



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA EM  
FUNÇÃO DO TIPO E USO DO SOLO E MÉTODO DE  
DETERMINAÇÃO**

**ANTONIO FABRÍCIO DO ESPÍRITO SANTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF  
MARÇO/2011**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA EM FUNÇÃO DO  
TIPO E USO DO SOLO E MÉTODO DE DETERMINAÇÃO**

**ANTONIO FABRÍCIO DO ESPÍRITO SANTO**

**ORIENTADOR: PROF.º CÍCERO LOPES DA SILVA, D. Sc.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**PUBLICAÇÃO: 28/2011**

**BRASÍLIA/DF  
MARÇO/2011**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA EM FUNÇÃO DO  
TIPO E USO DO SOLO E MÉTODO DE DETERMINAÇÃO**

**ANTONIO FABRÍCIO DO ESPÍRITO SANTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E LINHA DE PESQUISA EM SOLO, ÁGUA E QUALIDADE AMBIENTAL.**

**APROVADO POR:**

---

**CÍCERO LOPES DA SILVA, D. Sc. (UnB)  
CPF: 261.510.306-72; E-mail: cicero@unb.br**

---

**DÉLVIO SANDRI, D. Sc. (UnB)  
CPF: 750.142.389-04; E-mail: sandri@unb.br**

---

**JORGE ENOCH FURQUIM WERNECK LIMA, D. Sc. (EMBRAPA - CERRADOS)  
CPF: 002.638.516-30; E-mail: jorge@cpac.embrapa.br**

**BRASÍLIA, 30 DE MARÇO DE 2011.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Espírito Santo, Antonio Fabrício do

Condutividade hidráulica saturada em função do tipo e uso do solo e método de determinação / Antonio Fabrício do Espírito Santo; orientação Cícero Lopes da Silva. Brasília, 2011.

34 p.: Il

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2011.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ESPÍRITO SANTO, A. F. **Condutividade hidráulica saturada em função do tipo e uso do solo e método de determinação**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2011, 48 p. Dissertação de Mestrado.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: ANTONIO FABRÍCIO DO ESPÍRITO SANTO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Condutividade hidráulica saturada em função do tipo e uso do solo e método de determinação

GRAU: MESTRE ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Antonio Fabrício do Espírito Santo

CPF: 805.493.811-04

Rua Visconde de Porto Seguro, Nº 2.220, Setor Nordeste

73.807-220 – Formosa/GO – Brasil.

(61) 3631-7212 / (61) 9658-9384 – fabricio@agronomo.eng.br

À minha esposa Cíntia  
Aos meus filhos Stefany, Adriel e Danielly  
À minha mãe Edithe  
Aos meus avós, Zenaide e Vicente

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus pela graça de ter me dado a oportunidade de completar mais esta etapa da vida, sempre me fortalecendo e inspirando.

À minha família, especialmente minha esposa Cíntia, que, com amor inigualável, sempre compreendeu minhas ausências e ao mesmo tempo me incentivou a continuar nesta jornada, sempre me recebendo de braços abertos no retorno ao lar.

Aos meus filhos, Danielly, Adriel e Stefany que são o espelho da minha vida, aqueles para quem quero refletir uma conduta “reta”, pautada em valores dignos de uma pessoa de bem.

À minha mãe, avós, tios, sogros e cunhados pelo incentivo e apreço com que receberam a idéia de continuar os estudos.

Ao meu professor e orientador, Dr. Cícero Lopes da Silva, por ter acreditado em mim desde o momento em que o convidei para me direcionar nesta viagem rumo ao saber, transmitindo com maestria os conhecimentos.

Ao meu amigo e colaborador de todos os momentos, Manoel, que forneceu todo amparo durante a execução do experimento de campo, sempre disposto, incentivando e motivando a não desistir nunca, trazendo contribuições inestimáveis a este trabalho.

Ao Prof.º Dr. Oliveira, um verdadeiro catedrático do saber, que sempre me acolheu de forma educada e cordata, com toda paciência e atenção.

Ao Prof.º Dr. Sebastião, como exemplo de sabedoria e conhecimento.

Aos colegas de trabalho, especialmente meu amigo e irmão Agnaldo, cujo companheirismo e incentivo valeram como “combustível” adicional no percurso.

Ao meu inestimável amigo Leandro, colega de curso e companheiro na caminhada.

Ao Dr. Jorge Enoch, que se prontificou de imediato como mediador possibilitando a utilização de recursos da Embrapa Cerrados, uma parceria que tem rendido frutos.

À Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária que viabilizou a execução deste projeto.

À Fazenda Água Limpa que disponibilizou espaço, equipamentos e pessoal para a condução do experimento que originou esta dissertação.

Aos auxiliares Edivam da Silva Sousa (“Sambica”), Jaquiel Jorge Moreno (“Negão”) e Reginaldo A. Cana Verde (“Cana Verde”), por sempre atenderem as necessidades surgidas durante a condução do experimento e proporcionarem ambiente de camaradagem e humildade.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo/Subcapítulo</b>	<b>Página</b>
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1 Condutividade Hidráulica Saturada ( $K_0$ )	4
2.2 Métodos para determinação de $K_0$	5
2.3 Fatores que influenciam os valores de $K_0$	7
3. Referências Bibliográficas	9
<b>Capítulo Único</b>	12
Condutividade hidráulica saturada em função do tipo de solo e uso e método de determinação	12
Resumo	13
Abstract	14
1. Introdução	15
2. Material e Métodos	16
3. Resultados e Discussão	24
4. Conclusão	31
5. Referências Bibliográficas	32

## Lista de Tabelas

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 1. Indicadores do sistema de aspersão apresentando a intensidade de aplicação (Ia), em $\text{mm h}^{-1}$ , e o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), em %	23
Tabela 2. Densidade do solo (ds), em $\text{g cm}^{-3}$ ; porosidade total ( $\xi$ ), em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ; teor de argila, silte e areia em $\text{g kg}^{-1}$ e alumínio trocável em $\text{cmol dm}^{-3}$ em função do tipo e uso do solo	24
Tabela 3. Análise de variância apresentando os Graus de Liberdade (GL) e o índice F para os tratamentos e suas interações	25
Tabela 4. Valores médios de condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ), em $\text{mm h}^{-1}$ , e do coeficiente de variação, em %, entre parênteses, para os métodos do infiltrômetro de anéis, do permeâmetro de carga constante e do simulador de chuva, para o Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo sob cultivo com milho, pastagem e Cerrado nativo	26
Tabela 5. Valores médios de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), em $\text{mm h}^{-1}$ , em dois tipos de solo e três condições de uso, comparados entre os diferentes métodos	27
Tabela 6. Média dos valores de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), em $\text{mm h}^{-1}$ , para os diferentes usos determinada pelos métodos do infiltrômetro de anéis, permeâmetro de carga constante e simulador de chuva, para Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo	28
Tabela 7. Resultado da interação entre métodos e os usos do solo nos valores de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), em $\text{mm h}^{-1}$	29
Tabela 8 – Interação entre métodos e os tipos de solo nos valores de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), em $\text{mm h}^{-1}$	30

## Lista de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Teste com infiltrômetros de anéis, demonstrando em (1) o anel interno de onde se determinava a taxa de infiltração e em (2) o micrômetro para a leitura das lâminas infiltradas	18
Figura 2. Amostras de solo em processo de saturação em uma bandeja	19
Figura 3. Permeâmetro de carga constante com balão de mariote (1) fornecendo fluxo de água contínuo para os cilindros contendo as amostras de solo (2), e os recipientes utilizados na coleta do fluxo para medição do volume (3)	19
Figura 4. Aspecto geral do simulador de chuva na área do milho, demonstrando a primeira (1), a segunda (2), a terceira (3), a quarta linha de emissores (4), os pluviômetros (5) utilizados no controle da lâmina aplicada, os infiltrômetros (6) e a tubulação de condução de água (7)	21
Figura 5. Simulador de chuva em funcionamento na área de pastagem mostrando os difusores (1), a cobertura vegetal para evitar o selamento superficial (2), os pluviômetros (3), os tubos para coleta da água que escoam superficialmente (4) dentro dos infiltrômetros (5)	21
Figura 6. Simulador de chuva em funcionamento no cerrado, demonstrando os difusores (1), os tubos de elevação (2), os infiltrômetros retangulares (3) e os tubos de coleta do escoamento superficial (4)	22

## Lista de Abreviaturas e Símbolos

$\Delta h$	Diferença de potencial de pressão
$\Delta\psi$	Diferença de potencial matricial
$\Delta z$	Diferença de altura ou posição vertical
A	Área
c mol dm <sup>-3</sup>	Centimol de carga por decímetro cúbico
CLV	Cerrado em Latossolo Vermelho
CLVA	Cerrado em Latossolo Vermelho Amarelo
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
CUC	Coefficiente de Uniformidade de Christiansen
dp	Densidade de partículas
ds	Densidade do solo
F	Índice de Fisher
g	Gramas
GL	Graus de liberdade
h	Hora
H	Altura de lâmina de água
K <sub>0</sub>	Condutividade hidráulica saturada do solo
KCl	Cloreto de Potássio
kg	Kilograma
L	Lâmina
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
MLV	Resteva de milho em Latossolo Vermelho

MLVA	Resteva de milho em Latossolo Vermelho Amarelo
mm	Milímetro
Ms	Massa de solo
N	Normal
PLV	Pasto em Latossolo Vermelho
PLVA	Pasto em Latossolo Vermelho Amarelo
q	Fluxo de água no solo
T	Tempo
Vs	Volume de solo
$\xi$	Porosidade total
$\partial h$	Diferencial de pressão
$\partial \psi$	Diferencial de potencial matricial
$\partial z$	Diferencial de altura ou posição vertical no perfil do solo

## RESUMO

### CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DETERMINADA POR DIFERENTES MÉTODOS, TIPOS DE SOLO E USOS

A condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ) é uma propriedade físico-hídrica do solo fundamental no dimensionamento de sistemas de irrigação e na orientação de práticas de manejo do solo e de recursos hídricos. Diante desta relevância, este trabalho objetivou comparar a condutividade hidráulica saturada determinada pelos métodos do simulador de chuva, do infiltrômetro de anéis e do permeâmetro de carga constante; em Latossolo Vermelho (LV) e em um Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), sob três condições de cobertura: Cerrado nativo, pastagem e em área de resteva de milho em plantio direto. As áreas sob Cerrado nativo apresentaram as maiores médias de  $K_0$ , seguidas das áreas de milho e das áreas sob pastagem, respectivamente. Os valores de  $K_0$  variaram entre 133 mm  $h^{-1}$  a 2.831 mm  $h^{-1}$  respectivamente quando se usaram os métodos do simulador de chuva e do infiltrômetro de anel, no LV e no LVA. A ordem decrescente nos valores de  $K_0$  de acordo com os métodos foram respectivamente, infiltrômetro de anéis, permeâmetro de carga constante e simulador de chuva. Tomando neste experimento, o simulador de chuva como método padrão, conclui-se que os outros métodos superestimaram os valores de condutividade hidráulica saturada do solo.

**Palavras chave:** Infiltração de água no solo, escoamento superficial, porosidade, cerrado

## ABSTRACT

### SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY DETERMINED BY DIFFERENT METHODS, SOIL TYPES AND USES

The saturated soil hydraulic conductivity ( $K_0$ ) is a physic-hydric property of soil fundamental in the design of irrigation systems and the guidance of soil management practices and water resources. Given this importance, this study aimed to compare the saturated hydraulic conductivity determined by the methods of rainfall simulator, cylinder infiltrometer and the constant head permeameter; in Red Latossol (LV) and an Red Yellow Latossol (LVA) under three conditions Coverage: native Cerrado, pasture and area of stubble no-till corn. The areas under native Cerrado had the highest mean of  $K_0$ , followed by maize areas and the areas under pasture, respectively.  $K_0$  values ranged from 133 mm h<sup>-1</sup> to 2831 mm h<sup>-1</sup> respectively when they used the methods of rainfall simulator and the cylinder infiltrometer in the LV and LVA. The decreasing values of  $K_0$  in accordance with the methods were, respectively, cylinder infiltrometer, constant head permeameter and rainfall simulator. Taking this experiment, the rainfall simulator as the standard method, it is concluded that other methods overestimated the values of saturated hydraulic conductivity of soil.

**Key words:** soil water infiltration, runoff, porosity, cerrado

## 1. INTRODUÇÃO

Conhecer a taxa de infiltração de água no solo se constitui em importante informação no manejo de micro bacias hidrográficas, seja de áreas sob vegetação nativa, com foco no manejo ambiental principalmente do solo e dos recursos hídricos, seja de áreas com agrossistemas sustentáveis. As técnicas de conservação do solo levam em consideração seus atributos físicos no momento de orientar as práticas mais adequadas, pois tais características têm elevado grau de correlação com a capacidade de infiltração de água no perfil do solo.

A dinâmica da água no solo, seja em sua superfície seja em seu perfil, é um importante fator a ser ponderado, pois este complexo processo pode acarretar em perdas significativas de solo, acarretando em prejuízos, tanto do ponto de vista das modificações das propriedades do solo, quanto do ponto vista econômico, pela perda de fertilizantes e corretivos. Neste quesito, sistemas de manejo conservacionistas podem proporcionar menores perdas monetárias resultantes dos fertilizantes carregados nos sedimentos e na enxurrada em comparação a sistemas de manejo convencionais, devido à maior capacidade de infiltração do solo observada nos primeiros sistemas (Bertol et al., 2007)

Araújo et al. (2007) estudando a qualidade de um Latossolo Vermelho Amarelo na região do Cerrado, observaram que as propriedades físicas do solo se apresentaram como melhores indicadores da qualidade do solo. Dentre as propriedades utilizadas por estes autores, aquelas como densidade, porosidade total e taxa de infiltração de água, estão intimamente ligadas aos processos envolvendo a água e seu contato com o solo. Com isso, é válida a idéia de que solos com maiores índices de qualidade são aqueles que apresentam condições físicas propícias ao fluxo e armazenamento de água em seu perfil. Da mesma forma, Aratani et al. (2009) estudando propriedades físicas como indicadores da qualidade do solo, verificaram que sistemas nativos apresentam melhores condições físicas do que aqueles submetidos a algum tipo de exploração, mesmo em sistema de manejo conservacionista como plantio direto e integração lavoura-pecuária, o que demonstra a sensibilidade destas propriedades à intervenção humana.

A possibilidade de incremento na produção com a obtenção de múltiplas safras em uma área num mesmo ano, na região dos cerrados, só é possível com o emprego da irrigação, a qual depende não só do domínio das técnicas de irrigação propriamente, como também de

outros aspectos especialmente aqueles relacionados às propriedades físicas e químicas do solo.

Os solos predominantes na região dos cerrados são os Latossolos que, segundo Ferreira (2010), representa mais da metade dos solos brasileiros. Tais solos apresentam elevado grau de intemperismo, refletindo-se em uma estrutura predominantemente granular. Esta condição proporciona altas taxas de infiltração, especialmente em solos sob cobertura de cerrado nativo. Andrade et al. (2009), estudando a qualidade física de um Latossolo do cerrado sob diferentes culturas de cobertura em plantio direto, verificaram que mesmo com a utilização de práticas conservacionistas de cultivo, atributos como macroporosidade, porosidade total e densidade do solo, diretamente envolvidos nos processos de infiltração de água no solo, foram alterados, quando comparados com o solo em condições nativas, indicando que estes solos, mesmo que apresentem propriedades físicas de boa qualidade para a agricultura, são sensíveis e sujeitos à degradação.

O bioma Cerrado se localiza na região central do Brasil e se estende por uma área da ordem de 204,7 milhões de hectares, dos quais 80 milhões se encontram sob algum tipo de exploração, sendo as pastagens cultivadas as mais expressivas, ocupando cerca de 26,5%, e as lavouras, representando 10,5% desta ocupação (Sano et al., 2008). Aproximadamente 80% destas pastagens são consideradas degradadas, sendo um dos fatores causadores deste processo o uso do fogo, o qual resulta em exposição direta do solo, em especial ao impacto das gotas de chuva (Peron & Evangelista, 2004). Esta exposição afeta diretamente atributos físicos do solo responsáveis pela dinâmica da água, tais como porosidade total e densidade. Uma vez que o fluxo de água no sentido descendente do perfil do solo é prejudicado, dá-se início ao processo erosivo, em virtude do aumento do escoamento superficial.

Outro fator de especial importância como causa da degradação das pastagens está relacionado com a taxa de lotação, pois o excesso de animais favorece o pisoteio. Este por sua vez induz o aumento da densidade do solo. Maciel et al. (2009) concluiu que a degradação de pastagens em várias propriedades da região dos Cerrados se deve, parcialmente, à modificação dos valores de densidade do solo. Além da influência direta da superlotação nas propriedades físicas do solo, o pastejo excessivo reduz drasticamente a cobertura vegetal, expondo o solo e favorecendo o selamento superficial, o que dificulta o processo de infiltração de água.

Brandão et al. (2007), estudando o processo de formação do selamento superficial em diferentes classes de solos submetidos a chuvas simuladas com energia cinética variável, verificaram, por meio da análise de fotomicrografias, a destruição de agregados e redução da macroporosidade na superfície do solo, sendo este fenômeno observado em diferentes intensidades e em todas as classes de solo. Este fenômeno desencadeia processos erosivos, os quais são caracterizados pelo arrastamento de partículas de solo que se desprendem da superfície e, juntamente com outras partículas minerais e orgânicas, são carreadas até alcançar os leitos dos rios e lagos.

A infiltração da água no solo também está relacionada com a rugosidade da superfície, pois quanto mais obstáculos ao escoamento superficial, menor a influência da declividade do terreno. Além da rugosidade, a presença de raízes mortas proporciona o surgimento de caminhos preferenciais que, aliadas ao maior diâmetro dos agregados do solo, elevam substancialmente a capacidade de penetração da água através de seu perfil e, conseqüentemente, reduzindo a incidência de erosão (Volk & Cogo, 2008).

Sobrinho et al. (2003), utilizando infiltrômetro de aspersão, observaram maiores taxas de infiltração estável em solos sob plantio direto em relação a solos sob cultivo convencional, confirmando a idéia de que a maior rugosidade da superfície proporciona melhor condição de infiltração de água, indicando que as práticas de manejo em sistemas cultivados podem influenciar sobremaneira este fenômeno, o qual compõe o principal mecanismo de entrada de água no solo a ser disponibilizada para as plantas ou abastecer os aquíferos subterrâneos e, por meio do escoamento básico, contribuir para o fluxo dos rios.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Condutividade Hidráulica Saturada ( $K_0$ )

A infiltração de água no solo é proporcional à área da seção e à diferença de potencial total da água entre pontos considerados, podendo ser a superfície do solo e um ponto qualquer abaixo, e inversamente proporcional à distância entre estes dois pontos. A condutividade hidráulica se apresenta como o coeficiente de proporcionalidade entre a intensidade de fluxo e as grandezas citadas e expressa a facilidade com que a água se move no solo. Esta relação é descrita pela Lei de Darcy que, em 1856, escreveu uma equação que permite conhecer a condutividade hidráulica (Libardi, 2010).

No solo pode ser observado um gradiente de potencial hidráulico, resultante dos potenciais gravitacionais e de pressão. O gradiente de potencial gravitacional, também chamado de gradiente unitário é verificado em função da posição da água em relação a um plano de referência, que normalmente é a superfície do solo. No entanto, o gradiente de pressão está relacionado ao conteúdo de água no solo que, em condição de não-saturação, se apresenta como uma força de atração quando se observa pressões negativas como resultado do potencial matricial do solo. Nesta condição, a Eq. 1 serve para explicar o processo de fluxo da água pelo perfil do solo. A Eq. 2 aponta para um gradiente de potencial de pressão positivo, além do já citado gradiente de potencial gravitacional. Neste caso, o solo cujo processo de infiltração é descrito, encontra-se em condição de saturação, e a coluna de água existente no perfil de solo considerado é também responsável pelo movimento descendente da água.

$$q_{(\theta)} = k_{(\theta)} \left( 1 + \frac{\Delta\psi}{\Delta z} \right) \quad (1)$$

$$q = k_0 \left( 1 + \frac{\Delta h}{\Delta z} \right) \quad (2)$$

Onde  $q_{(\theta)}$  é o fluxo de água no solo em meio não saturado e  $q$  é o fluxo de água no solo em meio saturado, ambos em  $L A^{-1} T^{-1}$ ,  $K_{(\theta)}$  é a condutividade hidráulica em meio não-saturado e  $K_0$  é a condutividade hidráulica saturada em  $L T^{-1}$ ,  $\Delta\psi$  diferença de potencial matricial em  $z$ ,  $\Delta h$  é a diferença de pressão e  $\Delta z$  é a diferença de posição em  $z$ .

A utilização da equação 2 se justifica pelo fato de que na superfície do solo a condição de saturação é alcançada nos instantes iniciais de uma precipitação ou irrigação, resultando em um teor de água no solo ( $\theta$ ), nesta camada, igual ao da saturação.

A capacidade de infiltração de água no solo é dominada principalmente pela condutividade hidráulica a qual, em condição de saturação, é denominada condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ). Este parâmetro pode ser determinado de várias formas, como por exemplo utilizando equações que a correlacionam a outras propriedades físicas do solo (Slack (1980); van Genuchten (1980); Kidwell et al. (1997)), ou através de metodologias que se baseiam em testes conduzidos diretamente nos solos estudados. A condutividade hidráulica saturada expressa a facilidade com que água penetra no solo quando este se encontra com todo seu espaço poroso preenchido por água, macroporos ou poros de drenagem, e microporos ou poros de armazenamento.

## **2.2. Métodos para determinação de $K_0$**

Muito cuidado deve ser tomado na escolha do método a ser utilizado na determinação de  $K_0$ , pois o solo apresenta elevada variabilidade espacial, que também se reflete na variabilidade da condutividade hidráulica saturada. Apesar de este atributo ser dependente da porosidade do solo, estas propriedades possuem distribuição distinta. Mesquita & Moraes (2002) estudando a função densidade de probabilidade que melhor representasse a distribuição dos dados de condutividade hidráulica saturada do solo, constataram que a distribuição Lognormal foi a mais adequada. Estes mesmos autores obtiveram coeficientes de variação da ordem de 109%. Apesar disso, o coeficiente de variação para valores de macroporosidade giram em torno de 15 a 20%. Por isso, é de fundamental importância levar estas diferenças em conta na hora de correlacioná-las (Mesquita & Moraes, 2004). Contudo, estas propriedades podem dar alguma idéia da tendência a ser observada nos valores de  $K_0$ .

Os métodos para determinação da  $K_0$  através de dados obtidos diretamente dos solos estudados são relativamente simples e amplamente difundidos. Entre eles destacam-se o método do infiltrômetro de anéis (Costa et al., 1999), o simulador de chuva (Zonta et al., 2010) ou infiltrômetro de aspersão e o permeâmetro de carga constante (Marques et al., 2008). Cada um destes métodos produz dados de taxa de infiltração estável, a qual é

caracterizada pela leitura de três ou mais valores iguais de volume de água que infiltra no solo por unidade de tempo, seja em uma amostra ou no solo propriamente. Cecílio et al. (2003), estudando os parâmetros de entrada da equação de Green-Ampt que melhor se adequassem para predição da infiltração de água no solo, concluíram que a taxa de infiltração estável apresenta bons resultados quando considerada igual à condutividade hidráulica saturada.

A utilização do método do infiltrômetro de anéis pode ser limitada, principalmente se estes dados se prestarem ao planejamento de sistemas de irrigação por aspersão ou qualquer outro fenômeno que pressupõe o impacto de gotas de chuva, pois neste método o contato da água com o solo se dá suavemente, de forma que a desagregação e obstrução dos poros do solo ocorrem minimamente se comparada a uma precipitação natural ou evento de irrigação por aspersão, além do fato das condições de infiltração de água no solo não propiciarem o escoamento superficial. Tudo isso somado ao maior gradiente de potencial hidráulico existente, devido à coluna de água acima da superfície do solo, promovem maiores valores de taxa de infiltração de água, como constatado por Costa et al. (1999).

No momento da coleta de dados do infiltrômetro de anéis, não se conhece o gradiente de potencial hidráulico, nem tampouco a extensão do perfil de umedecimento, restando apenas a grandeza da intensidade de fluxo como parâmetro para determinação da condutividade hidráulica saturada.

O método do permeâmetro de carga constante leva a valores relativamente altos de condutividade hidráulica, apesar da diferença de potencial hidráulico observada experimentalmente ser corrigida no momento do cálculo conforme proposta pela equação de Darcy. Outro fator capaz de influenciar os resultados do permeâmetro de carga constante é a variabilidade espacial dos poros do solo e a possível existência de megaporos, os quais não seriam suficientes para influenciar os resultados de condutividade hidráulica saturada em grandes áreas, mas podem ser importantes fontes de erro se consideradas nos limites de área de uma amostra diminuta como a do anel volumétrico utilizado nos experimento deste tipo (Mesquita & Moraes, 2004).

O Simulador de Chuva, diferentemente dos demais métodos, proporciona a possibilidade de escoamento superficial e o gradiente de pressão sobre a superfície do solo é praticamente inexistente. Desta forma, observa-se apenas a influência da porosidade do solo. Portanto, ao

atingir a taxa de infiltração estável, pode-se presumir que esta se iguala à condutividade hidráulica saturada. Entretanto, a possível ocorrência de selamento superficial pode induzir valores de condutividade hidráulica menores do que o solo subsuperficial. Uma alternativa para minimizar este efeito é a cobertura do solo com restos vegetais a fim de protegê-lo do impacto direto das gotas de água.

### **2.3. Fatores que influenciam os valores de $K_0$**

Spera et al. (2008) concluíram que solos incubados com calcário apresentaram menores valores de condutividade hidráulica saturada, apontando para o fato de que a neutralização do alumínio no solo diminui a estabilidade de agregados, elevando o grau de dispersão da argila, que por sua vez produz o rearranjo das partículas e, conseqüentemente, diminuição do espaço poroso. Tal constatação indica que a variabilidade da condutividade hidráulica saturada pode também estar associada ao teor de Alumínio, o qual é variável de solo para solo, especialmente entre solos cultivados e solos sob vegetação nativa.

Elementos pedogenéticos também podem contribuir para a variabilidade da estabilidade de agregados, pois o maior ou menor grau de agentes cimentantes, como teor de alumínio trocável e óxido de ferro, decorrentes dos fatores formadores do solo bem como do material de origem, podem acabar por refletir em outras propriedades físicas do solo como densidade, porosidade total, e especialmente a condutividade hidráulica saturada.

A formação do selamento superficial também pode ter sua intensidade governada pela energia cinética da chuva e pelo grau de agregação das partículas do solo. Portanto, os diferentes usos do solo, quais sejam eles cerrado virgem, plantio direto ou convencional ou pastagem, apresentam resistência variável ao surgimento deste fenômeno e, conseqüentemente, condutividade hidráulica saturada do solo com diferentes magnitudes (Silva e Kato, 1997).

Silva e Kato (1998) estudando a eficiência de modelos na predição da velocidade de infiltração de água no solo utilizaram dois modelos consagrados na literatura especializada e observaram que o efeito do selamento superficial pode ser atenuado pela oportunidade de escoamento superficial. Estes autores verificaram ainda diferentes performances de um dos modelos empregados em função da presença ou ausência de cobertura vegetal morta. Tal

constatação evidencia a influência que o tipo de cobertura exerce nos processos de fluxo de água no solo.

Considerando que a condutividade hidráulica saturada apresenta alto grau de variabilidade espacial devido aos demais atributos físicos do solo, e que diferentes métodos podem ser empregados em sua determinação, o presente estudo teve por objetivo avaliar a determinação da condutividade hidráulica saturada por meio de três métodos diferentes em Latossolo Vermelho e em Latossolo Vermelho Amarelo sob Cerrado nativo, sob pastagem e sob resteva de milho em plantio direto.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33: 677-687, 2009
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31: 1099-1108, 2007
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 133-142, 2007
- BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; SILVA, E. O. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 27, n. 1, p. 129-138, 2007
- CECÍLIO, R. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A. Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.415-422, 2003
- COSTA, E. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A.; ABREU, A. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.131-134, 1999
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: Jong van Lier, Q. Física do solo. Viçosa/MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2010. p. 1-27

- KIDWELL, M. R.; WELTZ, M. A.; GUERTIN, D. P. Estimation of Green-Ampt effective hydraulic conductivity for rangelands. *Journal of Range Management*, v. 50, n. 3, p. 209-299, 1997
- LIBARDI, P. L. Água no solo. In: Jong van Lier, Q. Física do solo. Viçosa/MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2010. p. 103-152
- MACIEL, G. A.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C. Relação de atributos físicos do solo e produtividade de pastagem em sub-bacias hídricas do município de Lavras-MG. *Ciência Agrotecnica*, Lavras, v. 33, Edição especial, p. 2025-2030, 2009
- MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. *Acta Amazônica*, v. 38, n. 2, p. 193-206, 2008
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O.; CORRENTE, J. E. More adequate probability distributions to represent thue saturated soil hydraulic conductivity. *Scientia Agricola*, Piracicaba, SP, v. 59, n. 4, p. 789-793, 2002.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, v. 34, n. 3, 2004
- PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de Cerrado. *Ciência Agrotecnica*, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008
- SLACK, D. C. Modeling infiltration under moving sprinkler irrigation systems. *Transactions of ASAE*, v. 23, n. 3, p. 596-600, 1980

- SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32 n. 2, p. 213-220, 1997
- SILVA, C. L.; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33 n. 7, p. 1149-1158, 1998
- SOBRINHO, T. A.; 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*, v.7, n.2, p.191-196, 2003
- SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, Número Especial, p. 2613-2620, 2008
- van GENUTCHEN, M. T. A closed-form equation for prediction the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society America Journal*, v. 44, p.892-898, 1980
- VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32: 1713-1722, 2008
- ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MONTEBELLER, C. A. Adequação dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson em condições de campo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.10, p.1021-1029, 2010

## **CAPÍTULO ÚNICO**

# **CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA EM FUNÇÃO DO TIPO E USO DO SOLO E MÉTODO DE DETERMINAÇÃO**

**Trabalho a ser enviado para publicação na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola  
e Ambiental**

## CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA EM FUNÇÃO DO TIPO E USO DO SOLO E MÉTODO DE DETERMINAÇÃO

Antonio F. do E. Santo<sup>1</sup>, Cícero L. da Silva<sup>1</sup>, Carlos da S. Oliveira<sup>1</sup> Jorge E. F. W. Lima<sup>2</sup> & Manuel P. de Oliveira Júnior<sup>1</sup>

**RESUMO** – A condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ) é uma propriedade físico-hídrica do solo fundamental no dimensionamento de sistemas de irrigação e na orientação de práticas de manejo do solo e de recursos hídricos. Diante desta relevância, este trabalho objetivou comparar a condutividade hidráulica saturada determinada pelos métodos do simulador de chuva, do infiltrômetro de anéis e do permeâmetro de carga constante; em Latossolo Vermelho (LV) e em um Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), sob três condições de cobertura: Cerrado nativo, pastagem e em área de resteva de milho em plantio direto. As áreas sob Cerrado nativo apresentaram as maiores médias de  $K_0$ , seguidas das áreas de milho e das áreas sob pastagem, respectivamente. Os valores de  $K_0$  variaram entre  $133 \text{ mm h}^{-1}$  a  $2.831 \text{ mm h}^{-1}$  respectivamente quando se usaram os métodos do simulador de chuva e do infiltrômetro de anel, no LV e no LVA. A ordem decrescente nos valores de  $K_0$  de acordo com os métodos foram respectivamente, infiltrômetro de anéis, permeâmetro de carga constante e simulador de chuva. Tomando neste experimento, o simulador de chuva como método padrão, conclui-se que os outros métodos superestimaram os valores de condutividade hidráulica saturada do solo.

**Palavras chave:** Infiltração de água no solo, permeâmetro de carga constante, infiltrômetro de anel, simulador de chuva, Cerrado

---

<sup>1</sup> UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP 70.910-900, Brasília, DF. Fone (61) 3307-2430. E-mail: fabricio@agronomo.eng.br; cicero@unb.br; dasilvao@unb.br; manueljr@unb.br

<sup>2</sup> EMBRAPA Cerrados, BR 020, km 18, Planaltina-DF, CEP 73.310-970. Fone (61) 3388-9894. E-mail: jorge@cpac.embrapa.br

## **SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY AS A FUNCTION OF TYPE AND SOIL USE AND METHOD FOR DETERMINING**

**ABSTRACT** – The saturated soil hydraulic conductivity ( $K_0$ ) is a physic-hydric property of soil fundamental in the design of irrigation systems and the guidance of soil management practices and water resources. Given this importance, this study aimed to compare the saturated hydraulic conductivity determined by the methods of rainfall simulator, cylinder infiltrometer and the constant head permeameter; in Red Latossol (LV) and an Red Yellow Latossol (LVA) under three conditions Coverage: native Cerrado, pasture and area of stubble no-till corn. The areas under native Cerrado had the highest mean of  $K_0$ , followed by maize areas and the areas under pasture, respectively.  $K_0$  values ranged from 133 mm h<sup>-1</sup> to 2831 mm h<sup>-1</sup> respectively when they used the methods of rainfall simulator and the cylinder infiltrometer in the LV and LVA. The decreasing values of  $K_0$  in accordance with the methods were, respectively, cylinder infiltrometer, constant head permeameter and rainfall simulator. Taking this experiment, the rainfall simulator as the standard method, it is concluded that other methods overestimated the values of saturated hydraulic conductivity of soil.

**Key words:** soil water infiltration, constant head permeameter, cylinder infiltrometer, rainfall simulator, Cerrado

## 1. INTRODUÇÃO

Conhecer a intensidade da infiltração de água no solo se constitui em importante ferramenta no manejo, seja de terras cultiváveis sob vegetação nativa, com foco no manejo ambiental principalmente do solo e dos recursos hídricos, seja de terras cultivadas ou em agrossistemas sustentáveis. As técnicas de conservação do solo, em terras cultivadas ou não, levam em consideração seus atributos físicos no momento de orientar as práticas mais adequadas, pois tais características têm elevado grau de correlação com a capacidade de infiltração de água no perfil do solo. Filho (2003) destaca a importância da condutividade hidráulica saturada na classificação de solos, lembrando que sua variabilidade se dá no tempo e no espaço.

A água ao entrar em contato com o solo pode penetrar em seu perfil, processo que recebe o nome de infiltração, ou escoar superficialmente. A infiltração se inicia com valores altos e tende a um valor praticamente constante. Ao ficar constante, a taxa de infiltração pode ser considerada igual à condutividade hidráulica saturada (Silva & Kato (1998) e Cecílio et al., (2003)). Uma maneira prática de se conhecer a condutividade hidráulica saturada é realizando experimentos baseados na determinação da taxa de infiltração estável. Estes experimentos podem ser executados diretamente no campo a exemplo dos métodos do infiltrômetro de anéis e do simulador de chuva. Outra maneira de se obter a condutividade hidráulica saturada do solo é através da coleta de amostras indeformadas para caracterização da condutividade hidráulica saturada em laboratório, como é o caso do permeâmetro de carga constante.

As propriedades físicas relacionadas à dinâmica da água são importantes indicadores de mudança nos solos, assim, diversos autores, entre eles Araújo et al. (2007) e Aratani et al. (2009) tem utilizado estes atributos para estudar o grau de modificação dos solos sob diferentes usos e manejos em comparação ao solo nativo.

Apesar dos Latossolos apresentarem adequadas condições físicas, o uso intensivo destes solos pode promover alterações em suas propriedades, especialmente a densidade, a porosidade total e a condutividade hidráulica.

Costa et al. (2003) observaram que áreas sob plantio convencional apresentaram maiores modificações em seus atributos físicos em relação à mata nativa, quando comparadas com

sistemas de plantio direto. Esta conclusão indica que o tipo de manejo adotado pode contribuir para modificação e afetar a sustentabilidade do agrossistema considerado.

A condutividade hidráulica saturada, ressaltada a sua dependência de outras propriedades físicas do solo, apresenta valores tão diferentes quantos diferentes forem estas propriedades. A variação de diversas propriedades físicas entre solos sob Cerrado nativo e sob pastagem indica a grande influência das atividades de pastoreio relacionadas à dinâmica da água no solo, inclusive na condutividade hidráulica saturada (Borges et al., 2009).

Os valores de condutividade hidráulica saturada variam também em virtude do método empregado em sua determinação, conforme demonstrado por Costa et al. (1999), que verificaram valores menores de capacidade de infiltração no método do simulador de chuva em relação ao infiltrômetro de anéis.

A desagregação das partículas da superfície do solo por meio de gotas da chuva provoca a obstrução dos poros impedindo a penetração da água. Este processo recebe o nome de selamento superficial e é governado pela energia cinética das gotas de água da chuva ou da irrigação e também pelo grau de agregação das partículas do solo. Diferentes usos do solo, incluindo aqueles sob vegetação natural, os cultivados na modalidade plantio direto, convencional ou pastagem, condicionam resistência variável ao surgimento do selamento superficial e, conseqüentemente, influência diferenciada na condutividade hidráulica saturada do solo (Silva e Kato, 1997).

Dada à importância da condutividade hidráulica saturada dos solos em aspectos hidrológicos, de conservação de solos e dimensionamento de equipamentos de irrigação em agrossistemas irrigados, destaca-se como objetivo deste estudo comparar três métodos de determinação da condutividade hidráulica saturada do solo, em Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo em áreas sob Cerrado nativo, pastagem e resteva de cultivo de milho.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Universidade de Brasília, localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília- DF, num ponto central cujas coordenadas são aproximadamente de 15°56' S e 47°56' W e altitude média de 1.080 m. O clima da região é do tipo Cwa conforme classificação climática de Köppen, característico por apresentar duas

estações distintas, uma chuvosa compreendendo os meses de outubro a abril, e outra seca, de maio a setembro.

As amostragens dos solos, bem como os testes para determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ), foram realizados aleatoriamente em uma área com dimensão de 15 m x 15 m de cada local, estabelecendo-se assim as áreas experimentais.

Utilizaram-se três diferentes métodos de determinação de  $K_0$ , infiltrômetro de anéis concêntricos, permeâmetro de carga constante e simulador de chuva. Testes foram executados em dois Latossolos, um Vermelho e um Vermelho Amarelo, sob diferentes usos agrícolas ou coberturas vegetais: Cerrado virgem, resteva de milho em sistema de plantio direto e pastagem.

A área de Cerrado apresentava cobertura vegetal nativa, designada Cerrado *Senso Stricto* com declividade média variando de 4% a 5%. Na área de cultivo verificou-se declividade média aproximada de 3%, e na área de pastagem, a declividade média observada foi de aproximadamente 4%, com cobertura vegetal predominante de *Brachiaria brizantha*.

A realização dos testes foi de maneira tal que permitiu o delineamento experimental inteiramente casualizado com parcelas subdivididas com seis repetições. Os tratamentos consistiram dos três métodos para determinação de  $K_0$ . Os tipos de solo as parcelas, e os tipos de cobertura vegetal as subparcelas.

Valores de condutividade hidráulica saturada do solo não apresentam distribuição simétrica, o que permite dizer que sua distribuição não é normal. Mesquita & Moraes et al. (2002) ao estabelecer um valor médio de  $K_0$  testaram diversas funções de densidade de probabilidade e concluíram que a distribuição Lognormal apresentou os melhores desempenhos. Diante disso, na análise estatística do presente estudo considerou-se o logaritmo neperiano de cada observação de  $K_0$ , posteriormente os valores observados de  $K_0$  em forma de logaritmo neperiano foram levadas ao software Assistat (Silva & Azevedo, 2002).

No método do infiltrômetro de anéis foram utilizados aleatoriamente dois cilindros instalados concentricamente, conforme demonstrado na Figura 1, e construídos em chapa de aço com espessura de 1,5 mm; diâmetros de 0,40 m e 0,16 m, respectivamente e altura de 0,35 m. Os cilindros foram introduzidos no solo até 0,05 m de profundidade. Antes do preenchimento dos cilindros com água tomou-se o cuidado de proteger o solo do selamento

superficial por meio da cobertura da superfície do solo com palha de trigo. Cada infiltrômetro recebeu água até 0,02 m da borda no anel externo e interno possibilitando uma carga hidráulica máxima de 0,28 m. A taxa de infiltração foi determinada no cilindro interno e o ensaio durou até que esta se tornasse praticamente constante. Nesse experimento considerou-se constante quando o valor da leitura da taxa de infiltração apresentou medidas aproximadamente iguais por cinco vezes consecutivas.



Figura 1. Teste com infiltrômetros de anéis, demonstrando em (1) o anel interno de onde se determinava a taxa de infiltração e em (2) o micrômetro para a leitura das lâminas infiltradas

O método do Permeâmetro de Carga Constante foi realizado a partir de amostras de solo indeformadas coletadas aleatoriamente, com o emprego de um trado extrator portando um anel volumétrico de dimensões de 0,051 m de altura por 0,05 m de diâmetro permitindo a extração na profundidade de 0 m a 0,051m. As amostras, para cada tipo de solo e uso, foram saturadas por um período de aproximadamente 48 horas em bandeja contendo uma lâmina de água de aproximadamente 3 cm (Figura 2). Os valores de  $K_0$  por este método foram determinados no Laboratório de Física de Solos da Embrapa Cerrados.



Figura 2. Amostras de solo em processo de saturação em uma bandeja

Os testes com o permeâmetro de carga constante, ilustrado na Figura 3, seguiram a metodologia empregada por Marques et al. (2008) a qual faz uso da equação de Darcy para determinação da condutividade hidráulica saturada do solo.

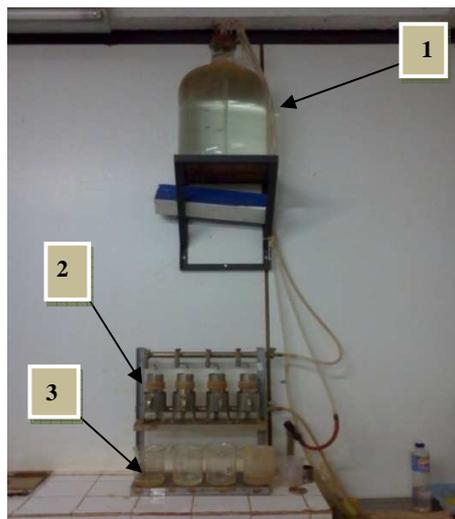


Figura 3. Permeâmetro de carga constante com balão de mariote (1) fornecendo fluxo de água contínuo para os cilindros contendo as amostras de solo (2), e os recipientes utilizados na coleta do fluxo para medição do volume (3)

Rearranjando a equação de Darcy, extraiu-se a expressão:

$$K_0 = \frac{Q \times L}{A \times (L+h)} \quad (1)$$

Em que,  $K_0$  é condutividade hidráulica saturada ( $\text{mm h}^{-1}$ ),  $Q$  é a vazão passa pela amostra ( $\text{dm}^3\text{h}^{-1}$ ),  $L$  é a altura da amostra (m),  $A$  é área da seção da amostra ( $\text{m}^2$ ) e  $h$  a altura da lâmina de água sobre a amostra (m).

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada pelo Simulador de Chuva foram utilizados sistemas de aspersão convencional, sobre infiltrômetros, com intensidade de aplicação de água variável, conforme a condição de infiltração de cada solo e da fonte de água disponível. Em todos os testes, as intensidades de aplicação de água foram maiores que a taxa de infiltração, permitindo dessa forma, a geração de escoamento superficial. O tempo de funcionamento do sistema de aspersão em todos os testes foi de aproximadamente 45 minutos. O valor de  $K_0$  foi obtido por meio da diferença entre a taxa de aplicação (controlada por meio de pluviômetros e cronometragem do tempo de duração do teste) e a taxa de escoamento superficial, obtida após o período de saturação do solo. A declividade média do solo dentro dos infiltrômetros retangulares variou entre 3% e 5%. Os infiltrômetros usados foram construídos usando chapa de metal de 1,5 mm de espessura, com 1 metro de largura por 2 metros de comprimento e 0,15 m de altura. Os infiltrômetros foram instalados no solo na profundidade de 0,05 m.

O simulador de chuva usado na área de cultivo de milho foi constituído de tubulação de PVC rígido de 75 mm de diâmetro, devidamente providos de conexões permitindo a montagem de tubos de elevação de 3,0 m de altura e 25 mm de diâmetro, neles foram instalados difusores do tipo Asfix AF4, constituídos de placa defletora côncava e lisa com bocais de 9,2 mm de diâmetro, com espaçamento de 3,0 m x 3,0 m, totalizando nove aspersores numa área de 36  $\text{m}^2$  (Figura 4). A precipitação sobre seis infiltrômetros retangulares atingiu a taxa média de 244  $\text{mm h}^{-1}$ . O abastecimento e a pressurização da água se deram por meio de bomba centrífuga, e na sua condução utilizou-se tubulação de aço galvanizado de 125 mm de diâmetro.

Devido às condições eventuais de vento desfavorável à aplicação do teste, instalou-se uma quarta linha de difusores para compensar o efeito da deriva, o que proporcionou melhor uniformidade de distribuição da água, conforme também pode ser visualizado na Figura 4.

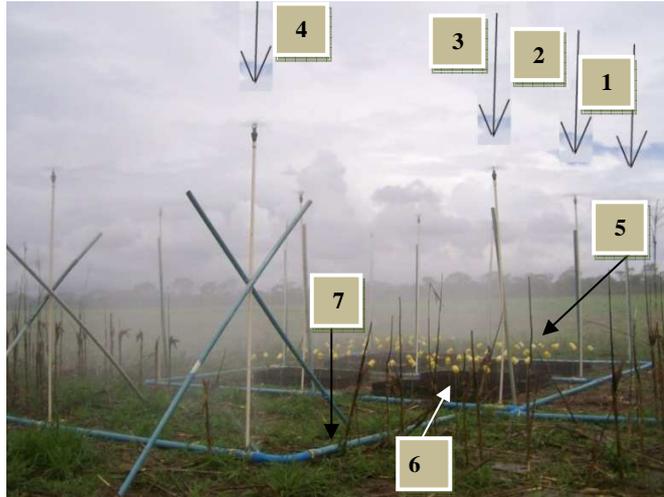


Figura 4. Aspecto geral do simulador de chuva na área do milho, demonstrando a primeira (1), a segunda (2), a terceira (3), a quarta linha de emissores (4), os pluviômetros (5) utilizados no controle da lâmina aplicada, os infiltrômetros (6) e a tubulação de condução de água (7)

Na área de pastagem o simulador empregado diferiu do anterior, sendo o fornecimento de água por meio de tanques providos de bomba centrífuga acionada pela tomada de potência de um trator. Alterações foram realizadas, a fim de que o sistema de aspersão aplicasse água sobre cada infiltrômetro retangular individualmente, perfazendo um total de oito difusores de bocais de 7,2 mm por infiltrômetro, fornecendo uma precipitação média de  $359 \text{ mm h}^{-1}$ , as demais características mantiveram-se constantes (Figura 5).

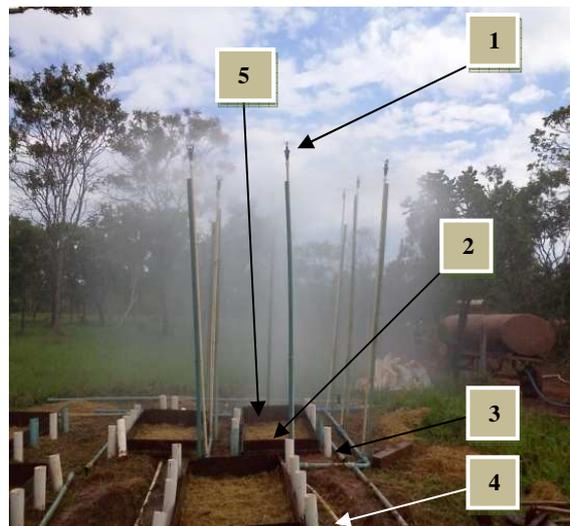


Figura 5. Simulador de chuva em funcionamento na área de pastagem mostrando os difusores (1), a cobertura vegetal para evitar o selamento superficial (2), os pluviômetros (3), os tubos para coleta da água que escoam superficialmente (4) dentro dos infiltrômetros (5)

Na área de Cerrado, o sistema de aspersão foi montado de maneira que dois infiltrômetros fossem testados simultaneamente (Figura 6). Para isso, 20 difusores com bocais de diâmetro variado foram instalados, permitindo uma precipitação média de  $1.065 \text{ mm h}^{-1}$ . O suprimento de água para condução destes testes também foi realizado utilizando-se tubulação de aço galvanizado de 125 mm de diâmetro alimentado por bomba centrífuga, assim como na área sob resteva de milho.

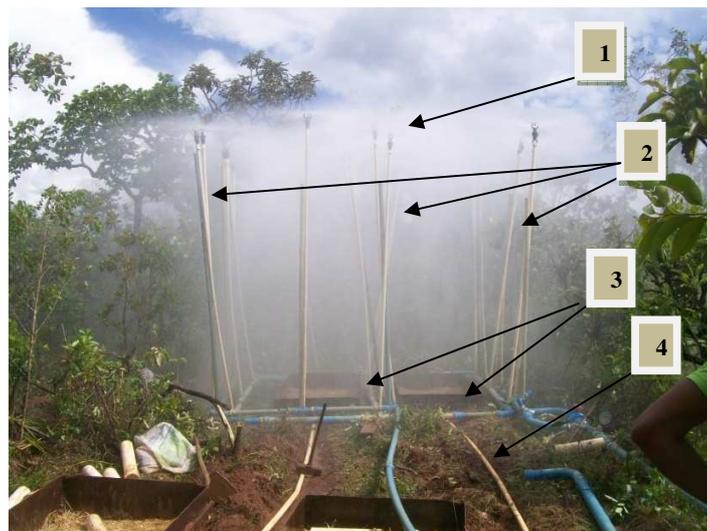


Figura 6. Simulador de chuva em funcionamento no cerrado, demonstrando os difusores (1), os tubos de elevação (2), os infiltrômetros retangulares (3) e os tubos de coleta do escoamento superficial (4)

Ressalta-se que o controle da precipitação, em cada infiltrômetro, em todos os testes envolvendo o simulador de chuva se deu individualmente. Nos testes envolvendo o simulador de chuva fizeram-se a remoção da vegetação a fim de homogeneizar as condições experimentais, já que nos demais testes a superfície do solo ou amostra foi desprovida de plantas. Entretanto, adicionou-se cobertura vegetal morta com o objetivo de evitar o efeito do selamento superficial.

Neste estudo, o método do simulador de chuva foi considerado método padrão por proporcionar condições de aplicação de água semelhante a um evento de chuva natural, abrangência de uma área testada maior ( $2\text{m}^2$ ) o que permite minimizar os possíveis efeitos dos caminhos preferenciais de infiltração, além de não se observar carga de água em cima da superfície do solo, como é o caso do infiltrômetro de anéis.

Na Tabela 1 apresentam-se as intensidades de aplicação de água usadas e os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen obtidos nos diversos tratamentos.

Tabela 1. Indicadores do sistema de aspersão apresentando a intensidade de aplicação (Ia), em mm h<sup>-1</sup>, e o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), em %

Parcela *	Ia (mm h <sup>-1</sup> )	CUC (%)
MLVA	274	89
MLV	241	98
PLVA	487	77
PLV	230	79
CLVA	1065	84
CLV	1064	88

\* MLVA – Resteva de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; MLV – Resteva de milho em Latossolo Vermelho; PLVA – Pastagem em Latossolo Vermelho Amarelo; PLV – Pastagem em Latossolo Vermelho; CLVA – Cerrado em Latossolo Vermelho Amarelo; CLV – Cerrado em Latossolo Vermelho;

As amostras utilizadas no permeâmetro de carga constante também serviram para caracterização dos solos, obtendo-se a densidade do solo (ds), a porosidade total (ξ), a granulometria e o teor de alumínio trocável.

Utilizou-se a Eq. 2 para determinar a densidade do solo (ds) e a Eq. 3 a porosidade total (ξ).

$$ds = \frac{Ms}{Vs} \quad (2)$$

$$\xi = \left(1 - \frac{ds}{dp}\right) \quad (3)$$

Onde ds é a densidade do solo em g cm<sup>-3</sup>, Ms é massa de solo seco em g, Vs é o volume de solo seco em cm<sup>3</sup>, ξ é a porosidade total em cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> e dp a densidade de partículas em g cm<sup>-3</sup>.

Netto et al. (2009) ao analisar alguns atributos dos solos nas proximidades da área do presente estudo observaram densidades de partículas com valor médio de 2,49 g cm<sup>-3</sup>. Pelas similaridades destas condições, optou-se em utilizar este valor como referência para o cálculo da porosidade total.

A granulometria foi obtida pelo método da pipeta no laboratório de solo da Embrapa Cerrados e o teor de Alumínio trocável foi obtido por análise de solo em Extrator – KCl 1 N no laboratório Hidrosolo, localizado no município de Formosa (GO).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes com simulador de chuva apresentaram alto grau de dificuldade em sua execução devido à necessidade de bombeamento de água para os solos sob Cerrado e sob resteva de milho e de elevado volume de água nos solos sob pastagem além de materiais hidráulicos (tubos, conexões e equipamentos). Por outro lado, o método do infiltrômetro de anéis requer pouco material de apoio e volume de água reduzido, e o do permeâmetro de carga constante, embora exija um laboratório adaptado para essa finalidade, apresentaram maior facilidade de operação.

Os dados da caracterização das propriedades físicas dos solos estudados e que tem relação com a condutividade hidráulica saturada do solo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Densidade do solo (ds), em  $\text{g cm}^{-3}$ ; porosidade total ( $\xi$ ), em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ; teor de argila, silte e areia em  $\text{g kg}^{-1}$  e alumínio trocável em  $\text{cmol dm}^{-3}$  em função do tipo e uso do solo

Parâmetro	Local					
	MLVA <sup>1</sup>	MLV <sup>2</sup>	PLVA <sup>3</sup>	PLV <sup>4</sup>	CLVA <sup>5</sup>	CLV <sup>6</sup>
ds	0,96	1,03	0,94	0,89	0,76	0,78
$\xi$	0,62	0,59	0,62	0,64	0,70	0,69
Argila	510	540	490	600	600	630
Silte	300	290	210	170	190	160
Areia	190	170	300	230	210	210
Alumínio trocável	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

1: Resteva de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; 2: Resteva de milho em Latossolo Vermelho; 3: Pasto em Latossolo Vermelho Amarelo; 4: Pasto em Latossolo Vermelho; 5: Cerrado em Latossolo Vermelho Amarelo; 6: Cerrado em Latossolo Vermelho.

Diversos autores ao analisarem Latossolos Vermelhos sob vegetação de Cerrado apontaram valores de densidade do solo e porosidade total semelhantes aos observados neste estudo (Borges et al. 2009; Carneiro et al. 2009; Figueiredo et al. 2009), o que permite inferir que os solos estudados apresentam propriedades inerentes desta classe de solos. Observou-se neste estudo que nas áreas de vegetação nativa as densidades dos solos foram menores do que aquelas encontradas nas áreas agricultadas, o que pode ser explicado pela não compactação dos solos sob vegetação natural. Observações semelhantes foram verificadas por Araújo (2004) e Lima et al. (2008). Os teores de argila encontrados no presente estudo também se aproximam daqueles encontrados por Neto et al. (2009) em solos semelhantes.

O teor de alumínio trocável apresentou valores ligeiramente maiores na área sob vegetação natural em relação às outras áreas estudadas. A relação do teor deste elemento com os atributos físicos do solo foi estudada por Spera et al. (2008), o qual observou que solos incubados com calcário, apresentaram declínio nos teores de alumínio trocável, bem como nos valores de  $K_0$ . Fato semelhante foi também observado por Silva & Kato (1997) permitindo concluir que a adição de corretivos no solo, provoca este efeito devido à elevação do pH do solo e subsequente precipitação do alumínio, reduzindo seus teores e influenciando no grau de dispersão da argila, causando a obstrução de parte dos poros do solo, e como consequência final redução nos valores de  $K_0$ .

Ao aplicar o teste F nos valores médios de  $K_0$ , observaram-se elevadas diferenças significativas para os diferentes métodos e tipos de uso do solo, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3. Análise de variância apresentando os Graus de Liberdade (GL) e o índice F para os tratamentos e suas interações

Fonte de Variação	G. L.	F
Método	2	35,63**
Resíduo – mét.	15	
Parcelas	17	
Uso	2	190,13**
Int. Mét. x Uso	4	5,53**
Resíduo - uso	30	
Subparcelas	53	
Solo	1	0,01 ns
Int. Mét. x Solo	2	9,71**
Int. Uso x Solo	2	2,49 ns
Int. Mét.xUsoxSolo	4	4,69 **
Resíduo - Solo	45	
Total	107	

\*\* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

ns – Não significativo ( $p \geq 0,05$ )

Os diferentes tipos de solo (Latosolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo) não apresentaram diferença estatística entre si na condutividade hidráulica saturada do solo (Tabela 3), isto provavelmente se deve aos valores aproximados de porosidade total entre as classes de solo Vermelho e Vermelho Amarelo.

A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados para condutividade hidráulica saturada pelos diferentes métodos nos solos estudados.

Tabela 4. Valores médios de condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ), em  $\text{mm h}^{-1}$ , e do coeficiente de variação, em %, entre parênteses, para os métodos do infiltrômetro de anéis, do permeâmetro de carga constante e do simulador de chuva, para o Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo sob cultivo com milho, pastagem e Cerrado nativo

Milho		Pasto		Cerrado	
LVA <sup>1</sup>	LV <sup>2</sup>	LVA	LV	LVA	LV
Infiltrômetro de Anéis					
217 (34%)	489 (42%)	425 (32%)	963 (44%)	2.831 (24%)	2.830 (9%)
Permeâmetro de Carga Constante					
547 (121%)	168 (117%)	476 (41%)	757 (63%)	2.571 (66%)	1.708 (94%)
Simulador de Chuva					
170 (11%)	133 (26%)	203 (25%)	144 (25%)	531 (44%)	646 (19%)

1: Resteva de milho em Latossolo Vermelho Amarelo; 2: Resteva de milho em Latossolo Vermelho; 3: Pasto em Latossolo Vermelho Amarelo; 4: Pasto em Latossolo Vermelho; 5: Cerrado em Latossolo Vermelho Amarelo; 6: Cerrado em Latossolo Vermelho.

Como os valores de  $K_0$  não apresentam distribuição normal (Mesquita et al., 2002), para se obterem as médias bem como os coeficientes de variação, considerou-se a distribuição como sendo Lognormal. O coeficiente de variação máximo foi de 121%, valor um pouco maior que o maior valor observado pelos autores supracitados (109%).

A condutividade hidráulica saturada do solo determinada pelo método do infiltrômetro de anéis apresentou valores maiores que os demais métodos, o que vem de acordo com o encontrado por Coelho et al. (2000) e Simões et al. (2005).

A maior variabilidade de  $K_0$  pode ser observada no permeâmetro de carga constante, com coeficiente de variação de até 121%. Esta variação pode ser resultado da coleta das amostras em locais com distribuição desigual da porosidade, além de que devido ao tamanho reduzido da amostra acentuar as possíveis discrepâncias nos valores de  $K_0$  ocasionadas pelos caminhos preferenciais de infiltração.

Silva & Kato (1997) estudando Latossolo Vermelho Amarelo sob Cerrado virgem em áreas próximas às estudadas neste trabalho, encontraram  $K_0$  da ordem de  $2.640 \text{ mm h}^{-1}$  com o uso permeâmetro de carga constante, o que demonstra a variabilidade temporal e espacial deste parâmetro.

Analisando os valores de  $K_0$  encontrados no método do simulador de chuva no presente estudo, verifica-se que o menor deles,  $133 \text{ mm h}^{-1}$ , foi ainda superior aos valores encontrados por Silva & Kato (1998), ao estudarem solos próximos à área do presente trabalho utilizando o mesmo método. Esta é mais uma forte evidência de que a condutividade hidráulica saturada do solo é um parâmetro de grande variabilidade espacial e temporal, o que permite dizer que sua determinação exata é difícil de ser alcançada.

Comparando-se as médias dos tratamentos, independente do tipo de uso e do tipo de solo (Tabela 5), verifica-se que não houve diferença estatística significativa entre o infiltrômetro de anéis e o permeâmetro de carga constante, diferindo, no entanto, do simulador de chuva. É importante salientar que o simulador de chuva apresentou média geral de  $K_0$  entre todos os locais e tipos de solo, cerca de duas vezes menor que a média obtida no permeâmetro de carga constante e mais de três vezes menor que os valores encontrados no uso do infiltrômetro de anéis.

Tabela 5. Valores médios de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), em  $\text{mm h}^{-1}$ , em dois tipos de solo e três condições de uso, comparados entre os diferentes métodos

Método	$K_0$ ( $\text{mm h}^{-1}$ )
Infiltrômetro de Anéis	797a
Permeâmetro de Carga Constante	553a
Simulador de Chuva	238b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

O gradiente de potencial total da água é a força motriz de seu deslocamento no solo. No presente caso, importa destacar o movimento vertical da água no solo, pois os métodos empregados se restringiram a esta modalidade de movimento. Na condição experimental observada no infiltrômetro de anéis o potencial hidráulico é caracterizado pela presença de uma coluna de água acima do solo. Esta coluna é mantida durante o período de condução do teste, desta forma, o gradiente de potencial total na vertical existente na condição de saturação é maior que um e esta é uma das causas que pode ter contribuído para que o infiltrômetro de anéis, entre todos os métodos, apresentasse o maior valor de  $K_0$ . O não conhecimento da magnitude do perfil umedecido impossibilita sua ponderação semelhante ao que é feito no permeâmetro de carga constante.

Os valores de  $K_0$  determinados pelo permeâmetro de carga constante se mostraram estatisticamente iguais aos determinados pelo infiltrômetro de anéis, sendo importante destacar que ambos têm como condição experimental a impossibilidade de escoamento superficial sendo o único percurso possível para a água a infiltração. Esta condição foi preponderante para explicar estes resultados, já que no teste do permeâmetro de carga constante o gradiente de potencial de pressão positivo existente é corrigido pela equação de Darcy.

A condição experimental observada no simulador de chuva é ideal para determinação da condutividade hidráulica saturada do solo, não só por ser similar a uma chuva, bem como pelo fato de ser inerente ao método a inexistência de um gradiente de pressão positivo como agente que favorece o movimento da água no solo. Também é possível afirmar que não houve gradiente de potencial matricial neste experimento em função da pré-saturação dos solos imediatamente antes de cada teste.

Foi também possível observar que os valores de condutividade hidráulica saturada diferiram estatisticamente entre os tipos de uso como demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6. Média dos valores de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), em  $\text{mm h}^{-1}$ , para os diferentes usos determinada pelos métodos do infiltrômetro de anéis, permeâmetro de carga constante e simulador de chuva, para Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo

Tipo de uso	$K_0$ ( $\text{mm h}^{-1}$ )
Cerrado	1.362a
Cultivo de milho	206c
Pastagem	374b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Pelos valores observados é possível identificar valores altos de condutividade hidráulica saturada nos solos sob Cerrado em comparação com os valores obtidos nos solos sob os demais usos. Além disso, observa-se diferença estatística entre os solos sob resteva de milho e pasto, indicando variados graus de modificação das propriedades físicas do solo relacionadas à condutividade hidráulica saturada.

Observa-se fato semelhante analisando o trabalho de Neto et al. (2009), os quais detectaram modificações nas propriedades físicas do solo de áreas sob pastagens quando

comparados a áreas de Cerrado nativo, como diminuição da porosidade total, propriedade esta de maior influência na intensidade da condutividade hidráulica saturada. Da mesma forma, Borges et al. (2009), comparando a condutividade hidráulica saturada pelo método do permeâmetro de Guelph em Latossolo Vermelho sob Cerrado e pastagem, observaram que a condutividade hidráulica saturada no pasto foi mais de quatro vezes menor que no Cerrado virgem.

Silva et al. (2008) também observaram que o sistema de plantio direto provoca redução na macroporosidade da superfície do solo, este fenômeno por sua vez se reflete numa menor porosidade total e conseqüentemente reduz a capacidade de infiltração de água, o que ajuda a explicar, no presente caso, os menores valores de condutividade hidráulica saturada na área de resteva de milho frente aos solos sob Cerrado e sob pastagem.

No presente estudo, observou-se nos solos sob cobertura de cerrado natural que houve diferença estatística significativa entre todos os métodos conforme o ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7. Resultado da interação entre métodos e os usos do solo nos valores de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), em  $\text{mm h}^{-1}$

Métodos	Tipo de uso		
	Cerrado	Cultivo de milho	Pasto
Infiltrômetro de Anéis.	2.787 aA	305 aC	597 aB
Permeâmetro de Carga Constante	1,634 bA	195 abC	531 aB
Simulador de Chuva	555 cA	147 bB	166 bB

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si vertical; médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na horizontal; pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tal fato pode ser explicado pela condição natural da estrutura do solo, a qual permite que cada método expresse os resultados conforme suas particularidades. Verifica-se que esta diferença não persiste quando o solo é posto em condição de uso agrícola. Entretanto, as médias dos métodos do infiltrômetro de anéis e do permeâmetro de carga constante, que foram estatisticamente iguais nas médias gerais (Tabela 5), se comportaram de maneira semelhante para os solos sob cultivo de milho e pastagem.

Analisando os métodos separadamente, observa-se que os dados do simulador de chuva se mostraram estatisticamente iguais, para os solos sob cultivo com milho e sob pastagem, o que não ocorreu para os demais métodos, evidenciando que a possibilidade de escoamento superficial pode ter influenciado significativamente os resultados.

Apesar de não haver diferença significativa entre as médias quando comparados os tipos de solo, constata-se interação entre os métodos e os tipos de solo nos valores de  $K_0$  (Tabela 8).

Tabela 8 – Interação entre métodos e os tipos de solo nos valores de condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_0$ ), em  $\text{mm h}^{-1}$

Método	Tipo de solo	
	LV	LVA
	$K_0$ ( $\text{mm h}^{-1}$ )	
Infiltrômetro de Anéis	1.039 aA	312 aB
Permeâmetro de Carga Constante	443 bB	690 aA
Simulador de Chuva	225 cA	253 bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si na vertical; médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na horizontal; pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Ao comparar os valores de  $K_0$  relativos aos métodos, é possível observar que o simulador de chuva continua apresentando os valores mais baixos, independente do tipo de solo. Ao se observar a Tabela 8 na horizontal, detecta-se que este mesmo método aponta valores estatisticamente iguais para os dois tipos de solo, fato não observado para os demais métodos. Estes resultados comprovam a tendência de que o método do infiltrômetro de anéis e o método do permeâmetro de carga constante conduzem a valores mais elevados de  $K_0$ .

#### **4. CONCLUSÕES**

1. O método do simulador de chuva fornece resultados de condutividade hidráulica saturada estatisticamente menores que os métodos do infiltrômetro de anéis e do permeâmetro de carga constante.
2. Pelas diferenças verificadas nos valores de condutividade hidráulica saturada do solo numa mesma região dentro do mesmo método, permite-se afirmar que a obtenção representativa deste parâmetro é muito difícil.
3. Os solos sob Cerrado nativo apresentaram os maiores valores de condutividade hidráulica saturada, seguido dos solos sob pasto e sob cultivo de milho.
4. Os diferentes tipos de solo, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo, apresentaram valores estatisticamente iguais de condutividade hidráulica saturada.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33: 677-687, 2009.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 337-345, 2004.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- BORGES, T. A.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, E. M.; GOEDERT, W. J. Avaliação de parâmetros físico-hídricos de Latossolo Vermelho sob pastejo e sob Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n. 1, p. 18–25, 2009.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 33, p. 147-157, 2009.
- CECÍLIO, R. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A. Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.415-422, 2003.
- COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Infiltração de água no solo: Parte I Infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.137-141, 2000.
- COSTA, E. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A.; ABREU, A. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.131-134, 1999.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 527-535, 2003.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: Jong van Lier, Q. Física do solo. Viçosa/MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2010. p. 1-27.

- FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n. 2, p.146-151, 2009.
- FILHO, T. B. O. Uma classificação físico-hídrica dos solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 211-222, 2003.
- LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S.; CRUZ, L. E. C. Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1849-1855, 2008.
- NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1441-1448, 2009.
- MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa toposequência com diferentes coberturas vegetais no baixo amazonas. *Acta Amazônica, Manaus*, v. 38, n. 2, p. 193-206, 2008.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O.; CORRENTE, J. E. More adequate probability distributions to represent the saturated soil hydraulic conductivity. *Scientia Agricola, Piracicaba, SP*, v. 59, n. 4, p. 789-793, 2002.
- SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v. 32 n. 2, p. 213-220, 1997.
- SILVA, C. L.; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v. 33 n. 7, p. 1149-1158, 1998.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande*, v. 4, n. 1, p. 1-78, 2002.
- SILVA, M. G.; ARF, O.; ALVES, M. C.; BUZZETI, S. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno

irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 2, p. 335-347, 2008.

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

SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, Número Especial, p. 2613-2620, 2008.