

## COEFICIENTES DE VAZÃO EM TUBOS CURTOS AFOGADOS, USADOS EM TOMADAS D'ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO<sup>1/</sup>

Blamor Torres Loureiro<sup>2/</sup>  
Abílio José Antunes<sup>3/</sup>  
Salassier Bernardo<sup>2/</sup>  
Wilson Deniculi<sup>2/</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil figura entre as dez maiores nações do mundo, não só em extensão territorial e populacional, mas também no aspecto econômico. Apesar de contar com os maiores mananciais hídricos do mundo, a agricultura brasileira, na década de 70, utilizava irrigação somente em 800.000 ha (menos de 2% da área agrícola, que era de 50.000.000 ha), percentual ínfimo, em relação a outros países, como China e México, por exemplo, que irrigavam 50 e 25%, respectivamente, das terras próprias para a agricultura (6).

Essa situação começou a mudar na década atual, com o aproveitamento das várzeas irrigáveis, atividade iniciada e desenvolvida no Estado de Minas Gerais.

Segundo LAMSTER (6), levantamentos revelaram um total de 1.500.000 ha de várzeas irrigáveis, parcial ou totalmente inaproveitadas, no Estado de Minas Gerais. Dessa área, 70% contam com saneamento básico e 50% com água aduzida por gravidade.

Objetivando reverter essa situação, foi criado o PROVÁRZEAS (Programa Nacional para o Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis). Sua característica é a elaboração de estudos, projetos e obras que possibilitem o saneamento, a

---

<sup>1/</sup> Parte da tese apresentada, pelo segundo autor, à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de «Magister Scientiae» em Engenharia Agrícola.

Aceito para publicação em 22-02-1988.

<sup>2/</sup> Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

<sup>3/</sup> Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais, EMATER, 30350 Belo Horizonte, MG.

drenagem e a irrigação das baixadas, ficando os encargos financeiros por conta dos beneficiados. Todavia, o Programa procura efetuar o mínimo de investimento possível por hectare, utilizando, ao máximo, recursos, meios e costumes das comunidades envolvidas.

As metas governamentais propõem 1.220.000 ha em projetos do PROVÁRZEAS, com capacidade de propiciar 305.000 empregos e produção nacional de 7.000.000 t de grãos (4).

Tais propósitos, associados à boa receptividade do Programa entre os produtores rurais, demonstram que há grande expectativa quanto às atividades a serem desenvolvidas.

Projeto de irrigação e, ou, drenagem só poderão ser bem dimensionados e devidamente operados quando se tiver conhecimento quantitativo dos volumes hídricos envolvidos. Isso significa, além de outros fatores, o uso de leis da mecânica dos fluidos, ajustadas por coeficientes próprios dos materiais usados na adução da água.

Nos projetos do PROVÁRZEAS, os coeficientes hidráulicos são pouco conhecidos, em parte pelas próprias características desses projetos. São exemplos as tomadas de água que interligam os canais de distribuição e as parcelas irrigadas, onde é comum o uso de condutos feitos de bambu gigante vazado, de dimensões e formas indefinidas.

Nos casos em que se utilizam tubos produzidos industrialmente, com medidas definidas e acabamento controlado, como os tubos de PVC, em substituição aos de bambu vazado, pode-se chegar a estimativas conflitantes de velocidade da água e vazão tomada, dependendo da fonte de informação seguida.

A explicação da diferença de resultados nas estimativas de vazão de uma mesma tomada, embora todos os cálculos sigam os mesmos princípios, está no valor do coeficiente de vazão, que é definido como a relação entre a vazão real e a vazão teórica.

As tomadas de água para irrigação, quer na forma de sifões, quer na forma de tubos curtos, são, teoricamente, comparáveis aos orifícios, o que pode ser confirmado por meio de gráficos ou tabelas disponíveis na literatura (2, 3, 8, 9). Isso significa que essas tomadas são regidas pela equação da continuidade e pela equação de Bernoulli. Para estimar a vazão teórica, usam-se esses princípios e, para estimar a real, multiplica-se a teórica por um coeficiente experimental, denominado coeficiente de descarga ou de vazão, conforme a equação a seguir:

Objetivando reverter essa situação, foi criado o PROVÁRZEAS (Programa Nacional para o Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis), um instrumento técnico e a elaboração de estudos, projetos e obras que possibilitem o aproveitamento em que:

$$Q_r = C_v \cdot S \cdot \sqrt{2gh} \quad \text{eq. 1}$$

$Q_r$  = vazão real,  $m^3 \cdot s^{-1}$ ;

$C_v$  = coeficiente de vazão, adimensional;

$S$  = área da seção transversal,  $m^2$ ;

$g$  = aceleração da gravidade,  $m \cdot s^{-2}$ ;

$h$  = carga hidráulica, m.

A importância dos coeficientes de vazão nos cálculos hidráulicos e o fato de eles não terem sido aferidos nos projetos de irrigação do PROVÁRZEAS, justificam esta pesquisa, que visa contribuir para o uso mais eficiente e mais econômico da água na agricultura brasileira. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivos:

ACEITO PARA PUBLICAÇÃO EM 22-03-1988.

EMATER, 30830 Belo Horizonte, MG.

- a) determinar coeficiente de vazão em manilhas de barro e tubos de PVC, operando sob descarga afogada, e  
 b) analisar o efeito de locação da tomada de água, em relação ao fundo do canal, sobre esses coeficientes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Coeficiente de Vazão

Os coeficientes de vazão foram determinados no Laboratório de Hidráulica da UFV. Os tubos de PVC, do tipo utilizado de instalação de esgoto, norma EB 608 JO da ABNT, marca Tigre, com três metros de comprimento, foram adquiridos no comércio, com diâmetro nominal de 40, 50, 75 e 100 mm, três peças de cada diâmetro, retiradas, por sorteio, de lotes de 30 unidades por diâmetro. Cada tubo foi cortado, com serra de arco, em três segmentos, com comprimento de 60, 80 e 120 cm, eliminando-se a ponta e a bolsa original e raspando-se as rebarbas resultantes do corte. Em cada segmento foram feitas oito medições de diâmetro, quatro em cada extremidade, em direções que formavam ângulos de 45°, com a utilização de paquímetro com precisão de um décimo de milímetro. A média aritmética das oito leituras de cada peça foi considerada como diâmetro dessa peça.

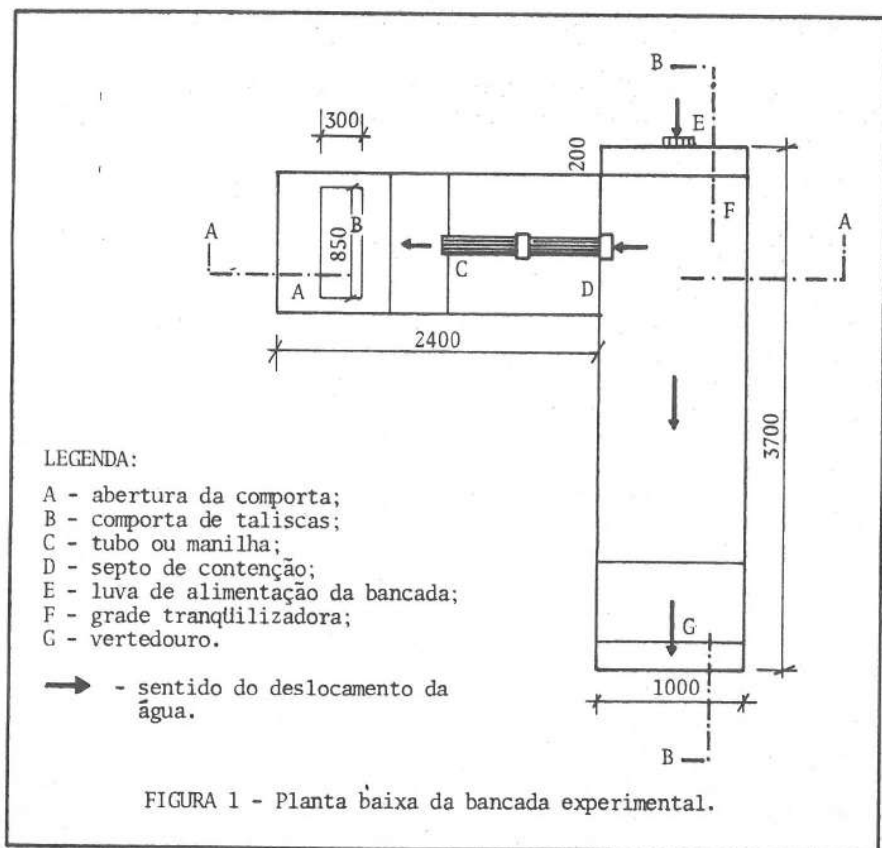
As manilhas de barro, sem marca comercial definida, num total de cinco unidades de cada um dos diâmetros nominais (70, 100 e 150 mm), foram retiradas, por sorteio, de lotes de 30 unidades por diâmetro. Após três dias de submersão em água, os diâmetros foram medidos, com o uso de trena, com precisão de um milímetro, determinando-se a média aritmética dos diâmetros internos da ponta e da bolsa em oito medidas, em direções que formavam ângulos de 45°. A média aritmética das oito leituras de cada peça foi considerada como o diâmetro dessa peça.

O coeficiente de vazão foi considerado como a divisão da vazão real na tomada de estudo pela vazão teórica, para a mesma seção e altura de carga. A vazão real foi obtida pelo método volumétrico, sendo o tempo medido por meio de um cronômetro digital, com precisão de centésimo de segundo, e o volume determinado com o uso da caixa de calibração do Laboratório de Hidráulica da UFV, complementada pela banca experimental representada nas Figuras 1 e 2, com a qual se procurou reproduzir em laboratório as condições existentes nas tomadas de água operantes em culturas irrigadas.

Ainda em relação à calha simuladora do canal de irrigação, deve-se explicar que contava com um orifício na parede vertical de conexão com a outra calha, situado acima de seu fundo, destinado a receber a extremidade da tomada estudada, organização que permitia ficasse o tubo estudado em posição elevada, em relação ao fundo, de até 18 cm. Mediante o uso de um fundo falso, constituído de um tabuleiro de folha-de-flandres, paralelo ao fundo da calha e colocado entre este e a tomada d'água, foi possível estudar diversas alturas de tomadas d'água, em relação ao fundo da seção adutora, sem deslocamento da tomada. Toda a água descarregada na estrutura era forçada sobre o fundo falso, em razão de obstáculos que impediam sua passagem entre o fundo da calha (fixo) e o fundo móvel, transformando este em fundo real da seção adutora.

A calha mais curta destinava-se a receber os tubos a serem estudados, os quais foram fixados sobre cavaletes, com uma das extremidades introduzida na calha do canal pelo orifício já citado. A vedação do tubo no orifício foi conseguida com massa de calafetação e borracha de silicone.

O estudo foi sempre conduzido com descargas afogadas, que podem ser obti-



das por meio de uma comporta de taliscas, forçando-se a passagem da água sobre essa comporta, como num vertedouro. Os níveis d'água a jusante e a montante das tomadas estudadas foram medidos por meio de dois piezômetros transparentes, colocados sobre escala graduada em milímetros e conectados ao fundo das duas calhas.

A água aduzida pela tomada estudada, após passar sobre a comporta de taliscas, quando se desejava, era encaminhada à caixa de calibração do laboratório ou, então, desviada para a rede de drenagem, por meio de uma comporta tipo alçapão.

### 2.2.1. Vazão em Tubos de PVC Instalados no Fundo do Canal

Foi utilizado um modelo experimental inteiramente ao acaso, no esquema fatorial  $4 \times 4 \times 5$ , com cinco repetições, sendo fatores o comprimento, com valores de 60, 80, 100 e 120 cm, o diâmetro, com valores de 40, 50, 75 e 100 mm, e a altura de carga, com valores de 20, 80, 180, 320 e 500 mm. As tomadas de água foram colocadas a 20 mm do fundo do canal.

### 2.2.2. Efeito da Distância entre a Seção da Tomada e o Fundo do Canal no Coeficiente de Vazão

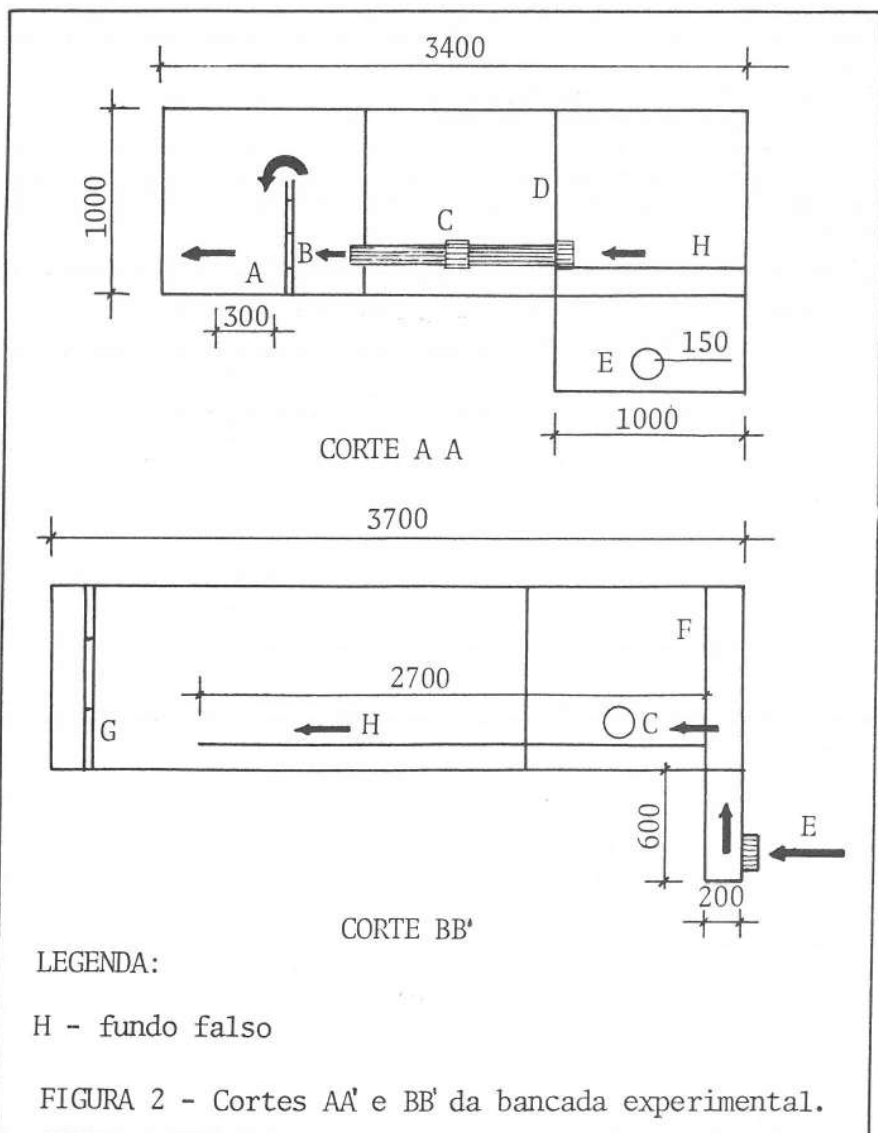
Foram usados tubos de PVC com diâmetros de 40, 50, 75 e 100 mm, comprimentos de 60, 80, 100 e 120 cm e alturas de carga de 20, 80, 180, 320 e 500 mm, como

no estudo anterior, associados a quatro alturas de tomada, em relação ao fundo do canal: 20, 67, 114 e 187 mm.

O modelo experimental usado foi o de parcelas subdivididas, com as parcelas dispostas em quadrado latino, tendo as quatro elevações sobre o fundo constituído as parcelas e as cinco alturas de carga, as subparcelas. Os diâmetros e os comprimentos constituíram as colunas e as linhas, respectivamente.

### 2.2.3. Vazão nas Manilhas de Barro

Nos testes com as manilhas não foi usado o fundo falso, ficando as tomadas 20 cm, aproximadamente, acima do fundo do canal.



O experimento foi inteiramente ao acaso, no esquema fatorial 3 x 2 x 5, com cinco repetições, sendo fatores o diâmetro, com valores de 70, 100 e 150 mm, o comprimento, com valores de 50 e 100 cm, e a altura de carga, com valores de 20, 80, 180, 320 e 500 mm.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Medidas, Calibrações e Parâmetros Hidráulicos

##### 3.1.1. Diâmetros dos Tubos de PVC e das Manilhas de Barro

A média dos diâmetros de cada grupo de nove peças de PVC, do mesmo diâmetro nominal, está apresentada no Quadro 1.

Os valores de 37,5, 47,4, 72,1 e 98,1 mm foram adotados como representativos dos diâmetros nominais de 40, 50, 75 e 100 mm, respectivamente, para cálculo da seção adutora considerada como círculo.

Para as manilhas de barro (Quadro 2), as médias apresentadas referem-se a cinco peças, para cada diâmetro nominal.

De cada manilha, foi calculada a área da seção, com base no diâmetro médio da peça. Nas tomadas d'água que envolviam duas manilhas, considerou-se como seção adutora a área do círculo, com diâmetro equivalente ao da média das duas manilhas.

QUADRO 1 - Diâmetros nominais e internos dos tubos de PVC

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno	
	Média (mm)	Desvio-padrão (mm)
40	37,5	0,1021
50	47,4	0,0980
75	72,1	0,0488
100	98,1	0,0706

QUADRO 2 - Diâmetros nominais das manilhas de barro

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno	
	Média (mm)	Desvio-padrão (mm)
70	74	2,5
100	96	3,9
150	142	6,14

### 3.1.2. Parâmetros Hidráulicos

Os parâmetros hidráulicos, mínimos e máximos, das tomadas d'água e do canal alimentador a montante e a jusante dessas tomadas, para tubos de PVC e para manilhas de barro, são apresentados nos Quadros 3, 4 e 5.

### 3.2. Coeficiente de Vazão

#### 3.2.1. Vazão nos Tubos de PVC Instalados no Fundo do Canal Adutor

Os coeficientes de vazão referentes às tomadas d'água construídas com tubos de PVC instalados no fundo do canal estão representados no Quadro 6.

A análise de variância mostrou efeito significativo, ao nível de 1% de probabilidade, do diâmetro, do comprimento da tubulação e da altura da carga sobre o coeficiente de vazão, ocorrendo o mesmo com todas as suas interações. Esse resultado coincide com as indicações de SCHUAB *et alii* (8), para sifões de alumínio, e com as proposições de AZEVEDO NETTO e ALVAREZ (1), KING *et alii* (5) e NEVES (7), para bueiros, segundo os quais o coeficiente de vazão cresce com o aumento do diâmetro e diminui com o aumento do comprimento da tubulação, ao contrário das indicações de BOOHER (2) e de DELOYE e REBOUR (3), para sifões, os quais disseram que o coeficiente de vazão apresenta valor constante.

QUADRO 3 - Parâmetros hidráulicos dos testes com tubos de PVC instalados no fundo do canal

Item	Máximo	Mínimo
Temperatura (°C)	28	24
Tubo:		
. Vazão (l/s)	17,3	0,41
. Velocidade (m/s)	2,31	0,37
. Nº de Reynolds	$2,2 \times 10^5$	$1,4 \times 10^4$
. Coef. de vazão	0,738	0,593
Canal:		
. Seção (m <sup>2</sup> )	0,7100	0,1920
A montante do canal:		
. Vazão (l/s)	49,0	7,3
. velocidade (m/s)	0,144	0,016
. Nº de Froude	0,089	0,006
. Nº de Reynolds	$4,9 \times 10^4$	$7,3 \times 10^3$
A jusante do canal:		
. Vazão (l/s)	35,2	6,0
. Velocidade (m/s)	0,120	0,013
. Nº de Froude	0,074	0,005
. Nº de Reynolds	$3,5 \times 10^4$	$6,0 \times 10^3$

QUADRO 4 - Parâmetros hidráulicos dos testes de determinação do efeito da elevação das tomadas d'água no fundo do canal sobre os coeficientes de vazão

Item	Máximo	Mínimo
Temperatura (°C)	28	24
Tubo:		
. Vazão (l/s)	17,3	0,41
. Velocidade (m/s)	2,31	0,37
. N° de Reynolds	$2,2 \times 10^5$	$1,4 \times 10^4$
. Coef. de vazão	0,738	0,587
Canal:		
. Seção (m <sup>2</sup> )	0,843	0,192
A montante do canal:		
. Vazão (l/s)	48,9	7,2
. Velocidade (m/s)	0,144	0,013
. N° de Froude	0,088	0,005
. N° de Reynolds	$4,9 \times 10^4$	$7,2 \times 10^3$
A jusante do canal:		
. Vazão (l/s)	35,2	5,8
. Velocidade (m/s)	0,120	0,010
. N° de Froude	0,073	0,004
. N° de Reynolds	$3,5 \times 10^4$	$5,8 \times 10^4$

Para tubos de PVC, o coeficiente de vazão pode ser estimado pela equação de regressão:

$$C = 0,800 D^{0,0481} \cdot h^{0,0294} \cdot L^{-0,0729} \quad \text{eq.2}$$

em que

- D = diâmetro da tomada d'água, mm;
- h = carga hidráulica, mm;
- L = comprimento da tomada d'água, mm.

### 3.2.2. Efeito da Posição da Tomada d'Água, em relação ao Fundo do Canal, em Tubos de PVC

Estudando as quatro distâncias entre a seção adutora e o fundo do canal, 20, 67, 114 e 187 mm, respectivamente, e associando-as aos diâmetros, aos comprimentos da tomada e às alturas de carga, têm-se as combinações usadas na verificação do efeito da elevação sobre o coeficiente de vazão, cujos valores estão no Quadro 7.



Houve efeito significativo, ao nível de 1%, para diâmetro, comprimento da tomada d'água e altura de carga, resultado similar aos apresentados no item anterior. Entretanto, o efeito da elevação da tomada d'água sobre o fundo do canal não foi significativo, ao nível de 5% de probabilidade. Esse resultado difere das proposições de AZEVEDO NETTO e ALVAREZ (1) e de NEVES (7), para orifícios em posição similar de operação, possivelmente em razão das baixas velocidades da água nas tomadas correspondentes às alturas de carga estudadas.

### 3.2.3. Vazão nas Manilhas de Barro

No Quadro 8 estão apresentados os coeficientes de vazão referentes às manilhas de barro.

Houve efeito significativo, ao nível de 1% de probabilidade, de diâmetro, comprimento de tomada d'água e altura de carga, bem como de todas as suas interações. Esse resultado foi semelhante ao obtido para tubos de PVC, de acordo com as proposições de AZEVEDO NETTO e ALVAREZ (1), KING *et alii* (5) e NEVES (7), e discordante das indicações de BOCHER (2) e DELOYE e REBOUR (3). Observa-se também que os coeficientes de vazão das manilhas foram mais elevados do que os das tomadas de PVC (média de 0,82 para os primeiros e 0,69 para os últimos), apesar da visível menor rugosidade dos tubos de PVC. Uma possível explicação para o fato estaria nas melhores condições de entrada de água nas mani-

QUADRO 5 - Parâmetros hidráulicos dos testes de determinação dos coeficientes de vazão em manilhas de barro

Item	Máximo	Mínimo
Temperatura (°C)	27	26
Tubo:		
. Vazão (l/s)	47,8	2,1
. Velocidade (m/s)	2,81	0,47
. Nº de Reynolds	$4,1 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$
. Coef. de vazão	0,896	0,751
Canal:		
. Seção (m <sup>2</sup> )	0,871	0,353
A montante do canal:		
. Vazão (l/s)	75,9	12,5
. Velocidade (m/s)	0,127	0,027
. Nº de Froude	0,060	0,010
. Nº de Reynolds	$7,8 \times 10^4$	$1,3 \times 10^4$
A jusante do canal:		
. Vazão (l/s)	43,2	9,2
. Velocidade (m/s)	0,089	0,013
. Nº de Froude	0,042	0,004
. Nº de Reynolds	$4,4 \times 10^4$	$9,5 \times 10^3$

QUADRO 6 - Vazão em tubos de PVC instalados no fundo do canal

Comprimento (cm)	Altura de carga (mm)	Diâmetros (mm)			(Média)
		40	50	75	
60	20	0,653	0,665	0,698	0,658
	80	0,687	0,703	0,704	0,713
	180	0,701	0,719	0,725	0,724
	320	0,703	0,724	0,725	0,726
	500	0,712	0,736	0,736	0,731
(Média)		(0,691)	(0,709)	(0,718)	(0,710)
80	20	0,616	0,648	0,669	0,653
	80	0,656	0,673	0,692	0,704
	180	0,694	0,700	0,711	0,717
	320	0,699	0,702	0,715	0,718
	500	0,699	0,715	0,722	0,720
(Média)		(0,673)	(0,688)	(0,702)	(0,691)
100	20	0,596	0,624	0,671	0,632
	80	0,623	0,663	0,681	0,697
	180	0,669	0,689	0,706	0,705
	320	0,677	0,694	0,709	0,705
	500	0,681	0,716	0,715	0,713
(Média)		(0,649)	(0,677)	(0,696)	(0,678)
120	20	0,644	0,622	0,662	0,650
	80	0,638	0,657	0,669	0,682
	180	0,640	0,677	0,697	0,702
	320	0,669	0,682	0,698	0,700
	500	0,668	0,697	0,706	0,710
(Média)		(0,652)	(0,667)	(0,686)	(0,674)
					(0,687)
					(0,688)
					(0,689)
					(0,690)
					(0,691)
					(0,692)
					(0,693)
					(0,694)
					(0,695)
					(0,696)
					(0,697)
					(0,698)
					(0,699)
					(0,700)
					(0,701)
					(0,702)
					(0,703)
					(0,704)
					(0,705)
					(0,706)
					(0,707)
					(0,708)
					(0,709)
					(0,710)
					(0,711)
					(0,712)
					(0,713)
					(0,714)
					(0,715)
					(0,716)
					(0,717)
					(0,718)
					(0,719)
					(0,720)
					(0,721)
					(0,722)
					(0,723)
					(0,724)
					(0,725)
					(0,726)
					(0,727)
					(0,728)
					(0,729)
					(0,730)
					(0,731)
					(0,732)
					(0,733)
					(0,734)
					(0,735)
					(0,736)
					(0,737)
					(0,738)
					(0,739)
					(0,740)
					(0,741)
					(0,742)
					(0,743)
					(0,744)
					(0,745)
					(0,746)
					(0,747)
					(0,748)
					(0,749)
					(0,750)

QUADRO 7 - Coeficiente de vazão nos tubos de PVC instalados a diferentes distâncias do fundo do canal

Comprimento (cm)	Tratamento e altura de carga (mm)	Diâmetro (mm)				Média
		40	50	75	100	
Elevação (mm)						
		187	67	20	114	
60	20	0,650	0,661	0,698	0,704	(0,678)
	80	0,678	0,704	0,704	0,707	(0,688)
	180	0,705	0,719	0,725	0,725	(0,719)
	320	0,711	0,726	0,725	0,727	(0,722)
	500	0,724	0,736	0,733	0,729	(0,731)
(Média)		(0,694)	(0,709)	(0,717)	(0,718)	(0,710)
Elevação (mm)						
		67	114	187	20	
80	20	0,621	0,640	0,679	0,653	(0,648)
	80	0,658	0,679	0,797	0,704	(0,685)
	180	0,691	0,696	0,711	0,717	(0,704)
	320	0,698	0,699	0,714	0,718	(0,707)
	500	0,700	0,713	0,721	0,721	(0,714)
(Média)		(0,674)	(0,685)	(0,704)	(0,702)	(0,691)
Elevação (mm)						
		114	20	67	187	
100	20	0,590	0,624	0,680	0,670	(0,641)
	80	0,632	0,663	0,692	0,703	(0,673)
	180	0,672	0,689	0,701	0,709	(0,695)
	320	0,676	0,694	0,708	0,712	(0,698)
	500	0,677	0,716	0,713	0,716	(0,706)
(Média)		(0,649)	(0,677)	(0,699)	(0,702)	(0,622)
Elevação (mm)						
		20	187	114	67	
120	20	0,643	0,623	0,670	0,635	(0,643)
	80	0,638	0,650	0,681	0,686	(0,664)
	180	0,640	0,669	0,695	0,702	(0,677)
	320	0,669	0,678	0,698	0,707	(0,688)
	500	0,668	0,691	0,704	0,704	(0,692)
(Média)		(0,652)	(0,662)	(0,690)	(0,687)	(0,673)
		(0,667)	(0,683)	(0,703)	(0,702)	(0,689)

lhas, onde a seção convergente propiciada pela bolsa, à maneira dos bocais convergentes, e a quina arredondada do início do duto, próxima à dos bueiros chanfrados, propiciariam maior eficiência na adução.

Levando em consideração que as tomadas d'água em que se usaram manilhas foram construídas com peças inteiras e que não se usa cortá-las para ajuste do comprimento, no estudo da regressão fixou-se o comprimento em uma ou duas manilhas, nas quais foram descartadas as variáveis com significação a 5% de probabilidade, ou acima, do que resultou o seguinte:

a) para tomadas d'água com comprimento de uma manilha, a equação 3 estima valores do coeficiente de vazão com coeficiente de determinação de 0,935:

$$C = 2,880 \times 10^{-5} D^2 - 6,149 \times 10^{-3} D - 2,055 \times 10^{-7} h^2 + 1,857 \times 10^{-4} h + 1,122 \quad \text{eq. 3}$$

b) para tomadas d'água com duas manilhas, a equação 4 estima valores do coeficiente de vazão com coeficiente de determinação de 0,953:

$$C = 6,671 \times 10^{-3} D - 3,112 \times 10^{-5} D^2 + 1,892 \times 10^{-4} h - 1,894 \times 10^{-7} h^2 + 0,442 \quad \text{eq. 4}$$

#### 4. RESUMO

Nas instalações do Laboratório de Hidráulica da UFV, complementadas com uma bancada experimental, foram determinados coeficientes de vazão para tubos curtos afogados.

QUADRO 8 - Coeficientes de vazão nas manilhas de barro

Comprimento	Altura de carga (mm)	Diâmetros (mm)			(Média)
		70	100	150	
Uma manilha	20	0,834	0,796	0,843	(0,824)
	80	0,831	0,814	0,840	(0,882)
	180	0,854	0,826	0,875	(0,852)
	320	0,852	0,828	0,884	(0,855)
	500	0,868	0,832	0,885	(0,862)
(Média)	-	(0,848)	(0,819)	(0,865)	(0,844)
Duas manilhas	20	0,773	0,798	0,752	(0,774)
	80	0,781	0,816	0,755	(0,784)
	180	0,797	0,831	0,789	(0,806)
	320	0,800	0,831	0,792	(0,808)
	500	0,812	0,842	0,806	(0,820)
(Média)	-	(0,793)	(0,824)	(0,779)	(0,798)
(Média)	-	(0,821)	(0,822)	(0,822)	(0,821)

Foram usados tubos de PVC de baixa pressão e manilhas de barro, os primeiros no diâmetro nominal de 40, 50, 75 e 100 mm e as últimas no diâmetro nominal de 150 mm.

O comprimento das tomadas d'água variou de 60 a 120 cm para os tubos de PVC e de uma a duas unidades para as manilhas de barro. Ainda utilizando os tubos de PVC, foi estudado o efeito da distância entre o tubo e o fundo do canal, com valores de 20 a 187 mm.

Em todas as determinações foram usadas cargas hidráulicas que variaram de 20 a 500 mm.

Para as condições em que o estudo foi realizado, concluiu-se que:

a) o coeficiente de vazão está relacionado com o diâmetro, com o comprimento da tomada e com a altura da carga hidráulica, ocorrendo o mesmo com as suas diversas interações; o valor desse coeficiente cresce com o aumento do diâmetro e da carga hidráulica, decrescendo com o aumento do comprimento da tomada;

b) para os tubos estudados, recomendam-se as seguintes equações para estimar o coeficiente de vazão:

— PVC

$$C = 0,800 D^{0,0481} h^{0,0294} L^{-0,0729}$$

— uma manilha:

$$C = 2,880 \times 10^{-5} D^2 - 6,149 \times 10^{-3} D - 2,055 \times 10^{-7} h^2 + 1,857 \times 10^{-4} h + 1,122.$$

— duas manilhas:

$$C = 6,671 \times 10^{-3} D - 3,112 \times 10^{-5} D^2 + 1,892 \times 10^{-4} h - 1,894 \times 10^{-7} h^2 + 0,442,$$

em que:

C = coeficiente de vazão, adimensional;

D = diâmetro da seção adutora, mm;

h = altura da carga, mm;

L = comprimento da tomada d'água, mm.

c) não foi encontrado efeito significativo da distância entre a seção adutora e o fundo do canal sobre os valores do coeficiente de vazão;

d) para os diâmetros e alturas de carga estudados, visando à determinação do coeficiente de vazão, essa diferença foi sempre inferior a 2,22% da vazão teórica.

Os aspectos e o material estudado constituem abordagem inicial e limitada do problema. Outro material e situações de operação devem ser estudados, razão por que se sugere a continuação deste trabalho.

## 5. SUMMARY

### (DISCHARGE COEFFICIENTS FOR SHORT SUBMERSED TUBES USED IN IRRIGATION WATER OUTLETS)

This study was conducted at the Hydraulics Laboratory of the Federal University of Viçosa, Minas Gerais, Brazil, to determine discharge coefficients using low pressure PVC tubes (diameters: 40, 50, 75 and 100 mm) and ceramic clay tubes (diameter: 150 mm). The length of the PVC tubes varied from 60 to 120 cm and the ceramic clay tubes from one to two tube units. For PVC tubes the effect of canal depth was also studied. In all cases the hydraulic pressure varied from 20 to 500 mm. Equations were derived for the calculation of discharge coefficients.

## 6. LITERATURA CITADA

1. AZEVEDO NETTO, J.M. & ALVAREZ, C.A. *Manual de hidráulica*. 6.<sup>a</sup> ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1977. 668 p.
2. BOOHER, L.O. *Riego superficial*. Roma, F.A.O., 1968. 168 p.
3. DELOYE, M. & REBOUR, H. *L'Irrigation en grandes culture*. [s.l.] Diffusion du Livre, 1953. 287 p.
4. EMBRATER — Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis. PROVÁRZEAS Nacional. *Relatório de atividades de 1984*. Brasília, 1985. 65 p. (Relatórios Técnicos, 18.)
5. KING, H.W.; WISLER, C.O.; WOODBURN, J.C. *Hidráulica*. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1957. 352 p.
6. LAMSTER, E.C. Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzeas. PROVÁRZEAS Nacional. In: Brasil. Ministério da Agricultura. *Informação técnica*, I[s.d.] p. 7-11.
7. NEVES, E.T. *Curso de hidráulica*. 6.<sup>a</sup> ed. Porto Alegre, Globo, 1979. 577 p.
8. SCHUAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W.; BARNES, K.K. *Soil and water conservation engeneering*. 2nd. ed. New York, John Wiley, 1966. 638 p.
9. SCOTT, V.H. & HOUSTON, C.E. *Mesuring irrigation water*. [s.l.] California Agricultural Extension Service/University of California, 1959. 52 p. (Circular, 473.)