

VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES HIDRODINÂMICAS DO SOLO E DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM, EM CONDIÇÕES DE CAMPO^{1/}

Braz Henrique Nunes Rodrigues^{2/}
Paulo Afonso Ferreira^{2/}
Tarcisio José Caixeta^{2/}
Gilberto Chohaku Sediyama^{2/}

1. INTRODUÇÃO

O Brasil conta com grande potencial de áreas agricultáveis que, se devidamente exploradas, poderão propiciar aumento da produção de alimentos, tanto para consumo interno como para exportação, gerando divisas para o País.

Dessas áreas, montante considerável é constituído de várzeas, que são áreas de baixadas, propensas a inundações por rios e ribeirões, no período chuvoso, em consequência do elevado nível do lençol freático. Dessa forma, sua exploração agronômica fica limitada a pequenas áreas e ao período não-chuvoso do ano (22).

Considerando que a potencialidade agrícola das terras de várzeas viabiliza a introdução de tecnologias apropriadas, para incorporá-las ao processo produtivo, o Governo criou o Programa de Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis (PROVÁR-ZEAS), com o objetivo principal de recuperar uma área estimada em 28 milhões de hectares de várzeas. Na recuperação dessas áreas, as técnicas de irrigação e de drenagem são de importância.

A engenharia de drenagem vem-se desenvolvendo ao longo dos anos, durante os quais se procurou compreender as condições físicas do movimento da água para os drenos, através de soluções matemáticas aproximadas. Foram construídos em laboratório modelos de drenagem ideais, tentando reproduzir uma variedade de condições de campo, sem que fossem observados, no entanto, os efeitos da ação do tempo e o uso da terra pelos agricultores.

^{1/} Parte da tese do primeiro autor, apresentada à U.F.V.

Aceito para publicação em 30-11-1987.

^{2/} Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. C.P. 216, Viçosa, MG.

Dessa forma, alguns pesquisadores desenvolveram equações de dimensionamento que fornecem o valor do espaçamento necessário entre drenos, a partir de informações sobre as propriedades físicas do solo e exigência de drenagem das culturas.

A condutividade hidráulica, K_0 , fator de proporcionalidade da equação de Darcy, é um dos parâmetros mais importantes nos projetos de drenagem e expressa, de forma sucinta, a maior ou menor facilidade de movimento de água no solo.

Correlacionando a condutividade hidráulica com as demais propriedades do solo, TALSMA e FLINT (24) observaram que a textura do solo é a propriedade mais importante para essa determinação. Os métodos de determinação, com suas características e avaliações, são detalhados por BERNARDO (1), BOERSMA (3), BOUWER e JACKSON (4), CRUCIANI (8), LUTHIN (13), MILLAR (17) e PIZARRO (19).

Outra característica hidrodinâmica do solo, de grande importância no dimensionamento de sistemas de drenagem, é a porosidade drenável, f . Trata-se da fração do volume de poros cheios de água que pode ser drenada de um solo quando a sucção varia de zero a um valor correspondente a uma coluna de 60 a 100 cm de água (11, 16). A porosidade drenável é definida também como macroporosidade, ou seja, a percentagem de poros ocupados pelo ar quando o solo está na capacidade de campo (10, 18, 19, 21, 25). SKAGGS *et alii* (23) a representam ainda como sendo a fração do volume de solo drenada durante o rebaixamento do lençol.

Em estudos de dimensionamento de sistemas de drenagem, alguns pesquisadores trabalharam com valores médios de porosidade drenável, determinados em laboratório a partir dos resultados obtidos em número elevado de amostras (6, 7, 10, 23).

Tem-se observado, em algumas áreas sistematizadas e providas de sistemas de drenagem, uma queda na produtividade das culturas instaladas com o passar dos anos. Uma possível explicação para tal fato seriam as alterações nas propriedades hidrodinâmicas do solo, com possíveis reflexos no funcionamento do sistema de drenagem com o tempo, o que comprometeria o desenvolvimento das culturas.

Com a finalidade de fornecer subsídios para a solução de problemas que poderão prejudicar o aproveitamento racional das várzeas do País, este trabalho teve como objetivos determinar algumas características hidrodinâmicas de um solo de várzea e analisar o desempenho de um sistema de drenagem, com o decorrer do tempo, bem como determinar as equações mais adequadas ao dimensionamento desse sistema, com base nos valores atuais e anteriores das propriedades hidrodinâmicas do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em um hectare de várzea, provido de sistema de drenos abertos e localizado na Fazenda Experimental de Leopoldina, MG, pertencente à EPAMIG.

Os drenos laterais (Figura 1) eram espaçados de 43,60 m e tinham seção trapezoidal, com base menor de 0,50 m, talude de 0,75:1, profundidade média de 0,95 m e comprimento de 102,00 m.

Para a análise do desempenho do sistema de drenagem, estudo do rebaixamento do lençol freático e obtenção dos dados necessários para o processamento das equações de dimensionamento, monitoraram-se leituras diárias das alturas do nível freático em poços de observação e medições de vazão no dreno central. A elevação do lençol freático no solo foi obtida através do fechamento de comportas

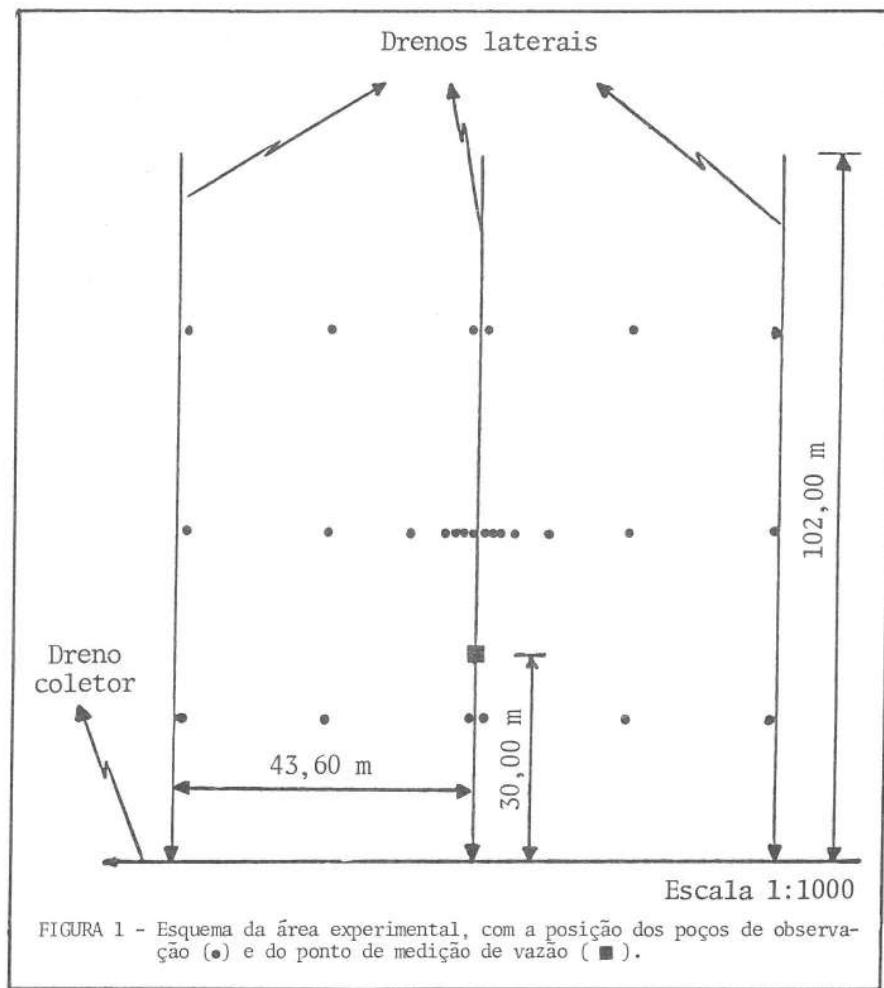


FIGURA 1 - Esquema da área experimental, com a posição dos poços de observação (●) e do ponto de medição de vazão (■).

localizadas no dreno coletor, em adição às precipitações ocorridas no período chuvoso. O abaixamento do nível freático teve início com a abertura das comportas e ocorrência de estiagem. A posição dos poços de observação e do local de medição de vazão na área experimental está esquematizada na Figura 1.

A vazão foi determinada pelo método direto, sempre após as leituras nos poços de observação, utilizando-se um cronômetro e uma proveta, graduada em ml.

O período de leitura das posições do lençol e medição de vazão foi de aproximadamente quatro meses, isto é, de 20/11/86 a 15/03/87. Durante esse tempo o lençol sofreu variações, com elevações devidas às precipitações e abaixamentos durante as estiagens.

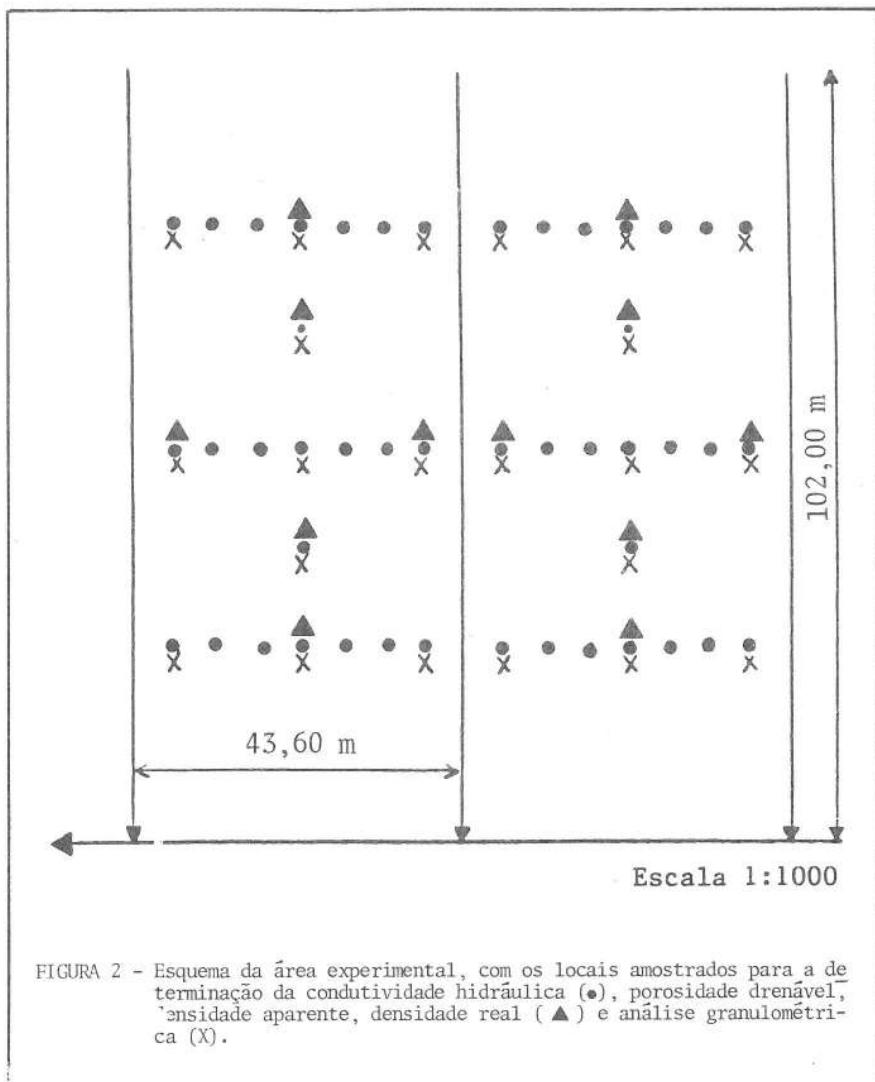
Na análise granulométrica e na classificação textural utilizou-se o método descrito por DAY (9), usando-se solução de NaOH 0,1 N como dispersante.

A porosidade drenável foi determinada em laboratório, utilizando-se amostras não alteradas e o método do funil de Buckner, descrito por KIEHL (12). As densidades, aparente e real, foram obtidas por meio dos métodos do anel e balão volu-

métrico, respectivamente, citados por BLAKE (2).

Na determinação da condutividade hidráulica saturada utilizou-se o método do furo de trado, detalhado por CRUCIANI (8), MILLAR (17) e PIZARRO (19).

Os locais dos pontos amostrados para a determinação das propriedades físicas do solo estão esquematizados na Figura 2.



Com os dados de cargas hidráulicas, determinados a partir das leituras nos poços de observação, tempo de rebaixamento e propriedades hidrodinâmicas e geométricas do solo (K_D , f e r), estimaram-se os espaçamentos dos drenos, através da resolução de oito equações de dimensionamento de sistemas de drenagem. Essas estimativas foram posteriormente comparadas com o espaçamento real de 43,60 m.

As equações, todas para o regime variável, foram as seguintes:
equação de Clover:

$$L^2 = \frac{\pi^2 K_0 (d + H_0/2) t}{f \ln \left[\frac{4 H_0}{\pi H_t} \right]} \quad \text{eq. 1}$$

equação de Tapp-Moody:

$$L^2 = \frac{\pi^2 K_0 (d + H_0/2) t}{f \ln \left[\frac{3.7 H_0}{\pi H_t} \right]} \quad \text{eq. 2}$$

equação de Boussinesq-Schilfgaardde:

$$L^2 = \frac{9 K_0 d_e t}{f \ln \left[\frac{H_0 (2d_e + H_t)}{H_t (2d_e + H_0)} \right]} \quad \text{eq. 3}$$

equação de Hammad, para $d/L < 0,25$:

$$L = \frac{2 \pi K_0 t}{f \ln \left[\frac{H_0}{H_t} \right] \ln \left[\frac{L^2}{2\pi^2 r d} \right]} \quad \text{eq. 4}$$

equação de Bouwer-Schilfgaardde:

$$L^2 = \frac{8 K_0 d_e t}{c f \ln \left[\frac{H_0 (2d_e + H_t)}{H_t (2d_e + H_0)} \right]} \quad \text{eq. 5}$$

equação de Luthin (formato inicial do lençol horizontal):

$$L = \frac{b K_0 t}{f \ln \left[\frac{H_0}{H_t} \right]} \quad \text{eq. 6}$$

equação de Luthin (formato inicial do lençol elíptico):

$$L = \frac{4 b K_0 t}{f \ln \left[\frac{H_0}{H_t} \right]} \quad \text{eq. 7}$$

equação de Schilfgaarde:

$$L = 3A \left[\frac{K_0(d_e + H_t)(d_e + H_0)t}{2f(H_0 - H_t)} \right]^{1/2} \quad \text{eq. 8}$$

em que:

$$A = \left[1 - \left[\frac{d_e}{d_e + H_0} \right]^2 \right]^{1/2}$$

b = declividade da reta obtida da relação entre Q (vazão na saída do dreno) e $K_0 H$.

c = fator de correção, que varia de 0,8 a 1,0.

d = distância vertical entre o fundo dos drenos e a camada impermeável (m).

d_e = estrato equivalente de Hooghoudt (m).

f = porosidade drenável (decimal).

$H = H_0$ = distância vertical entre a horizontal que passa no fundo dos drenos e o lençol freático no semi-espacô entre os drenos (m).

H_t = valor de H após um tempo de rebaixamento (t) do lençol freático (m).

K_0 = condutividade hidráulica saturada ($m \text{ dia}^{-1}$).

L = espaçamento entre drenos (m).

r = raio do dreno (m).

t = tempo de rebaixamento do lençol freático (dia).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características Físicas e Parâmetros Hidrodinâmicos do Solo

No Quadro 1 encontram-se os resultados da análise textural e os valores médios das propriedades físicas do solo da área experimental.

O valor de K_0 representa a média das determinações obtidas, situando-se esse resultado dentro da classe de condutividade hidráulica moderadamente lenta, de acordo com MILLAR (17).

As determinações médias de f apresentaram homogeneidade no perfil do solo, ficando as médias obtidas para cada faixa com valores bem próximos.

Como um dos objetivos deste trabalho foi a verificação das possíveis alterações nas propriedades físicas do solo, com reflexos no dimensionamento do sistema, no Quadro 2 estão expressos os valores das características físicas do solo obtidos por COELHO *et alii* (7) em trabalho realizado há três anos na mesma área experimental.

Observa-se, pelos dados do Quadro 1, que o valor médio de f sofreu uma redução na primeira camada, em relação aos dados do Quadro 2, e que as médias das

camadas inferiores aumentaram. Uma possível explicação para esse acréscimo pode de advir da afirmação de PIZARRO (19) de que a melhora da drenagem em um perfil ocasiona um aumento na permeabilidade, em consequência da alternância de estados secos e úmidos, além da maior penetração das raízes.

O decréscimo da média de f na camada superior pode ter sido decorrente da compactação dessa parte do perfil, causada pela utilização de enxada rotativa tracionada por trator na ocasião das capinas.

Observa-se que a média da condutividade hidráulica atual é superior à apresentada por COELHO *et alii* (7). Esse aumento da permeabilidade pode estar também associado às mesmas justificativas propostas por PIZARRO (19) para explicar o aumento da porosidade drenável das duas camadas mais profundas no perfil do solo.

3.2. Desempenho do Sistema de Drenagem

Na Figura 3 estão representados os perfis de rebaixamento do nível freático, em diferentes intervalos de tempo, traçados através das leituras realizadas nos poços de observação. Essa representação permite a avaliação do comportamento do lençol entre os drenos, observando-se a condição de horizontalidade de seu formato durante um período de rebaixamento. Essa identificação assemelha-se às observações realizadas por vários autores, tanto em modelos físicos construídos em laboratório como em investigações detalhadas em condições de campo (5, 6, 14, 15, 18, 23).

Como pode ser observado nos Quadros 1 e 2, as propriedades hidrodinâmicas do solo em estudo sofreram pequenas variações, que impuseram condição de maior permeabilidade às camadas subjacentes do perfil. Percebe-se claramente a influência dessas alterações na Figura 4, onde estão esboçados os perfis que relacionam a taxa de rebaixamento do lençol no ponto médio entre os drenos com a profundidade, perfis esses obtidos com os dados deste trabalho e por COELHO *et alii* (7). De modo geral, verificou-se uma relação inversa entre esses parâmetros. À medida que se aprofundava, o rebaixamento do lençol freático foi ficando mais lento. Observa-se ainda que a taxa de rebaixamento atual sofreu uma redução, em relação à anterior, nos primeiros 50 cm de profundidade. A partir daí o comportamento se alterou com a profundidade, no trabalho de COELHO *et alii* (7), com índices de rebaixamento ligeiramente inferiores ao atual. Essas observações são coerentes com os resultados registrados nos Quadros 1 e 2, visto que as taxas de rebaixamento coincidiram com as variações na permeabilidade do perfil.

3.3. Eficiência das Equações de Drenagem

O Quadro 3 mostra, para cada equação estudada, a percentagem das estimativas do espaçamento para cada faixa de desvio percentual entre o valor estimado pela equação e o valor real de 43,60 m.

O Quadro 4 registra os valores médios dos espaçamentos estimados, dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação.

Percebe-se, pelos Quadros 3 e 4, que, de modo geral, a equação de Glover foi a que apresentou os melhores resultados, comparando-se os valores estimados com o valor real de espaçamento dos drenos no campo. O valor médio de espaçamento obtido por meio da equação de Glover, apresentado no Quadro 4, foi o que mais se aproximou do valor de campo, com um desvio percentual de apenas -0,81% entre a média estimada e o valor real.

Os resultados obtidos através da equação de Tapp-Moody aproximaram-se

QUADRO 1 - Análise textural e valores médios das características físicas do solo da área experimental: porosidade drenável (f), porosidade total (PT), densidade aparente (dap), densidade real (dr) e condutividade hidráulica saturada (k_o)

Profundidade (cm)	Argila	Silte	Areia	Classificação textural	$f^{1/}$ (%)	F^T (%)	d_{ap}^{-3} (g.cm $^{-3}$)	d_r^{-3} (g.cm $^{-3}$)	$K_{(m.dia)^{-1}}$
0 - 40	64	19	17	Muito argiloso	3,53	61,42	0,98	2,54	
40 - 80	61	23	16	Muito argiloso	3,32	56,30	1,11	2,54	
80 - 120	70	21	9	Muito argiloso	3,02	57,37	1,07	2,51	0,33

QUADRO 2 - Análise textural e valores médios das características físicas do solo da área experimental: porosidade drenável (f), porosidade total (PT), densidade aparente (ρ_{ap}) e condutividade hidráulica saturada (K_o), segundo COELHO et alii (7)

Profundidade (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classificação Textural	$\frac{1}{f} (\%)$	PT (%)	ρ_{ap} ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	K_o ($\text{m} \cdot \text{dia}^{-1}$)
0 - 30	71	12	17	Muito argiloso	5,0	63,61	0,91	
30 - 85	64	12	23	Muito argiloso	2,8	58,10	1,06	
85 - 120	68	18	14	Muito argiloso	1,6	56,70	1,10	0,28

$\frac{1}{f}$ / Valor médio = 3,00%.

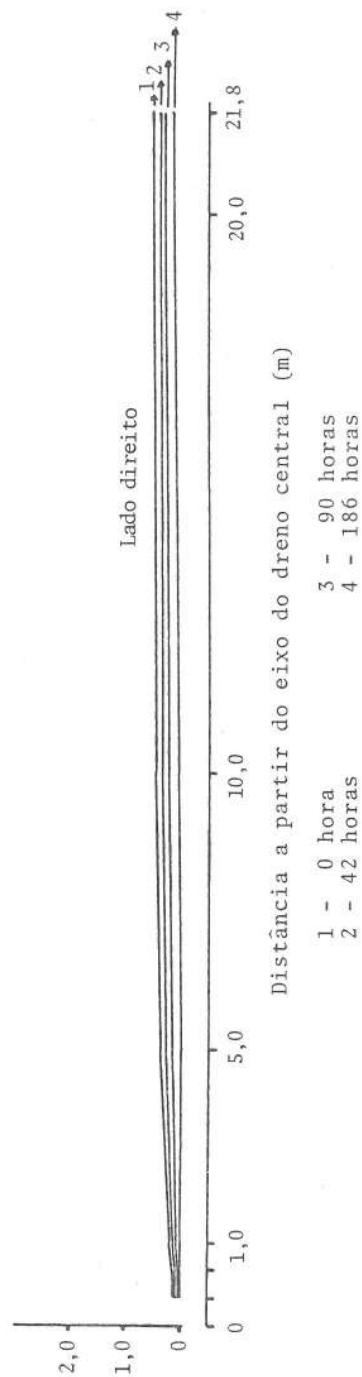


FIGURA 3 - Perfis de rebaixamento de lençol freático, em diferentes intervalos de tempo.
 Escala vertical: escala horizontal (1:1).

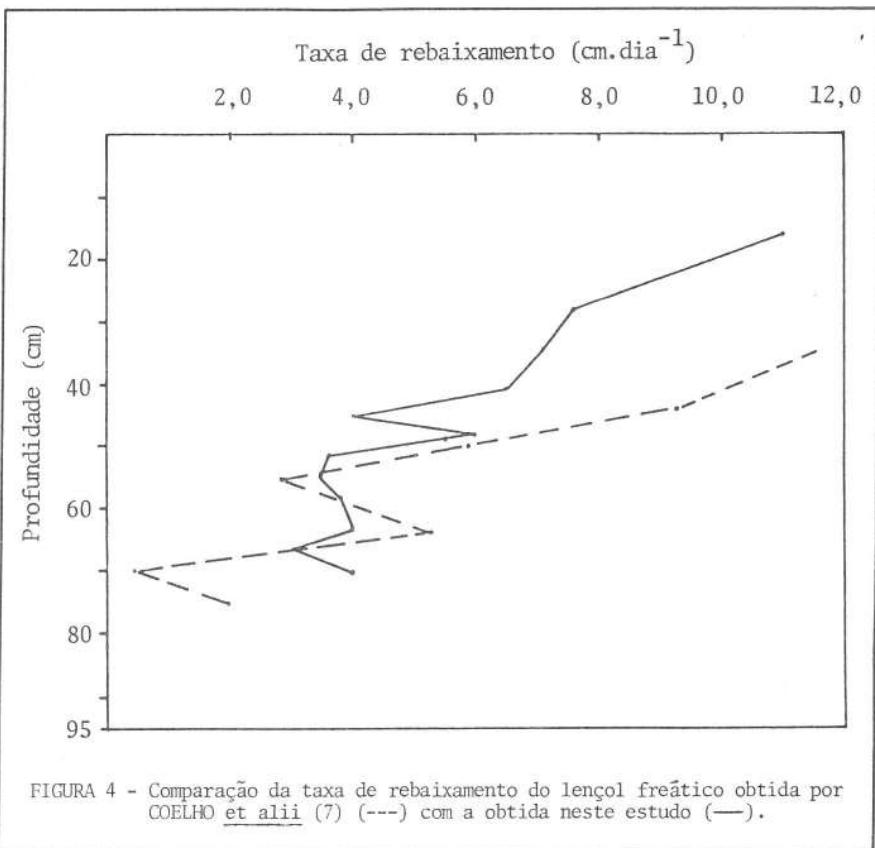


FIGURA 4 - Comparação da taxa de rebaixamento do lençol freático obtida por COELHO et alii (7) (---) com a obtida neste estudo (—).

bem dos calculados por meio da equação de Glover, o que já era esperado, uma vez que as duas diferem apenas em uma constante, ficando muito próximas uma da outra. Entretanto, a ligeira vantagem em favor da equação de Glover pode ser confirmada pela observação do formato do lençol (Figura 3), que evidencia a condição de sua maior horizontalidade. Como em suas deduções Glover sustenta essa hipótese (20), era de esperar que sua equação fornecesse resultados melhores que os da de Tapp-Moody.

A equação de Boussinesq-Schilfgaarde apresentou comportamento regular, com o menor desvio-padrão e o segundo menor coeficiente de variação (Quadro 4). A média das estimativas do espaçamento superestimou o valor real em 20,75%. Essa equação mostrou, depois das equações de Glover e Tapp-Moody, o maior grau de eficiência, dentre as demais, com 45,38% de seus cálculos dentro da faixa de desvio percentual de até $\pm 20\%$ entre o espaçamento real e o estimado (Quadro 3).

As equações de Bouwer-Schilfgaarde e de Schilfgaarde apresentaram comportamento semelhante ao da Boussinesq-Schilfgaarde, porém com menores índices de eficiência. Nota-se ainda, pelos Quadros 3 e 4, o baixo desempenho das equações de Hammad e de Luthin neste trabalho.

As equações de dimensionamento apresentaram alto grau de equivalência entre os dois estudos, verificando-se apenas pequena variação na eficiência. Uma vez

QUADRO 3 - Percentagem das estimativas do espaçamento para cada faixa de desvio percentual entre os valores estimados pelas equações e o valor real de 43,60 m

Equações	Desvio percentual entre o espaçamento real e o estimado				
	± 5%	± 10%	± 15%	± 20%	± 25%
Glover	19,45	38,88	50,93	63,90	78,71
Tapp-Moody	12,04	27,78	49,08	67,59	82,41
Schilfgaarde	2,78	8,34	12,05	25,01	35,20
Bousinessq-Schilfgaarde	4,64	13,89	24,08	45,28	71,30
Bouwer-Schilfgaarde	3,71	6,49	11,12	20,37	35,18
Hammad	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Luthin-Horizontal	6,48	15,74	25,00	27,78	37,04
Luthin-Elíptica	0,93	0,93	0,93	2,78	3,71
				8,34	11,12
					14,82
					± 40%

QUADRO 4 - Valores médios de espaçamentos estimados (\bar{L}), desvios-padrão (D.P.) e coeficientes de variação (C.V.), obtidos pelas teorias estudadas

Teorias	\bar{L} (m)	D.P. (m)	C.V. (%)
Glover	43,248	7,802	18,04
Tapp-Moody	47,135	7,236	15,35
Schilfgaarde	55,983	5,181	9,25
Boussinesq-Schilfgaarde	52,571	4,535	8,63
Bouwer-Schilfgaarde	55,765	4,788	8,59
Hammad	98,563	11,891	12,06
Luthin-Horizontal	90,816	64,943	71,51
Luthin-Eliptica	115,630	82,688	71,51

que a permeabilidade atual sofreu ligeiro acréscimo, esperava-se que as médias das estimativas, para cada equação neste trabalho, superestimassem as obtidas no trabalho anterior (Quadro 5). Isso apenas não se verificou para a média da equação de Glover. Enquanto, nas observações de COELHO *et alii* (7), 74% dos resultados dos espaçamentos calculados superestimaram o espaçamento real, neste estudo 89% dos cálculos foram superiores a 43,60 m.

Assim, ao final de todas as observações, a ordem de eficiência das equações testadas foi: Glover, Tapp-Moody, Boussinesq-Schilfgaarde, Schilfgaarde, Luthin e Hammad.

Em ambos os trabalhos, as equações de Glover, Tapp-Moody e Boussinesq-Schilfgaarde foram as que se destacaram em eficiência.

4. RESUMO

Foi realizado um estudo de campo na Fazenda Experimental de Leopoldina, MG, em um sistema de drenagem, visando analisar a variação temporal das propriedades hidrodinâmicas do solo, o desempenho do sistema e a eficiência de oito equações de dimensionamento para regime variável, a título de recomendação.

A condutividade hidráulica saturada foi determinada no campo, pelo método do furo de trado, e a porosidade drenável em laboratório, utilizando-se o método do funil de Buckner.

O desempenho do sistema de drenagem foi avaliado através de dados de altura do lençol freático, obtidos por meio de poços de observação, além da vazão na saída dos drenos.

A permeabilidade média do perfil do solo, como um todo, aumentou com o tempo, e o lençol freático, durante o período de rebaixamento, mostrou-se bem horizontal, exceto próximo ao dreno, com relação inversa entre a taxa de rebaixa-

QUADRO 5 - Efeitos de épocas-níveis de desfolha, cultivares e densidades de plantio de milho sobre o valor comercial dos grãos arridos. Coimbra, MG, 1981/82

Cultivares de milho	Épocas-níveis de desfolha de milho (dias após a emergência)			
	0	21	28	35
Densidade de 25.000 plantas por hectare				
AG 351	4,05 A ₂	4,20 A ₂	3,63 A ₂	4,25 A ₂
AG 259	1,30 Ba	1,14 Ba	1,90 Ba	1,67 Ba
Densidade de 50.000 plantas por hectare				
AG 351	5,54 A ₂	4,53 A ₂	6,95 A ₂	2,62 A ₂
AG 259	1,80 Ba	2,97 Ba	2,07 Ba	1,70 Ba

As médias, na mesma coluna ou linha, seguidas da mesma letra, maiúscula ou minúscula, dentro da mesma densidade, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

mento e a profundidade no perfil do solo.

As equações mais eficientes foram as de Glover, Tapp-Moody e Boussinesq-Schilfgaarde.

5. SUMMARY

(VARIATION IN HYDRODYNAMIC PROPERTIES OF SOIL AND IN THE PERFORMANCE OF A DRAINAGE SYSTEM UNDER FIELD CONDITIONS)

A field experiment concerning a soil-drainage system was conducted in Leopoldina, MG, to determine the performance of the system and the efficiency of eight drain-spacing equations and to evaluate the temporal variation of the soil hydrodynamic properties.

The hydraulic conductivity was determined through in-place measurement by the auger-hole method, and the drainable porosity by the laboratory method.

The performance of the drainage system was evaluated by simultaneous measurement of water-table height, along lines at right angles to the laterals, as well as through rate of discharge from them.

Mean soil hydraulic conductivity increased with time, and the water-table, in general, remained level, except near the lateral drains.

Water-table downward movement was inversely proportional to soil depth.

The most efficient equations were those of Glover, Tapp-Moody and Boussinesq-Schilfgaarde.

6. LITERATURA CITADA

1. BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 2.ª ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 463 p.
2. BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLAKE, C.A. ed. *Methods of soil analysis. Part 1*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 374-390. (Agronomy 9).
3. BOERSMA, L. Field measurements of hydraulic conductivity above a water table. In: BLAKE, C.A. ed. *Methods of soil analysis. Part 1*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 234-252. (Agronomy 9).
4. BOUWER, H. & JACKSON, R.D. Determining soil properties. In: SCHILFGAARDE, J.V. ed. *Drainage for agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p. 611-666. (Agronomy 17).
5. BRUTSAERT, W.; TAYLOR, G.S. & LUTHIN, J.N. Predicted and experimental water table drawdown during tile drainage. *Hilgardia*, 31(11):389-418. 1961.
6. COELHO, E.F. *Desempenho de algumas equações de drenagem e dos drenos abertos e cobertos em condições de campo*. Viçosa, Imprensa Universitária, 1984. 80 p. (Tese M.S.).
7. COELHO, E.F.; FERREIRA, P.A.; CAIXETA, T.J.; PEREIRA, P. M. & OLIVEIRA, C.S.G. Desempenho de sistemas de drenagem e análise da eficiência de equações de dimensionamento de drenos abertos em condições de campo.

- In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7.^a, Brasília, D.F., 1986. Anais, Brasília, 1986. Vol. II, p. 663-668.
8. CRUCIANI, D.F. *A drenagem na agricultura*. São Paulo, Nobel, 1980. 333 p.
 9. DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLAKE, C.A. ed. *Methods of soil analysis. Part 1*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 545-566. (Agronomy 9).
 10. FRENCH, B.E. & O'CALLAGHAN, J.R. A field test of drain spacing equations for agricultural land. *Journal Agricultural Engineering Research*, 11(4): 282-295. 1966.
 11. GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 19(21):319-328. 1960.
 12. KIEHL, E.J. *Manual de Edafologia*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262 p.
 13. LUTHIN, J.N. *Drainage engineering*. New York, Robert E. Krieger Publishing Company, 1973. 250 p.
 14. LUTHIN, J.N. & HAIG, A. Some factors affecting flow into drain pipes. *Hilgardia*, 41(10):235-245. 1972.
 15. LUTHIN, J.N. & WORSTELL, R.V. The falling water table in tile drainage - A laboratory study. *Sou. Sci. Soc. Amer. Proc.* 21:580-584. 1957.
 16. MEDINA, H.P. & GROHMANN, F. Disponibilidade de água em alguns solos sob cerrado. *Bragantia*, 25(6):65-76. 1966.
 17. MILLAR, A.A. *Drenagem de terras agrícolas: bases agronómicas*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276 p.
 18. NWA, E.U. & TWOCOCK, J.G. Drainage design theory and practice. *Journal of Hydrology*, 9(3):259-276. 1979.
 19. PIZARRO, F. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Madrid, Edit. Agrícola Espanhola, 1978. 525 p.
 20. SCHILFGAARDE, J.V. Nonsteady flow to drains. In: SCHILFGAARDE, J.V. ed. *Drainage for agriculture*. Madison, American Soc. of Agronomy, 1974. p. 245-265. (Agronomy 17).
 21. SCHWAB, G.O.; MANSON, P.W.; LUTHIN, J.N.; REEVE, R.C. & EDMISTER, T.W. Engineering aspects of land drainage; drainage in humid areas. In: LUTHIN J.L. ed. *Drainage of agricultural lands*. Wisconsin, American Society of Agronomy, 1975. p. 371-394.
 22. SILVA, A.E.S. *O Provárzeas em propriedades selecionadas do município de Curvelo-MG*. Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 77 p. (Tese M.S.).
 23. SKAGGS, R.W.; KRIZ, G.J. & BERNAL, R. Field evaluation of transient

- drain spacing equations. *Transactions of the ASAE*, 16(3):590-595. 1973.
24. TALSMAN, T. & FLINT, S.E. Some factors determining the hydraulic conductivity of subsoils with special reference to tile drainage problems. *Soil Science*, 85(4): 198-206. 1958.
25. TAYLOR, G.S. Drainable porosity evaluation from outflow measurement and its use in drawdown equations. *Soil Science*, 90(6):338-343. 1959.