

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM UM LATOSSOLO ROXO MUITO ARGILOSO EM DOIS SISTEMAS DE MANEJO

Mário Artemio Urchei

Carlos Ricardo Fietz

Embrapa Agropecuária Oeste, Caixa Postal 661, 79804-970 – Dourados, MS

E-mail: urchei@cpao.embrapa.br e fietz@cpao.embrapa.br

1 RESUMO

Este trabalho objetivou caracterizar a infiltração de água em um latossolo roxo muito argiloso em dois sistemas de manejo (preparo convencional - PC e plantio direto - PD) e avaliar a adequação das equações de Horton e Kostiakov-Lewis para a estimativa da taxa de infiltração básica. O trabalho foi desenvolvido na área experimental da *Embrapa Agropecuária Oeste*, em Dourados, MS, durante os anos de 1994 e 1995. Em cada um dos sistemas foram realizados 25 testes de infiltração pelo método do infiltrômetro de duplo cilindro. Considerou-se como taxa de infiltração básica observada a média aritmética dos valores lidos após 120 minutos, enquanto sua estimativa foi feita pelas equações de Horton e de Kostiakov-Lewis. A taxa de infiltração básica, nos dois sistemas de manejo, ajustou-se à distribuição normal, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov, sem diferença entre as médias de 92,2 e 92,8 mm h⁻¹ (Tukey, 5%), para os sistemas PC e PD, respectivamente, consideradas muito altas. Esses valores apresentaram alta variabilidade nos dois sistemas, com coeficientes de variação de 78,6% para o PC e 83,5% para o PD. Apesar de as duas equações terem apresentado bom ajuste, os índices estatísticos evidenciaram que a equação de Kostiakov-Lewis é mais adequada para estimar a taxa de infiltração básica no latossolo roxo estudado.

UNITERMOS: Equações de infiltração, plantio direto, preparo convencional.

URCHEI, M. A., FIETZ, C.R. WATER INFILTRATION IN AN OXISOL UNDER TWO CROPPING SYSTEMS

2 ABSTRACT

This work aimed to characterize water infiltration and evaluate the adequacy of Horton and Kostiakov-Lewis's equations to estimate basic infiltration rate in an Oxisol under conventional tillage (CT) and no tillage (NT). The work was carried out over 1994 and 1995 in an experimental area of *Embrapa Agropecuaria Oeste* in Dourados city, Mato Grosso do Sul State, Brazil. For each system 25 infiltration tests were performed by the double ring infiltrometer method. Basic infiltration rates

were the average of infiltration measured after 120 min of adding water on the soil surface. Estimation of basic infiltration rates has been performed by using Horton and Kostiakov-Lewis's equations. Basic infiltration rates in both systems followed normal distribution according to Kolmogorov-Smirnov's test. Average values for basic infiltration were 92.2 and 92.8 mm h⁻¹ for CT and NT systems, respectively. No significantly different means have been observed (P<0.05). The variation coefficients were 78.6% for CT and 83.5% for NT. In spite of two equations good adequacy, statistical indexes showed that Kostiakov-Lewis's equation has been more fitted to estimate basic infiltration rates for the studied Oxisol.

KEYWORDS: Infiltration equations, no tillage, conventional tillage.

3 INTRODUÇÃO

O termo infiltração é utilizado para caracterizar a entrada de água no solo através da interface solo-atmosfera (Reichardt, 1987; Libardi, 1995). Durante uma recarga (chuva ou irrigação), parte da água pode infiltrar, movimentando-se verticalmente, de cima para baixo, enquanto parte pode escorrer pela superfície do solo. Ao longo desse processo, a água distribui-se no interior do solo, sendo que o movimento no sentido vertical descendente é regido, principalmente, pelos potenciais matricial e gravitacional (Clemmens, 1983). No início da infiltração, quando o solo ainda está relativamente seco, o gradiente de potencial é elevado, sendo o potencial mátrico o mais importante. Com o passar do tempo, o gradiente total passa a igualar-se ao gravitacional, que é relativamente pequeno em relação ao início do processo. Por esse motivo, a infiltração é um processo desacelerado, ou seja, rápido no início e diminuindo com o passar do tempo (Reichardt, 1987). Contudo, em solos com granulometria arenosa, o potencial mátrico é irrelevante, sendo o gravitacional o principal componente das forças que governam a infiltração vertical (Germann, 1983).

A taxa de infiltração é o volume de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo, a qual tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final constante, denominado taxa de infiltração básica.

A magnitude da taxa de infiltração básica é de grande importância para a escolha, o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação e dre-

pensa em agricultura irrigada.

Neste trabalho avaliamos a taxa de infiltração básica pelo método dos cilindros concêntricos, por ser um equipamento acessível, de baixo custo e largamente utilizado na avaliação de áreas para implantação de projetos de irrigação, o que permite compará-lo com outros resultados já disponíveis. No entanto, um dos inconvenientes desse método, além das limitações já discutidas anteriormente, é que os testes são relativamente demorados, podendo ultrapassar três horas em um único ponto, dificultando um número maior de repetições, o que seria recomendável para uma

nagem.

Em virtude da natureza do processo, das características da água, do método utilizado para sua determinação e do tipo e manejo do solo, a taxa de infiltração apresenta grande variabilidade. No que se refere à água, sua qualidade e temperatura são as principais fontes de variação. Com relação ao método do infiltrômetro de duplo cilindro, que é um dos mais utilizados, as dimensões dos cilindros, a profundidade de instalação no solo e a altura da lâmina de água no seu interior são os fatores mais importantes de variação da infiltração. Esse método, geralmente, superestima a taxa de infiltração, em virtude de manter uma carga hidráulica sobre a superfície do solo. A textura, a estrutura, a mineralogia, a umidade inicial e o manejo da camada superficial são as principais causas da variabilidade da infiltração em função do solo. Especificamente sobre o manejo da camada superficial, sistemas com menor revolvimento e que mantêm uma cobertura morta, como o sistema plantio direto, geralmente, apresentam maiores taxas de infiltração de água, pois evitam o selamento superficial decorrente do impacto das gotas de chuva (Derpsch et al., 1991).

Como os atributos físicos e a água no solo apresentam uma dinâmica diferente no sistema plantio direto, as informações obtidas em sistemas de manejo do solo com revolvimento não podem ser aplicadas diretamente no sistema plantio direto. Além disso, é necessário se conhecer o comportamento desses sistemas ao longo do tempo, uma vez que informações pontuais nem sempre podem caracterizar corretamente sua dinâmica, sobretudo quando se

conhecidas (Clemmens, 1983).

O presente trabalho objetivou caracterizar a de infiltração de água de um Latossolo Roxo muito argiloso em dois sistemas de manejo, avaliando as equações de Horton e Kostikov-Lewis para a estimativa da taxa de infiltração básica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

melhor estimativa da taxa de infiltração básica.

Em decorrência das dificuldades operacionais para sua medição e da variabilidade inerente ao processo, várias equações têm sido propostas para estimativa e representação matemática da infiltração, sendo a de Philip, Green-Ampt, Kostiakov, Soil Conservation Service, Horton e Collis-George as mais

Os testes de infiltração foram realizados num Latossolo Roxo epieutrófico muito argiloso (Quadro 1), localizado na área experimental da *Embrapa Agropecuária Oeste*, em Dourados, MS, com 22° 14' de latitude sul, 54° 49' de longitude oeste e 452m de altitude média, nos sistemas de manejo preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Quadro 1. Valores médios de alguns atributos físicos de um Latossolo Roxo (LR) de Dourados, MS, nas camadas 0-0,15 e 0,15-0,30m, no sistema preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Sistema	Camada (m)	Areia	Silte	Argila	Densidade do solo	Densidade de partículas
		----- % -----			----- g/cm ³ -----	
PC	0-0,15	17,84 b*	23,44 a	58,72 b	1,40 a*	2,86 a
PD		18,96 a	19,96 b	61,08 a	1,39 a	2,87 a
PC	0,15-0,30	17,12 b	21,88 a	61,00 b	1,37 a	2,92 a
PD		18,20 a	19,24 b	62,56 a	1,34 a	2,88 a

*Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Tukey, 5%).

No sistema de manejo PC a área foi preparada com gradagem pesada + niveladora, cultivada com a sucessão trigo/soja, enquanto no PD a sucessão utilizada foi milho/aveia/soja, desde 1987.

Em cada um dos sistemas realizaram-se 25 testes de infiltração pelo método do infiltrômetro de duplo cilindro (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979). Os cilindros possuíam

para manter uma lâmina de água constante, em torno de 0,05m acima de nível do solo. As taxas de infiltração foram determinadas nos tempos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 e 270 minutos. No sistema PC os testes realizaram-se nos meses de agosto e setembro de 1994, enquanto no sistema PD os mesmos ocorreram em abril de 1995. Para a avaliação da variabilidade dos dados, utilizou-se a análise descritiva, enquanto as médias foram comparadas pelo teste Tukey (5%), segundo delineamento inteiramente casualizado, com 25 repetições. Visando a padronização dos resultados, além de procurar valores mais representativos, adotou-se o critério de se considerar como taxa de

possuíam diâmetro de 0,195 e 0,395m, com 0,22m de altura. A determinação das taxas de infiltração de água foi feita com um tanque reservatório apresentando visor lateral e sistema de bóia regularizadora da carga hidráulica no interior do cilindro menor (Camargo et al., 1986).

Para o desenvolvimento dos testes, os cilindros foram cravados no solo até 0,10m de profundidade, sendo o equipamento regulado

$$EF = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \right] / \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

onde O_i e P_i representam, respectivamente, os valores observados e estimados, n o número de observações e \bar{O} a média aritmética das observações. Na situação ideal em que os valores estimados pelo modelo são exatamente iguais aos valores observados, teríamos $CMR = 0$ e $CA = EF = 1$.

infiltração básica a média aritmética dos valores após 120 minutos, uma vez que em todas as repetições a estabilização ocorreu antes desse tempo.

A estimativa da taxa de infiltração básica foi feita pelas equações de Horton e Kostiakov-Lewis, através, respectivamente, das expressões (1) e (2):

$$i = a \text{Exp}(-bT) + k_o \quad (1)$$

$$i = aT^n + k_o \quad (2)$$

onde i = taxa de infiltração instantânea (mm h^{-1});
 T = tempo de infiltração (h); a , b e n são constantes que dependem do solo e k_o a taxa de infiltração básica estimada (mm h^{-1}).

Os parâmetros empíricos foram estimados, minimizando-se a soma dos quadrados dos desvios em relação aos valores observados. A qualidade do ajuste das equações foi avaliada através de regressões lineares entre valores estimados e observados, juntamente com os respectivos coeficientes de correlação e pelos seguintes índices estatísticos: coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de ajuste (CA) e eficiência (EF), conforme Zacharias et al. (1996):

$$\text{CMR} = \left(\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i \right) / \sum_{i=1}^n O_i \quad (3)$$

$$\text{CA} = \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 / \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2 \quad (4)$$

globalmente, as taxas de infiltração obtidas pelos infiltrômetros de duplo cilindro foram muitas vezes superiores àquelas estimadas pelo simulador de chuva, sugerindo cautela na utilização desses resultados. De acordo com o critério de Warrick & Nielsen (1980), os valores da taxa e infiltração básica apresentaram alta variabilidade nos

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de taxa de infiltração básica (Quadro 2) ajustaram-se à distribuição normal nos sistemas preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), apresentando valores de máxima divergência do teste de Kolmogorov-Smirnov inferiores ao nível crítico (Quadro 3). Araújo Filho & Ribeiro (1996) também encontraram distribuição normal para os valores da taxa de infiltração básica em cambissolos argilosos e muito argilosos do baixio de Irecê (BA). No entanto, alguns trabalhos têm encontrado distribuição lognormal para dados de taxa de infiltração básica (Wilson & Luxmoore, 1988), o que sugere a necessidade de se conhecer o tipo de distribuição desse atributo para uma adequada e correta análise de variância.

A análise dos dados evidenciou valores não significativos de F entre os dois sistemas de manejo, não ocorrendo diferença entre as médias de 92,2 e 92,8 mm h^{-1} , respectivamente, para os sistemas PC e PD, valores considerados muito altos (Bernardo, 1989). Derpsch et al. (1991), estudando o efeito de diferentes métodos de preparo nos atributos físicos de um latossolo roxo, verificaram que quando a taxa de infiltração foi estimada por infiltrômetros de duplo cilindro, os maiores valores ocorreram no sistema PC e os menores no PD. Contrariamente, quando a infiltração era avaliada por simulador de chuva, os resultados eram opostos, ficando o PD com as maiores taxas e o PC com as menores. Entretanto, deve-se destacar que,

dois dois sistemas de manejo ($\text{CV} > 52\%$), com coeficientes de variação de 78,6 e 83,5% para os sistemas PC e PD, respectivamente (Quadro 2).

No sistema PC a amplitude total de variação foi de 248 mm h^{-1} , sendo de 315 mm h^{-1} no sistema PD (Quadro 3).

Quadro 2. Taxas de infiltração básica (mm h^{-1}) de um latossolo roxo muito argiloso, nos sistemas de manejo preparo convencional e plantio direto. Dourados, MS, 2000.

Repetições	Sistema de manejo	
	Preparo convencional	Plantio direto
	----- mm h ⁻¹ -----	
1	52	43
2	19	83
3	261	240
4	74	111
5	44	13
6	125	95
7	13	107
8	34	68
9	17	95
10	30	63
11	176	121
12	39	18
13	240	105
14	139	66
15	28	217
16	128	328
17	42	30
18	190	24
19	54	21
20	154	90
21	120	63
22	35	29
23	161	194
24	80	59
25	49	36
Média	92,2	92,8

Quadro 3. Estatística descritiva dos valores de taxa de infiltração básica (mm h^{-1}) de um latossolo roxo muito argiloso, nos sistemas de manejo preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). Dourados, MS, 2000.

Sistema de manejo	Média	Mediana	CV**	Mínimo	Máximo	Quartil		Assimetria	Curtose	D***
						Inferior	Superior			
PC	92,2a*	54,0	78,6	13,0	261,0	35,0	139,0	0,90	-0,18	0,22
PD	92,8a	68,0	83,5	13,0	328,0	36,0	107,0	,62	2,60	0,21

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Tukey, 5%).

** Coeficiente de variação (%).

*** Valores de máxima divergência do teste de Kolmogorov-Smirnov para distribuição normal. O nível crítico em 5% de significância é 0,26.

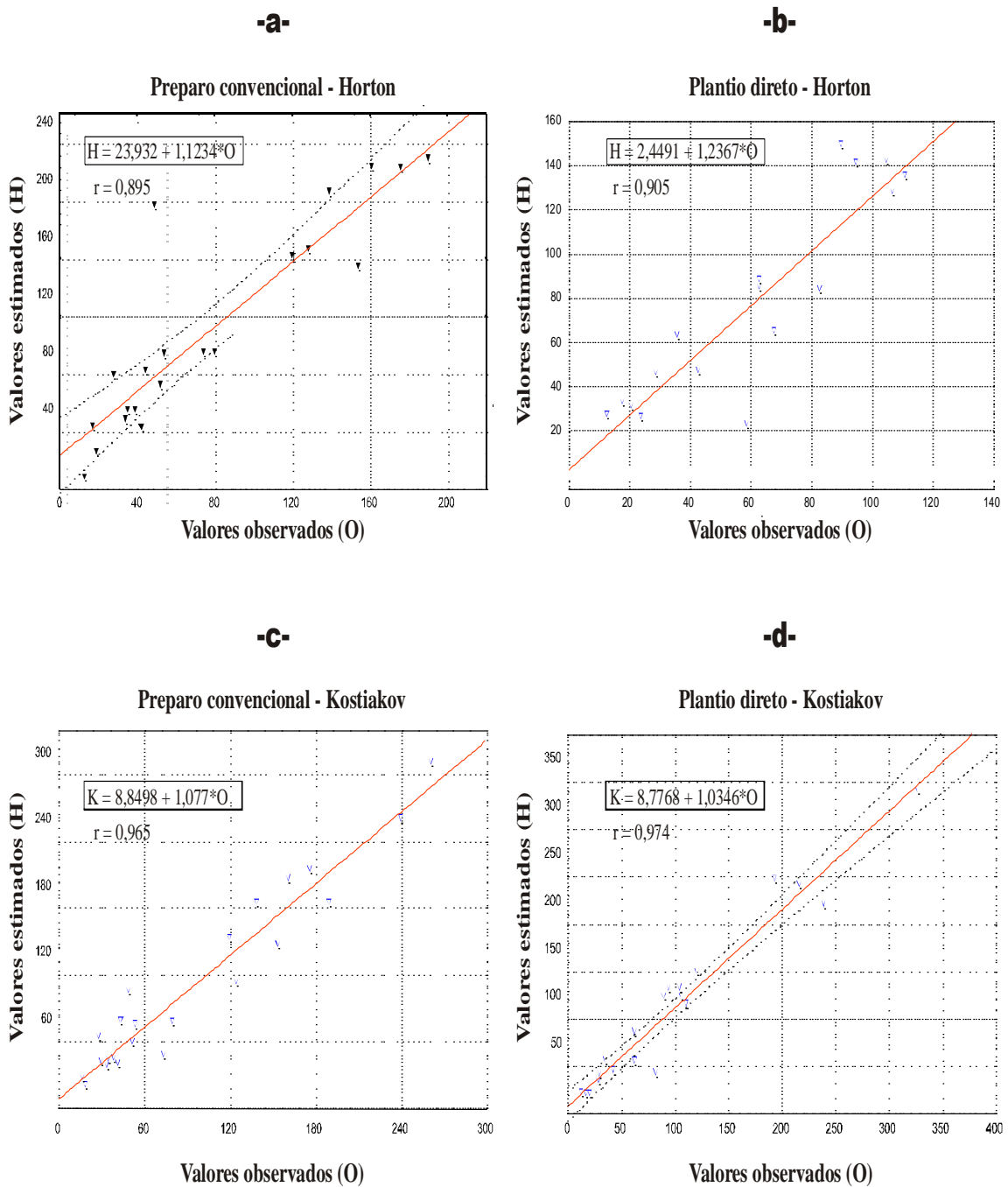


Figura 1. Gráficos das regressões entre valores de taxa de infiltração básica medidos e estimados pelas equações de Horton e Kostiakov-Lewis em dois sistemas de manejo.

Em virtude da grande variabilidade e das limitações do método dos infiltrômetros, a adoção de um valor médio da taxa de infiltração básica para o dimensionamento de projetos de irrigação e de drenagem deve ser feita criteriosamente, pois o mesmo pode não representar a condição efetiva da

dual (CMR), verifica-se que tanto a equação de Horton como a de Kostiakov-Lewis superestimaram a taxa de infiltração básica, nos dois sistemas de manejo, comportamento indicado pelos valores negativos do índice CMR (Quadro 4). Este índice estatístico também

área, o que poderá implicar em distorções na concepção e operação do projeto, levando a problemas de natureza técnica, econômica e ambiental.

As equações de Horton e Kostiakov-Lewis apresentaram boa estimativa para a taxa de infiltração básica nos dois sistemas de manejo, o que pode ser verificado pelos altos coeficientes de correlação das regressões entre os valores estimados e observados (Figura 1). Contudo, a equação que melhor estimou a taxa de infiltração básica foi a de Kostiakov-Lewis, onde os coeficientes de correlação foram de 0,965 no preparo convencional (PC) e 0,974 no plantio direto (PD).

Analisando-se o coeficiente de massa resíduo-cilindro. Araújo Filho & Ribeiro (1996) concluíram que as equações de Philip, Kostiakov e do Soil Conservation Service apresentaram ajuste similar, quando comparadas aos dados obtidos por meio do infiltrômetro de duplo

confirma o melhor ajuste da equação de Kostiakov-Lewis, com desvios negativos mais próximos de zero. O coeficiente de ajuste (CA) e eficiência (EF) foram também maiores na equação Kostiakov-Lewis, nos sistemas PC e PD. Os valores desses índices mais próximos da unidade ratificam esta equação como mais adequada para estimar a taxa de infiltração básica no latossolo roxo estudado. Clemmens (1983), comparando diferentes equações, também verificou que a de Kostiakov, juntamente com a do Soil Conservation Service, tiveram melhor ajuste na estimativa da infiltração acumulada obtida a partir do método do infiltrômetro com um cilindro. Neste trabalho, as equações de Horton e Kostiakov-Lewis não apresentaram diferenças na estimativa da taxa de infiltração básica entre os sistemas de manejo.

Quadro 4. Índices estatísticos obtidos da estimativa da taxa de infiltração básica (equações de Horton e Kostiakov-Lewis) comparada com valores medidos pelo método do infiltrômetro de duplo cilindro, em dois sistemas de manejo.

Sistema de manejo	Equação	Índices estatísticos		
		CMR	CA	EF
Preparo convencional	Horton	-0,428	0,516	0,315
	Kostiakov-Lewis	-0,171	0,771	0,858
Plantio direto	Horton	-0,278	0,466	0,334
	Kostiakov-Lewis	-0,123	0,869	0,918

6 CONCLUSÕES

1. As taxas médias de infiltração básica do Latossolo Roxo estudado foram de 92,2 e 92,8mm h⁻¹, para os sistemas preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), respectivamente, consideradas muito altas. Esses valores apresentaram alta variabilidade, com coeficientes de variação de 78,6% para o PC e 83,5% para o PD.

2. Apesar de as equações de Horton e Kostiakov-Lewis apresentarem bom ajuste, os

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa-Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

CAMARGO, O.A. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. *Bol. Téc. Inst. Agron. (Campinas)*, n.106, p.1-94, 1986.

CLEMMENS, A.J. Infiltration equations for border irrigation models. In: NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN INFILTRATION, 1983, Chicago.

índices estatísticos evidenciaram que a equação de Kostiakov-Lewis é mais adequada para a estimativa da taxa de infiltração básica no Latossolo Roxo estudado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO FILHO, J.C.; RIBEIRO, M.R. Infiltração da água em cambissolos do Baixio de Irecê (BA). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.20, p.363-370, 1996.
- GERMANN, P.F. Slug approach to infiltration into soil with macropores. In: NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN INFILTRATION, 1983, Chicago. *Proceedings...* St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1983. p.171-77.
- LIBARDI, P. *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba: Ed. do Autor, 1995. 497 p.
- REICHARDT, K. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. *Proceedings...* St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1983. p.266-274.
- DERPSCH, R. et al. *Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn: GTZ; Londrina: IAPAR, 1991. 272 p. (GTZ. Sonderpublikation, 245).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979. Não paginado.
- In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. cap.3, p.319-344.
- WILSON, G.V.; LUXMOORE, R. J. Infiltration, macroporosity, and mesoporosity distributions on two forested watersheds. *Soil Sci. Am.*, v.52, p.329-35, 1988.
- ZACHARIAS, S. et al. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, St. Joseph, v. 39, p. 47-54, 1996.