



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

IGOR LEONARDO NASCIMENTO SANTOS

INFILTRÔMETROS DE DIMENSÕES E FORMAS VARIADAS
NA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO
DA ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES USOS

São Cristovão – SE

2018

IGOR LEONARDO NASCIMENTO SANTOS

**INFILTRÔMETROS DE DIMENSÕES E FORMAS VARIADAS
NA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO
DA ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES USOS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
como um dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Recursos Hídricos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho

São Cristovão – SE

2018

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S237i Santos, Igor Leonardo Nascimento.
Infiltrômetros de dimensões e formas variadas na determinação da velocidade de infiltração da água no solo sob diferentes usos / Igor Leonardo Nascimento Santos; orientador Raimundo Rodrigues Gomes Filho. – São Cristóvão, 2018.
46 f.: il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos)– Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Bacias hidrográficas. 2. Infiltração. 3. Teste de penetração no solo. 4. Solos - Composição. 5. Modelos matemáticos. I. Gomes Filho, Raimundo Rodrigues, orient. II. Título.

CDU 631.423.2

IGOR LEONARDO NASCIMENTO SANTOS

**INFILTRÔMETROS DE DIMENSÕES E FORMAS VARIADAS
NA DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO
DA ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES USOS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
como um dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Recursos Hídricos.

APROVADA EM: 08/08/2018

Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho
Orientador

Prof. Dr. Gregório Guirada Faccioli

Prof. Dr. Alceu Pedrotti

São Cristovão – SE

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela graça de existir.

Aos meus pais José Genisson e Josinete, por todo o amor e pelos cuidados na jornada da vida.

A minha namorada, Lana, por todo seu incentivo, companheirismo e amor.

Ao professor Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho, que mais uma vez me acolheu como orientado e me estimulou a seguir o caminho da pós-graduação.

A Sara, Iago e a equipe do campus rural pela grande ajuda em campo.

À Universidade Federal Sergipe que me fornece o necessário para que eu realizasse essa dissertação.

A FAPITEC/SE pelo auxílio financeiro, que viabilizou o mestrado.

Aos meus amigos e familiares pela presença, apoio e orientação.

A todos os meus colegas do mestrado, que dividiram grande parte da construção do conhecimento.

E a todos que direta ou indiretamente me auxiliaram na construção dessa dissertação.

RESUMO GERAL

A infiltração da água no solo é o principal componente do ciclo hidrológico a contribuir com o armazenamento da água em uma bacia hidrográfica, além disso, ela tem suma importância em áreas agrícolas. O teste para determinação da infiltração com uso de duplos cilindros infiltrômetros normalmente demanda de uma grande quantidade de água e tem longas durações. Este trabalho teve como objetivo utilizar infiltrômetros de dimensões reduzidas e formas variadas na determinação da velocidade de infiltração da água no solo sob diferentes usos. O trabalho foi conduzido na área experimental do Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe. Os testes foram realizados em áreas manejadas com plantio direto, cultivo mínimo e cultivo convencional, cultivadas com milho onde foram utilizadas culturas antecedentes de caupi, crotalária, guandu e milheto. Foi também, realizado teste em área de mata nativa. Foram utilizados quatro infiltrômetros sendo um duplo cilindro infiltrômetro com diâmetro interno de 25 cm e externo de 50 cm, um duplo cilindro reduzido com diâmetro interno de 15 cm e externo de 30 cm, um simples cilindro de 30 cm de diâmetro e um duplo de forma quadrada com larguras dos infiltrômetros interno e externo de 15 e 30 cm, respectivamente. O duplo cilindro infiltrômetro foi considerado como padrão e os demais (duplo cilindro reduzido, simples cilindro e duplo quadrado) como alternativos. Para comparação e análise dos resultados das velocidades de infiltração básica da água no solo obtidos entre os infiltrômetros alternativos e o considerado padrão foram utilizados os critérios envolvendo o erro padrão de estimativa (EPE), erro padrão da estimativa ajustado (EPE_a), erro padrão da estimativa ajustado pela origem (EPE_{ao}) e coeficientes de determinação (R^2). Também foi analisada a influência do manejo do solo na capacidade de infiltração do solo e análise de desempenho dos modelos Horton, Kostikov, Kostikov-Lewis e Philip, utilizando-se os índices estatísticos de coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de ajuste (CA), e eficiência (EF). O simples cilindro infiltrômetro utilizou em média menos água nos testes e obteve uma equação de correção da velocidade de infiltração básica da água no solo com resultados muito próximos a do infiltrômetro considerado padrão. Estatisticamente os melhores resultados foram encontrados quando se utilizou o duplo cilindro infiltrômetro reduzido. O manejo menos mecanizado beneficiou o processo de infiltração da água no solo. Os melhores resultados estatísticos foram obtidos pelo modelo de Philip. O modelo de Horton conseguiu estimar melhor a VIB e o modelo de Kostikov-Lewis não se adequaram bem ao solo e obteve resultados inferiores aos outros métodos.

Palavras chaves: duplo cilindro infiltrômetro, simples cilindro infiltrômetro, plantio direto, plantio mínimo, plantio convencional, milho.

ABSTRACT

The infiltration of water into the soil is the main component of the hydrological cycle contributing to the storage of water in a river basin, in addition to being extremely important in agricultural areas. The test for determination of the infiltration using double-cylinder infiltrometers usually requires a large amount of water and has long durations. The purpose of this work was to use infiltrometers of reduced dimensions and varied forms in the determination of the velocity of infiltration of water in the soil under different uses. The work was conducted in the experimental area of the Rural Campus of the Federal University of Sergipe. The tests were carried out in areas managed with no-tillage, minimum tillage and conventional cultivation, cultivated with maize, where previous crops of cowpea, crotalaria, pigeon pea and millet were used. It was also carried out test in area of native forest. Four infiltrometers were used: a double cylinder infiltrometer with internal diameter of 25 cm and external diameter of 50 cm, a reduced double cylinder with internal diameter of 15 cm and external diameter of 30 cm, a single cylinder 30 cm in diameter and a double square infiltrometer with inner and outer widths of 15 and 30 cm, respectively. The double cylinder infiltrometer was considered as standard and the others (double cylinder reduced, single cylinder and double square) as alternatives. In order to compare and analyze the results of the basic infiltration velocities of the water in the soil obtained between the alternative infiltrometers and the considered standard, the criteria involving the standard error of estimation (SEE), standard error of the adjusted estimate (SEEd), standard error of the adjusted by the origin (SEEdo) and determination coefficients (R^2) were used. The influence of soil management on water infiltration capacity and performance analysis of the Horton, Kostiakov, Kostiakov-Lewis and Philip models were also analyzed using the statistical coefficients of residual mass (CRM), coefficient of adjustment (CA), and efficiency (EF). The simple infiltrometer cylinder used on average less water in the tests and obtained an equation of correction of the infiltration velocity of the water in the soil with results very close to the infiltrometer considered standard. Statistically the best results were found when using the

double cylinder infiltrometer reduced. Less mechanized management benefited the process of infiltration of water into the soil. The best statistical results were obtained by the Philip model. The Horton model was able to estimate better the VIB and the Kostiakov-Lewis model did not fit well to the ground and obtained inferior results to the other methods.

Keywords: double cylinder infiltrometer, simple cylinder infiltrometer, no-till, minimum tillage, conventional tillage, corn.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	5
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1. Bacia hidrográfica.....	10
2.2. Infiltração da água no solo	11
2.3. Teste de infiltração da água no solo	12
2.4. Uso e cobertura do solo	13
2.5. Modelos matemáticos para descrever a infiltração	15
3. REFERÊNCIAS GERAIS.....	17
Artigo 1	22
Artigo 2	35

1. INTRODUÇÃO GERAL

A infiltração da água no solo é o principal componente do ciclo hídrico a contribuir com o armazenamento da água em uma bacia hidrográfica, além disso, ela tem suma importância em áreas agrícolas, sendo um indicador de qualidade física do solo.

Esse fenômeno consiste na passagem da água da superfície para o interior do solo, inicialmente preenchendo os macroporos e com sua saturação é iniciado o preenchimento dos microporos, até que todo o solo se sature. Esse comportamento faz com que sua velocidade inicial seja alta e venha a diminuir com o passar do tempo, se tornando constante no momento da total saturação do solo. A partir deste momento adota-se o termo velocidade de infiltração básica (VIB) para a velocidade estacionária alcançada na saturação.

O teste para determinação da infiltração da água no solo com uso de duplo cilindro infiltrômetro normalmente demanda de uma grande quantidade de água e tem longas durações, com isso vem à necessidade de verificar a possibilidade de utilização de infiltrômetros de dimensões reduzidas e formas variadas.

Modelos de estimativa da velocidade de infiltração da água no solo são utilizados para analisar o comportamento deste parâmetro a fim de facilitar o entendimento do movimento da água no solo. Porém, esses modelos retornam resultados que variam entre si, podendo se tornar mais apropriado para um tipo determinado de solo ou manejo.

Dada a relevância do assunto abordado foi realizado este trabalho apresentado em dois artigos:

Artigo 1 - Infiltrômetros de diferentes dimensões e formas para obtenção da velocidade de infiltração básica da água no solo, cujo o objetivo foi estimar a velocidade da infiltração da água no solo utilizando infiltrômetros de dimensões reduzidas e formas variadas em diferentes usos do solo cultivado com caupi antecedente ao milho;

Artigo 2 – Velocidade de infiltração da água em um ultisol cultivado com milho e caupi como cultura antecedente, que teve como objetivo avaliar como variados manejos do solo influenciaram na capacidade de infiltração da água no solo e da adequação das equações empíricas de Horton, Kostiaikov, Kostiaikov-Lewis e Philip no ajuste do fenômeno da infiltração, utilizando duplos cilindros infiltrômetros de dimensões padrões e reduzidas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação, que faz convergir os escoamentos em redes de drenagem formada por cursos de água, levando ao seu exutório (SILVEIRA, 2009). Já para Pires, Santos e Del Prette (2008) uma bacia hidrográfica compreende um conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes, é o objeto de estudo mais adequado para estudar os processos que ocorrem no ciclo hidrológico, como também a qualidade e produção da água, além dos fluxos de sedimentos e nutrientes.

As bacias hidrográficas têm como principais componentes o solo, a água, a vegetação e a fauna, eles coexistem em permanente e dinâmica entre eles e as ações antrópica (uso/ocupação da paisagem), que afetam os ecossistemas como um todo. Nesses compartimentos naturais, os recursos hídricos dentro de uma bacia constituem indicadores das condições dos ecossistemas no que se refere aos efeitos do desequilíbrio das interações dos respectivos componentes, a partir desses indicadores pode-se determinar, com razoável precisão, prioridades nas intervenções técnicas para correção e prevenção de impactos ambientais negativos que ocorram nas bacias/sub-bacias hidrográficas (FERNANDES e SOUZA, 2013).

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de estudo do ciclo hidrológico, principalmente porque englobar a infiltração e o escoamento superficial, elementos resultantes da precipitação. Pode-se defini-la como uma área de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes (ARAÚJO e LOBÃO, 2009). De acordo com Wadt et al. (2004), dos elementos que constituem o ciclo hidrológico, especialmente dois devem ter correto manejo nas bacias hidrográficas: a infiltração da água e o escoamento superficial. Entretanto é necessário envolver medidas de controle de todos os recursos naturais e ambientais, além das aptidões socioeconômicas para um correto manejo do recurso.

As bacias hidrográficas, tanto nas áreas urbanas quanto nas áreas rurais sofrem grandes alterações, especialmente, pela impermeabilização excessiva do solo, que gera mudanças na vazão dos cursos de água, redução das áreas de infiltração das águas pluviais, escoamento superficial mais rápida, aumento na frequência de enchentes, que acabam por sua vez, prejudicando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos e, conseqüentemente, as condições de vida da população (OLIVEIRA e RODRIGUES, 2009).

2.2. Infiltração da água no solo

Para Brandão (2006) a infiltração da água no solo é um fenômeno em que a água atravessa a superfície do solo, onde inicialmente sua velocidade é alta e tende a diminuir com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado (SOBRINHO et al., 2003), esse processo acontece em todos os sentidos no interior do solo, tendo a maior contribuição do potencial gravitacional no sentido vertical (REICHARDT e TIMM, 2004).

Por Paixão (2004),

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo.

Segundo Gondim et al. (2010), o conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo. Determinar a infiltração contribui para o estudo do balanço hídrico e da hidrologia de modo geral, e também para a correta gestão do recurso água.

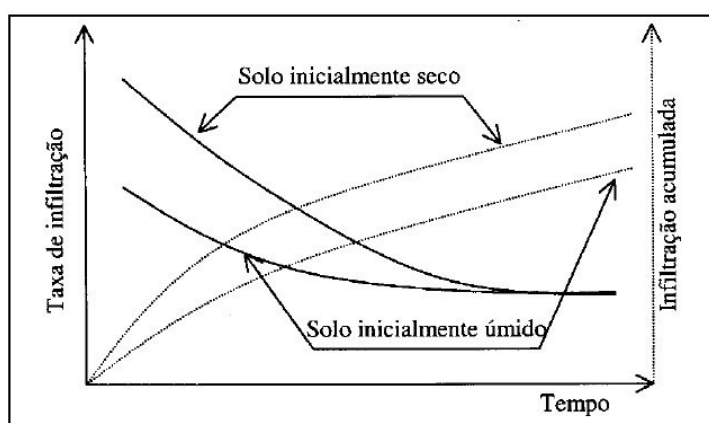


Figura 1. Influência da umidade inicial do solo nas curvas de infiltração. Fonte (BRANDÃO, 2006).

Segundo Bernardo et al. (2006), a velocidade de infiltração está estreitamente relacionada a textura e a estrutura dos solos, variando com a percentagem de umidade do solo, a temperatura do solo, a porosidade do solo, a existência de camada menos permeável ao

longo do perfil, cobertura vegetal, entre outros. Pruski (2006) comenta que velocidade de infiltração básica depende diretamente da textura e da estrutura dos solos. Sendo essas características que indicam quanto tempo a água se mantém na superfície do solo, sendo importante parâmetro a ser utilizado nas práticas conservacionistas e no controle das erosões hídricas (PRUSKI, 2006). Van Schaik (2009) relatou em seus experimentos que a declividade do terreno gerou empoçamentos de água na superfície do solo e escoamento superficial que foram tão importantes quanto a porosidade do solo. Devido a esses fatores é importante que a determinação da infiltração seja realizada em locais que retratem a real condição de do campo, preservando a estrutura, rugosidade e cobertura do solo.

A estimativa das taxas de infiltração é de suma importância para a engenharia de recursos hídricos, uma vez que é necessária para a estimativa da recarga de água da bacia e a concepção de sistemas de irrigação. (ZAKWAN; MUZZAMMIL; ALAM, 2016).

Raws et al. (1996) apresentam valores indicativos da taxa de infiltração de solos sob condições de cultivo e pastagem conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Taxas de infiltração estável de solos de diferentes classes.

Textura do solo	Taxa de infiltração estável (mm h ⁻¹)	
	Cultivo	Pastagem
Areia Franca	38.1 – 94.0	38.1 – 111.8
Franco-arenoso	17.8 – 30.5	30.5 – 38.1
Franco	10.2 – 27.9	25.4 – 63.5
Franco-siltoso	5.1 – 48.3	10.2 – 91.4
Franco-argiloso	10.2 – 25.4	15.2 – 25.4
Franco-argilo-siltoso	7.6 – 33.0	7.6 – 33.0
Argila	5.1	27.9

Fonte: North Central Regional Comittee 40, citado por RAWLS et al. (1996)

2.3. Teste de infiltração da água no solo

A infiltração da água no solo deve ser medida a partir de técnicas que sejam capazes de representar, as condições naturais em que se encontra o solo (CUNHA et al., 2015). Calheiros et al. (2009) afirmam que erros no cálculo da taxa de infiltração básica pode causar falhas no dimensionamento dos projetos de irrigação, diminuir a eficiência do sistema, aumentar os custos de operação, gasto de energia e consumo de água e maximizar impactos ambientais, como erosão do solo, lixiviação de nutrientes e salinização, entre outros.

Coelho et al., (2000) afirmam que existem várias metodologias para se determinar a infiltração da água no solo, dentre as quais se destacam: o infiltrômetro de anéis concêntricos (duplo cilindro infiltrômetro) e o infiltrômetro de aspersores (IAS).

É muito difícil obter valores que realmente expliquem o fenômeno da infiltração como aconteceria naturalmente, por exemplo, o simulador prejudica a superfície e diminui a infiltração, pois o impacto das gotas de chuva, natural ou simulada, sobre o solo, promove um fenômeno chamado encrostamento superficial, o qual promove o rearranjo das partículas sólidas e o adensamento e consolidação de uma estrutura superficial, cuja espessura pode variar de 0.1mm até valores superiores a 50 mm (VALENTIN e BRESSON, 1992). Já os cilindros infiltrômetros criam uma lâmina de água sobre o solo que gera uma carga hidráulica, acelerando a infiltração e podendo gerar VIBs duas vezes maiores que no método do simulador de chuva. (DA COSTA et al., 1999). Para Panachuki *et al.* (2006), em geral, quando se utiliza o infiltrômetro de aspersão, os valores obtidos são menores em relação aos obtidos com outros métodos.

Zuquette e Palma (2006) afirmam que o duplo cilindro infiltrômetro sofre, especialmente em solos muito secos, forte influência da infiltração horizontal, devido ao forte gradiente hidráulico de pressão, entre o solo úmido sob os cilindros e o solo seco circundante, pois os cilindros são cravados com baixa profundidade (15 cm).

Haws et al. (2004) e Lai e Ren (2007) observaram uma relação clara entre o tamanho dos cilindros infiltrômetros e a condutividade hidráulica obtida em teste, de maneira que quanto maior o diâmetro dos cilindros maior foi a condutividade encontrada, assim como os resultados dos cilindros maiores também se aproximaram mais dos valores de experimentos de referência.

2.4. Uso e cobertura do solo

Em uma bacia hidrográfica o uso e cobertura da terra são fatores determinantes na degradação ambiental das águas, pois é a partir deles que serão definidos os usos prioritários da bacia (ESPINDULA, 2012). As bacias hidrográficas, tanto nas áreas urbanas quanto nas áreas rurais sofrem grandes alterações, especialmente, pela impermeabilização excessiva do solo, que gera mudanças na vazão dos cursos de água, redução das áreas de infiltração das águas pluviais, escoamento superficial mais rápida, aumento na frequência de enchentes, que acabam por sua vez, prejudicando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos e, conseqüentemente, as condições de vida da população (OLIVEIRA e RODRIGUES, 2009).

A ação do homem tem grande influencia nas características físicas do solo e pode provocar alterações no mesmo quando o uso é muito agressivo. O manejo do solo altera principalmente a estrutura do mesmo, influenciando no decrescimento radicular. Na maioria das vezes, há degradação da qualidade do solo, cujos principais atributos indicadores são a agregação e a compactação (REICHERT et al., 2003). As características físicas e químicas primárias determinam a estrutura do solo e, portanto, a taxa de infiltração, como também a resposta do solo quando ele é submetido à precipitação (SHAINBERG e LEVY, 1995).

A natureza e a quantidade de cobertura do solo, por evitar o impacto direto das gotas de chuva e pela formação de canais preferenciais formados pelo sistema radicular das plantas, são fatores determinantes do processo de infiltração (FARIA et al. 1998). Segundo Oliveira (2005) cobertura vegetal é responsável pelo aumento da macroporosidade da camada superficial e protege os agregados do impacto direto das gotas de chuva e, conseqüentemente, é capaz de manter altas taxas de infiltração e diminuir consideravelmente as perdas de água do solo. Utilizar plantas antecedentes como cobertura da cultura comercial, é uma técnica bastante utilizada em sistemas de plantio direto, elas têm função de manter o solo protegido e servem como adubo verde. Oliveira et al. (2017) completam afirmando que quando existe a combinação de culturas antecessoras e do não revolvimento do solo, é possível promover melhorias significativas nos atributos químicos e físicos do solo.

A cobertura do solo está ligada diretamente a quantidade de matéria orgânica no solo, mesmo a matéria orgânica não sendo uma característica física do solo propriamente dita, a mesma apresenta importância na sua estrutura e, conseqüentemente, grande influência na velocidade de infiltração da água no solo (BRANDÃO et al., 2009).

A obtenção de dados em campo, como medições de infiltração da água em diferentes solos, relacionados com respectivos usos e ocupações, possibilita estimar a área de cobertura florestal necessária para compensar as perdas de água por escoamento superficial na bacia hidrográfica (BORGES et al., 2005).

É comum encontrar diferenças de velocidades de infiltração básica (VIB) na mesma área, porém com diferentes formas de manejo, demonstrando geralmente que sistemas menos antropizados tendem a ter solo com maior taxa da infiltração (BONO et al., 2012; CUNHA et al., 2015; CARVALHO et al., 2015).

A diminuição da agregação e da estabilidade do solo leva a taxa menores de infiltração de água no solo (NERIS et al., 2012), porém nos sistemas convencionais de preparo do solo, a infiltração tende a ser maior logo após o preparo, por conta da agitação do solo e decai posteriormente e com o crescimento da cobertura a velocidade de infiltração de água no solo

tende a aumentar novamente, especialmente no final da cultura, quando as raízes estão bem desenvolvidas (CARVALHO et al., 2015).

Estudando a sub-bacia do rio Siriri/SE, Santos (2014) observou que a água disponível nas camadas superficiais (de 0-20 cm e 20-40 cm) do solo da região está diretamente ligada a características pedológicas e uso ocupação do solo.

2.5. Modelos matemáticos para descrever a infiltração

Impulsionado pela grande diversidade de solos existentes no mundo e a ambição de encontrar um modelo que melhor simule as condições naturais do ambiente, foram realizadas inúmeras comparações com modelos de infiltração, na tentativa de avaliar suas adequações, já que a adequação do modelo de infiltração para determinado local está sujeita ao tipo de solo e condições de campo (ZAKWAN; MUZZAMMIL; ALAM, 2016)

Podem-se dividir os modelos matemáticos de infiltração de água no solo em duas categorias: empírico e determinísticos (HABILI e HEIDARPOUR, 2015). Sendo esses modelos determinísticos, baseados em considerações físicas e modelos empíricos, com parâmetros relacionados às propriedades do solo, sem que estes tenham necessariamente significado físico, assim, esses não podem ser aplicados a outros tipos de solo ou em condições diferentes daquelas em que seus parâmetros foram determinados (BRANDÃO et al., 2006). Os modelos empíricos mais comuns são o de Horton (1940) e Kostiakov (1932), Kostiakov-Lewis (1945).

Paixão et al. (2009) explicam o que modelo de Kostiakov é uma equação empírica onde os dois parâmetros ajustáveis são determinados a partir de leitura simultânea, e, segundo Philip (1957), sua aplicação é limitada para um tempo muito longo de infiltração. Também fala que o modelo de Horton (1940) não se baseia em nenhuma teoria física, o que é, de acordo com Philip (1957), relativamente inadequado para representar um decréscimo muito rápido da velocidade de infiltração, entretanto, para tempo longo, ele representa melhor a infiltração se comparada com o modelo de Kostiakov, pois, tem uma tendência a sub estimar a infiltração, fato que foi tentado corrigir por Lewis na equação de Kostiakov-Lewis (1945). Já o teórico de Philip pode ser calculado por métodos numéricos ou por meio de análise de regressão, a partir de medições da infiltração, esse modelo foi baseado na equação de Richards (ULOMA et al., 2014).

As conclusões sobre o melhor modelo são diversas, Carvalho et al. (2015) chegaram a conclusão em seus experimentos que a metodologia proposta por Horton é a mais eficiente, já

Cunha et al. (2015) concluíram que a metodologia de Kostiakov expressou melhor o processo de infiltração, mas Cunha et al. (2009) relataram que os modelos de Kostiakov e Horton foram iguais, do ponto de vista estatístico.

3. REFERÊNCIAS GERAIS

ARAUJO, A. M.; LOBÃO, J. S. B. Análise do uso e cobertura da terra na Carta Santa luz SC-24-Y-D-III a partir das geotecnologias. In: Simpósio XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal – RN. **Anais** 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8º. Ed. Editora UFV, Viçosa-MG, 2006. 625p.

BONO, José Antonio Maior et al. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 36, n. 6, 2012.

BORGES, M. J. ; PISSARA, T. C.; VALERI, S. V.; OKUMURA, E. M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Forestalis** n. 69, p.93-103, dez. 2005.

BRANDÃO, V. dos S.; CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. Infiltração da água no solo. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2006. 120 p.

CALHEIROS, C. B. M. et al. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 665-670, 2009.

CARVALHO, Daniel F. de et al. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1072-1078, 2015.

COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte I- infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p.137-141, 2000.

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E.; SANTOS, R. B. J. Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 199-205, 2009.

CUNHA, J. L. X. L. et al. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1021-1027, 2015.

DA COSTA, Édio Luiz et al. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM SOLO, DETERMINADA POR SIMULADOR DE CHUVAS E PELO MÉTODO DOS ANÉIS¹. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 131-134, 1999.

DA PAIXÃO, F. J., ANDRADE, A. R., DE AZEVEDO, C. A., COSTA, T. L., & GUERRA, H. O. C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 2, n. 1, 2009.

ESPINDULA, N. L. **influência do uso e cobertura da terra na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio bubu, município de Cariacica – ES**. 2012. 70 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2012.

FARIA, J.C.; SCHAEFER, C.E.R.; COSTA, L.M. et al. Effects of weed control on physical and micropedological properties of a Brazilian Ultisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 22:731-741. 1998.

FERNANDES, M. R.; SOUZA, L. M. M. **Parâmetros Básicos de Bacias Hidrográficas – Inferências**. 2013. 14 p.

GONDIM, T. M. de S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M. de; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. da S. Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo arenoargiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

HABILI, J. M.; HEIDARPOUR, M. Application of the Green–Ampt model for infiltration into layered soils. **Journal of Hydrology**, v. 25, n. 527, p. 824–832, 2015.

HAWS, Nathan W. et al. Spatial Variability and Measurement Scale of Infiltration Rate on an Agricultural Landscape Contribution of the Indiana Agricultural Research Programs, Purdue Journal Paper 17,205. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 6, p. 1818-1826, 2004.

LAI, J.; REN, L.. Assessing the size dependency of measured hydraulic conductivity using double-ring infiltrometers and numerical simulation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 6, p. 1667-1675, 2007.

NERIS, J. et al. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). **Catena**, v. 98, p. 55-62, 2012.

Oliveira, F. C. C., Pedrotti, A., Felix, A. G. S., Souza, J. L. S., Holanda, F. S. R., & Junior, A. V. M. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017.

OLIVEIRA, M. B. **Análise do desempenho de equações de infiltração e de métodos de determinação da capacidade de campo para solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ**. 2005. Dissertação (Mestrado) - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.

OLIVERA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Utilização de cenários ambientais como alternativa para o zoneamento de bacias hidrográficas: estudo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia MG. **Revista Sociedade & Natureza (Online)**, v. 21, n. 3, p. 45-57, 2009.

PAIXÃO, F. J. R; et al. Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de biologia e ciências da terra**. Campina Grande/PB, v.5, nº 1, p. 2-12, 2004.

PANACHUKI, E. ; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.;URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração

agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 28, n. 1, p. 129-137, Jan-Mar. 2006.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. 2. ed. Ilhéus, BA: Editus, 2008. 293 p.

PRUSKI, F. F. **HIDROS: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Viçosa: UFV, 2006.

RAWLS, W. J. et al. Hydrology Handbook, vol. 28. **Am. Soc. of Civ. Eng., New York**, 1996.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHARDT, K. & TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: processos de aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

SHAINBERG, I. & LEVY, G. J. **Infiltration and Seal Formation Processes**. Institute of Soils and Water, The Volcani Center, Agricultural Reserch Organization, Bet-Dagan, Israel. em: AGASSI, M.(editado por) **Soil Erosion, Conservatio, and Rehabilitation**. Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc.402 p. 1995. p.1-22.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica. In: TUCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS:ABRH, 4. ed., 2009.

SOBRINHO, Teodorico Alves et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

ULOMA, A. R; SAMUEL, A. C; KIGSLEY, I. K. Estimation of Kostiakov's Infiltration Model Parameters of Some Sandy Loam Soils of Ikwuano – Umuahia, Nigeria. **Open Transactions on Geosciences**, v. 1, n. 1, p. 21-30, 2014.

VAN SCHAIK, N. L. M. B. Spatial variability of infiltration patterns related to site characteristics in a semi-arid watershed. **Catena**, v. 78, n. 1, p. 36-47, 2009.

VALENTIN, Christian; BRESSON, L.-M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. **Geoderma**, v. 55, n. 3-4, p. 225-245, 1992.

WADT, P. G.; OLIVEIRA, L. C.; OLIVEIRA, T. K. ; CAVALCANTE, L. M. **Sistema de Aptidão das Terras para Recuperação Ambiental: uma Metodologia de Planejamento Ambiental**. 1ª ed. Rio Branco, AC: EMBRAPA-Acre, 2004. 36 p.

ZAKWAN, M.; MUZZAMMIL, M.; ALAM, J.. Application of spreadsheet to estimate infiltration parameters. **Perspectives in Science**, Amsterdam, 2016.

ZUQUETTE, L. V. e PALMA, J. B. Avaliação da condutividade hidráulica em área de recarga do aquífero Botucatu. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, 59 (1): 81-87, jan. mar. 2006.

Artigo 1

**INFILTRÔMETROS DE DIFERENTES DIMENSÕES E FORMAS VARIADAS
PARA OBTENÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA DA ÁGUA NO
SOLO**

RESUMO

O conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem. Levando em consideração esta importância, o presente trabalho teve como objetivo comparar a velocidade de infiltração básica (VIB) da água no solo obtida por infiltrômetros de dimensões reduzidas e formas variadas em diferentes usos do solo, com a finalidade de reduzir a quantidade de água utilizada e facilitar a instalação dos infiltrômetros. Os testes de infiltração foram realizados em áreas cultivadas com caupi, crotalária, guandu e milho, como culturas antecedentes ao plantio do milho, e manejadas com plantio direto, cultivo mínimo e cultivo convencional. Foi, também, realizado teste em área de mata nativa. Utilizaram-se quatro infiltrômetros, sendo um infiltrômetro duplo com diâmetro interno de 25 cm e externo de 50 cm, um duplo reduzido com diâmetro interno de 15 cm e externo de 30 cm, um simples de 30 cm de diâmetro e um duplo de forma quadrada com larguras dos infiltrômetros interno e externo de 15 e 30 cm, respectivamente. O infiltrômetro duplo foi considerado como padrão e os demais (duplo reduzido, simples e duplo quadrado) como alternativos. Para comparação e análise dos resultados das velocidades de infiltração básica obtidos entre os infiltrômetros alternativos e o considerado padrão foram utilizados os critérios envolvendo o erro padrão de estimativa (EPE), erro padrão da estimativa ajustado (EPEa), erro padrão de estimativa ajustado pela origem (EPEao) e coeficientes de ajustes das equações lineares com seus respectivos coeficientes de determinação. Verificou-se que os infiltrômetros duplo circular reduzido, simples circular e o duplo quadrado proporcionaram uma economia de água de 57,06%, 66,19% e 38,54% respectivamente, em relação ao padrão. Os infiltrômetros alternativos superestimaram a VIB em relação ao padrão. O infiltrômetro circular simples obteve uma equação de correção da VIB que mostrou resultados muito próximos ao do padrão e os melhores resultados da VIB obtidos pelos índices estatísticos foram encontrados para o duplo infiltrômetro reduzido.

Palavras-chave: duplo cilindro infiltrômetro, simples cilindro infiltrômetro, infiltrômetro quadrado, plantio direto, plantio mínimo, plantio convencional.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem (Gondim et al. 2010). Já Alves Sobrinho et al. (2003) acrescenta que no início do processo, a velocidade de infiltração da água no solo é elevada, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado, denominando-se de velocidade de infiltração básica (VIB).

A velocidade de infiltração (VI) da água no solo é uma determinação que tem sido amplamente estudada e deve ser mensurada por meio de técnicas capazes de representar, adequadamente, as condições naturais em que se encontra o solo (CUNHA et al., 2009).

A determinação dessa velocidade de infiltração da água no solo, segundo Fagundes et al. (2012) tem sido determinada por várias metodologias, dentre elas, pode se destacar o uso de duplos cilindros infiltrômetros, por ser simples e de fácil execução. Já Simões et al. (2005) acrescenta que os duplos cilindros infiltrômetros têm como desvantagem o consumo elevado de água durante a realização dos testes, o que muitas vezes, inviabiliza a realização do teste em áreas com difícil acesso a água.

Com a finalidade de reduzir a quantidade de água utilizada e facilitar a instalação dos infiltrômetros, foi proposto este trabalho, o qual teve por objetivo estimar a velocidade da infiltração da água no solo utilizando infiltrômetros de dimensões reduzidas e formas variadas em diferentes usos do solo cultivado com caupi antecedente ao milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, localizada na bacia hidrográfica do rio Poxim, (Figura 1), cujas coordenadas geográficas de Greenwich são 10°9'236"S de latitude e 37°19'93'O de longitude

(OLIVEIRA et al., 2017), em solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (Embrapa, 2013), Ultisol para a USDA soil taxonomy (USDA-NRCS, 1999). A região possui clima chuvoso com verão seco e pluviometria em torno de 1.200 mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro.

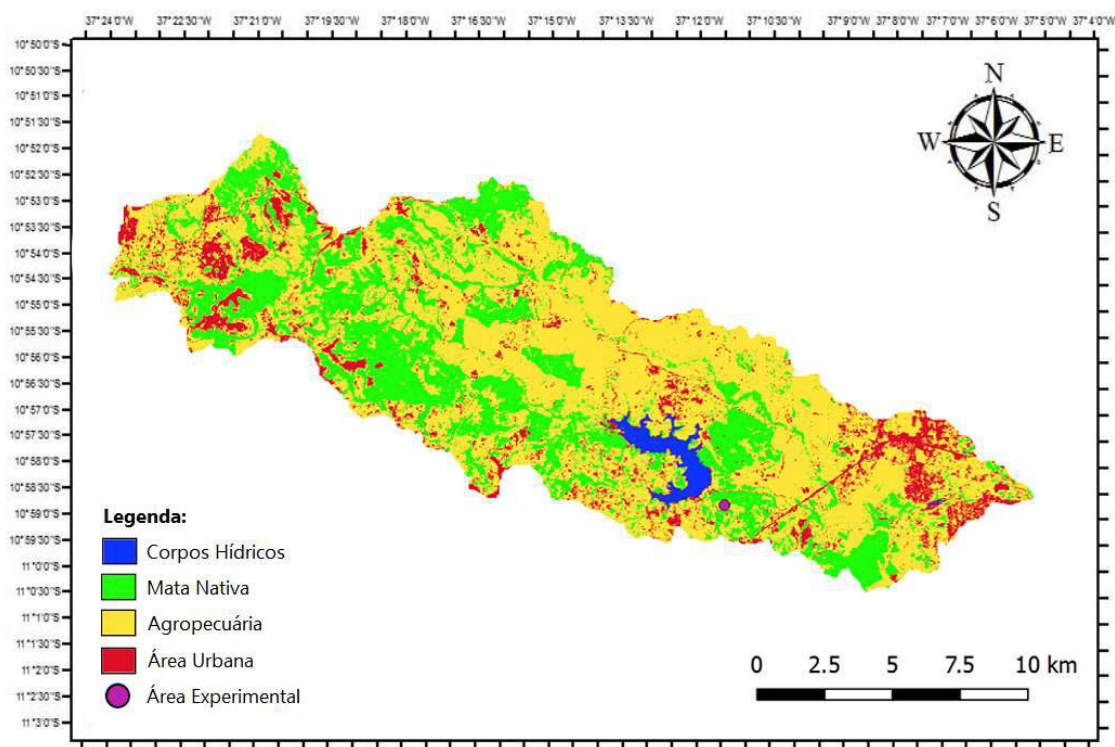


Figura 1. Mapa de uso de terra e cobertura vegetal da bacia do rio Poxim.

A área é cercada de mata nativa e em seu interior são conduzidos vários experimentos em diversas culturas agrícolas, dentre eles, milho sobre diversos tratamentos, pastagem e eucalipto, caracterizando bem os usos de solo encontrados na bacia.

Os testes de infiltração foram realizados em uma área de aproximadamente 3.000 m², onde desde o ano de 2001 vem sendo plantado milho variedade BM 3061 da Biomatrix, a variedade tem duplo propósito: espigas de milho e matéria verde para forragem, sobre três tipos de manejo, o cultivo convencional (CC), composto de gradagem com grade niveladora de discos, aração com arado de discos e mais uma gradagem para nivelamento; cultivo mínimo (CM), composto de 1 ou 2 gradagens com grade niveladora de discos, sendo que a segunda gradagem somente é realizada quando há incidência considerável de invasoras; e plantio direto (PD), consistindo do não revolvimento do solo. Esses três manejos representaram três parcelas diferentes na área, dentro de cada parcela existiam mais doze subparcelas, onde foram plantadas quatro culturas antecedentes em três repetições cada,

distribuídas ao acaso, que foram utilizadas apenas para proteção e melhoramento do solo, são elas: caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), crotalária (*Crotalariajunceae*), guandu (*Cajanuscajan*) e milheto (*Pennisetumglaucum* (L.) R. Br.).

As dimensões da área e a posição das plantas antecedentes podem ser observadas na Figura 2. Além da área agrícola descrita foram realizados testes na mata nativa localizada nas proximidades da mesma.

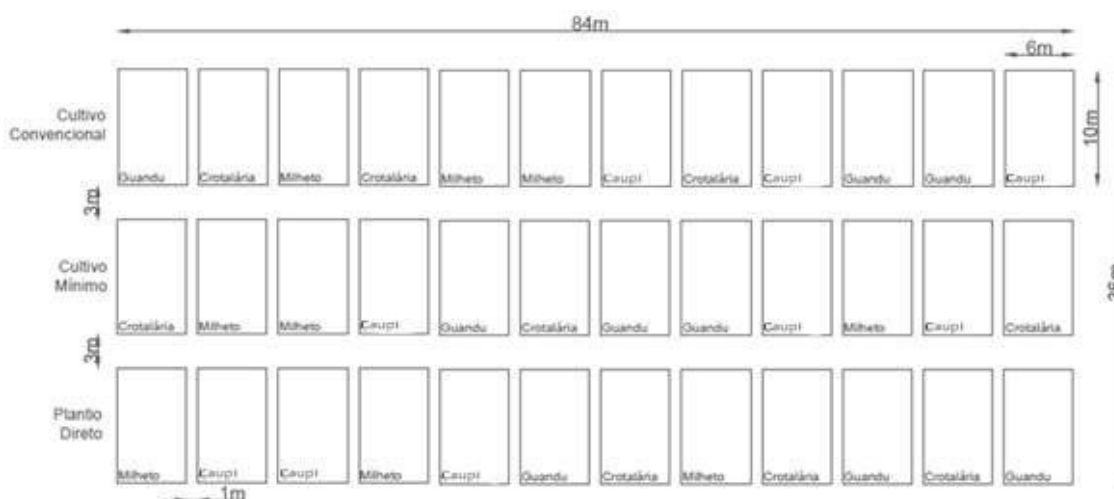


Figura 2. Esquema da área com as dimensões e a disposição de plantas antecedentes sob diferentes usos.

Os testes de infiltração da água no solo foram realizados seguindo a metodologia dos duplos cilindros infiltrômetros e do simples cilindro infiltrômetro, descrita por Brandão et al. (2006), utilizando infiltrômetros de diferentes tamanhos e formas variadas (Tabela 1 e Figura 3).

Tabela 1. Dimensões e formas dos infiltrômetros

Infiltrômetros	Dimensões (cm)	
	Interno	Externo
Duplo cilindro	25	50
Duplo cilindro reduzido	15	30
Simples cilindro	30	-
Quadrado	15	30

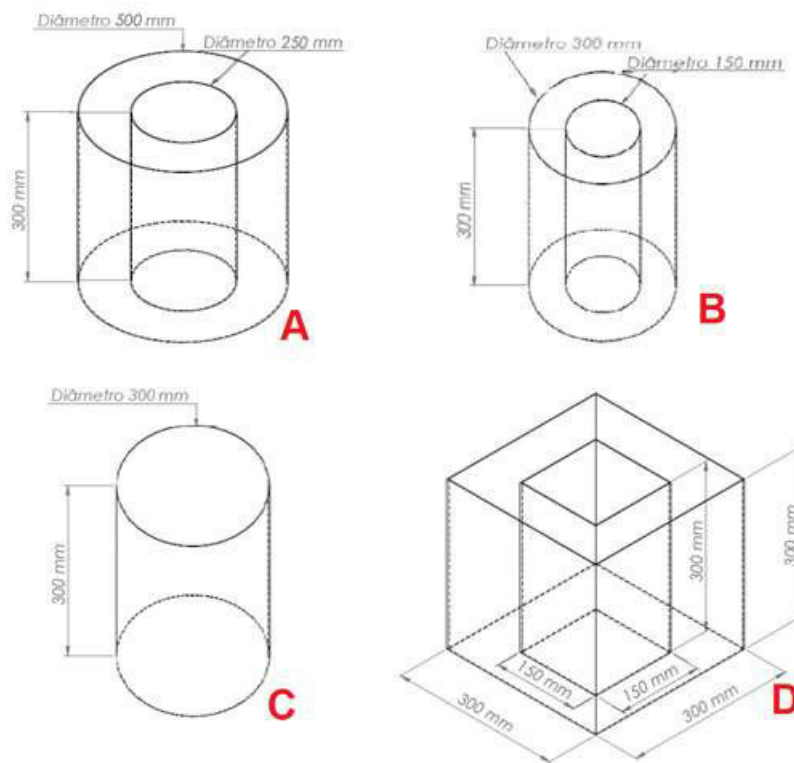


Figura 3. Esquemas descrevendo as dimensões dos infiltrômetros, sendo: A) duplo cilindro infiltrômetro (padrão), B) duplo cilindro infiltrômetro reduzido, C) simples cilindro infiltrômetro e D) duplo infiltrômetro quadrado.

O infiltrômetro duplo de diâmetro interno de 25 cm e externo de 50 cm foi considerado como padrão e os demais como alternativos.

Para melhorar a padronização entre os testes, todos os infiltrômetros foram instalados a uma profundidade de 10 cm e as leituras seguiram o padrão de intervalo tempo de 0, 2, 2, 5, 5, 10, 10, 15, 15, 20, 20, 20 minutos, repetindo leituras de 20 minutos até que a infiltração se estabilizasse, ao início do teste e ao fim de cada leitura, a lâmina de água era reabastecida a altura de 10 cm. Para fins estatísticos foram realizadas três repetições para cada infiltrômetro em cada tipo de uso do solo. Na Figura 4 podem ser observados os infiltrômetros em campo.



Figura 4. Duplo cilindro infiltrômetro, duplo cilindro infiltrômetro reduzido e duplo infiltrômetro quadrado instalados em campo.

Para comparação e análise dos resultados das velocidades de infiltração básica da água no solo obtidos entre os infiltrômetros alternativos e o infiltrômetro duplo considerado padrão foram utilizados os critérios envolvendo o erro padrão de estimativa (EPE), erro padrão da estimativa ajustado (EPE_a), erro padrão de estimativa ajustado pela origem (EPE_{ao}) e coeficientes de ajustes das equações lineares com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) (JENSEN et al.,1990).

$$EPE = \left(\frac{\sum (Y_i - Y_m)^2}{n-1} \right)^{0,5} \quad (1)$$

$$EPE_a = \left(\frac{\sum (Y_{ic} - Y_m)^2}{n-1} \right)^{0,5} \quad (2)$$

em que Y_i é a velocidade de infiltração obtida pelas configurações alternativas dos infiltrômetros (mm.h^{-1}), Y_m é a velocidade de infiltração obtida pelo infiltrômetro padrão (mm.h^{-1}), n é o número total de observações e Y_{ic} é a velocidade de infiltração obtida pela configuração com infiltrômetro padrão corrigida pelos coeficientes da regressão linear (mm.h^{-1}).

As velocidades de infiltração básica da água no solo também foram submetidas ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com o auxílio do software SISVAR 5.6 da Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de observar a economia de água, foi calculada a média do volume gasto em todos dos testes de infiltração. O infiltrômetro padrão utilizou uma média de 42,13 litros de água por teste, enquanto que os infiltrômetros duplo reduzido, simples e duplo quadrado utilizaram em média 18,09, 14,24 e 25,89 litros de água, o que representou uma redução de consumo de 57,06%, 66,19% e 38,54% respectivamente, se mostrando um resultado satisfatório.

Gomes Filho et al. (2014), utilizando cilindros infiltrômetros de dimensões reduzidas para determinação da velocidade de infiltração da água em Latossolo Vermelho distroférico manejado em sistema convencional, obtiveram uma redução no consumo de água de 84,2%, valor superior ao encontrado neste trabalho.

Para estudar a relação da VIB encontrada por cada infiltrômetro, foram plotados os dados de todos os pontos obtidos em campos, onde na coordenada da ordenada foram utilizados os dados do infiltrômetro padrão e nas abscissas os dados dos infiltrômetros alternativos, a linha de tendência foi forçada a origem para que fosse gerada uma equação de ajuste correlacionando os infiltrômetros alternativos com o padrão para os diferentes usos do solo. O resultado pode ser observado nas Figuras 5, 6 e 7.

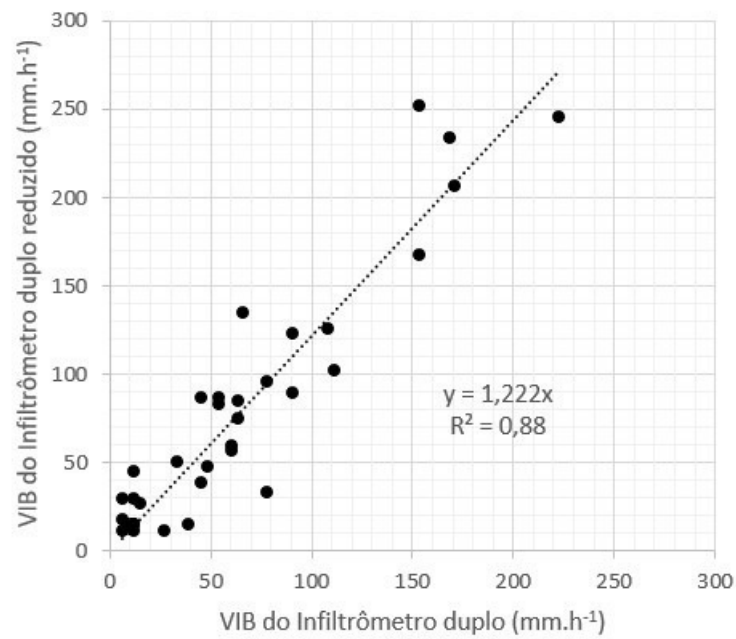


Figura 5. Relação das velocidades de infiltração básica da água no solo (VIB) obtidas pelos infiltrômetros duplo cilindro e duplo cilindro reduzido.

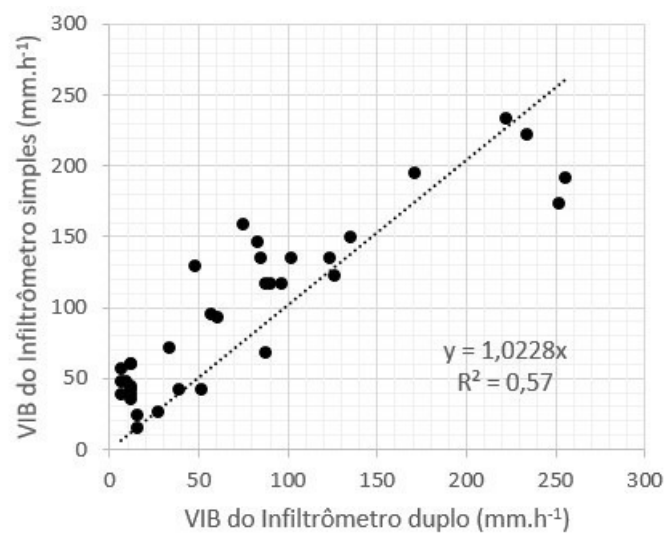


Figura 6. Relação das velocidades de infiltração básica da água no solo (VIB) obtidas pelos infiltrômetros duplo cilindro e simples cilindro.

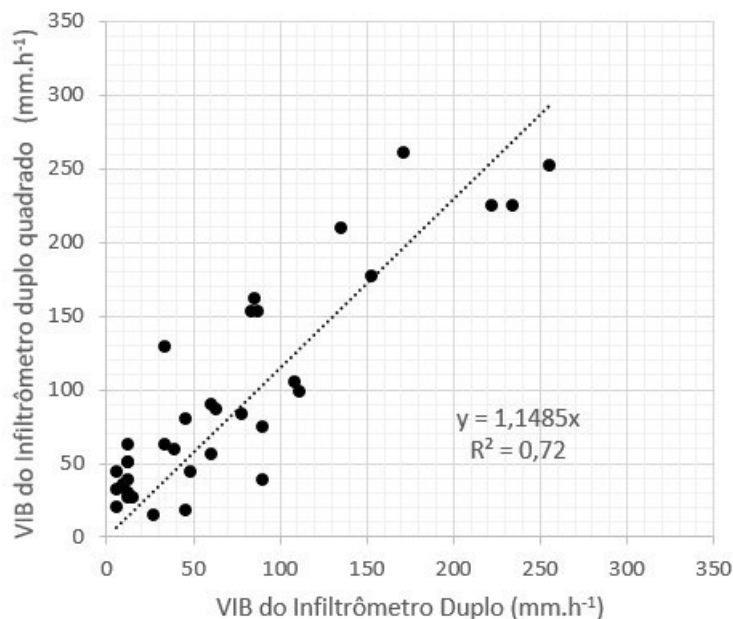


Figura 7. Relação das velocidades de infiltração básica da água no solo (VIB) obtidas pelos infiltrômetros duplo cilindro e duplo quadrado.

De acordo com os resultados das Figuras 5, 6 e 7, verificou-se que o infiltrômetro duplo reduzido proporcionou melhor resultado de correlação em relação aos demais infiltrômetros alternativos.

A correlação entre os valores de VIB obtidos pelo duplo cilindro reduzido e o padrão (88%), foi próximo ao obtido por Gomes Filho et al. (2014), que comparando a VIB obtida por um duplo cilindro e um duplo cilindro reduzido, obtiveram uma correlação de 91%.

Observou-se através das equações lineares geradas, que todos os infiltrômetros alternativos superestimaram a VIB em relação ao infiltrômetro padrão. Em testes que relacionavam a dependência do diâmetro de duplo cilindro infiltrômetros e a condutividade hidráulica medida, Lai e Ren (2007) observaram que cilindros maiores tendiam a obter menores taxas de infiltração estacionárias, fato que pode ser explicado pelo aumento da borda que evita o movimento horizontal da água no solo. Já Burgy e Luthin (1956) comparando as infiltrações obtidas pelo duplo cilindro infiltrômetro, simples cilindro infiltrômetro e pelo método da bacia, o qual foi considerado padrão, e observaram que o simples anel infiltrômetro superestimou os valores encontrados pelo duplo cilindro infiltrômetro e completam dizendo que os tamanhos dos anéis externos devem ser grandes o suficiente para mascarar a contribuição de fluxo lateral para a infiltração total, particularmente com a umidade inicial do solo. Logo, para a utilização dos infiltrômetros alternativos recomenda-se a multiplicação por um fator menor que um para realizar a correção, com isso foram geradas

as equações 3, 4 e 5, que podem ser utilizadas para ajustar a VIB dos infiltrômetros alternativos para o padrão.

$$VIB_{padr\tilde{a}o} = VIB_{duplo\ reduzido} * 0,8183 \quad (3)$$

$$VIB_{padr\tilde{a}o} = VIB_{simples} * 0,9785 \quad (4)$$

$$VIB_{padr\tilde{a}o} = VIB_{duplo\ quadrado} * 0,8707 \quad (5)$$

Na Tabela 2 foram dispostos os resultados dos coeficientes de erro padrão de estimativa (EPE) e erro padrão da estimativa ajustado (EPE_a), para a comparação entre os infiltrômetros alternativos e padrão.

Tabela 2. Erro padrão de estimativa (EPE) e erro padrão de estimativa ajustado (EPE_a) em mm.h⁻¹ com relação à regressão linear completa e forçada pela origem, para a comparação entre os infiltrômetros alternativos e o padrão

	Duplo reduzido (o 15x30 cm)	Simples (o 30 cm)	Duplo Quadrado (□ 15x30 cm)
EPE (mm.h ⁻¹)	29,35	37,76	38,76
EPE _a (mm.h ⁻¹)	23,27	25,20	31,39
EPE _a *(mm.h ⁻¹)	23,39	35,68	36,20

*EPE_a= erro padrão da estimativa ajustado em relação à regressão linear forçada pela origem.

Pôde-se perceber que a EPE foi maior que a EPE_a, que por sua vez foi maior que a EPE_a, o que indica que a regressão linear melhorou o ajuste. Também foi possível observar que o infiltrômetro duplo reduzido proporcionou menores erros. Este resultado corrobora com os obtidos por Gomes Filho et al., (2014) que também evidenciaram uma melhora do ajuste pela regressão linear quando compararam um infiltrômetro circular duplo reduzido com o infiltrômetro circular duplo na determinação da velocidade de infiltração básica da água no solo.

Por outro lado, levando em condição que a VIB média encontrada pelo duplo cilindro reduzido foi 92,77 mm.h⁻¹, o EPE_a pôde representar aproximadamente 25,2% desse valor, já

no caso do simples cilindro, que obteve 108,61 mm.h⁻¹ de média, o EPEao pôde representar aproximadamente 32,8% e o duplo quadrado representou 33,5%, já que sua média foi 108 mm.h⁻¹.

Em relação ao teste de Tukey, os resultados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de velocidade de infiltração básica (VIB) obtidos pelos infiltrômetros alternativos e padrão para todos os tratamentos

	Duplo infiltrômetro	Duplo reduzido	Simples	Duplo Quadrado		
	VIB (mm.h ⁻¹)				EP (mm.h ⁻¹)	CV (%)
Plantio convencional						
Caupi	10 a	35 b	51 b	37 b	5,05	26,31
Crotalária	18 a	18 a	29 a	24 a	3,94	29,97
Guandu	11 a	15 a	49 b	50 b	4,97	27,57
Milheto	8 a	14 ab	46 c	35 bc	4,77	32,08
Plantio mínimo						
Caupi	55 a	52 a	77 a	55 a	14,21	41,20
Crotalária	60 a	64 a	60 a	76 a	26,98	71,90
Guandu	93 a	107 ab	129 b	86 a	7,82	13,07
Milheto	66 a	84 a	115 a	69 a	16,55	34,34
Plantio Direto						
Caupi	287 a	214 a	210 a	279 a	59,25	41,47
Crotalária	64 a	72 a	117 a	128 a	31,22	56,77
Guandu	57 a	85 b	133 c	156 d	4,88	7,87
Milheto	122 a	264 a	166 a	188 a	31,83	29,80
Mata						
	207 a	182 a	230 a	221 a		

* Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem estatisticamente de forma significativa pelo Teste de Tukey (P = 0,05).

De acordo com os resultados observados na Tabela 3, os melhores resultados foram encontrados pelo infiltrômetro duplo reduzido, onde as velocidades de infiltração básica deferiram apenas na área de plantio convencional com a utilização do caupi como antecedente e na área de plantio direto com guandu como antecedente. Já o infiltrômetro simples deferiu em cinco áreas diferentes e o duplo quadrado em quatro áreas diferentes. Porém, na maioria das áreas todos os infiltrômetros não deferiram do infiltrômetro padrão.

Também é possível ver que em apenas uma área (plantio direto com a cultura do guandu como antecedente ao milho) os infiltrômetros deferiram totalmente entre si, esse fenômeno aconteceu devido a proximidade entre os resultados de velocidade de infiltração encontrados

nas repetições, resultando em um coeficiente de variação de 7,85%, o menor entre todos os tratamentos e erro padrão de 4,882, bem baixo para as médias dentro do tratamento.

CONCLUSÃO

O infiltrômetro simples utilizou menos água nos testes de determinação da velocidade de infiltração da água no solo e também uma equação de correção da VIB com resultados muito próximos ao do padrão.

Entre os infiltrômetros alternativos, o infiltrômetro duplo reduzido obteve os melhores resultados estatísticos na obtenção da velocidade em comparação ao infiltrômetro de tamanho e forma padrão.

REFERÊNCIAS

- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.7, n.2, p.191-196, 2003.
- BRANDÃO, V. DOS S.; CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. Infiltração da água no solo. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 120 p. 2006.
- BURGY, R. H.; LUTHIN, J. N. A test of the single and double ring types of infiltrometers. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 37, n. 2, p. 189-192, 1956.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97, 1997.
- CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E. SANTOS JUNIOR, R. B. Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Caatinga (Mossoró, Brasil)**, v.22, n.1, p.199-205, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro

de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia**, v.8, n.15; p. 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GOMES FILHO, R. R.; RODRIGUES, M. H.; LEITE JUNIOR, J. B.; COSTA, C. A. G; FREITAS, D. S.; LIMA, T. P. de. Water infiltration soil using cylinders infiltrometers of reduced dimensions. In: Inovagri International Meeting, 2014, Fortaleza. Inovagri Meeting, p. 75-81. 2014.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S.; Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70, **Am. Soc. Civil Engr.**, New York, NY. 332 pp. 1990.

LAI, Jianbin; REN, Li. Assessing the size dependency of measured hydraulic conductivity using double-ring infiltrometers and numerical simulation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 6, p. 1667-1675, 2007.

OLIVEIRA, F. C. C., PEDROTTI, A., FELIX, A. G. S., SOUZA, J. L. S., HOLANDA, F. S. R., JUNIOR, A. V. M. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017.

SIMÕES, W. L.; FIGUEIRÊDO, V. B.; SILVA, E. L. da. Uso do cilindro infiltrômetro único em diferentes solos Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.2, p.359-366, 2005.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1985.

USDA-NRCS. 1999. Soil Taxonomy - A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd ed., Agriculture Handbook . Washington, D. C., USA: U.S. Government Printing Office.

Artigo 2

VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DE UM ULTISOL CULTIVADO COM MILHO SOB DIFERENTES MANEJOS E COM O USO DE CAUPI COMO CULTURA ANTECEDENTE**RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar como variados manejos do solo influenciaram na capacidade de infiltração da água no solo e a adequação das equações empíricas de Horton, Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Philip no ajuste do fenômeno da infiltração, utilizando cilindros infiltrômetros de dimensões padrões e reduzidas. O experimento foi realizado numa área que já vem estudando os efeitos do manejo do solo com plantio direto, plantio mínimo e plantio convencional junto a uso rotacional de cultura entre o milho como a principal e o caupi (*Vigna unguiculata L. Walp*) como antecedente. Foram realizados testes de infiltração da água no solo utilizando duplo cilindro infiltrômetro de 25 cm de diâmetro interno e 50 cm de externo e um duplo infiltrômetro de dimensões reduzidas, tendo 15 cm e 30 cm de diâmetro interno e externo, respectivamente. Para analisar os resultados foram utilizados os índices estatísticos de coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de ajuste (CA), e eficiência (EF). As parcelas tratadas com plantio direto beneficiaram muito mais ao processo de infiltração da água no solo, como também o ajuste do fenômeno com modelos matemáticos. Os melhores resultados estatísticos foram obtidos pelo modelo de Philip, o modelo de Horton conseguiu estimar melhor a VIB e modelo de Kostiakov-Lewis não se adequou bem ao solo e obteve os piores resultados. O infiltrômetro reduzido obteve resultado equivalentes ao do padrão, repetindo grande parte dos comportamentos em relação a VIB observada e aos ajustes dos modelos matemáticos.

INTRODUÇÃO

A velocidade de infiltração da água no solo pode ser descrita como a velocidade com que a água se infiltra no solo através de sua superfície, normalmente expressa por unidade de altura de lâmina d'água infiltrada em determinado perfil do solo por unidade de tempo, devido ao umedecimento do perfil, essa a taxa de entrada de água no solo tende a decrescer com o

tempo, assumindo um valor mínimo quase constante denominado de velocidade de infiltração básica (VIB) (BERNARDO et al., 2008; GONDIM et al., 2010).

Alguns fatores podem modificar a capacidade de infiltração de um solo, por exemplo, diferentes tipos de uso de solo em uma bacia hidrográfica podem causar variações nos atributos físicos do mesmo, assim cada tipo de uso do solo pode interferir de maneira diferente nas condições físico-hídricas de uma determinada área (NERGER et al., 2016).

Outro fator que pode influenciar na infiltração da água no solo é a cobertura vegetal, manter constantemente uma cobertura quando o solo não está sendo usado para fins agrícolas é importante, pois dessa forma o solo estará protegido contra o impacto direto das gotas da chuva, que podem favorecer o selamento da superfície do mesmo. A cobertura também protege contra a radiação direta dos raios solares, melhorando e mantendo as condições de umidade do solo por mais tempo, favorecendo o aumento da microporosidade, que vai influenciar diretamente nos caminhos preferenciais da água durante a infiltração (OLIVEIRA, 2005).

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é fundamental para definir técnicas de conservação do solo e proteção ambiental, planejar e dimensionar sistemas de irrigação e drenagem, assim como contribui no melhor entendimento da retenção da água e aeração do solo (Paixão et al., 2009; Wang et al., 2014).

Com isso, o estudo teve como objetivo avaliar como variados manejos do solo influenciaram na capacidade de infiltração da água no solo e da adequação das equações empíricas de Horton, Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Philip no ajuste do fenômeno da infiltração, utilizando duplos cilindros infiltrômetros de dimensões padrões e reduzidas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, localizada na bacia hidrográfica do rio Poxim, cujas coordenadas geográficas de Greenwich são 10°9'236"S de latitude e 37°1'993"O de longitude (OLIVEIRA et al., 2017), em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, Ultisol para a USDA soil taxonomy. A região possui clima chuvoso com verão seco e pluviometria em torno de 1.200 mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro.

Os testes de infiltração foram realizados em uma área de aproximadamente 3.000 m², que foi dividida em três grandes parcelas, onde desde o ano de 2001 cada parcela foi sendo manejada sobre três tipos de manejo diferentes, o cultivo convencional (CC), composto de gradagem com grade niveladora de discos, aração com arado de discos e mais uma gradagem para nivelamento; cultivo mínimo (CM), composto de 1 ou 2 gradagens com grade niveladora de discos, sendo que a segunda gradagem somente foi realizada quando houve incidência considerável de invasoras; e plantio direto (PD), consistindo do não revolvimento do solo. Nessas parcelas foram realizadas rotações de culturas, onde a cultura principal foi o milho variedade BM 3061 da Biomatrix, a variedade tem duplo propósito: espigas de milho e matéria verde para forragem, e a cultura antecedente foi o caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) utilizada apenas quando o milho não estava plantado, com a função de proteger e melhorar as condições do solo.

Os testes de infiltração da água no solo foram realizados seguindo a metodologia dos duplos anéis infiltrômetros descrita por Brandão et al. (2006), com um infiltrômetro de dimensões padrões de 25 cm de diâmetro interno e 50 cm de externo e um duplo infiltrômetro de dimensões reduzidas, tendo 15 cm e 30 cm de diâmetro interno e externo, respectivamente. Para melhorar a padronização entre os testes, os infiltrômetros foram cravados a uma profundidade de 10 cm e as leituras seguiram o padrão de intervalo tempo de 0, 2, 2, 5, 5, 10, 10, 15, 15, 20, 20, 20 minutos, repetindo leituras de 20 minutos até que a infiltração se estabilizasse, com a realização de uma leitura, a lâmina de água era reabastecida, para manter uma carga hidráulica menos variável. Para fins estatísticos foram realizadas três repetições para cada configuração em cada tipo de uso do solo.

Para ajuste de equações foram utilizadas as equações de 1 a 8, que são modelos empíricos propostos por Horton (1940), Kostiakov (1932), Kostiakov-Lewis (1945) e Philip (1957) e descritas por Brandão et al. (2006), utilizando o software VIBK (SANTOS et al., 2015).

Modelo de Horton:

$$I = i_f t + \frac{(i_i - i_f)}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) \quad (1)$$

$$VI = \frac{dI}{dt} = i_f + (i_i - i_f) e^{-\beta t} \quad (2)$$

Modelo de Kostiakov:

$$I = kt^\alpha \quad (3)$$

$$VI = \frac{dI}{dt} = k \alpha t^{\alpha-1} \quad (4)$$

Modelo de Kostiakov-Lewis:

$$I = kt^\alpha + i_f t \quad (5)$$

$$VI = \frac{dI}{dt} = k \alpha t^{\alpha-1} + i_f \quad (6)$$

Modelo de Philip:

$$I = f_1 t^{1/2} + f_2 t \quad (7)$$

$$VI = \frac{dI}{dt} = \frac{1}{2} f_1 t^{-1/2} + f_2 \quad (8)$$

Onde, **I** é a infiltração acumulada, **VI** é a velocidade de infiltração (mmh-1), **i_f** velocidade de infiltração inicial, **i_f** velocidade de infiltração básica (VIB), **t** representa o tempo acumulado e **k**, **α**, **β**, **f1**, **f2** são constantes obtidas, empiricamente, através de regressões.

Foram utilizados os índices estatísticos de coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de ajuste (CA), e eficiência (EF), equações 9, 10, 11 respectivamente, para fazer a análise do desempenho dos modelos matemáticos, como descrito por Cunha et al. (2015).

$$CMR = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{(\sum_{i=1}^n O_i)} \quad (9)$$

$$CA = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

Em que **O_i** representa os valores observados, **P_i** - os estimados, n é o número de observações e **$\bar{O}$** a média aritmética das observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 observam-se as velocidades de infiltração básica da água no solo (VIBs) obtidas em teste de campo utilizando infiltrômetros duplos cilindros de dimensões padrões, os coeficientes estatísticos de massa residual (CMR), de ajuste (CA), de eficiência (EF) e determinação (R^2) e a média das constantes obtidas empiricamente de cada modelo matemático utilizado no estudo.

Tabela 1. Velocidades de infiltração básica da água no solo médias observadas e resultados estatísticos encontrados para o infiltrômetro de tamanho padrão nos diferentes usos do solo

Cultivo convencional							
	VIBs	R²	CMR	CA	EF	K1	K2
Observados	10,00	1	0	1	1		
Horton	10,00	0,915	0,177	1,254	0,814	-15,427	
Kostiakov	10,08	0,961	0,055	1,346	0,912	57,675	0,337
Kostiakov-Lewis	16,70	0,954	0,319	4,259	0,564	27,986	0,399
Philip	-2,55	0,947	0,299	1,115	0,897	85,732	-32,257
Cultivo mínimo							
	VIBs	R²	CMR	CA	EF	K1	K2
Observados	55,00	1	0	1	1		
Horton	55,00	0,949	0,053	1,359	0,921	-14,594	
Kostiakov	42,51	0,983	0,056	1,946	0,840	111,240	0,581
Kostiakov-Lewis	60,07	0,963	0,278	4,962	0,458	32,096	0,276
Philip	27,35	0,968	0	1,066	0,938	133,158	-18,774
Plantio direto							
	VIBs	R²	CMR	CA	EF	K1	K2
Observados	258,00	1	0	1	1		
Horton	258,00	0,966	0,042	1,059	0,928	-8,629	

Kostiakov	229,12	0,979	0,011	1,227	0,953	406,932	0,683
Kostiakov-Lewis	284,85	0,979	0,158	3,097	0,655	100,313	0,406
Philip	250,94	0,983	0	1,036	0,966	236,760	168,919

*para Horton $k_1=\beta$, para Kostiakov e Kostiakov-Lewis $k_1=k$ e $k_2=\alpha$, para Philip $k_1=f_1$ e $k_2=f_2$.

De acordo com os resultados na Tabela 1, analisando as VIBs observadas em campo, podemos ver que houve uma tendência muito clara de aumento a medida que se utilizava menos maquinário em campo, foi observado uma variação média que representou um acréscimo de 25,8 vezes na velocidade de infiltração básica em relação ao cultivo convencional e plantio direto e um acréscimo de aproximadamente 4,7 vezes em relação ao cultivo mínimo, tal acréscimo pôde ser explicado pelo sistema radicular da cultura antecedente, que conseguiu se desenvolver muito melhor no solo manejado com plantio direto quando comparado com os sistemas mais convencionais de cultivo.

Em um experimento que analisava trabalhos de recuperação e relacionava o manejo e a cobertura do com matéria orgânica e velocidade de infiltração Marchini et al. (2015) observou que a VIB de um solo exposto dobrou ao ser manejado e utilizar feijão de porco e crotalária como cobertura.

Estudando os efeitos da cobertura vegetal e do manejo do solo sob a infiltração da água no solo em um Argissolo Vermelho Distrófico, Almeida et al. (2018) observaram que o solo utilizando plantio direto obteve uma VIB que chegou a ser 3 vezes maior que no plantio direto.

Analisando as equações empíricas utilizadas, pôde-se observar na Tabela 1, que também houve uma tendência de melhoria no ajuste à medida que o solo é menos manejado. Com relação a VIB ajustada pelas equações pôde-se dar um destaque a equação de Horton, pois em todos os testes a VIB calculada foi igual à observada em campo, esse fenômeno pode ser explicado pela forma que a equação se ajusta em relação ao tempo, o termo independente da equação é a VIB real observada no teste de infiltração em campo, já o segundo termo é responsável ajustar a curva em relação a VIB, de acordo com que o tempo aumenta o segundo termo decresce muito rapidamente, já que é uma exponencial, logo, para um tempo muito grande esse termo tende a zero, assim a VIB se aproxima muito da obtida em campo.

Porém, a velocidade do decaimento da equação dificulta o ajuste do início da curva, fenômeno facilmente observado nas Figuras 1, já que a curva de uma exponencial tem um desenho bem característico, o que faz alguns pontos ficarem fora da curva caso o decaimento da taxa de infiltração seja muito acentuado.

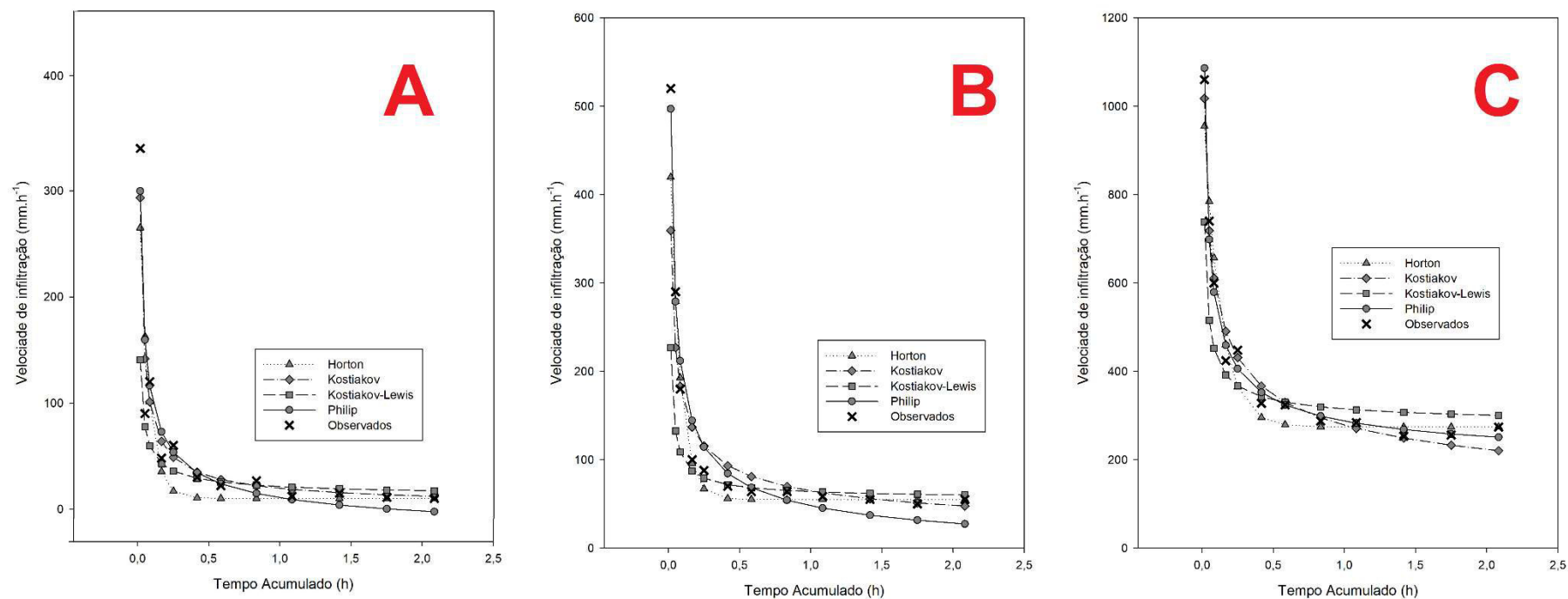


Figura 1. Curvas de velocidade de infiltração e as curvas ajustadas pelos modelos empíricos encontradas nas áreas manejadas com plantio direto (A), plantio mínimo (B) e plantio convencional (C).

Paixão et al. (2009), Schreiner et al. (2010), Tomasini, et al. (2010), Santos (2014), Carvalho et al. (2015), também evidenciaram em seus estudos que a equação de Horton é perfeitamente aderente, sendo a que melhor expressa a velocidade de infiltração básica da água no solo descrito através de modelos matemáticos, sendo que Santos (2014) utilizou a mesma bacia hidrográfica estudada por este trabalho para realização do seu experimento.

No modelo de Philip foram obtidos os resultados que se distanciaram mais dos valores reais observados em campo no cultivo convencional e no cultivo mínimo, obtendo inclusive valores de VIB negativos no cultivo convencional, fato que também foi observado por Zadeh et al. (2007), onde realizaram teste com o duplo anel infiltrômetro convencional em 9 diferentes tipos de solo e também observaram coeficientes de determinação indicando que o modelo de Philip pôde descrever com êxito o fenômeno da infiltração, em seu caso mais de 99% das variações totais de infiltração foram explicadas, o modelo também obteve um erro padrão de estimativa bastante pequeno, porém em alguns solos foram obtidos valores irrealistas (negativos) para o parâmetro f_2 na equação de infiltração de dois termos de Philip. Esse fenômeno acontece devido à baixa velocidade de estabilização da equação, causada pela constante da potência da equação, que é fixada em -0,5, diferente das outras equações empíricas utilizadas, onde essa constante é calculada.

Os modelos de Kostiakov e Kostiakov-Lewis também mostraram suas características bem comuns em seus ajustes, a VIB foi subestimada pelo modelo de Kostiakov e superestimada pelo modelo de Kostiakov-Lewis em praticamente todos os ajustes, esse fenômeno é comumente observado por diversos autores e em diversos tipos de solo, como por exemplo, Cunha et al. (2015) em um Latossolo Amarelo e por Paixão et al. (2009) em um solo de textura arenosa.

A equação de Kostiakov tem uma tendência a ir para o zero quando o tempo é muito longo, fato causado pela falta de um termo independente, logo o modelo de Kostiakov-Lewis tenta amenizar esse defeito através de um termo independente que pode ser considerado como a VIB, porém seu ajuste é lento, tornando os valores da VIB mais altos que os encontrados em campo em tempos não tão longos.

Os melhores coeficientes de determinação (R^2) foram encontrados no plantio direto, seguido pelo cultivo mínimo e os piores no cultivo convencional, mas todos estão acima de 91%, o que é considerado bons resultados. Os piores resultados do coeficiente de

determinação foram verificados no modelo de Horton e os melhores resultados foram observados no modelo de Kostiakov.

Em relação ao coeficiente de massa residual (CMR), pôde-se dizer que o modelo de Philips obteve um resultado quase perfeito, pois no plantio direto e no cultivo convencional ele conseguiu zerar esse coeficiente, o que indica que a infiltração acumulada calculada pelo modelo foi igual a encontrada em campo, já o modelo de Kostiakov-Lewis obteve os piores resultados, provavelmente devido a sua característica de superestimar os valores de velocidade de infiltração (TOMASINI, 2010).

Para o coeficiente de ajuste (CA) todos os métodos alcançaram resultados semelhantes, com exceção do Kostiakov-Lewis, mais uma vez podendo ter relação com sua característica de superestimação. Em relação ao coeficiente que expressa a eficiência (EF), o modelo de Philip obteve os melhores resultados do experimento, por outro lado mais uma vez o modelo de Kostiakov-Lewis alcançou os piores resultados.

CONCLUSÃO

As parcelas tratadas com plantio direto beneficiaram muito mais ao processo de infiltração da água no solo, como também o ajuste do fenômeno com modelos matemáticos.

Os melhores resultados estatísticos foram obtidos pelo modelo de Philip, o modelo de Horton conseguiu estimar melhor a VIB e o modelo de Kostiakov -Lewis não se adequou bem ao solo e obteve resultados inferiores aos outros métodos.

O duplo infiltrômetro reduzido obteve resultados equivalentes ao do padrão, repetindo grande parte dos comportamentos em relação a VIB observada e aos ajustes dos modelos matemáticos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W. S., PANACHUKI, E., DE OLIVEIRA, P. T. S., DA SILVA MENEZES, R., SOBRINHO, T. A., & DE CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 130-138, 2018.

BRANDÃO, Viviane dos Santos; CECILIO, Roberto Avelino; PRUSKI, Fernando Falco; SILVA, Demetrius David da. Infiltração da água no solo. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2006. 120 p.

CARVALHO, D. F. D., EDUARDO, E. N., ALMEIDA, W. S. D., SANTOS, L. A., & ALVES SOBRINHO, T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1072-1078, 2015.

CUNHA, J. L., COELHO, M. E., ALBUQUERQUE, A. W. D., SILVA, C. A., SILVA JÚNIOR, A. B. D., & DE CARVALHO, I. D. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1021-1027, 2015.

GONDIM, T. M. de S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M. de; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. da S. Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo arenoargiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

MARCHINI, D. C., LING, T. C., ALVES, M. C., CRESTANA, S., SOUTO FILHO, S. N., & DE ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, n. 6, 2015.

NERGER, R.; BEYLICH, A.; FOHRER, N. Long-term monitoring of soil quality changes in Northern Germany. **Geoderma Regional**, v. 7, n. 2, p. 239–249, 2016.

OLIVEIRA, M. B. **Análise do desempenho de equações de infiltração e de métodos de determinação da capacidade de campo para solos em uma bacia hidrográfica de São José de Ubá-RJ**. 2005. Dissertação (Mestrado) - COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.

Oliveira, F. C. C., Pedrotti, A., Felix, A. G. S., Souza, J. L. S., Holanda, F. S. R., & Junior, A. V. M. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017.

PAIXÃO, F. J. R.; ANTONIO R. S. ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V.; COSTA, T. L.; GUERRA, O. C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 1. 2009.

SANTOS, H. M. T. Estimativa da velocidade de infiltração básica (VIB) nos solos da sub-bacia do Rio Siriri-SE utilizando o modelo de Horton, Kostiakov-Lewis e Philip. 2014. 84 p. **Dissertação** (mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe.

SANTOS, I. L. N.; GOMES FILHO, R. R.; SANTOS, K. V.; MASSARANDUBA, W. de M.; CARVALHO, C. M. de. Software VIBK for estimated infiltration rate and water hydraulic conductivity in soil. In: Inovagri International Meeting, 3, 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, INOVAGRI, 2015.

SCHREINER, D. T.; VOGELMANN, E. S.; PREVEDELLO, J.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; CONSENSA, C. O. B. Estimativa da infiltração de água no solo através de pedofunções em área de floresta plantada. Anais do VII Reunião Sul Brasileiro de ciência do solo. p. 1-6, 2010.

TOMASINI, B. A.; VITORINO, A. C. T.; GARBIATE, M. V. SOUZA, C. M. A.; TEODORICO A. T. S. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de- -açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p.1060-1070. 2010.

WANG, C.; MAO, X; HATANO, R. Modelagem da infiltração de poços em solos de textura fina com intercalação grosseira. **Soil Science Society of America Journal**, v.78, p.745-753, 2014.

ZADEH, K. S., SHIRMOHAMMADI, A., MONTAS, H. J., & FELTON, G. Evaluation of infiltration models in contaminated landscape. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 42, n. 7, p. 983-988, 2007.