DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA DA ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS

Pedro Fernandes BOMFIM[1]

Fernando Cesar BERTOLANI[2]

Arley Figueiredo PORTUGAL[3]

RESUMO O conhecimento da capacidade de infiltração da água no solo é de fundamental importância no manejo sustentável dos sistemas agrícolas e naturais. O objetivo deste trabalho foi determinar a velocidade de infiltração básica (VIB) da água no solo sob diferentes manejos, em um Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico, utilizando o infiltrômetro de duplo anel. Os manejos avaliados foram: a) solo sob mata nativa; b) solo sem revolvimento predominante em pousio; c) solo sob preparo convencional. Os dados médios foram ajustados ao modelo de Kostiakov, sendo atribuído um limite no eixo do tempo para declividade da velocidade de infiltração, da reta tangente do ângulo β igual a 1º, limite considerado o valor estável correspondente a VIB estimada. Obteve-se então valores VIB estimada de 50,0 mm h^{-1} aos 227 min na mata nativa; 46,1 mm h^{-1} aos 213 min no preparo convencional; e 29,1 mm h^{-1} aos 157 min no manejo sem revolvimento de solo. Verificou-se que a mata nativa apresentou capacidade de infiltração superior aos demais sistemas, seguido do preparo convencional, e o sem revolvimento com menores valores de infiltração acumulada e velocidade de infiltração básica. Os resultados observados indicam a influência antrópica do manejo no processo de infiltração de água no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Velocidade de infiltração; manejo; infiltrômetro de duplo anel.

[1] Graduando do curso Engenharia Agronômica, Centro Universitário Central Paulista - UNICEP, Rua Miguel Petroni 5111, 13563-470 São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: pedrofb26@hotmail.com

[2] Orientador. Doutor pela Universidade Estadual de Campinas, Ciências do Solo. Docente do Curso de Engenharia Agronômica, Centro Universitário Central Paulista - UNICEP, Rua Miguel Petroni, 5111, 13563-470, São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: fernando@csolos.com.br

[3] Coorientador. Doutor pela Universidade Federal de Viçosa, Ciências do Solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Milho e Sorgo, Rodovia MG-424, Km 45, Caixa Postal: 285, 35701-970, Sete Lagoas, MG, Brasil. E-mail arley.portugal@embrapa.br

Introdução

O solo e a água são recursos fundamentais no desenvolvimento dos sistemas agrícolas e naturais. No Brasil, devido a sua extensão territorial e a diversidade de condições climáticas, apresenta um sistema de produção agropecuária sob diversos tipos e usos de solo, caracterizados por diferentes sistemas de manejos agrícolas (REICHARDT, 1978). Apesar do potencial produtivo do Brasil na atividade agropecuária, a intensificação de uma produção sustentável emerge como uma necessidade premente frente as previsões de instabilidade climática, sendo ampliada na projeção do crescimento populacional com a crescente demanda mundial por alimentos, fibras e energia (MARIN et al., 2016), requerendo o incremento da irrigação, de forma a assegurar a produção, aumentar produtividade agrícola, entre outros fatores (ALBUQUERQUE, 2008). Diante deste cenário, integrado a questões sócio ambientais, destaca-se a importância do adequado manejo do solo e uso racional da água, no desenvolvimento sustentável dos sistemas agrícolas alicerçadas na conservação do solo e da água (ANDRADE; FREITAS; LANDERS, 2010).

A infiltração é o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo, sendo o conhecimento deste processo de fundamental importância na definição de práticas de conservação do solo e da água, manejo eficiente da irrigação, drenagem e controle do escoamento superficial (BRANDÃO et al., 2006). A infiltração compreende uma das fases importantes do ciclo hidrológico da água, decorrente da entrada de água no solo, seja pela chuva ou irrigação, contribuindo no equilíbrio do balanço hídrico nas raízes e recarga de aquíferos subterrâneos por meio da drenagem profunda (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

O processo de infiltração envolve diversos fatores de maneira dinâmica e variável. Segundo Rawls et al. (1996) citado por Brandão et al. (2006), classificam os fatores que interferem a infiltração em quatro categorias: os fatores ligados ao solo, fatores relacionados a superfície, manejo do solo e a fatores ambientais. Conforme citado por Pinheiro et al. (2009), segundo Cecílio (2002, p.8) “o manejo do solo afeta a capacidade de infiltração à medida que interfere nas propriedades do solo e nas condições de sua superfície, através de práticas como cultivo agrícola e irrigação”.

A determinação da velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo fornece subsídios no dimensionamento de sistemas de irrigação pressurizados, na escolha do aspersor (Ia < VIB), de forma que intensidade de aplicação (Ia) do emissor seja menor que a velocidade de infiltração básica (VIB) e evitar perdas por erosão no controle do escorrimento superficial da água (MENDONÇA, 2010).

Neste contexto, objetivo deste trabalho foi determinar a velocidade de infiltração básica da água no solo sob diferentes manejos, de forma a avaliar o efeito na capacidade de infiltração entre os manejos, utilizando o método do infiltrômetro de duplo anéis concêntricos.

Material e métodos

O experimento foi realizado em Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, situado no Perímetro de Irrigação do Gorutuba, município de Nova Porteirinha, Minas Gerais (latitude 15°45 23" S, longitude 43°16'53" W e altitude 530 m).

Segundo a classificação de Köppen, o clima típico é o Aw, caracterizado savana com inverno seco, com precipitação média anual em torno de 800 mm, concentrados de novembro a abril, e temperatura média de 24,7 °C, com pequena variação anual. Conforme análise granulométrica (EMBRAPA, 1997) da camada de 0 a 20 cm resultou em teores médios de 120 g kg^{-1} de areia grossa (2 a 0,2 mm), 370 g kg^{-1} de areia fina (0,2 a 0,053 mm), 210 g kg^{-1} de silte e 300 g kg^{-1} de argila, e na camada de 20 a 40 cm teores de 118 g kg^{-1} de areia grossa, 372 g kg^{-1} de areia fina, 215 g kg^{-1} de silte e 295 g kg^{-1} de argila. Sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura média, equivalente a franco argilo-arenosa (EMBRAPA, 2013; SANTOS et al., 2018).

Para referido trabalho foram avaliadas três áreas com manejos diferentes, sendo a mata nativa (MN), localizada a 60 m dos cultivos agrícolas, atribuída como testemunha em comparação ao sistema sem revolvimento de solo (SR- plantio direto e pousio) e ao sistema de preparo convencional (PC). No sistema de PC, historicamente nos últimos 10 anos, anualmente o preparo de solo é realizado com grade aradora e niveladora, com o cultivo de milho e sorgo em sucessão, sob sistema irrigado. Na área sem revolvimento de solo, inicialmente por 02 anos foi cultivado no sistema de plantio direto, ficando na sequência a área em pousio nos últimos 07 anos. A mata nativa (MN) apresentava um mínimo de 47 anos sem qualquer ação antrópica, caracterizada como Floresta Estacional Decidual, conhecida como "mata seca" (RADAMBRASIL, 1982).

Os valores de infiltração da água no solo foram obtidos de acordo os procedimentos citados por Bernardo, Soares, Mantovani (2006), utilizando o método do infiltrômetro de duplo anel, que consiste num conjunto de dois anéis concêntricos de 50 e 25 cm de diâmetro respectivamente, ambos com altura de 30 cm e 0,5 cm de espessura. Os testes à campo

ocorreram nos meses de agosto e setembro, durante o período de estiagem, condição de solo seco, em cada sistema de manejo foram realizados ensaios de infiltração, em triplicata, visando estabelecer uma reprodutibilidade.

Os anéis foram cravados a uma profundidade de 15 cm no solo e posicionados de maneira concêntrica. Após revestir o anel interno com plástico, adicionou-se água, simultaneamente, a água no anel externo com a finalidade de reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno, assegurando que a infiltração da água do anel interno tivesse uma direção predominante vertical.

Em seguida, retirou-se o plástico e com um auxílio de uma régua graduada fixada na parte interna do cilindro interno, as leituras foram tomadas a 1 minuto após o início do teste, seguidos de intervalos duplos de 2, 5, 10 ,15, 20 minutos, finalizando com três repetições de 30 minutos, momentos que a velocidade de infiltração atingiu valores praticamente constantes, determinado como velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006), perfazendo no teste tempos acumulados de 1, 3, 5, 10, 15, 25, 35, 50, 65, 85, 105, 135, 165 e 195 minutos.

Para cada intervalo de tempo, foi determinada a quantidade de água infiltrada (equação 1), permitindo uma oscilação máxima de 5 cm no cilindro interno, repondo o volume de água no cilindro interno. Em paralelo no cilindro externo manteve uma carga hidráulica no mesmo nível. Os valores de taxa de infiltração foram obtidos por meio da equação 1:

$$\text{Taxa de Infiltração (cm h}^{-1}) = \frac{\text{Volume infiltrado (cm}^3)}{\text{Área do anel interno (cm}^2) \text{ x tempo (h)}} \quad (1)$$

Os dados médios para cada sistema de manejo foram ajustados ao modelo empírico desenvolvida por Kostiakov, em 1932 (equação 2), aplicando a transformação logarítmica da lâmina de água acumulada (I, cm) em função do tempo acumulado (t, min), obteve-se, por regressão linear, os parâmetros (k e n) da equação:

$$I = k.t^{n} \quad (2)$$

Em que:

I = capacidade de infiltração (cm min^{-1})

k = constante representativa da capacidade de infiltração inicial,

t = tempo percorrido desde o início da infiltração (min),

n = constante que depende do tipo de solo

Inicialmente a equação de infiltração, que é uma equação exponencial, teve que ser transformada em uma equação linear. Para isso, aplicou-se as operações logarítmicas correspondentes à equação de infiltração. Assim: *log I = log k + n log T*. Verifica-se que essa

apresentação da equação de infiltração nada mais é que uma equação da reta do tipo Y = A + B X, em que:

Y = log I

A = log k

B = n

X = log T

No método da regressão linear, os valores de A e B foram determinados pelas seguintes expressões:

$$A = \frac{\sum X \,.\, \sum XY - \sum X^2 \,.\, \sum Y}{(\sum X)^2 - m \,.\, \sum X^2} \quad (3)$$

$$B = \frac{\sum X \,.\sum Y - m \,.\sum XY}{(\sum X)^2 - m \,.\, \sum X^2} \quad (4)$$

em que: m é o número de pares de dados I e T.

A = log k; k = antilog A; então, k = 10A

B = n, então, n = B

Derivando-se a equação de Kostiakov em função do tempo, encontra-se a velocidade de infiltração (VI) de água no solo (equação 5) para um determinado tempo t:

$$VI = \frac{dI}{dt} = 60.\ k.\ n.t^{\,n-1} \quad (5)$$

Em que:

VI = velocidade de infiltração da água no solo, $mm.h^{-1}$;

I = infiltração acumulada, mm; e

t = tempo, h.

Segundo Hillel (1980) citado por Brandão et al. (2006) este modelo matemático de Kostiakov, representa adequadamente o processo de infiltração de água no solo, na maior parte dos intervalos de tempo de interesse para irrigação. Porém esta equação tipo potencial apresenta deficiência da taxa de infiltração de tender a zero para longos valores de tempo.

Para ajustar a esta questão, utilizou-se o critério adotado por alguns autores conforme Costa et al. (1999) e Stürmer et al. (2009), citados por José et al. (2013) ao descreverem no estudo de determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo, atribuíram um limite no eixo dos tempos para uma declividade, da reta tangente do ângulo β igual a 1º, sendo este limite considerado o valor estável correspondente a VIB estimada. Assim, a derivada da equação de Kostiakov no ponto t = Δt, é igual numericamente à tangente do ângulo β:

$$\frac{d\mathrm{VI}}{d\mathrm{t}} = 60.\mathrm{k}.\mathrm{n}.\mathrm{t}^{\,\mathrm{n}-2}.(\mathrm{n}-1) = \mathrm{tang}\,\beta \quad (6)$$

Colocando o termo t em evidência:

$$\mathrm{t} = \left(\frac{\mathrm{tang}\,\beta}{60.\mathrm{k}.\mathrm{n}.(\mathrm{n}-1)}\right)^{\frac{1}{(\mathrm{n}-2)}} \quad (7)$$

Assim a equação 5 foi reescrita na equação 7:

$$\mathrm{VI} = 60.\mathrm{k}.\mathrm{n}\left(\frac{\mathrm{tang}\,\beta}{60.\mathrm{k}.\mathrm{n}.(\mathrm{n}-1)}\right)^{\frac{(\mathrm{n}-1)}{(\mathrm{n}-2)}} \quad (8)$$

Para se obter o valor da VIB atribui-se o valor de -0,01 cm h^{-1} min^{-1} correspondente à tangente de β igual a 1º:

$$\mathrm{VIB} = 60.\ \mathrm{k}.\ \mathrm{n}\left(\frac{-0{,}01}{60.k\ n.(n-1)}\right)^{\frac{(\mathrm{n}-1)}{(n-2)}}$$

Onde:

VIB = velocidade de infiltração básica em cm h^{-1};

k = constante dependente do solo;

n = constante dependente do solo, variando de 0 a 1.

Resultados e discussão

A partir dos dados obtidos à campo pelo método do infiltrômetro de duplo anel, determinou-se os valores médios de infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração (VI) com o respectivo desvio-padrão e os coeficientes de variação (CV) para cada intervalo de tempo, conforme apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Inversamente, observa-se que ao decorrer dos testes, a infiltração acumulada (Ia) aumenta com o tempo, e a velocidade de infiltração (VI) tende a diminuir, até atingir a uma estabilidade, um valor praticamente constante, sendo caracterizado como taxa de infiltração estável ou velocidade de infiltração básica (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Verificou-se nos ensaios práticos à campo, pelo infiltrômetro de duplo anel, valores médios VIB de 92 mm h^{-1}, 54 mm h^{-1} e 38 mm h^{-1} para os sistemas de mata nativa (MN), preparo convencional (PC) e sem revolvimento (SR), respectivamente. Devido variabilidade espacial intrínseca de cada local e diferentes tipos de solo, Sales et al. (2016) recomenda que "a determinação da velocidade de infiltração básica seja executada *in situ*, de forma mais representativa e precisa possível".

Tabela 1 - Valores médios de infiltração acumulada. Valores pontuais e médios da velocidade de infiltração com respectivos coeficientes de variação (CV), observados para cada intervalo de tempo, das repetições realizados na área Sem Revolvimento de solo.

Tempo		**Infiltração (Ia) cm**	**Velocidade de Infiltração (VI) cm h^{-1}**					
Intervalo T (min)	Acumulado T (min)	Valores médios	Valores pontuais teste 1	teste 2	teste 3	Média	Desvio padrão	CV (%)
0	0							
1	1	1,6	102,0	90,0	90,0	94,0	5,66	6,0
2	3	2,8	30,0	45,0	36,0	37,0	6,16	16,7
2	5	3,6	24,0	24,0	21,0	23,0	1,41	6,1
5	10	4,7	13,2	18,0	10,8	14,0	2,99	21,4
5	15	5,7	12,0	15,6	7,2	11,6	3,44	29,7
10	25	7,1	6,0	10,8	7,8	8,2	1,98	24,1
10	35	8,2	5,4	9,6	4,8	6,6	2,14	32,4
15	50	9,6	4,4	7,2	5,2	5,6	1,18	21,0
15	65	10,8	3,6	6,0	4,8	4,8	0,98	20,4
20	85	12,3	2,7	6,0	4,8	4,5	1,36	30,3
20	105	13,6	2,4	5,7	3,9	4,0	1,35	33,7
30	135	15,5	2,6	5,0	3,8	3,8	0,98	25,8
30	165	17,4	2,6	5,0	3,8	3,8	0,98	25,8
30	195	19,3	2,6	5,0	3,8	3,8	0,98	25,8

Tabela 2 - Valores médios de infiltração acumulada. Valores pontuais e médios da velocidade de infiltração com respectivos coeficientes de variação (CV), observados para cada intervalo de tempo, das repetições realizados na área de Preparo Convencional.

Tempo		**Infiltração (Ia) cm**	**Velocidade de Infiltração (VI) cm h^{-1}**					
Intervalo T (min)	Acumulado T (min)	Valores médios	Valores pontuais teste 1	teste 2	teste 3	Média	Desvio padrão	CV (%)
0	0							
1	1	1,6	90,0	96,0	108,0	98,0	7,48	7,6
2	3	3,2	27,0	57,0	54,0	46,0	13,49	29,3
2	5	4,2	21,0	36,0	33,0	30,0	6,48	21,6
5	10	6,0	14,4	26,4	24,0	21,6	5,18	24,0
5	15	7,5	13,2	22,8	18,0	18,0	3,92	21,8
10	25	9,9	10,2	18,6	15,6	14,8	3,48	23,5
10	35	11,8	9,0	12,0	13,2	11,4	1,77	15,5
15	50	14,2	7,2	11,2	10,4	9,6	1,73	18,0
15	65	16,3	6,8	9,6	8,8	8,4	1,18	14,0
20	85	18,7	6,0	8,1	6,9	7,0	0,86	12,3
20	105	20,7	6,0	6,6	5,4	6,0	0,49	8,2
30	135	23,4	5,6	5,8	4,8	5,4	0,43	8,0
30	165	26,1	5,6	5,8	4,8	5,4	0,43	8,0
30	195	28,8	5,6	5,8	4,8	5,4	0,43	8,0

Tabela 3 - Valores médios de infiltração acumulada. Valores pontuais e médios da velocidade de infiltração com respectivos coeficientes de variação (CV), observados para cada intervalo de tempo, das repetições realizados na área de Mata Nativa.

Tempo		**Infiltração (Ia) cm**	**Velocidade de Infiltração (VI) cm h^{-1}**					
Intervalo T (min)	Acumulado T (min)	Valores médios	Valores pontuais teste 1	teste 2	teste 3	Média	Desvio padrão	CV (%)
0	0							
1	1	2,1	138,0	126,0	108,0	124,0	12,33	9,9
2	3	3,4	48,0	42,0	33,0	41,0	6,16	15,0
2	5	4,4	30,0	30,0	27,0	29,0	1,41	4,9
5	10	5,9	20,4	20,4	14,4	18,4	2,83	15,4
5	15	7,3	18,0	18,0	13,2	16,4	2,26	13,8
10	25	9,5	14,4	14,4	11,4	13,4	1,41	10,6
10	35	11,5	12,6	12,6	9,6	11,6	1,41	12,2
15	50	14,3	12,0	12,0	10,0	11,3	0,94	8,3
15	65	16,7	9,6	9,6	9,6	9,6	0,00	0,0
20	85	19,9	9,6	9,6	9,3	9,5	0,14	1,5
20	105	23,0	9,6	9,6	9,3	9,5	0,14	1,5
30	135	27,6	9,4	9,6	8,6	9,2	0,43	4,7
30	165	32,2	9,4	9,6	8,6	9,2	0,43	4,7
30	195	36,8	9,4	9,6	8,6	9,2	0,43	4,7

Aplicou-se a transformação logarítmica no tempo acumulado (t, min) e nos valores médios de infiltração acumulada (I, cm) para os respectivos manejos avaliados, conforme demonstrados na Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 - Transformação logarítmica no tempo acumulado e nos valores médios de infiltração acumulada obtidos nos testes em área Sem Revolvimento de solo.

Tempo acumulado T (min)	**I (cm)**	**X = Log T**	**Y = Log I**	**XY**	**X^2**
0					
1	1,6	0,00000	0,19498	0,00000	0,00000
3	2,8	0,47712	0,44716	0,21335	0,22764
5	3,6	0,69897	0,55226	0,38601	0,48856
10	4,7	1,00000	0,67517	0,67517	1,00000
15	5,7	1,17609	0,75587	0,88898	1,38319
25	7,1	1,39794	0,84921	1,18715	1,95424
35	8,2	1,54407	0,91204	1,40826	2,38415
50	9,6	1,69897	0,98076	1,66628	2,88650
65	10,8	1,81291	1,03208	1,87107	3,28665
85	12,3	1,92942	1,08873	2,10061	3,72266
105	13,6	2,02119	1,13354	2,29110	4,08521
135	15,5	2,13033	1,19033	2,53580	4,53832
165	17,4	2,21748	1,24055	2,75090	4,91724
195	19,3	2,29003	1,28556	2,94397	5,24426
	$\sum$	**20,39453**	**12,33824**	**20,91865**	**36,11861**

Tabela 5 - Transformação logarítmica no tempo acumulado e nos valores médios de infiltração acumulada obtidos nos testes em área de Preparo convencional.

Tempo acumulado T (min)	I (cm)	X = Log T	Y = Log I	XY	X^2
0					
1	1,6	0,00000	0,21307	0,00000	0,00000
3	3,2	0,47712	0,50060	0,23885	0,22764
5	4,2	0,69897	0,61979	0,43321	0,48856
10	6,0	1,00000	0,77573	0,77573	1,00000
15	7,5	1,17609	0,87313	1,02688	1,38319
25	9,9	1,39794	0,99710	1,39388	1,95424
35	11,8	1,54407	1,07311	1,65695	2,38415
50	14,2	1,69897	1,15331	1,95943	2,88650
65	16,3	1,81291	1,21307	2,19920	3,28665
85	18,7	1,92942	1,27107	2,45242	3,72266
105	20,7	2,02119	1,31527	2,65841	4,08521
135	23,4	2,13033	1,36860	2,91557	4,53832
165	26,1	2,21748	1,41609	3,14015	4,91724
195	28,8	2,29003	1,45889	3,34091	5,24426
	∑	**20,39453**	**14,24882**	**24,19159**	**36,11861**

Tabela 6 - Transformação logarítmica no tempo acumulado e nos valores médios de infiltração acumulada obtidos nos testes em área de Mata Nativa.

Tempo acumulado T (min)	I (cm)	X = Log T	Y = Log I	XY	X^2
0					
1	2,1	0,00000	0,31527	0,00000	0,00000
3	3,4	0,47712	0,53572	0,25560	0,22764
5	4,4	0,69897	0,64345	0,44975	0,48856
10	5,9	1,00000	0,77330	0,77330	1,00000
15	7,3	1,17609	0,86332	1,01535	1,38319
25	9,5	1,39794	0,97924	1,36893	1,95424
35	11,5	1,54407	1,05944	1,63584	2,38415
50	14,3	1,69897	1,15534	1,96288	2,88650
65	16,7	1,81291	1,22272	2,21668	3,28665
85	19,9	1,92942	1,29813	2,50463	3,72266
105	23,0	2,02119	1,36236	2,75358	4,08521
135	27,6	2,13033	1,44143	3,07073	4,53832
165	32,2	2,21748	1,50831	3,34464	4,91724
195	36,8	2,29003	1,56624	3,58675	5,24426
	∑	**20,39453**	**14,72426**	**24,93866**	**36,11861**

Obteve-se então, por regressão linear, os parâmetros (k e n) das equações pelo modelo matemático de Kostiakov (1932), descritas e representados graficamente na Figura 1.

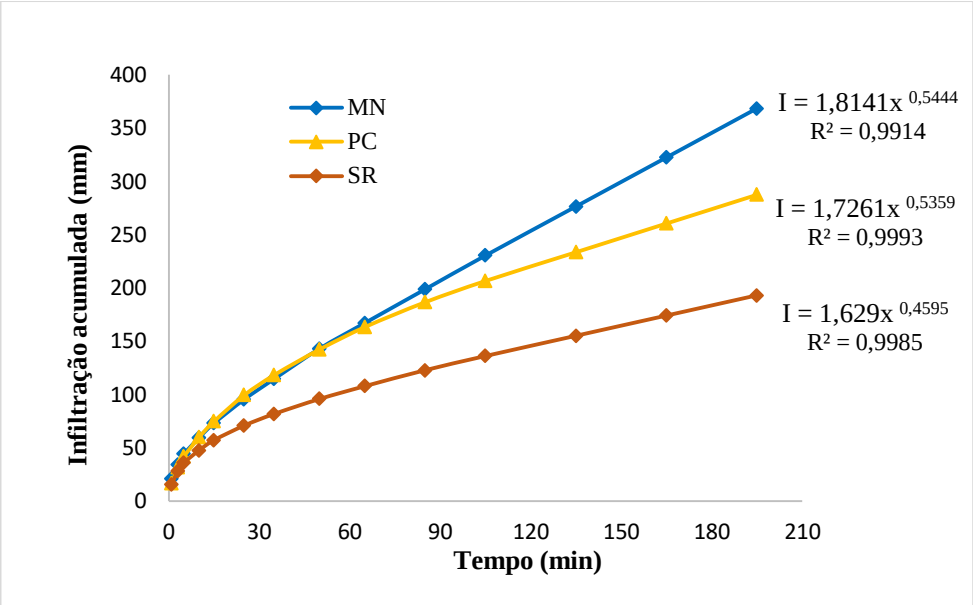

Figura 1 – Infiltração acumulada (cm) em função do tempo (min) nos sistemas de manejo do solo sem revolvimento (SR), preparo convencional (PC) e mata nativa (MN) e respectivas equações potencial ou de kostiakov (1932).

Derivado a equação de Kostiakov em função do tempo, a fim de ajustar os dados médios experimentais de campo, determinou-se velocidade de infiltração (VI) estimada para um determinado tempo, descrita pelas equações junto a representação gráfica apresentadas na Figura 2.

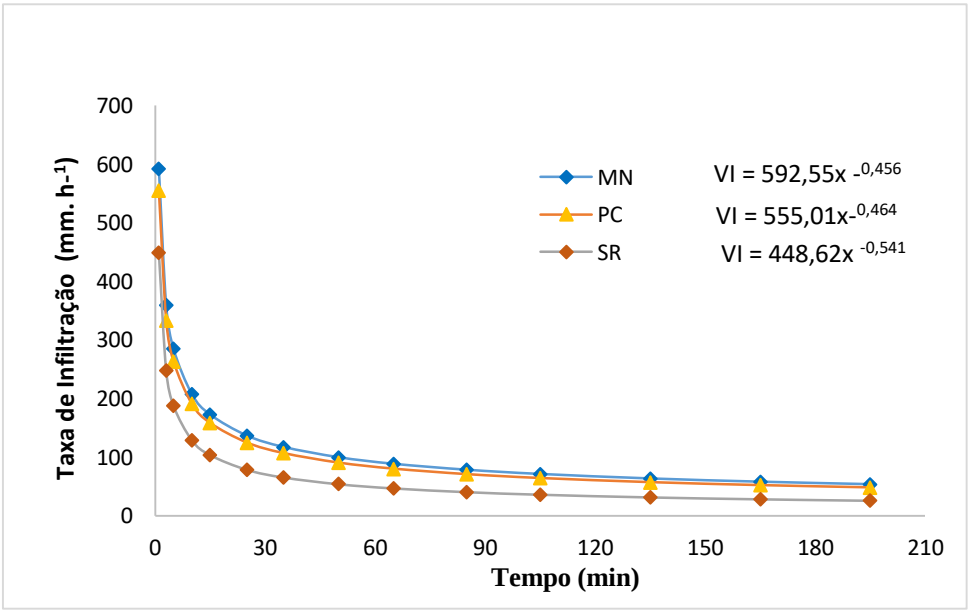

Figura 2 – Velocidade de infiltração estimada e respectivas equações de ajuste a partir do modelo de Kostiakov para valores observados nos sistemas de manejo do solo sem revolvimento (SR), preparo convencional (PC) e mata nativa (MN).

Adequou-se a declividade da curva de velocidade de infiltração, derivada da equação de kostiakov, definindo-se o instante em que equivale a -0,01cm h^{-1} $minuto^{-1}$, correspondente à tangente de β igual a 1º, conforme o critério adotado pelos autores Costa et al. (1999) e Stürmer et al. (2009), citados por José et al. (2013). Obteve-se então valores de velocidade de infiltração básica (VIB) estimada de 50,0 mm h^{-1} aos 227 min no sistema de mata nativa, 46,1 mm h^{-1} aos 213 min no preparo convencional e 29,1 mm h^{-1} aos 157 min sistema sem revolvimento de solo, sendo demostrado no gráfico (Figura 3).

Percebe-se que os resultados ao longo do teste que infiltração acumulada e a velocidade de infiltração básica, foram maiores na mata nativa (MN), seguido dos sistemas de preparo convencional (PC) e o sem revolvimento (SR) com menores valores, evidenciando a importância da vegetação nativa no ciclo hidrológico e na manutenção do regime dos recursos hídricos naturais (VIANA et al., 2017). Nota-se que o solo de mata nativa apresentou capacidade de infiltração superior à dos demais sistemas, indicando a influência antrópica do uso e manejo na taxa de infiltração de água no solo. Outros estudos como o de Corrêa (1985) e Zwirtes et al. (2011), constataram que a infiltração é superior em área de mata nativa do que em solos com diferentes cultivos. Alves et al. (2005), citado por Zwirtes et al. (2011), também obtiveram resultados significativos de infiltração de água no solo para mata nativa em comparação a uma área recém preparada e uma área preparada há nove meses em um Latossolo vermelho amarelo distrófico franco argilo-arenoso.

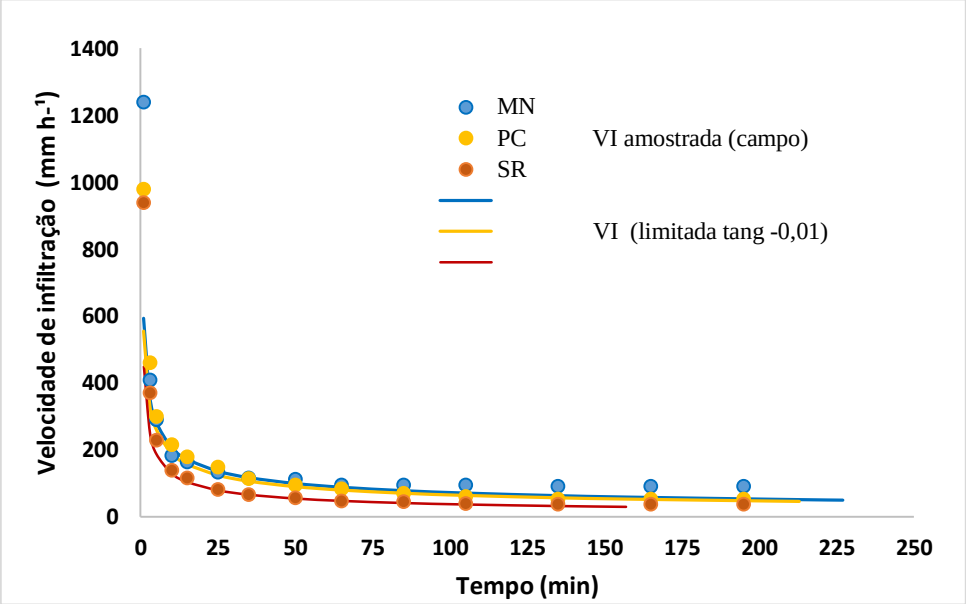

Figura 3- Velocidade de infiltração (VI) observados à campo e velocidade de infiltração estimada demonstrando a taxa de infiltração estável (VIB), para determinado tempo (t), no limite correspondente tangente de β igual a 1º.

Verifica-se no sistema de preparo convencional resultados próximos dos observados no solo de mata nativa, com infiltração acumulada 287,7 mm e velocidade de infiltração básica 46,1 mm h^{-1}, superiores aos valores observados no manejo sem revolvimento (SR). A textura e estrutura são fatores determinantes na taxa de infiltração de água no solo (BRANDÃO et al., 2006). Também observados por Netto (2005) os resultados da infiltração acumulada e a velocidade de infiltração de água no solo para o sistema manejo convencional foram maiores do que no solo mantido em pousio, corroborando com as avaliações de Sidiras e Roth (1987). Estas diferenças de valores de infiltração entre os sistemas de manejo se deve ao fato do preparo convencional acontece o revolvimento de solo promovendo a desestruturação de camadas compactadas, favorece o processo de infiltração de água no solo.

Observações anteriores levantados por Sales et al. (2016), nas mesmas áreas e respectivos manejos, em estudo da qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido, verificou-se que a densidade do solo, Ds (g/cm³), na camada de 0,00 a 0,05 m foi maior manejo sem revolvimento (SR) com médias Ds de 1,67, seguidos de 1,56 no sistemas de preparo convencional (PC), e 1,22 na MN com menor densidade, já indicando uma maior compactação superficial do solo no manejo sem revolvimento (SR). Provavelmente estas condições físicas ainda se prevalecem nas respectivas áreas, devido a persistência dos manejos nos anos seguintes, inclusive acentuando no sistema SR em função da descontinuidade do plantio direto com pousio em sequência, impactando no processo da infiltração.

O sistema de manejo SR do solo registrou-se menor valor de infiltração acumulada e velocidade de infiltração básica, sendo 193 mm e 29,1 mm h^{-1}, respectivamente. Destaca-se ao longo dos testes, em comparação aos dos demais manejos, além da redução nos valores de Ia e VIB, observa-se uma maior variação da taxa de infiltração a cada intervalo de tempo, expressos nos coeficientes de variação (CV%), demonstrados nas Tabelas 1, 2 e 3. Pode-se associar estes resultados ao histórico do manejo, cultivo em plantio direto nos primeiros anos, no qual Sales et al. (2016) destacou uma melhoria dos indicadores físicos do solo na área. Porém como não houve continuidade, e o solo manteve sob pousio há praticamente 7 anos, sem uma cobertura vegetal eficiente na formação de biomassa e raízes profundas, somado aos efeitos de compactação do solo causados pela movimentação sazonal de máquinas agrícolas (PRUSKI et al., 1997), resultando na redução do potencial de infiltração da água no solo (Figura 1).

De acordo com Bernardo, Soares, Mantovani (2006), os valores de VIB segundo a textura do solo podem ser: arenosa quando de 25 a 250 mm/h; franco-arenosa de 13 a 76 mm/h; franco-arenosa-argilosa de 5 a 20 mm/h e franco-argilosa: 2,5 a 15 mm/h. Apesar dos resultados

de velocidade de infiltração básica encontrados pareçam incoerentes em relação a classe textural do solo, classificado como franco-arenosa-argiloso, os elevados valores de VIB amostrados nos testes e estimados pelo ajuste da equação de kostiakov, pode-se relacionar a problemática do método adotado, o infiltrômetro de anel, em superestimar a taxa de infiltração de água no solo (BRANDÃO et al., 2006). Entretanto os resultados permitem comparar a capacidade de infiltração nos diferentes sistemas, como indicadores da interferência do uso e manejo no processo de infiltração de água no solo.

Conclusão

Os resultados observados de velocidade de infiltração básica indicam a influência antrópica do uso e manejo no processo de infiltração de água no solo. O sistema de mata nativa apresentou capacidade de infiltração superior aos demais sistemas, seguido do preparo convencional e o sistema sem revolvimento predominantemente sob pousio com menor valor de infiltração acumulada e velocidade de infiltração básica.

Destaca-se o potencial da vegetação nativa no ciclo hidrológico e na manutenção do regime dos recursos hídricos naturais e a importância na condução do manejo sustentável dos sistemas de agrícolas na conservação do solo e d`agua.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelas bênçãos na condução deste trabalho em tempos de pandemia. Aos familiares e amigos pelos incentivos e apoio constantes, em especial minha família. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, pelo suporte do local e infraestrutura durante o desenvolvimento prático no Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo. À instituição de ensino - UNICEP, pelos conhecimentos adquiridos. Ao Professor Dr. Fernando Cesar Bertolani na orientação deste trabalho e a todos professores, em especial aos do curso da Engenharia Agronômica.

Determination of basic soil water infiltration speed under different management

ABSTRACT The knowledge of the infiltration capacity of water in the soil is of fundamental importance in the sustainable management of agricultural and naturais systems. The objective

of this work was to determine the basic infiltration velocity (VIB) of water in the soil under different managements, in an Eutrophic Red-Yellow Latosol, using a double-ring infiltrometer. The evaluated managements were: a) soil under native forest; b) soil without disturbance predominantly in fallow; c) soil under conventional tillage. The mean data were fitted to the Kostiakov model, with a limit on the time axis being attributed to the slope of the infiltration velocity, of the tangent line of the angle β equal to 1º, a limit considered to be the stable value corresponding to the estimated VIB. Estimated VIB values of 50.0 mm h^{-1} at 227 min were then obtained in native forest; 46.1 mm h^{-1} at 213 min in the conventional preparation; and 29.1 mm h^{-1} at 157 min in the management without soil tillage. It was found that the native forest presented infiltration capacity superior to the other systems, followed by conventional planting, and the one without revolving with lower values of accumulated infiltration and basic infiltration speed. The results observed indicate the anthropogenic influence of management on the process of water infiltration into the soil.

KEYWORDS: Infiltration speed; management; double ring infiltrometers.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURAES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 528 p.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.E.A. S.; HIPÓLITO, J.L.; CASTILHO, S.R. Propriedades físicas e infiltração de água de um Latossolo Vermelho Amarelo (Oxisol) do noroeste do estado de São Paulo, Brasil, sob três condições de uso e manejo. **Cadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe,** v. 30, p.167-180, 2005

ANDRADE, A. G. de; FREITAS, P. L. de; LANDERS, J. **Aspectos gerais sobre o manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais**. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de (Org.). Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. pt. 1, cap. 1, p. 25-40.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p. il. col.

BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração da água no solo.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.

CECÍLIO, R. A. Aplicação da equação de Green-Ampt na modelagem da infiltração de água em Latossolo Vermelho-Amarelo estratificado. 2002. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

CORRÊA, J. C. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (Typic Acrorthox) do Estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasilia, v.20, n.12, p.1381-1387, dez. 1985.

COSTA, E. L. et al. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 131-134, 1999.

EMBRAPA – Centro nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de Métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013, 353 p.

HILLEL, D. Applications of soil physics. Califórnia: Academic Press Inc., 1980, 385 p.

JOSÉ, J. V.; REZENDE R.; MARQUES, P. A. A.; FREITAS, P. S. L. de; ALVES, D. S. Determinação da Velocidade de Infiltração Básica de Água em Dois Solos do Noroeste do Estado do Paraná. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, n.1, p. 155-170, jan./abr. 2013.

MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; SPOLADOR, H. F. S.; OTTO, R.; PEDREIRA, C. G. S. **Intensificação sustentável da agricultura brasileira Cenários para 2050**. Revista de Política Agrícola, Brasília, DF, ano 25, n. 3, p. 108-124, jul./ago/set. 2016.

MENDONÇA, F. C. (Ed.). **Projetos e manejo de irrigação de pastagens**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2010. 104 p.

NETTO, A. A.; FERNANDES, E. J.; Avaliação da taxa de infiltração de água em um latossolo vermelho submetido a dois sistemas de manejo. Irriga, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 107-115, maio-julho, 2005.

PINHEIRO, A; TEIXEIRA, L. P; KAUFMANN, V. **Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola**. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 4, núm. 2, 2009, pp. 188-199 Universidade de Taubaté, Brasil. Disponível em <https://www.redalyc.org/pdf/928/92811747017.pdf>. Acesso em 22 març. 2021.

PRUSKI, F.F; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L.N.; ANTUNES, V. L. **Infiltração de água no solo**. (S.l.: s.n.), 1997. 26 p. (Caderno didático, 25).

RADAMBRASIL Departamento Nacional de Produção Mineral Folha SD. 23 -Brasília. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de janeiro: DNPM, 1982. 660 p. **(Levantamento dos Recursos Naturais**, v.29).

RAWLS, W. J.; DAVID, G.; VAN MULLEN, J. A.; WARD, T. J. **Infiltration**. In: AMERICAN SOCIETY of CIVIL ENGINEERS. Hydrology Handbook. 2. ed. New York: ASCE, 1996. p.75-124. (ASCE Manuals and Report on Engineering Practice, 28)

REICHARDT, K**. A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraW Hill do Brasil, 1978. 119p.

SALES, L. E. de O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S. de; CURI, N. **Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 2091-95, nov. 1999.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 429-438, jul. /set. 2016.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. il. color..

SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Infiltration measurements with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 9, n. 2, p.161-168, 1987.

STÜRMER, S. L. et al. Relação da granulometria do solo e morfologia do aprolito com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2057-2064, 2009.

VIANA, J. L.; ZOLIN, C. A.; BACCIN, G. N.; SANTOS, R. Infiltração de água do solo em latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejos. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 5. 2016, Sinop. **Anais**. Sinop, MT: Embrapa, 2017. p. 48-51

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; ROHR, M. R.; MENEGOL, D. R. Caracterização físico-hídrica de solos submetidos a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 51-66, 2011.