embora não seja tão aceitável como a parede de 1,3mm. Nos grandes diâmetros alguns fabricantes reforçam as paredes do tubo de modo a aumentar a resistência (GIFFORD-HILL & COMPANY INCORPORATED, 1979).

Tubos de Plástico

Embora os tubos de alumínio sejam os mais usados nos países desenvolvidos, os de plástico estão sendo lançados em grande escala no mercado, principalmente em países em desenvolvimento. Este material é geralmente de polietileno, ou em alguns casos um composto de borracha. Suporta pressões até um certo limite, sem problemas. Este tipo de material está sendo muito usado, provavelmente tornando-se o mais comum devido ao seu baixo custo (GIFFORD-HILL & COMPANY INCORPORATED, 1979).

3.3 Descrição do Sistema de Tubos Janelados ou Perfurados

Os tubos perfurados são linhas com aberturas para encaixe de bocais em espaços regulares convenientes de modo a alimentar e fornecer a vazão desejada em cada sulco (BOOHER, 1974). O espaçamento de 1,0 m para as aberturas parece ser o mais usado, embora os de 0,75 e 0,90 m, também sejam usados. Algumas aberturas são construídas para servir a duas ou mais fileiras de plantas. Este método de distribuição de água nos sulcos é caracteristicamente um sistema de baixa pressão. Sendo usualmente 5 e 7 m, as pressões máximas exigidas para funcionar este sistema, um canal locado na parte mais elevada de um terreno pode fornecer pressão suficiente para levar água através de uma tubulação (GIFFORD-HILL & COMPANY INCORPORATED, 1979).

O sistema de tubos Janelados ou Perfurados pode ser portátil ou fixo e pode ser utilizado com uma linha principal conduzindo água diretamente de uma fonte e distribuindo nos sulcos, ou ainda pode ser usado na altura dos sulcos para distribuir a água transportada por um sistema subterrâneo (IRRIGATION HANDBOOK & DIRECTORY, 1972).

A seleção do diâmetro apropriado do tubo e dos bocais para qualquer sistema, seja ele portátil ou fixo, é provavelmente o fator mais importante para se ter um sistema com funcionamento adequado. Os tubos janelados são fabricados com diâmetros padrões de 0,15, 0,20, 0,23, 0,25 e 0,30 m. Uma maneira prática de proceder-se na escolha do diâmetro para fornecer uma determinada vazão é tomar-se como base o seguinte critério: diâmetros de 0,15, 0,20, 0,23, 0,25 e 0,30 m manejarão vazões de até 19, 63, 82, 100 e 126 litros por segundo, respectivamente. Às vezes é aconselhável usar-se uma combinação de diâmetros para torná-lo mais econômico (GIFFORD-HILL & COMPANY INCORPORATED, 1979).

Os tubos janelados ou perfurados podem trabalhar no campo em conjunto com uma bomba, ou simplesmente por gravidade, se a fonte de água fica a uma altura superior a da área a ser irrigada. Quando se opera os tubos perfurados utilizando-se bomba, esta pode ser portátil ou estacionária. A bomba eleva água da fonte (açude, rio, poço, etc) diretamente para entrada do tubo perfurado. Para que o sistema funcione eficientemente é requerida uma pressão suficiente para vencer as perdas por atrito e proporcionar carga nas aberturas, no ponto de descarga. Para levar água desde a fonte até a parcela irrigada são usados tubos comuns. Quando o sistema trabalha por gravidade, os tubos janelados móveis ou permanentes, entregam a água na área a ser irrigada, simplesmente por gravidade. O desnível do terreno deve ser suficiente para superar as perdas por atrito ao longo da tubulação e fazer funcionar o sistema (GIFFORD-HILL & COMPANY INCORPORATED, 1979).

3.4 Hidráulica dos Tubos Perfurados

O sistema de tubos perfurados para irrigação, tem o comportamento hidráulico de condutos sob pressão, com fluxo permanente e vazão espacialmente variada.

A Figura 1 mostra um tubo perfurado acoplado a um sistema de alimentação, que pode ser um reservatório, um canal ou mesmo um sistema de bombeamento que provoque o fluxo no tubo a partir de uma carga H .

Para a determinação da vazão q de cada bocal é admitida a hipótese de que:

$$q = q_1 = q_2 = q_i = \dots = q_{n-1} = q_n$$

assim, a vazão total é nq e a velocidade na entrada do tubo será:

$$V_1 = 4nq/\pi D^2 \quad (2.1)$$

Chamando $4q/\pi D^2$ de α , tem-se:

$$V_1 = \alpha n \quad (2.2)$$

como o diâmetro do tubo é constante e a vazão após cada bocal diminui, a velocidade V_2 se reduz para:

$$V_2 = \alpha(n - 1) \quad (2.3)$$

consequentemente:

$$V_i = \alpha(n - (i - 1)) \quad e \quad (2.4)$$

$$V_n = \alpha \quad (2.5)$$

A equação da energia aplicada entre um ponto no nível d'água do reservatório alimentador e outro na secção de saída do bocal i dá:

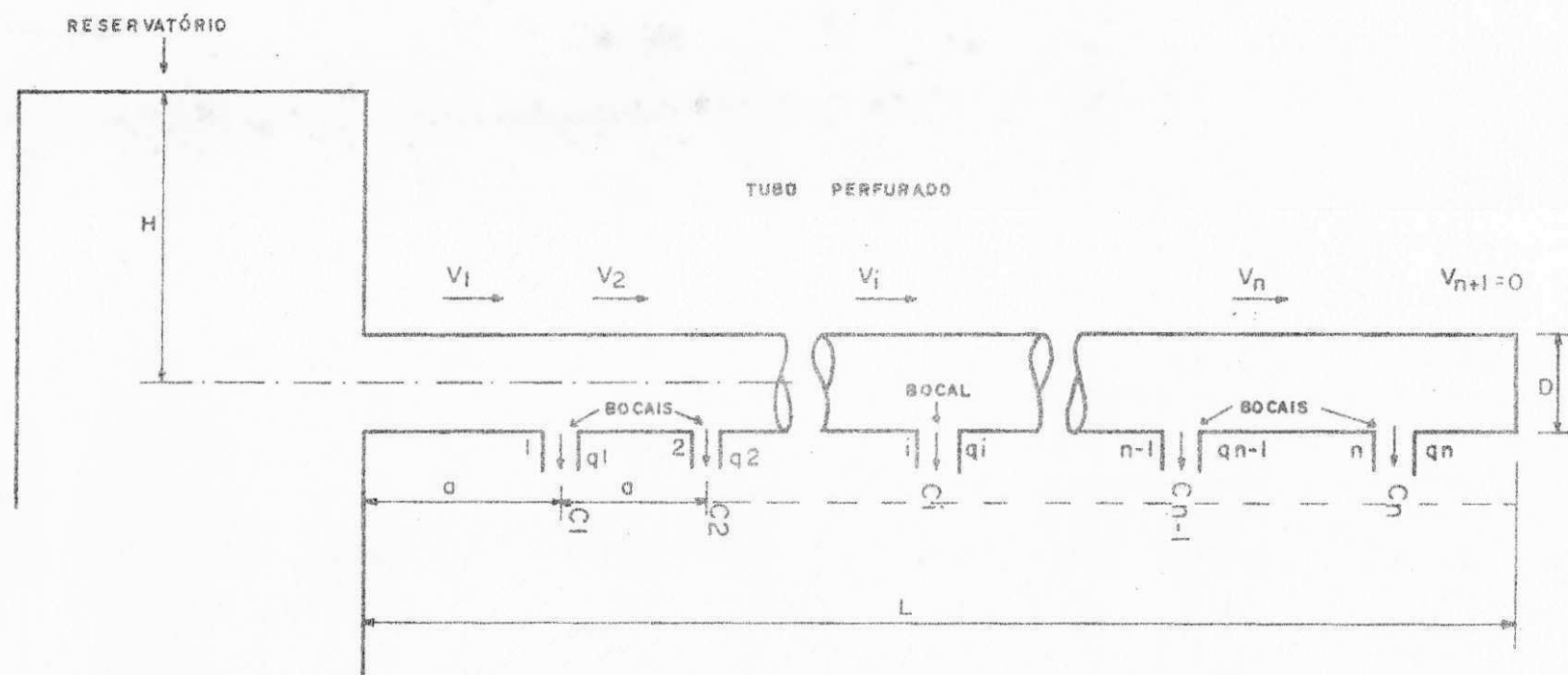


Figura:01- Tubo perfurado acoplado a um sistema de alimentação.

$$H = (C_i^2/2g) + (f \cdot a/D) \sum_{m=1}^i (V_m^2/2g) + k(V_i^2/2g) \quad (2.6)$$

fazendo:

$$\sum_{m=1}^i (V_m^2/2g) = (\alpha^2/2g) \sum_{m=1}^i \{n - (m - 1)\}^2 =$$

$$(\alpha^2/2g) \{ (i/6)(2i^2 + 3i + 1) + i(n^2 - ni + n - i) \}$$

$$V_i^2/2g = (\alpha^2/2g) \{n - (i - 1)\}^2$$

e substituindo-se na equação (2.6) tem-se:

$$H = (C_i^2/2g) + (f \cdot a \cdot \alpha^2/2gD) \{ (i/6)(2i^2 + 3i + 1) + i(n^2 - ni + n - i) \} + (K\alpha^2/2g) \{n - (i - 1)\}^2 \quad \dots$$

$$(C_i^2/2g) = H - (f \cdot a \cdot \alpha^2/2gD) \{ (i/6)(2i^2 + 3i + 1) + i(n^2 - ni + n - i) \} - (K\alpha^2/2g) \{n - (i - 1)\}^2 \quad \dots$$

$$C_i^2 = 2gH - (f \cdot a \cdot \alpha^2/D) \{ (i/6)(2i^2 + 3i + 1) + i(n^2 - ni + n - i) \} + K\alpha^2 \{n - (i - 1)\}^2 \quad (2.7)$$

onde:

- C_i = a velocidade de saída da água no bocal i (m/s)
- H = a carga acima do eixo do tubo (m)
- f = o coeficiente de rugosidade do tubo
- a = a distância entre os bocais ($a = L/(n+1)$) (m)
- D = o diâmetro do tubo (m)
- i = o número de ordem dos bocais (variando de 1 a n)
- n = o número de bocais
- K = 3 (coeficiente de perda)

Fazendo $\alpha^2 = 16q_i^2/\pi^2 D^4$ a vazão pode ser calculada através de:

$$q_i^2 = (\pi^2 d_i^4 / 16) C_i^2 \quad (2.8)$$

onde: d_i é o diâmetro do bocal i .

A pressão no extremo fechado do tubo pode ser encontrada aplicando-se a equação da energia entre um ponto no nível da água do reservatório alimentador e outro no extremo do eixo do tubo:

$$H = (P/\gamma) + H_f \quad (2.9)$$

onde: P/γ = a pressão no extremo final do tubo

$H_f = (1/3)h_f$ (perda de carga total no tubo)

h_f = a perda de carga total no tubo se não houvesse distribuição ao longo do mesmo

logo:

$$P/\gamma = H - (1/3)h_f \quad \therefore$$

$$P/\gamma = H - (1/3)f(L/D)(V_1^2/2g) \quad (2.10)$$

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

1.0 APARELHO EXPERIMENTAL

1.1 Introdução

Antecedendo os Ensaios Experimentais foram realizadas visitas a alguns Perímetros Irrigados, com o objetivo de se obter, "in situ", informações práticas que pudessem ajudar no dimensionamento do equipamento teste. Assim foram visitados os Perímetros Irrigados de Sumê, Engenheiro Arcoverde e São Gonçalo, todos eles localizados no Estado da Paraíba e administrados pelo Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS).

1.2 Equipamento Teste

Os ensaios experimentais foram desenvolvidos no Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus II em Campina Grande, Pb. Ali foi instalado um equipamento com o objetivo de se analisar o comportamento hidráulico de Tubos Perfurados para irrigação.

O equipamento teste era constituído de duas partes:

a) Sistema de Alimentação

b) Sistema de Distribuição ou Tubos Perfurados

A figura 2 apresenta um diagrama do equipamento experimental usado nos testes, mostrando os sistemas.

1.2.1 Sistema de Alimentação

O Sistema de Alimentação consistia de uma bomba Centrífuga KSB modelo ETA 65-26* acoplada a um motor elétrico ARNO** de 10 CV, que elevava água de um reservatório subterrâneo até uma caixa brasilit de 500 litros, cujo nível era mantido constante através de um sistema extravasor ligado ao reservatório subterrâneo. A caixa foi instalada em uma estrutura metálica desmontável, permitindo variações da altura da caixa de metro em metro e consequentemente variações da carga hidráulica do sistema de distribuição. O recalque até a caixa e a adução para o tubo perfurado foram construídos utilizando-se tubos PVC. A foto 1 apresenta uma vista parcial do sistema de alimentação, mostrando a caixa e a estrutura metálica que permitia variar a altura desta.

1.2.2 Sistema de Distribuição ou Tubos Perfurados

O sistema de distribuição era constituído de um tubo PVC com 6 m de comprimento e 85mm de diâmetro, com perfurações laterais espaçadas de 1,0 m. Nestas perfurações localizaram-se bocais de diferentes diâmetros, de modo que, em combinação com diferentes cargas hidráulicas fornecessem vazões variando de 0,5 a 2,0 litros por segundo, intervalo de vazões mais comumente utilizadas na agricultura. Os bocais foram construídos de PVC na Indústria CANDE S.A***, de forma cilíndrica

(*) KSB do Brasil - Indústria de Bombas Hidráulicas S.A - São Paulo

(**) ARNO S.A - Indústria e Comércio - Av. ARNO, 146 - São Paulo

(***) Campina Grande Industrial S.A - Distrito Industrial - Campina Grande, Paraíba

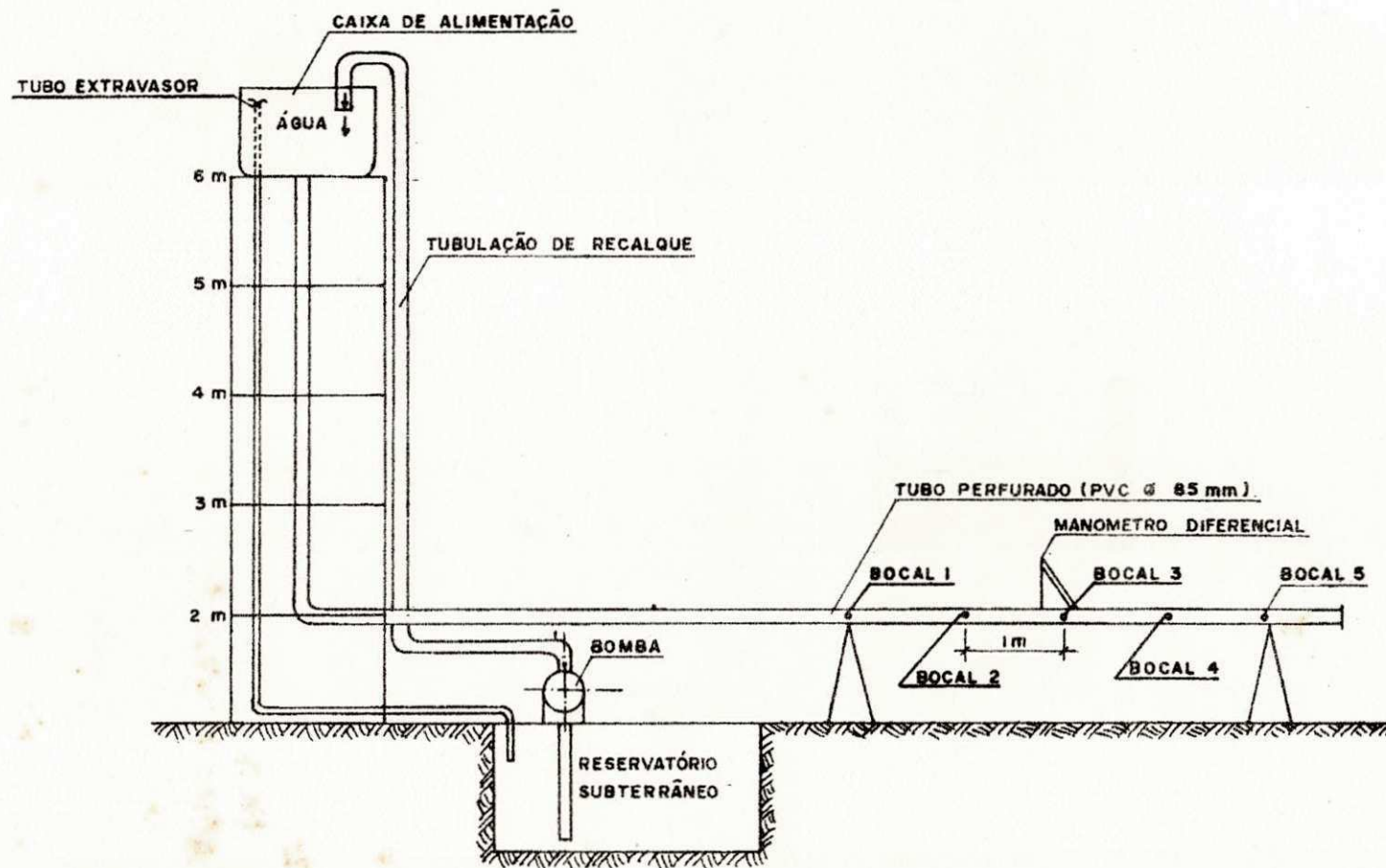


FIG. 02- DIAGRAMA DO EQUIPAMENTO EXPERIMENTAL

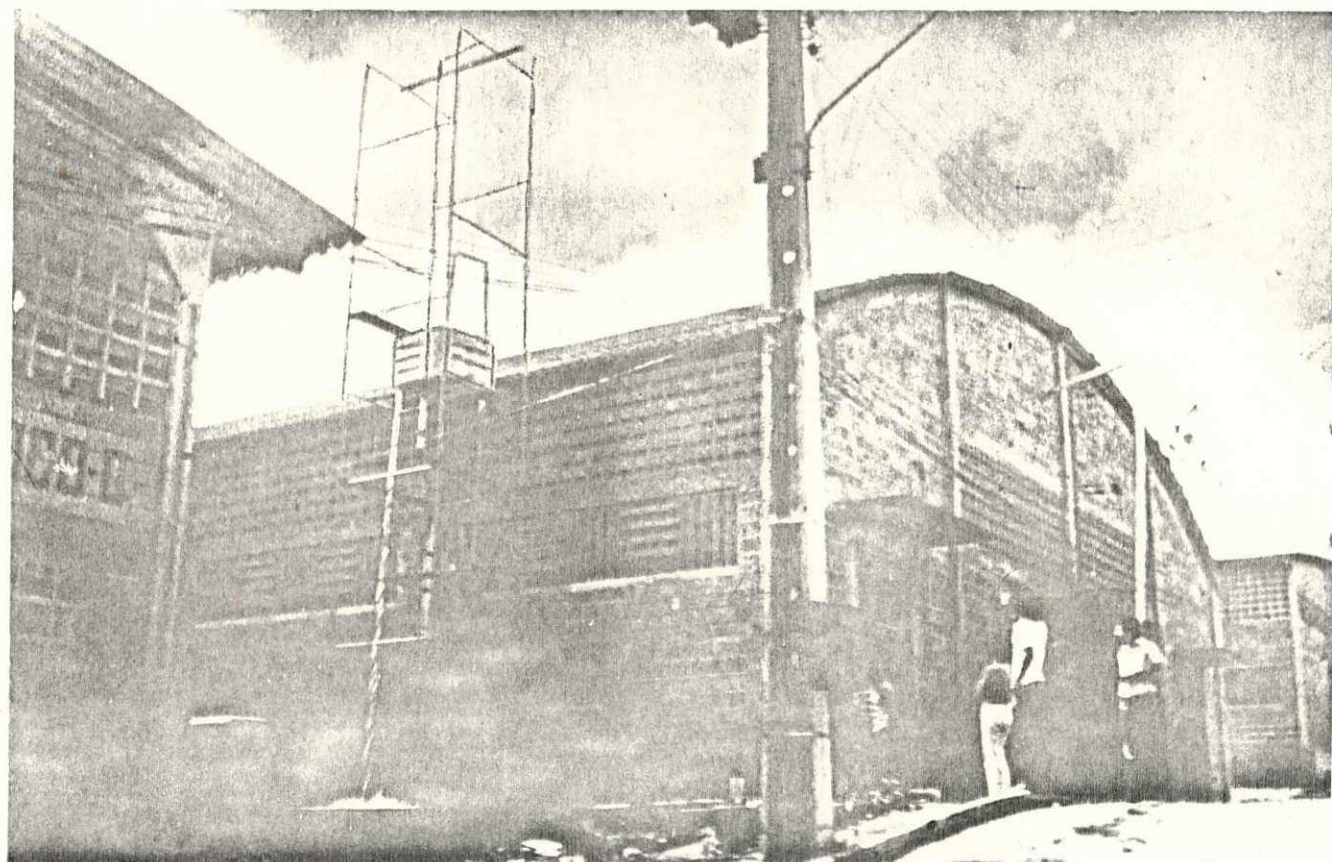


Foto 1: Vista parcial do sistema de alimentação, mostrando a caixa e a estrutura metálica que permitia variar a altura desta.

com diâmetros de 10, 15 e 20 mm, sendo o maior, fixo; os menores eram obtidos adaptando-se os bocais menores dentro do bocal fixo. Com o objetivo de amortecer e dirigir o fluxo, desenvolveu-se um dissipador de energia em forma de L. A foto 2 apresenta o tubo de PVC com os bocais e com o dissipador de energia.

Um manômetro diferencial indicava a variação de pressão entre o ponto inicial e o final do tubo perfurado. Para a obtenção da faixa de vazão anteriormente citada foram utilizadas cargas hidráulicas de 2, 3, 4, 5 e 6 metros. Para cada carga hidráulica foram testados os três tipos de bocais. Na medição de vazão foi utilizado um recipiente de 20 litros, previamente aferido, e um cronômetro para a determinação do tempo.

1.3 Desenvolvimento dos Ensaios

Para cada combinação diâmetro de bocal-carga hidráulica foram feitas medições de vazão e de pressão. A vazão foi determinada utilizando-se um balde com 20 litros de volume, previamente aferido e tomada a média de três medições. A variação de pressão era lida num manômetro diferencial ligado através de mangueiras aos pontos inicial e final do tubo perfurado. As medições foram efetuadas em cada ensaio somente após a estabilização da vazão do fluxo, a qual era obtida aproximadamente 30 minutos depois do sistema se encontrar em operação.

Com cada carga, especificada anteriormente, foram testados os três diâmetros de bocais e feitas as medições dos parâmetros necessários, sendo em seguida, a caixa removida para uma nova altura. A foto 3 apresenta o sistema de distribuição ou tubos perfurados, em funcionamento. Observa-se que em cada perfuração foi adaptado um dissipador de energia.

1.4 Resultados

Os resultados obtidos serão analisados desde o ponto de vista hidráulico e deste serão feitas referências para o uso

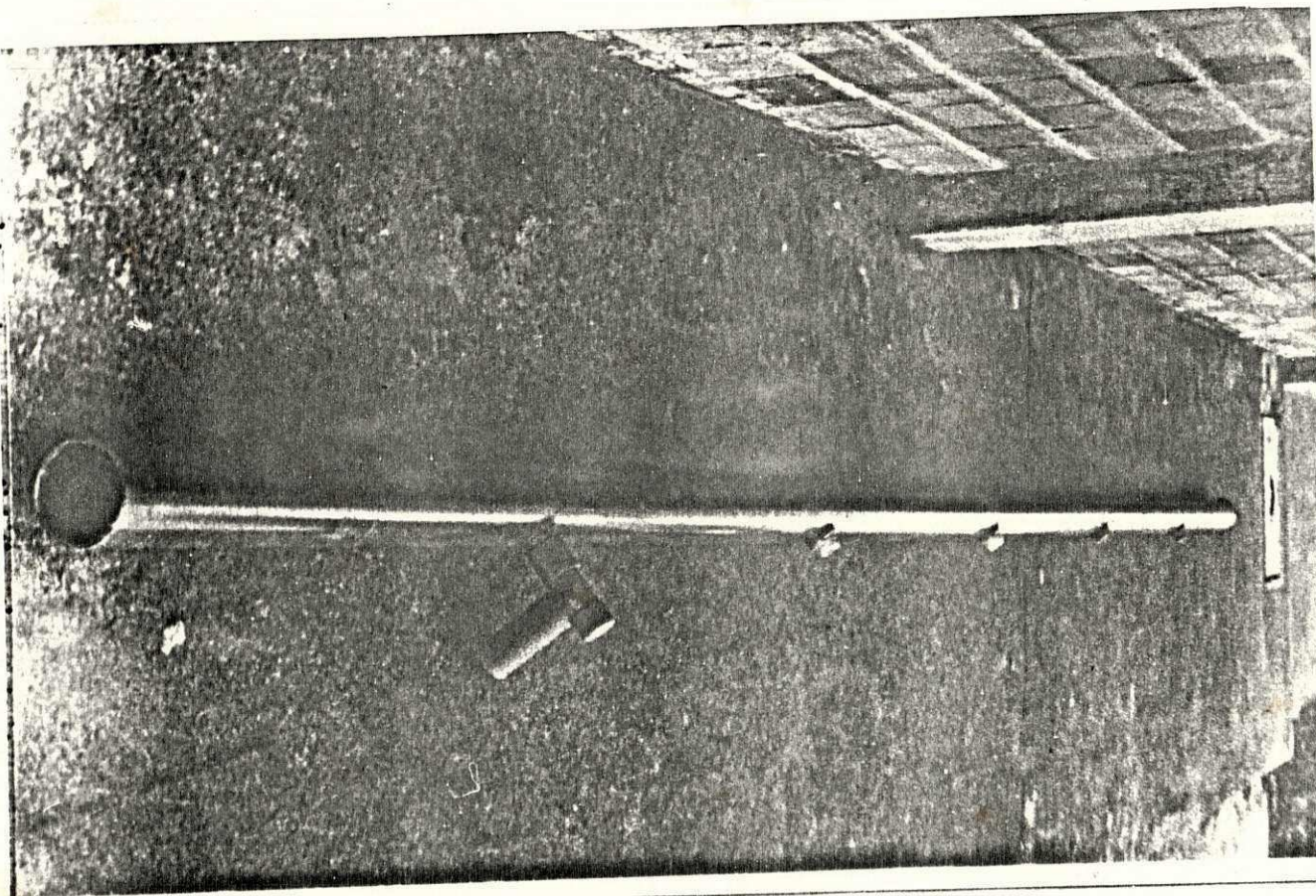


Foto 2: Tubo de PVC com os bocais e com o dissipador de energia.

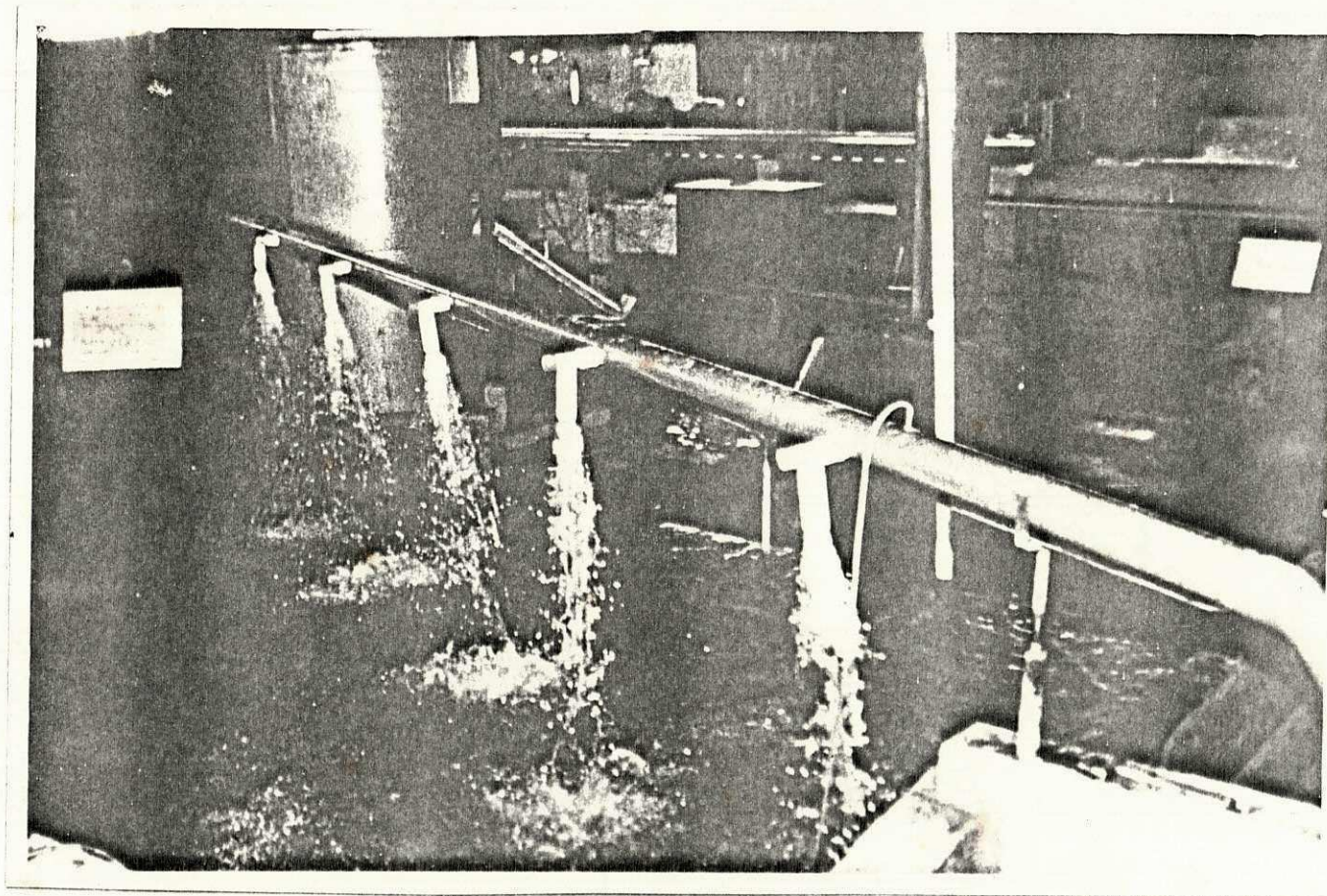


Foto 3: Sistema de distribuição ou tubos perfurados, em funcionamento

e dimensionamento do sistema de tubos perfurados no campo. Finalmente far-se-á uma comparação de custos entre o método de tubos perfurados avaliado no presente estudo e o método tradicional de sulcos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.0 - VAZÃO VERSUS CARGA HIDRÁULICA

A Tabela 1 apresenta as vazões obtidas em cada bocal quando submetido às diferentes cargas hidráulicas. Na Tabela aparecem também, a vazão total do sistema e a vazão média para cada combinação de diâmetro de bocal x carga hidráulica.

Embora aparentemente pareça ter havido uma variação na vazão obtida nos bocais de 1 a 5 do sistema, análise estatística através do método de Duncan (SNEDECOR & COCHRAN, 1967) demonstrou que tais diferenças não foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

A Tabela 2 apresenta as vazões para bocais sob as mesmas condições usadas no laboratório, agora calculadas empiricamente através das equações da energia, considerando uma distribuição em marcha, e da continuidade (AVILA, 1974; NETO, 1977 e NEVES, 1979). A diminuição da vazão ao longo do tubo, embora não significativamente diferente, representa o comportamento hidráulico normal de um conduto sob pressão com distribuição em marcha.

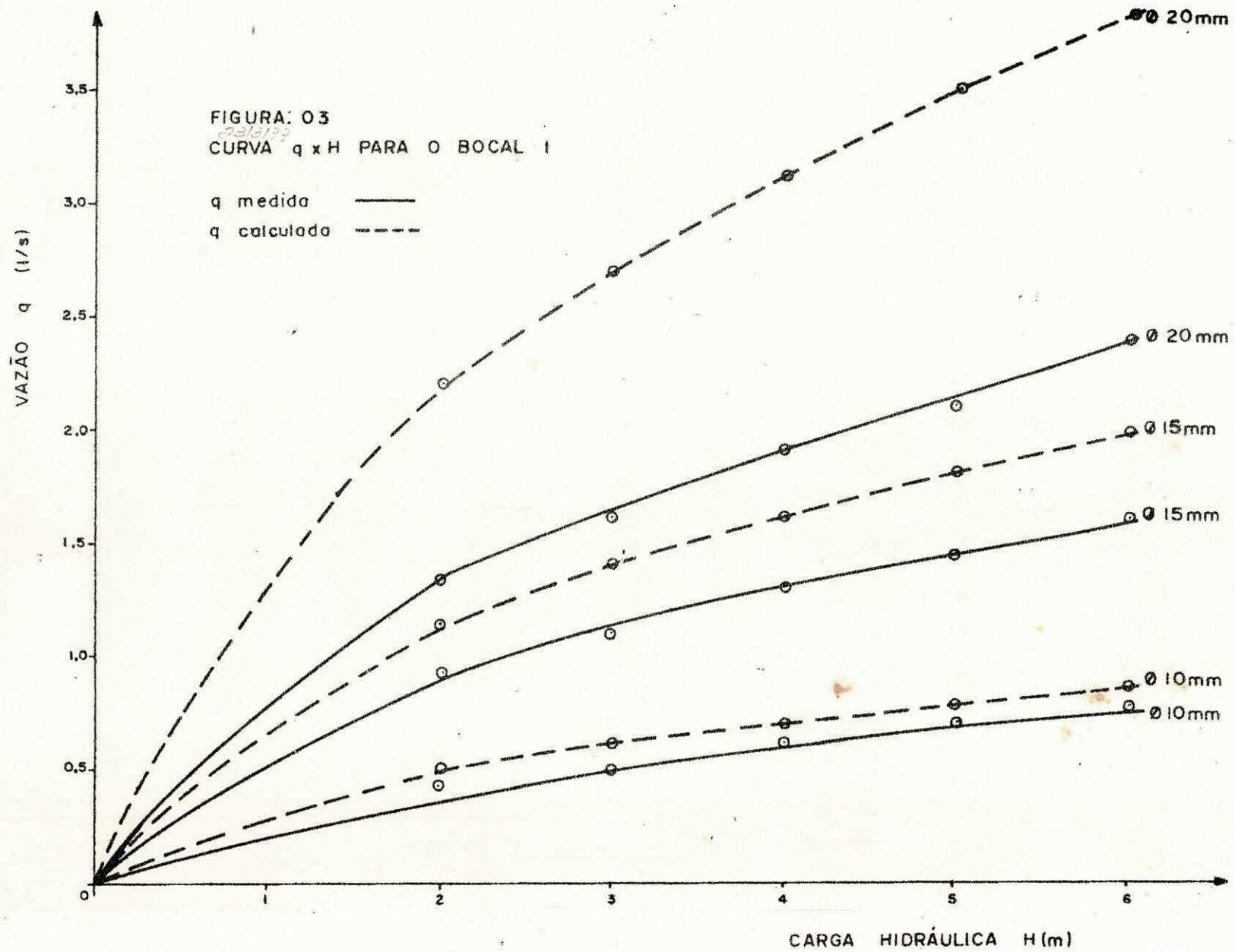
As vazões para os bocais de diâmetros 10, 15 e 20 mm de 1 a 5 ao longo do tubo perfurado, obtidas experimentalmente e teoricamente são apresentadas nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente. A análise destas figuras permite obser

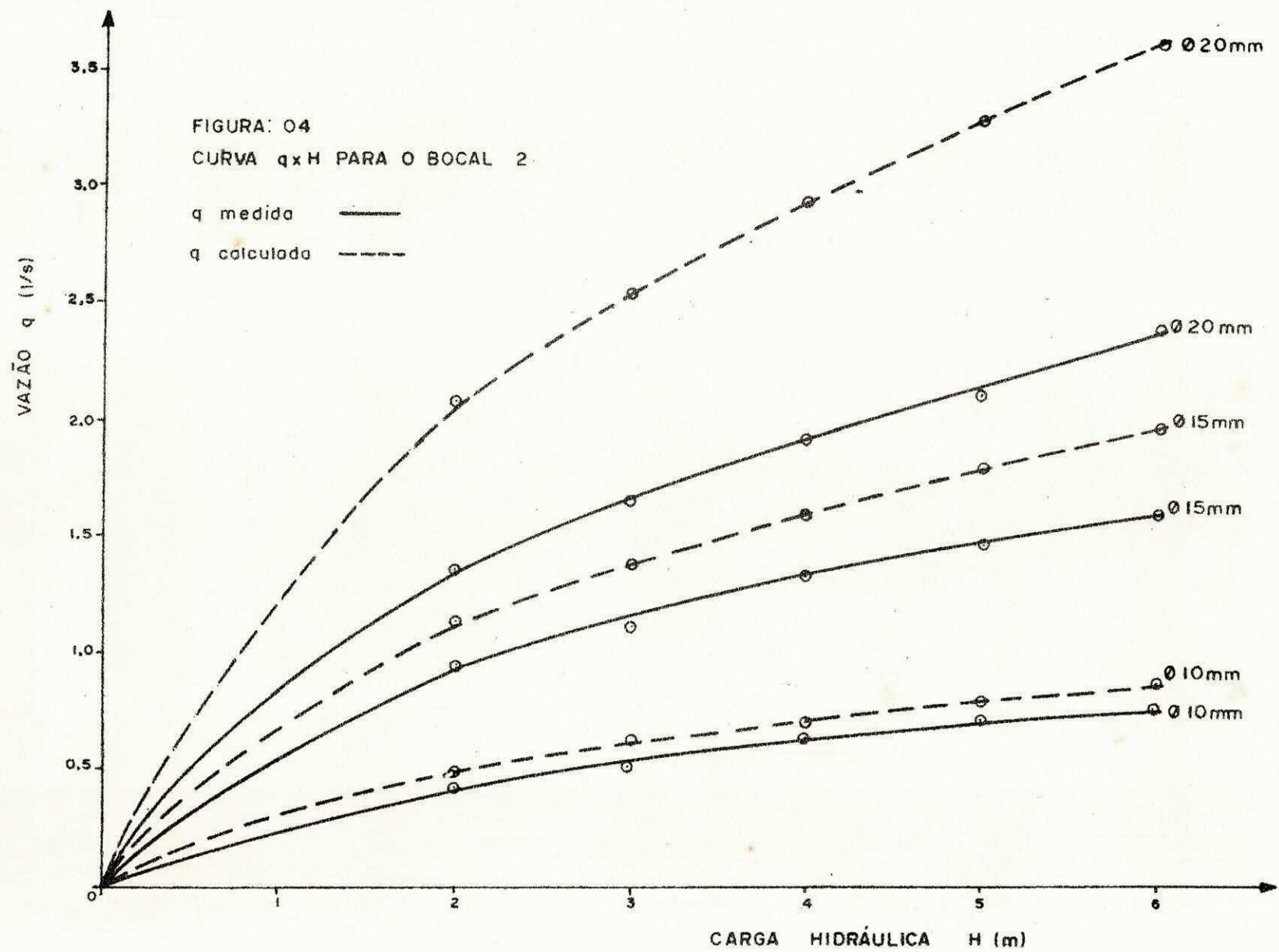
Tabela 1 - Vazões individuais, total e média ao longo do sistema, determinadas experimentalmente para os diferentes tratamentos de carga hidráulica e diâmetro de bocais testados (ϕ)

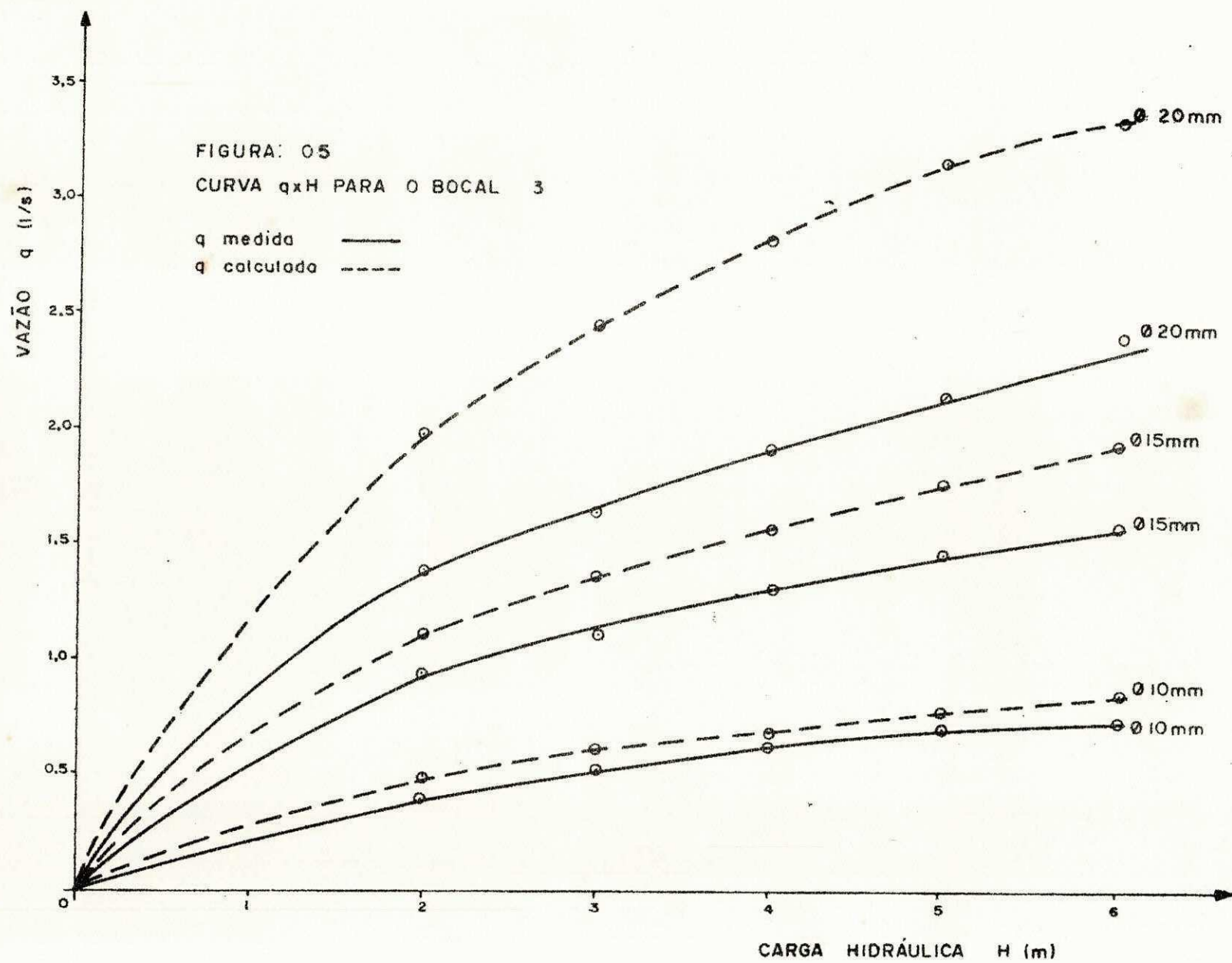
CARGA HIDRÁULICA (m)	ϕ DO ORIFÍ- CIO (mm)	VAZÃO POR BOCAL (1/s)					VAZÃO TOTAL (1/s)	VAZÃO MÉDIA (1/s)
		1	2	3	4	5		
2	10	0,433	0,431	0,413	0,431	0,431	2,139	0,428
2	15	0,932	0,940	0,932	0,941	0,932	4,677	0,935
2	20	1,332	1,361	1,380	1,371	1,380	6,824	1,365
3	10	0,501	0,501	0,510	0,522	0,522	2,556	0,511
3	15	1,082	1,101	1,101	1,121	1,101	5,506	1,101
3	20	1,602	1,631	1,630	1,630	1,611	8,104	1,621
4	10	0,621	0,631	0,631	0,640	0,640	3,163	0,633
4	15	1,302	1,311	1,302	1,321	1,310	6,546	1,309
4	20	1,902	1,921	1,910	1,921	1,930	9,584	1,917
5	10	0,712	0,701	0,702	0,722	0,701	3,538	0,708
5	15	1,443	1,454	1,441	1,450	1,421	7,209	1,442
5	20	2,085	2,093	2,132	2,123	2,131	10,564	2,113
6	10	0,768	0,755	0,755	0,781	0,755	3,814	0,763
6	15	1,605	1,592	1,584	1,603	1,611	7,995	1,599
6	20	2,392	2,403	2,403	2,421	2,431	12,050	2,410

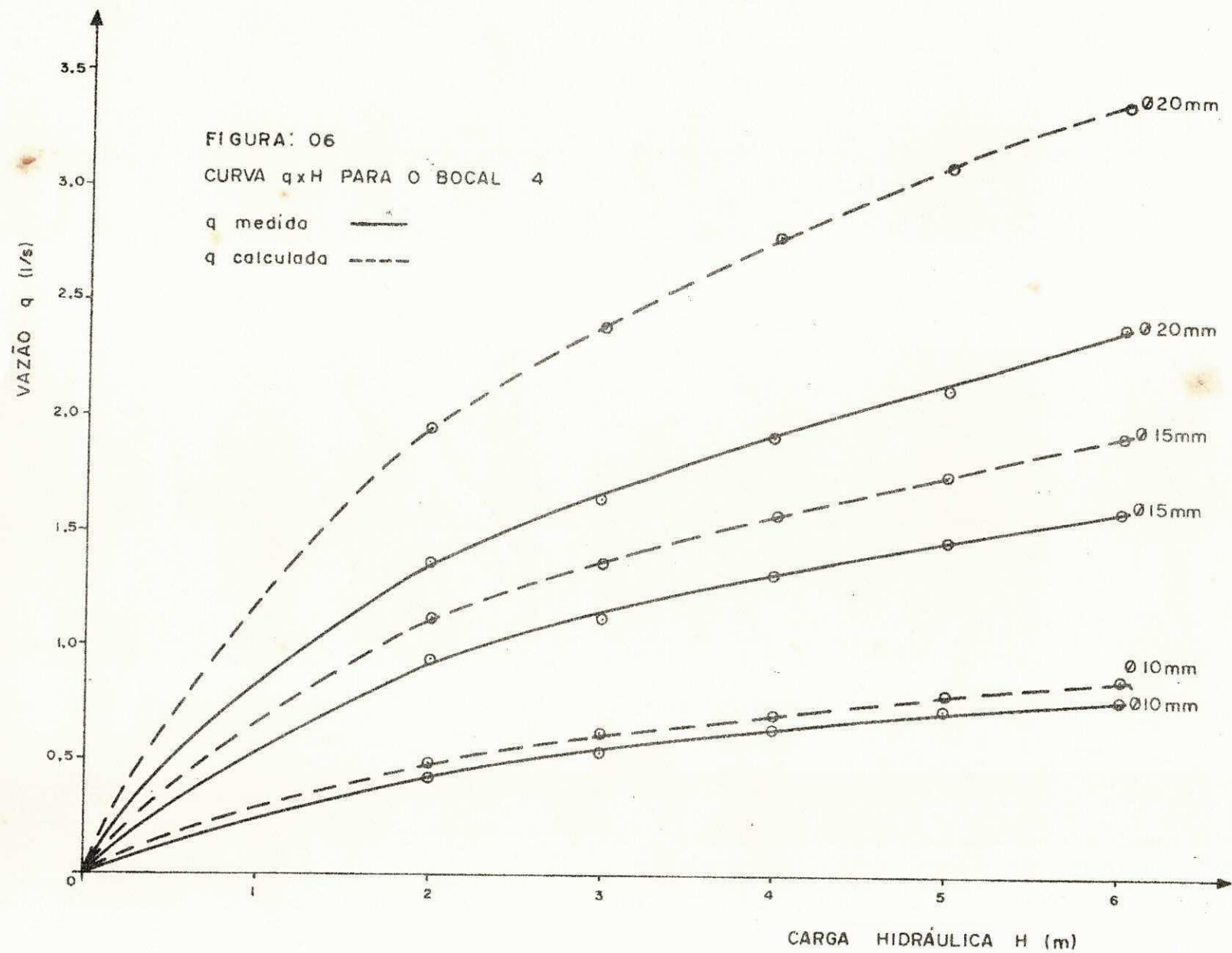
Tabela 2 - Vazões individuais, total e média ao longo do sistema, calculadas empiricamente para os diferentes tratamentos de carga hidráulica e diâmetro de bocais testados (ϕ)

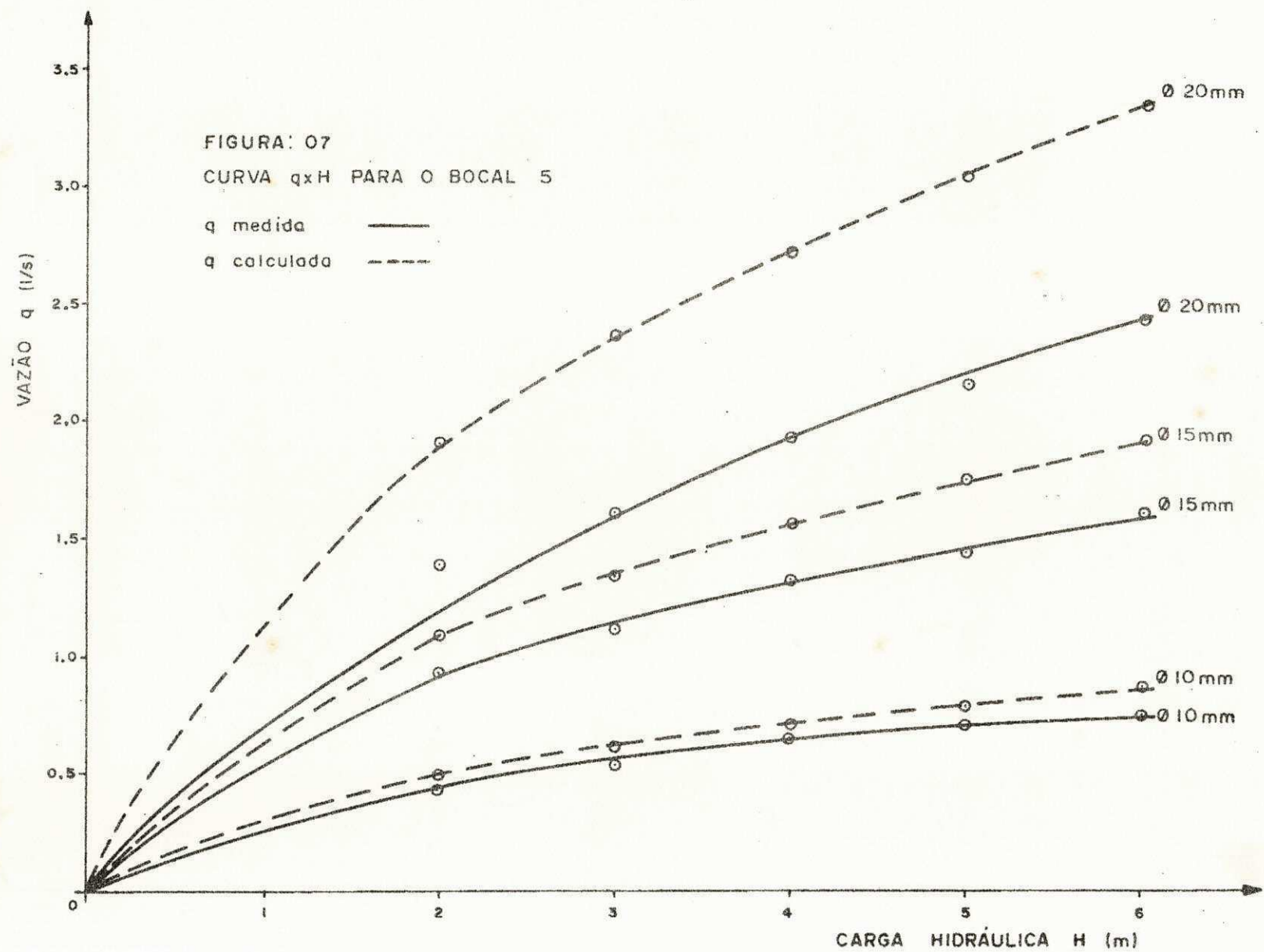
CARGA HIDRÁULICA (m)	ϕ DO ORIFÍ- CIO (mm)	VAZÃO POR BOCAL (l/s)					VAZÃO TOTAL (l/s)	VAZÃO MÉDIA (l/s)
		1	2	3	4	5		
2	10	0,495	0,494	0,493	0,492	0,491	2,465	0,493
2	15	1,145	1,123	1,112	1,103	1,098	5,581	1,116
2	20	2,204	2,078	1,987	1,947	1,921	10,137	2,027
3	10	0,607	0,605	0,603	0,602	0,601	3,018	0,604
3	15	1,402	1,402	1,379	1,362	1,351	6,896	1,379
3	20	2,700	2,545	2,446	2,385	2,352	12,428	2,486
4	10	0,700	0,698	0,697	0,695	0,694	3,484	0,697
4	15	1,619	1,592	1,573	1,560	1,553	7,897	1,579
4	20	3,118	2,939	2,824	2,754	2,716	14,351	2,870
5	10	0,783	0,781	0,779	0,778	0,777	3,898	0,780
5	15	1,810	1,780	1,760	1,745	1,740	8,835	1,767
5	20	3,486	3,286	3,158	3,079	3,037	16,046	3,209
6	10	0,858	0,855	0,853	0,852	0,851	4,269	0,854
6	15	1,982	1,950	1,926	1,911	1,903	9,672	1,934
6	20	3,818	3,599	3,459	3,373	3,326	17,575	3,515











var que em todos os bocais ao longo do tubo, as vazões obtidas tanto experimental como empíricamente, aumentaram com a carga hidráulica e com o diâmetro dos bocais.

Uma análise comparativa entre as curvas experimentais e empíricas permite observar que os valores de vazão fornecidos empiricamente através de equações foram sempre maiores que aqueles valores obtidos experimentalmente no laboratório. Observa-se ainda que a diferença entre as curvas aumenta com o diâmetro dos bocais e com a carga hidráulica. O fato de que as curvas empíricas forneçam vazões maiores que as determinadas experimentalmente pode ser explicado da seguinte forma: Para os bocais de diâmetro 15 e 20 mm observou-se durante os ensaios uma variação da vazão média com o tempo. Pesquisada a causa disto foi constatado que o volume do reservatório que alimentava o sistema era pequeno, produzindo uma pequena variação no nível da água do reservatório. Inicialmente tinha-se dimensionado um reservatório maior, mas, por falta de um guindaste apropriado para a sua elevação as medições foram feitas com um reservatório de menor volume. Consequentemente, quanto maior a carga hidráulica maior a diferença entre curvas experimentais e calculadas. Com respeito às curvas para o bocal de diâmetro de 10 mm, para o qual a caixa alimentadora foi adequada, as diferenças entre elas podem ser justificadas devido a influência de fatores não controláveis durante os ensaios tais como, condições de instalação, erros nas medições, etc.

A Figura 8 apresenta a relação entre as médias das vazões ao longo do tubo (média dos bocais de 1 a 5) obtidas experimental e empíricamente e as cargas hidráulicas para os três diâmetros de bocais. Embora hidraulicamente não se justifique estas médias, por se tratar de um sistema de distribuição em marcha, isto foi feito considerando que não houveram diferenças significativas entre as vazões obtidas nos diferentes bocais ao longo do tubo e visando a aplicabilidade dos resultados obtidos.

A Tabela 3 apresenta as equações de regressão das curvas obtidas experimental e empíricamente e seus respectivos coefi

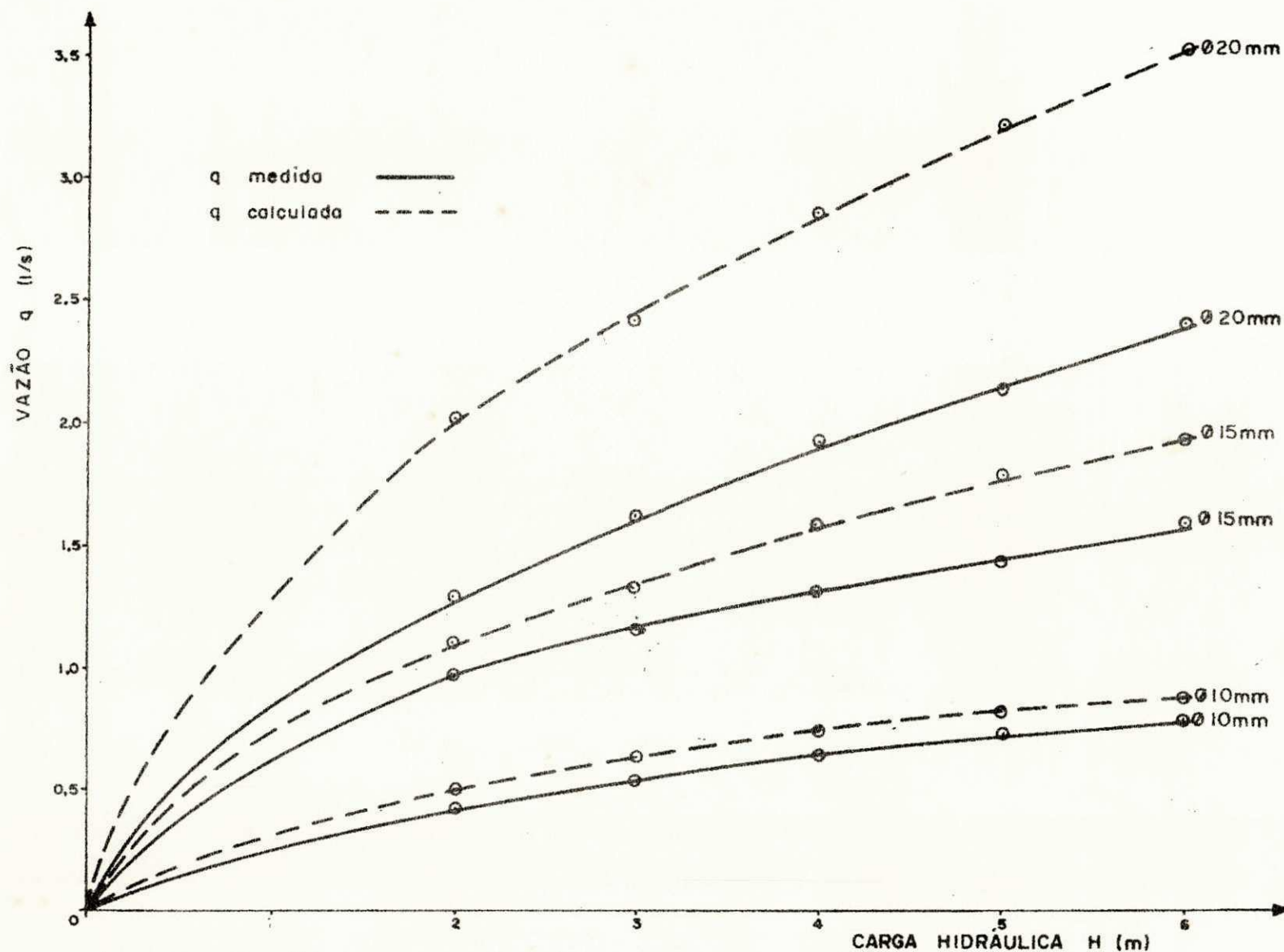


Figura: 08 - Relações entre a vazão média determinada experimental e teoricamente e a carga hidráulica para os três diâmetros de bocais. ($\emptyset$).

Tabela 3 - Equações de Regressão, Coeficientes de correlação e desvios padrões das relações vazão x carga hidráulica para os três diâmetros de bocais, obtidos experimental e teoricamente.

DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	EQUAÇÃO DA REGRESSÃO	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	$\pm S_{yx}$	$\pm S_b$
10	Experimental $Y = 0,117 + 0,136x$	0,958**	0,053	0,010
	Teórica $Y = 0,124 + 0,129x$	0,942**		
15	Experimental $Y = 0,218 + 0,254x$	0,958**	0,123	0,024
	Teórica $Y = 0,264 + 0,309x$	0,958**		
20	Experimental $Y = 0,304 + 0,380x$	0,963**	0,171	0,034
	Teórica $Y = 0,479 + 0,561x$	0,958**		

Y = vazão (l/s)

x = carga hidráulica

S_{yx} = desvio padrão da regressão

S_b = desvio padrão de b

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

cientes de correlação. Visando uma comparação estatística das equações, apresentam-se para as primeiras, os desvios padrões da equação (S_{yx}) e da declividade da curva (S_b). A análise da Tabela 3 permite verificar que somente para o bocal de 10 mm de diâmetro, as curvas não diferiram estatisticamente podendo assim, qualquer determinação de vazões ser substituída pelo simples uso das equações empíricas. As vazões obtidas no laboratório com os bocais de 15 e 20 mm diferiram estatisticamente das calculadas. Comentários com respeito a estas diferenças não de sejam-se fazer, considerando-se que, como foi anteriormente indicado, quando usaram-se os bocais de 15 e 20 mm, o reservatório que alimentava o sistema, apresentou condições de sub-dimensionamento.

2.0 VARIAÇÃO DA PRESSÃO HIDRÁULICA ATRAVÉS DO TUBO PERFURADO

A Tabela 4 apresenta as diferenças de pressão observadas entre o ponto inicial e final do tubo perfurado para cada um dos tratamentos testados. Observa-se que as diferenças de pressão entre os pontos inicial e final do tubo foram sempre negativas, indicando assim, que a pressão hidráulica no final do tubo era sempre maior que no ponto inicial. Isto deve-se ao fato de que o fluxo de água ao alcançar o final do tubo perde toda a velocidade, produzindo-se uma transformação da taquicarga em carga de pressão, havendo assim um acréscimo de pressão. A tabela também indica uma diminuição das diferenças com o aumento dos diâmetros dos bocais, além de mostrar que a diferença de pressão entre os pontos considerados, aumentou com a carga hidráulica.

3.0 ESTUDO DE CUSTOS

O estudo de custos consiste na determinação dos custos de

Tabela 4 - Diferenças de pressão observadas entre o ponto inicial e final do tubo perfurado para os diferentes ensaios

CARGA HIDRÁULICA (m)	DIAM.DO BOCAL (mm)	DIFERENÇAS DE PRESSÃO ($P_i - P_f$)* (mm)
2	10	- 10
2	15	- 6
2	20	- 2
3	10	- 20
3	15	- 6
3	20	- 3
4	10	- 16
4	15	- 10
4	20	- 4
5	10	- 25
5	15	- 12
5	20	- 4
6	10	- 32
6	15	- 16
6	20	- 5

(*) P_i - Pressão no ponto inicial

P_f - Pressão no ponto final

implantação de uma área de 3,67 ha com um sistema de tubos perfurados e a comparação de tais custos com aqueles envolvidos na implantação de canais de alvenaria. Na computação dos custos não considerou-se os custos de operação nem manutenção dos sistemas de distribuição de água.

As Figuras 9 e 10 apresentam os "lay-outs" da área quando implantada com tubos perfurados e canais de alvenaria, respectivamente. Em ambos os casos a água é extraída de uma fonte através de um conjunto moto-bomba e distribuída por tubos perfurados e canais nos sulcos.

A Tabela 5 apresenta a comparação de custos iniciais para o sistema de tubos perfurados e canais. Os preços dos materiais são de Agosto de 1981. O preço do metro de canal de alvenaria e os custos de mão-de-obra foram obtidos através de comunicação pessoal com Técnicos da Secretaria de Agricultura do Estado da Paraíba - Sub-Coordenadoria de Irrigação e Recursos Hídricos.

Na Tabela 5 observa-se que para uma pequena propriedade de 3,67 ha, a implantação do sistema de tubos perfurados é mais econômica que o uso de canais. Assim, encontrou-se que os custos de implantação por hectare para o sistema de tubos perfurados é de aproximadamente Cr\$ 198.310,00, enquanto que usando canais, o investimento inicial seria de Cr\$ 203.215,00.

Embora os custos de implantação do sistema de tubos perfurados não sejam muito menores que no sistema de canais, deve ser observado o seguinte:

a) a análise não considera a sistematização do terreno necessária em alguns casos para o transporte da água. Se necessária para os canais, os custos para este sistema aumentam consideravelmente. No caso dos tubos perfurados, se necessária, a sistematização poderia ser substituída pelo uso de suportes de baixo custo;

b) os custos de operação e manutenção com o sistema de tubos perfurados são muito menores que quando se usam canais;

c) pela fácil mobilidade e manejo do sistema de tubos perfurados ele apresenta importantes vantagens sobre o uso de ca

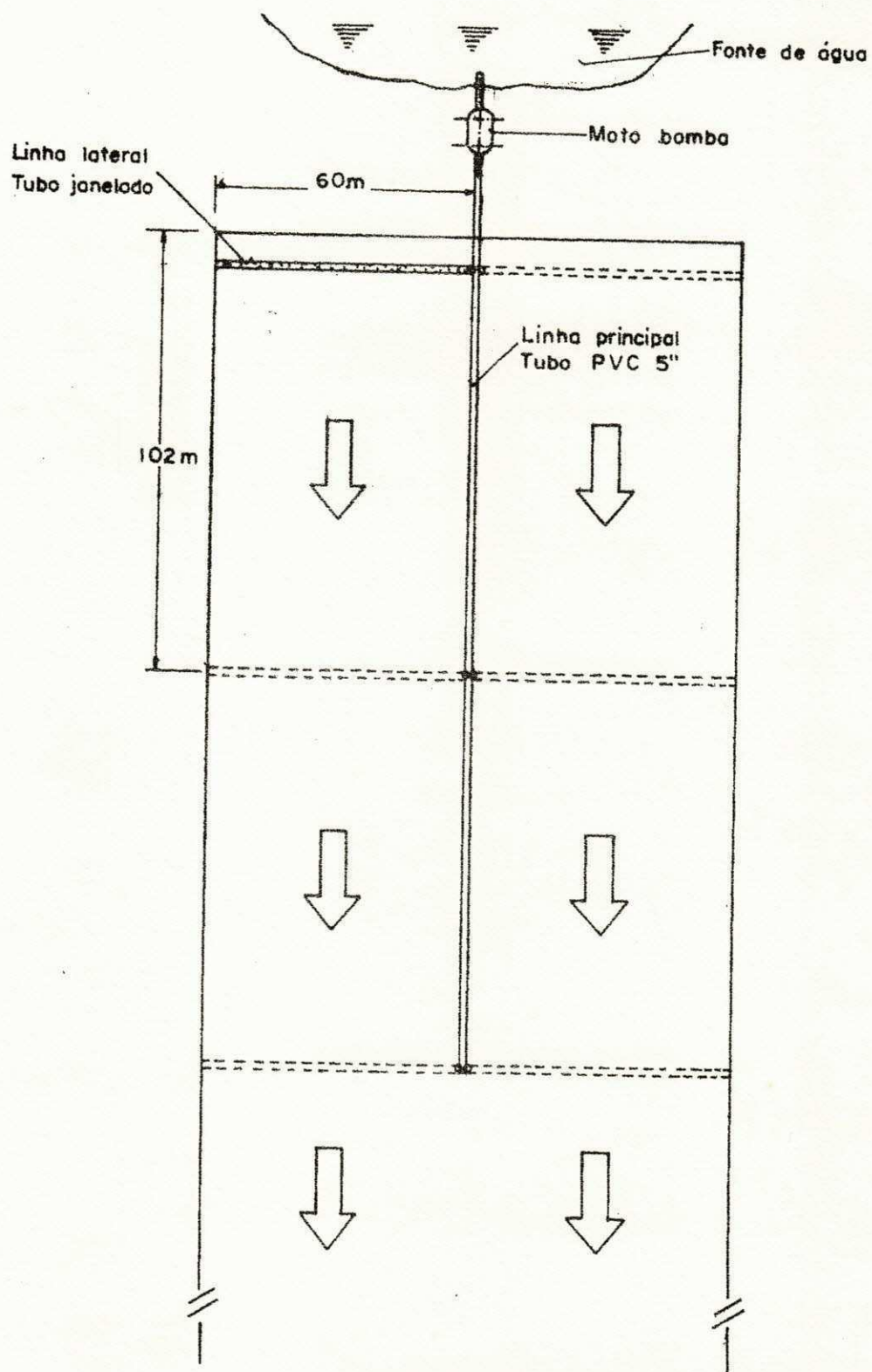


Figura: 09- Sistema de distribuição através de tubos perfurados.
A seta indica a direção dos sulcos

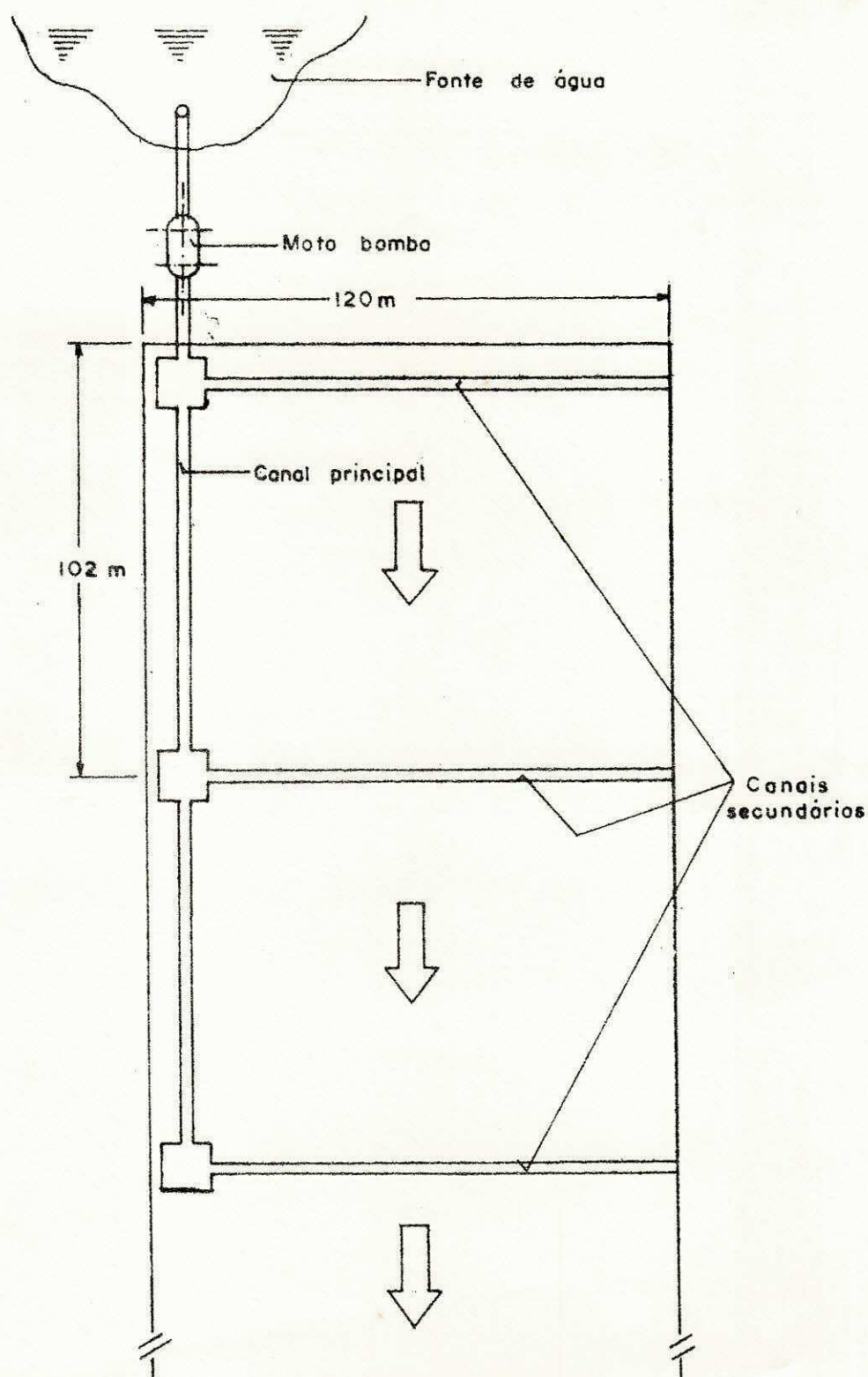


Figura:10-Sistema de distribuição através de canais.
A seta indica a direção dos sulcos

Tabela 5 - Comparação de custos iniciais de implantação entre o sistema de canais de alvenaria e tubos perfurados para uma área de 3,67 ha

DISCRIMINAÇÃO	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (Cr\$ 1,00)	
	CANAIS	TUBOS PERFURADOS
Tomada de água	32.500	32.500
Caixas de Distribuição com Comportas	90.000	-
Conjunto Moto-Bomba	195.000	255.000
Canais de Alvenaria	282.000	-
Tubos PVC de 5"	48.000	384.000
Bocais	-	12.000
Sifões	15.300	-
Mão-de-obra	68.000	14.300
Materiais Diversos	15.000	30.000
T O T A L	745.800	727.800

nais:

- com o mesmo sistema podem ser irrigadas outras áreas
- favorece enormemente o tráfego de implementos agrícolas

d) os tubos perfurados fornecem uma maior eficiência na condução e distribuição da água de irrigação, que os canais regularmente usados.

B I B L I O G R A F I A

- AVILA, GILBERTO SOTELO. Hidráulica General. Editorial Limusa S.A., p. 340-343, México, 1974.
- BERNARDO, SALASSIER. Irrigação por Superfície. Viçosa, Minas Gerais, Universidade Federal de Viçosa, p. 26-43, 1980.
- BOOHER, L. J. Surface Irrigation. FAO, Agricultural Development Paper Nº 95. 160 p. 1974.
- BOS, M. G. and NUGTEREN, J. On Irrigation Efficiencies. International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI. Publication 19. 1st edition, 1974.
- DAKER, ALBERTO. Irrigação e Drenagem. In: A água na Agricultura 4 ed., Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos S.A., v. 3 , 453 p. 1976.
- GIFFORD HILL & COMPANY INCORPORATED. Gated pipe information and design. Technical Bulletin. Lubbock, Texas, p. 1-12, 1979
- HASTINGS IRRIGATION SYSTEMS. Hastings Irrigation Pipe Co. Technical Bulletin. Hastings, Nebraska, s.d.
- HOUK, I. Irrigation Engineering. V. 1, John Wiley and Sons, Inc. New York, 1951.
- IRRIGATION HANDBOOK & DIRECTORY, Vol. I - Irrigation Data Inc. Lincoln, Nebraska, p. 213-233. 1972.

- ✓ ISRAELSEN, O. W. & HANSEN, V. E. Princípios y Aplicaciones del Riego. 2 ed. Barcelona, Editorial Reverté, S.A., 396 p. 1965
- ✓ JENSEN, MARVIN, S. W. ARNER & JOHN T. PHELAN. Improving Irrigation Efficiencies. In: Agronomy Monograph N° 11. Irrigation of Agricultural Lands. American Society of Agronomy, Chap. 61, p. 1120-1142. Madison, Wisconsin, 1967.
- KELLER, J. and A. W. Mc CULLOCH. Ames Irrigation Handbook. Second edition, section II: SMF-3. W. R. Ames Company, Milpitas, California, 1962.
- ✓ LEAL, MARCOS VENÍCIOS PEREIRA. Determinação da Eficiência de Irrigação, a nível de Parcela no Projeto de Irrigação Bebedouro. Petrolina, Pernambuco, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, p. 42-56, 1979.
- NETTO, J. M. de AZEVEDO. Manual de Hidráulica. 6 ed. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda., 333 p. 1977, v. I.
- NEVES, EURICO TRINDADE. Curso de Hidráulica. 6 ed. Porto Alegre, Editora Globo S.A., 577 p. 1979.
- ✓ NOGUEIRA, FRANCISCO DAS CHAGAS. Determinação de Eficiência de Aplicação de Água em Sulcos nos Perímetros Irrigados do Estado da Paraíba. Campina Grande, UFPb., p. 4-13, 1976.
- SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. Statistical Methods. Ames, Iowa State College, 1974. 593 p.
- THORNE, D. W. y PETERSON H. B. Técnica del Riego. Fertilidade y Explotacion de los suelos. 2a. ed. Compañia Editorial Continental, S. A., 496 p., 1965.