

Julho e Agosto de 1986

VOL. XXXIII

N.º 188

Viçosa — Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

HIDRÁULICA DE LINHAS LATERAIS DE
IRRIGAÇÃO COM MICROASPERSOR
«DANTAS MA 120» ^{1/}

Luiz Antonio Dias Paes ^{2/}
Blanor Torres Loureiro ^{3/}
Salassier Bernardo ^{3/}
Paulo Afonso Ferreira ^{3/}

1. INTRODUÇÃO

Os microaspersores, em uma linha lateral de irrigação por microaspersão, são espaçados, com intervalos constantes, de acordo com a cultura irrigada, fornecendo uma vazão que é controlada pela carga hidráulica na entrada do emissor. Como a pressão na linha lateral sofre variação, devido às perdas de energia da água por atrito ao longo do tubo e nas inserções dos microaspersores, bem como aos ganhos ou perdas de energia de posição, a uniformidade de aplicação de água ao longo dessa linha é afetada.

Segundo vários autores (2, 5, 9, 10), as equações de Hazen-Willians e de Darcy-Weisbach vêm sendo aplicadas com maior freqüência na determinação das perdas por atrito em linhas laterais de irrigação.

Diferentes valores do coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Willians são apresentados para tubos de polietileno liso. HOWELL e HILER (8) determi-

^{1/} Parte da tese apresentada, pelo primeiro 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 5-11-1985.

^{2/} Departamento de Agricultura da UNESP. 15378 Ilha Solteira, SP.

^{3/} Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

naram valor de C igual a 130 para tubo de 1/2" (diâmetro interno de 12,7 mm) e C igual a 128 para tubo Drip-eze DH580 (diâmetro interno de 14,7 mm). KARMELI e KELLER (10) apresentaram gráficos de perda de carga calculada com C igual a 150. Os compêndios de hidráulica, em geral, dão valor de 140 a C, em consonância com os autores da equação. OLIVEIRA (11), trabalhando com tubos de polietileno, verificou que C variou conforme a vazão e diâmetro do tubo, encontrando um valor médio igual a 144. FARIA (6), trabalhando com tubo de polietileno de 1/2" (diâmetro interno de 14,9 mm), observou que os valores de C variaram conforme a vazão na linha, encontrando um valor médio de 136. Determinou, também, um valor médio de C igual a 128 para o mesmo tubo, agora com microgotejadores insertos.

Segundo BEZDEC e SOLOMON (3), estudos feitos por Urbina mostraram que, apesar de se selecionar o valor de C para uso da equação de Hazen-Willians, a equação de Darcy-Weisbach é mais precisa para calcular as perdas de carga em tubos de plástico com pequeno diâmetro, usados nas linhas laterais de irrigação localizada, o que também foi observado por PARAQUEIMA (13).

A equação de Darcy-Weisbach pode ser utilizada tanto para regime laminar como para regime turbulento. O fator de atrito dessa equação depende do número de Reynolds e da rugosidade relativa do tubo (15). Como em irrigação por microaspersão são usados tubos lisos (geralmente de polietileno), a rugosidade relativa pode ser desprezada, considerando-se apenas o número de Reynolds. Para determinar esse fator de atrito, f , utiliza-se, em regime laminar, a expressão de Poiseuilli, em que $f = 64/Re$; em regime turbulento, utiliza-se a expressão de Blasius, em que $f = 0,3164/Re^{0.25}$, que, de acordo com FEGHALI (7), fornece uma boa aproximação até número de Reynolds igual a 100.000.

Para determinar a perda de carga que ocorre em uma linha lateral de irrigação por microaspersão, seria necessário computar a variação de perda de carga entre cada duas saídas adjacentes, adicionando-a à que ocorre no ponto de inserção do microaspersor. Tal cálculo, feito do final para o início da linha lateral, requer muito trabalho, caso não se disponha de um computador. CHRISTIANSEN (4), para simplificar esse cálculo, determinou um valor do coeficiente de redução de perda de carga, F , que, multiplicado pela perda de carga no tubo, como se não houvesse saída, permite estabelecer a perda de carga na linha de irrigação. Vários autores (6, 8, 11, 14), entretanto, trabalhando com sistemas de irrigação por gotejamento, observaram que o valor de F aumenta, para um mesmo número de gotejadores, quando se reduz o espaçamento entre eles.

Este trabalho teve como objetivos o estudo da perda de carga na linha lateral de irrigação, o estabelecimento de valores do coeficiente de redução de perda de carga e a determinação do número máximo de microaspersores Dantas MA 120 por linha lateral.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

A linha de teste foi constituída de 30 m de tubo de polietileno preto, marca CIPLA, com bitola nominal de 3/4" x 2,5 mm e diâmetro real de 19,6 mm, na qual foram insertos 10 microaspersores Dantas MA 120, previamente vedados, espaçados de 3 m.

De acordo com a metodologia descrita por OLIVEIRA (11), a linha de teste foi submetida a diferentes vazões, determinando-se, assim, a perda de carga no tubo

e, posteriormente, a perda de carga no tubo com microaspersores vedados, estabelecendo-se, por meio de análise de regressão, equações do tipo:

$$H_f = a Q^b, \quad \text{eq. 1}$$

em que H_f é a perda de carga no tubo ou perda de carga no tubo com microaspersores vedados, em m.m^{-1} ; Q é a vazão, em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; a é a constante, que depende do tubo estudado, e b é o coeficiente, que depende do regime de escoamento.

Com a finalidade de encontrar o coeficiente de rugosidade (C) da equação de Hazen-Willians, para o material estudado, utilizou-se a expressão

$$C = [4,34674 \times 10^{15} \cdot \frac{Q^{1,852}}{J} \cdot D^{-4,87}]^{0,54}, \quad \text{eq. 2}$$

em que C é o coeficiente de rugosidade, adimensional; J é a perda de carga unitária na linha de teste, com e sem microaspersores, em m.m^{-1} ; e D é o diâmetro interno do tubo, em mm.

Para os diferentes valores de vazão estudados, foram determinados os respectivos números de Reynolds e os valores do fator de atrito (f), através da equação de Darcy-Weisbach, ajustando-se uma equação da forma

$$f = a \text{Re}^b, \quad \text{eq. 3}$$

em que f é o fator de atrito, adimensional, a e b são constantes, adimensionais, e Re é o número de Reynolds, adimensional.

Procurou-se estabelecer a perda de carga na inserção do microaspersor por meio da expressão

$$H_{fm} = K_m \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad \text{eq. 4}$$

em que H_{fm} é a perda de carga localizada na inserção do microaspersor, em mca; K_m é o coeficiente de perda de carga localizada do microaspersor, adimensional; V é a velocidade média da água na seção do tubo, em m.s^{-1} ; e g é a aceleração da gravidade, em m.s^{-2} .

Os valores de H_{fm} foram obtidos, experimentalmente, por meio da equação

$$H_{fm} = \frac{H_{ftm} - H_{ft}}{10}, \quad \text{eq. 5}$$

em que H_{ftm} é a perda de carga no tubo com microaspersores vedados, em mca, e H_{ft} é a perda de carga no tubo, em mca.

Os valores de H_{ftm} e H_{ft} foram estimados mediante soluções particulares da equação 1, obtidas pela análise de regressão.

Substituindo o valor de H_{fm} da equação 5 na equação 4 e empregando a equação da continuidade, obteve-se

$$K_m = \frac{H_{fm} \cdot A^2 \cdot 2g}{Q^2}, \quad \text{eq. 6}$$

em que A é a área da seção transversal do tubo, em m^2 , e Q é a vazão, em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Estudaram-se os valores dos coeficientes de perda de carga localizada, em função do número de Reynolds, estabelecendo-se, por meio de análise de regressão, uma expressão do tipo

$$K_m = K_1 \cdot Re^{K_2}, \quad \text{eq. 7}$$

em que K_1 e K_2 são as constantes, que dependem do tipo de microaspersor estudado.

Considerando, no último microaspersor da linha, uma pressão de 15 mca e utilizando um programa de computador semelhante ao usado por OLIVEIRA (11), determinaram-se o comprimento máximo das linhas laterais de irrigação por microaspersão e os valores do coeficiente de redução de perda de carga, F (Christiansen), de acordo com o número de microaspersores e espaçamento entre eles.

O programa foi baseado nos seguintes dados de entrada: equação de perda de carga localizada na inserção do microaspersor (equação 7), diâmetro interno do tubo, pressão no final da linha lateral, espaçamento entre microaspersores e função de vazão do microaspersor, determinada por PAES (12).

Para determinar a perda de carga ao longo do tubo, foi utilizada a equação de Darcy-Weisbach, sendo o fator de atrito, f , estimado de acordo com a solução particular da equação 3, considerando regime de escoamento turbulento em toda a linha.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações de perda de carga no tubo de diâmetro real, 19,6 mm, com e sem microaspersores, foram, respectivamente:

$$\hat{H}_{ft} = 98.046,78 \cdot L \cdot Q^{1,73594} \quad \text{eq. 8}$$

$$\hat{H}_{ftm} = 105.429,74 \cdot L \cdot Q^{1,74051} \quad \text{eq. 9}$$

em que L é o comprimento do tubo, em m.

Os coeficientes de determinação das equações foram 0,9997 e 0,9996, respectivamente, e os testes de F foram significativos a 1% de probabilidade.

Observa-se que o expoente de Q , na equação 9, aproxima-se do valor 1,75, que é o expoente da vazão na equação de Darcy-Weisbach, com fator de atrito calculado pela fórmula de Blasius, caracterizando o regime de escoamento na linha de teste como turbulento.

As representações gráficas das equações 8 e 9 encontram-se na Figura 1. Por essa figura verifica-se que a perda de carga cresce com a vazão e que a perda de carga no tubo com microaspersores vedados é superior à perda de carga no tubo. Isso se deve às perdas adicionais provocadas pela inserção dos microaspersores na linha.

Para menores valores de vazão, menor foi a perda de carga localizada na inserção dos microaspersores, em razão do decréscimo na velocidade da água no tubo. Nesse caso, as curvas de perda de carga no tubo com microaspersores vedados aproximam-se da curva de perda de carga no tubo, tornando-se coincidentes para pequenos valores de vazão.

Os valores de coeficiente de rugosidade, C , de Hazen-Willians, determinados a

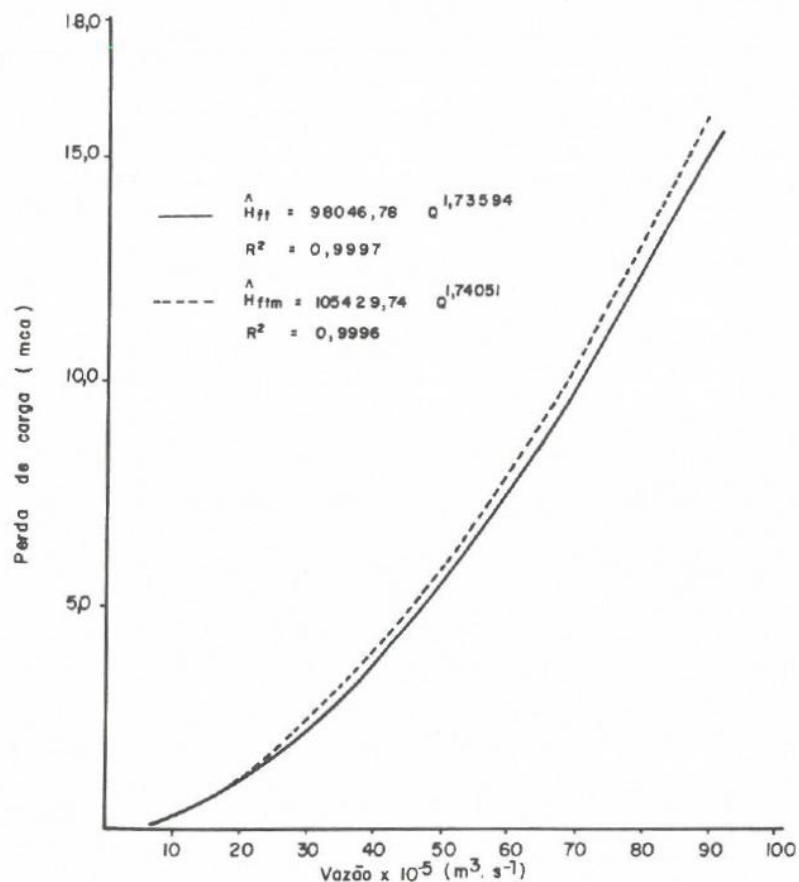


FIGURA 1 - Perda de carga no tubo (H_{ft}) e no tubo com microaspersores vedados e espaçados de 3 m (H_{ftm}).

partir dos dados de perda de carga no tubo e perda de carga no tubo com microaspersores vedados, encontram-se nos Quadros 1 e 2, respectivamente. Observou-se que, em ambos os casos, os valores de C variaram de acordo com a vazão utilizada na linha, o que está de acordo com os resultados encontrados por OLIVEIRA (11), ASSY (1) e FARIA (6). Os valores médios de C foram próximos, em razão da pequena perda de carga na inserção dos microaspersores.

Com os dados de fator de atrito, obtidos por meio da equação de Darcy-Weisbach, foi ajustada, por meio de análise de regressão, a seguinte equação:

$$\hat{f} = 0,40733 \text{ } Re^{-0,26405} \quad \text{eq. 10}$$

O coeficiente de determinação da equação foi 0,9906, sendo significativo, pelo teste de F , a 1% de probabilidade.

QUADRO 1 - Valores de vazão, número de Reynolds e coeficiente de rugosidade (C) da equação de Hazen-Willians, para a linha de teste, com diâmetro nominal de 19,6 mm

Número da observação	Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Número de Reynolds	Coeficiente de rugosidade
1	$5,67 \cdot 10^{-5}$	4069	123
2	$6,57 \cdot 10^{-5}$	4715	122
3	$7,60 \cdot 10^{-5}$	5252	121
4	$15,09 \cdot 10^{-5}$	10829	130
5	$23,05 \cdot 10^{-5}$	16540	134
6	$28,78 \cdot 10^{-5}$	20650	135
7	$33,81 \cdot 10^{-5}$	24257	136
8	$38,41 \cdot 10^{-5}$	27557	137
9	$43,01 \cdot 10^{-5}$	30857	138
10	$46,42 \cdot 10^{-5}$	33303	139
11	$54,47 \cdot 10^{-5}$	39078	143
12	$61,89 \cdot 10^{-5}$	44399	144
13	$68,03 \cdot 10^{-5}$	48803	144
14	$73,30 \cdot 10^{-5}$	52589	143
15	$79,26 \cdot 10^{-5}$	56862	143
16	$85,78 \cdot 10^{-5}$	61536	143
17	$90,50 \cdot 10^{-5}$	64924	142
18	$93,46 \cdot 10^{-5}$	67047	142
Coeficiente de rugosidade médio			136,6

Com os dados de perda de carga localizada na inserção do microaspersor, foram determinados, por meio da equação 6, os coeficientes de perda de carga localizada (K_m). Por meio de análise de regressão, ajustou-se uma equação que relaciona esses coeficientes com o número de Reynolds, ou seja:

$$\hat{K}_m = 0,59530 Re^{-0,13261} \quad \text{eq. 11}$$

O coeficiente de determinação dessa equação foi 0,9975, sendo significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade.

A representação gráfica dessa equação encontra-se na Figura 2. Analisando essa figura, verifica-se que o valor de K_m decresceu de acordo com o valor de Re , o que também foi observado por OLIVEIRA (11), para diferentes gotejadores.

Os valores do coeficiente de redução de perda de carga, F (Christiansen), em função do número e do espaçamento entre os microaspersores, para uma variação de vazão de 20% entre o primeiro e o último microaspersor, encontram-se no Quadro 3.

QUADRO 2 - Valores de vazão, número de Reynolds e coeficiente de rugosidade (C) da equação de Hazen-Willians, para a linha de teste, com microaspersores vedados

Número da observação	Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Número de Reynolds	Coeficiente de rugosidade
1	$6,03 \cdot 10^{-5}$	4325	117
2	$15,58 \cdot 10^{-5}$	11175	130
3	$22,22 \cdot 10^{-5}$	15941	131
4	$28,18 \cdot 10^{-5}$	20218	133
5	$33,35 \cdot 10^{-5}$	23927	134
6	$37,43 \cdot 10^{-5}$	26852	134
7	$41,60 \cdot 10^{-5}$	29845	135
8	$45,15 \cdot 10^{-5}$	32389	135
9	$48,65 \cdot 10^{-5}$	34903	135
10	$54,31 \cdot 10^{-5}$	38963	141
11	$60,24 \cdot 10^{-5}$	42217	141
12	$65,86 \cdot 10^{-5}$	37250	141
13	$70,67 \cdot 10^{-5}$	50700	140
14	$75,52 \cdot 10^{-5}$	54178	140
15	$80,27 \cdot 10^{-5}$	57584	140
16	$84,36 \cdot 10^{-5}$	60519	140
17	$87,91 \cdot 10^{-5}$	63069	139
18	$92,27 \cdot 10^{-5}$	66197	139
Coeficiente de rugosidade médio			135,8

Analisando esse quadro, verifica-se que, para um mesmo número de microaspersores na linha, o valor de F decresce com o aumento do espaçamento entre eles, o que confere com o que foi observado por FARIA (6) e OLIVEIRA (11).

O número máximo de microaspersores por linha, para uma variação de vazão de 20% entre o primeiro e o último microaspersor, pode ser obtido no Quadro 3, considerando o número do microaspersor correspondente ao último valor de F de cada coluna.

4. RESUMO

No Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Viçosa foi conduzido um estudo sobre as características hidráulicas de linhas laterais de irrigação por microaspersão que utilizam o microaspersor Dantas MA 120.

Determinaram-se equações para estimar valores de perda de carga no tubo e perda de carga no tubo com microaspersores vedados, em função da vazão. Foi estudado o comportamento do coeficiente de rugosidade (C) da equação de Ha-

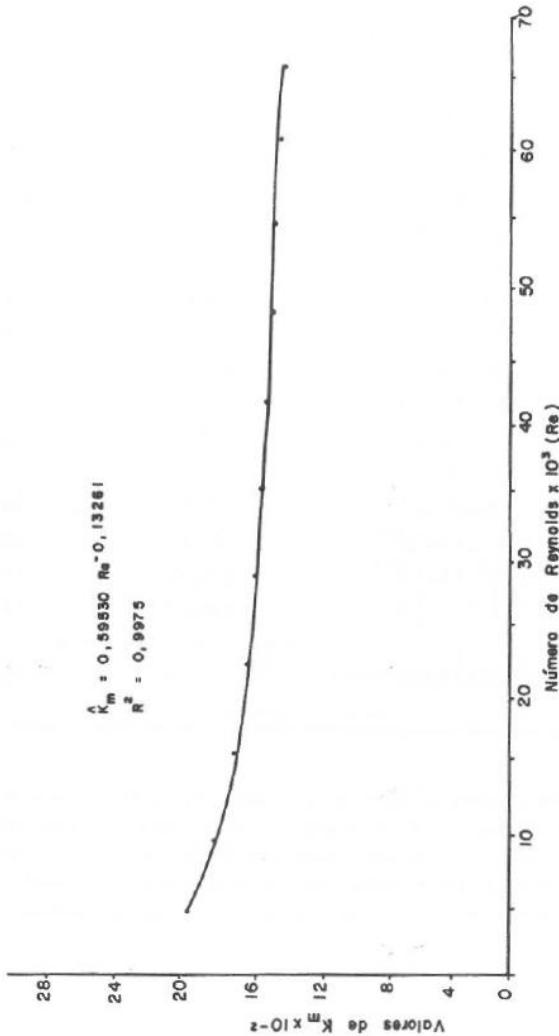


FIGURA 2 - Coeficiente de perda de carga localizada, em função do número de Reynolds, para microaspersor Dantas MA 120.

QUADRO 3 - Valores do fator de redução de perda de carga (F), em função do número (N) e do espaçamento entre microaspersores

N	Espaçamento entre microaspersores (m)						
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,703	0,677	0,668	0,661	0,659	0,658	0,657
3	0,595	0,571	0,563	0,559	0,557	0,555	0,553
4	0,544	0,521	0,514	0,510	0,508	0,506	0,504
5	0,514	0,492	0,485	0,481	0,479	0,478	0,476
6	0,495	0,474	0,466	0,463	0,460	0,459	0,458
7	0,481	0,460	0,453	0,449	0,447	0,445	0,444
8	0,471	0,450	0,443	0,439	0,437	0,435	0,433
9	0,464	0,442	0,435	0,431	0,428	0,426	0,425
10	0,457	0,436	0,428	0,424	0,421	0,419	0,425
11	0,452	0,431	0,423	0,419	0,416	0,413	0,416
12	0,448	0,426	0,418	0,414	0,410	0,408	0,408
13	0,445	0,422	0,414	0,409	0,406	0,403 ^{1/}	0,400 ^{1/}
14	0,441	0,419	0,410	0,405	0,401 ^{1/}	0,398 ^{1/}	0,395
15	0,439	0,416	0,416	0,406	0,401	0,397	0,393
16	0,436	0,412	0,403	0,397 ^{1/}	0,393	0,393	0,390
17	0,434	0,410	0,400 ^{1/}	0,393	0,393	0,389	0,388
18	0,451	0,429	0,407	0,397	0,390	0,389	0,386
19	0,429	0,404	0,404	0,395	0,390	0,385	0,385
20	0,427	0,402 ^{1/}	0,402 ^{1/}	0,390	0,386	0,386	0,386
21	0,425	0,399	0,399	0,387	0,384	0,384	0,384
22	0,424	0,397	0,397	0,387	0,384	0,384	0,384
23	0,422	0,394	0,394	0,387	0,384	0,384	0,384
24	0,420 ^{1/}	0,391	0,391	0,389	0,385	0,385	0,385
25	0,418	0,389	0,389	0,387	0,384	0,384	0,384
26	0,416	0,387	0,387	0,385	0,382	0,382	0,382
27	0,413	0,385	0,385	0,383	0,380	0,380	0,380
28	0,413	0,383	0,383	0,381	0,378	0,378	0,378
29	0,411	0,381	0,381	0,379	0,376	0,376	0,376
30	0,409	0,379	0,379	0,377	0,374	0,374	0,374
31	0,407	0,377	0,377	0,375	0,372	0,372	0,372

1/ Ponto em que a diferença de vazão entre o primeiro e o último microaspersor é de 10%.

zen-Willians e ajustadas equações para estimar o fator de atrito (f) e o coeficiente de perda de carga localizada na inserção do microaspersor (K_m), em função do número de Reynolds. Observou-se que o valor de C variou conforme a vazão na linha, com valores médios de 136,6 para o tubo sem microaspersores e de 135,8 para o tubo com microaspersores vedados; que K_m decresceu conforme o número de Reynolds e que, para o mesmo número de microaspersores, o fator de redução de perda de carga (F) diminuiu com o aumento do espaçamento entre eles.

5. SUMMARY

(HYDRAULICS OF LATERAL IRRIGATION LINES WITH THE «DANTAS MA 120» MICROSPIRINKLER)

This study was conducted at the Hydraulics Laboratory of the Federal University of Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil, to determine the hydraulic characteristics of lateral irrigation lines for a microsprinkler irrigation system using the microsprinkler Dantas MA 120.

Equations were derived to calculate head loss in polyethylene tubes. The friction coefficients of Hazen-Willians (C) and of Darcy-Weisbach (f) were found to be valid, as were the values of Christiansen's coefficient (F), so that it was possible to determine the maximum number of microsprinklers that can be used per line.

6. LITERATURA CITADA

1. ASSY, T.M. *O emprego da fórmula universal de perda de carga e as limitações das fórmulas empíricas*. São Paulo, CETESB, 1977, 64 p.
2. BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 3. ed. Viçosa, UFV, Imp. Univ., 1982. 463 p.
3. BEZDEK, J.C. & SOLOMON, K. Approximating friction factors for trickler tubing. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 104:351-359. 1978.
4. CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley, California Agricultural Experiment Station, 1942. 124 p. (Bull. 670).
5. DESHMUKH, M.T. & JAIN, M.L. Evaluation of hydraulics of flow through pipes of varying slopes, lengths and orifice placements. In: INTERNATIONAL DRIP CONGRESS, 2.º, San Diego, 1974. Proceedings, Riverside, 1974. p. 317-321.
6. FARIA, M.A. *Características hidráulicas do microgotejador Irtec e da linha lateral de irrigação*. Viçosa, Univ. Federal, 1981. 78 p. (Tese M.S.).
7. FEGLALI, J.P. *Mecânica dos fluidos*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1974. 114 p.
8. HOWELL, T.A. & HILER, E.A. Designing trickle irrigation laterals for uniformity. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 100:443-454. 1974.

9. HOWELL, T.A. & HILER, E.A. Designing trickle irrigations laterals for uniformity. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2.º San Diego, 1974. Proceedings, Riverside, 1974, p. 299-304.
10. KARMELI, D. & KELLER, J. Evaluation of a trickle irrigation system. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2.º, San Diego, 1974. Proceedings, Riverside, 1974. p. 287-292.
11. OLIVEIRA, C.A.S. *Hidráulica de gotejadores e de linhas laterais para irrigação por gotejamento*. Viçosa, Univ. Federal, 1978. 72 p. (Tese M.S.).
12. PAES, L.A.D. *Características hidráulicas dos microaspersores Dantas MA 120 e Irtec e das linhas laterais em sistemas de irrigação por microaspersão*. Viçosa, Univ. Federal, 1985. 85 p. (Tese M.S.).
13. PARAQUEIMA, J. Estudios de algunas características de friccion en tuberías de pequeño diámetro para laterales de riego por goteo. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO SOBRE RIEGO POR GOTEO, 3.º, Campinas, 1979. Anais ..., San José, Costa Rica, IICA-DEA, 1980, p. 310-335.
14. SOARES, A.A. *Características hidráulicas de microtubos Cipla e de linhas laterais para irrigação por gotejamento*. Viçosa, Univ. Federal, 1981, 68 p. (Tese M.S.).
15. VERMEIREN, I. & JOBLING, G.A. *Localized irrigation-Design, installation, operation, evaluation*, Roma, FAO, 1980. 203 p. (Irrigation and Drainage Paper n.º 36).