

## VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM CAMBISSOLOS DE TEXTURA ARGILOSA SOB FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

José Elias Mellek<sup>1</sup>, Nivaldo Eduardo Rizzi<sup>2</sup>, Jean Carlos Ribeiro<sup>3</sup>, Camila Rocha Rodrigues Cordeiro<sup>3</sup>, Elvis Roberto de Andrade<sup>3</sup>.

1 Eng Agrônomo, M.Sc em Ciência do Solo, doutorando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná ([eemellek@yahoo.com.br](mailto:eemellek@yahoo.com.br)), Curitiba – PR, Brasil.

2 Eng. Florestal, Professor Doutor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil.

3 Estudantes do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, Brasil.

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

### RESUMO

A infiltração de água no solo é considerada um processo chave do ciclo hidrológico, por controlar a relação entre a água na superfície e em sub superfície. Com a finalidade de se avaliar a relação da infiltração com atributos físicos de solo esta pesquisa foi desenvolvida em uma bacia hidrográfica experimental ocupada com vegetação remanescente de Floresta Ombrófila Mista. Dentre as classes de solos originadas pelos sedimentos da Formação Guabirotuba, no município de Curitiba - PR, local da pesquisa, a classe dos cambissolos, apresentou uma textura argilosa em todos os horizontes onde se realizou a descrição dos perfis de solo. Isso poderia inserir os solos no grupo daqueles com baixa capacidade de drenagem. Porém, ao se analisar os atributos físicos de solo como textura e estrutura pedogenética, se averiguou que a estrutura em blocos sub angulares pode ter sido um dos fatores relevantes e responsáveis pelas altas taxas de infiltração de água no solo. Com a adoção de modelos matemáticos de HORTON (1940) e KOSTIAKOV-LEWIS (1945) foi possível descrever o processo de infiltração da água utilizando dados de ensaios de infiltração realizados nos terços superior e inferior da bacia. A equação que representa o modelo matemático proposto por Horton foi a que melhor se ajustou às acurvas reais de velocidade de infiltração ao final de 120 min de cada teste, embora ela tenha superestimado os valores de velocidade de infiltração no início do processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** atributos físicos de solo, Infiltração de água no solo, textura do solo

### SPEED OF WATER INFILTRATION IN CAMBISOLS OF CLAY TEXTURE UNDER ARAUCARIA FOREST

#### ABSTRACT

Water infiltration into the soil is considered the key process of the hydrological cycle by controlling the relationship between the water in the surface and in the subsurface. Trying to assess the relation between the infiltration with the soil physics attributes, this search was developed in an experimental basin under forest with araucaria. Among the classes of soils originated by sediment formation Guabirotuba, in Curitiba - PR, research place, the class of cambisols presented a clay texture in all horizons where was made the description of the soil profiles. This could put the soil in

the group with low drainage capacity. However, when analyzing the physical attributes of soil texture and pedogenetic structure, it was verified that the sub angular blocky structures may have been one of the important factors responsible for the high rates of water infiltration into the soil. With the adoption of mathematical models was possible to estimate the infiltration of water in soil using data from infiltration experiments in upper and lower parts of a basin. The equation that represents the mathematical model proposed by Horton was the best fit to the actual curves of infiltration rate after in the end of 120 min, although it overestimated the values of infiltration rate at the beginning of the process.

**KEYWORDS:** soil Infiltration, soil physics attribute, soil texture.

## INTRODUÇÃO

A infiltração de água no solo é um processo fundamental para o ciclo hidrológico. Sua determinação assume relevância em estudos voltados ao monitoramento e preservação dos recursos hídricos em bacias de drenagem carentes de dados hidrológicos que estão sujeitas a alterações no regime hídrico decorrentes de mudanças naturais ou antrópicas do uso e cobertura do solo. (CARDOZO et al., 2006). De acordo com PAIXÃO et al. (2009) a determinação da velocidade de infiltração é fundamental ao se definir técnicas de conservação, para planejamento de projetos de irrigação e drenagem além de proporcionar maior conhecimento da real capacidade de armazenamento de água no solo.

No município de Curitiba-PR a gênese do solo se deu pelo intemperismo do material geológico composto por sedimentos da Formação Guabirota. Grande parte dos sedimentos que constituem esta formação foi originada a partir da decomposição química de rochas do período pré-cambriano, por isso solos originados desta formação possuem naturalmente grande variabilidade nos seus atributos físicos (MINEROPAR, 2001).

Dentre as classes de solos derivadas desse material de origem encontra-se a dos cambissolos que pode apresentar variações na velocidade de infiltração atribuídas à variabilidade espacial dos fatores que governam o fluxo da água em uma bacia hidrográfica (QUEIROZ, 1995; MESQUITA & MORAES, 2004; REICHARDT & TIMM, 2004).

Em geral, solos arenosos apresentam maior macro porosidade em relação aos solos argilosos o que lhes confere maior condutividade hidráulica e velocidade de infiltração de água, porém, em BRANDÃO et al. (2006), é relatado que solos argilosos bem estruturados, podem apresentar taxas de infiltração, tão altas, quanto aquelas apresentadas por solos arenosos e maiores do que as apresentadas por solos argilosos com estrutura instável.

Em trabalho sobre percepção e uso de solo realizado por BENASSI, (2008) se relata a descrição de um perfil de cambissolo argiloso com boa drenagem que apresentou estrutura em blocos sub angulares. Em FERREIRA, (1988), há relatos de solos argilosos que apresentaram boa drenagem onde se demonstrou que sob condição de saturação, latossolos argilosos no Brasil, apresentaram aumento na condutividade hidráulica. Tal constatação pode ocorrer em latossolos devido à estrutura em função dos macroporos e da estabilidade de agregados de solo (CORDEIRO, 1977).

Dentre as propriedades físicas, a infiltração é uma das mais importantes porque tem relação com o movimento da água no solo, o processo de infiltração pode ser quantificado através de métodos ou modelos matemáticos que sejam capazes de representar de maneira adequada as condições naturais em que o solo

se encontra (PAIXÃO, et al., 2009, TEIXEIRA et al., 2010).

Para isso, podem ser utilizados modelos matemáticos empíricos como o de HORTON (1940) e o de KOSTIAKOV-LEWIS (1945). Os modelos empíricos têm como vantagem a possibilidade de relacionar os parâmetros do modelo às características do solo sem que eles tenham um significado físico (BRANDÃO, 2003). A equação potencial de Kostiakov-Lewis, foi criada com a finalidade de solucionar o problema da velocidade de infiltração tender a zero não correspondendo a uma velocidade de infiltração básica de água no solo quando se aplica o modelo de Kostiakov por longos períodos. Embora, esta equação represente uma modificação do modelo de Kostiakov, não leva em consideração o teor de umidade inicial do solo, portanto é recomendado que o teste de infiltração seja realizado com um teor médio de umidade.

A equação que representa o modelo de Horton, descrita na forma de uma função exponencial, mostra que, com o tempo, a redução na taxa de infiltração é fortemente controlada por fatores que operam na superfície do solo, tais como selamento superficial devido ao impacto das gotas de chuva e fenômenos de expansão e contração do solo (PREVEDELLO, 1996).

Pela importância de se realizarem estudos sobre infiltração em solos de pequenas bacias hidrográficas este trabalho teve como finalidade buscar resultados que mostrassem alguma relação entre atributos físicos de solo sob floresta ombrófila mista e a variabilidade nas velocidades de infiltração de água no solo representadas pelos modelos empíricos citados por TEIXEIRA et al., (2010).

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no ano 2013 em uma área remanescente de floresta ombrófila mista que cobre uma superfície de 15, 2 hectares, e está localizada no Capão do Tigre no Campus III da Universidade Federal do Paraná, Jardim Botânico, Curitiba – PR, (AUGUSTYNCZIK, 2011). A área de 3,7 ha, que corresponde à delimitação da bacia onde foram realizados os estudos sobre infiltração, está inserida entre as coordenadas geográficas 25°26'50" S e 25°27'33" S e 49°14'16" W e 49°14'33" W. No terço superior da encosta, a declividade média é de 2% com altitude média de 914 m onde o terreno é plano. No terço inferior da encosta a declividade média é de 12% com altitude média de 905 m e o terreno é ondulado.

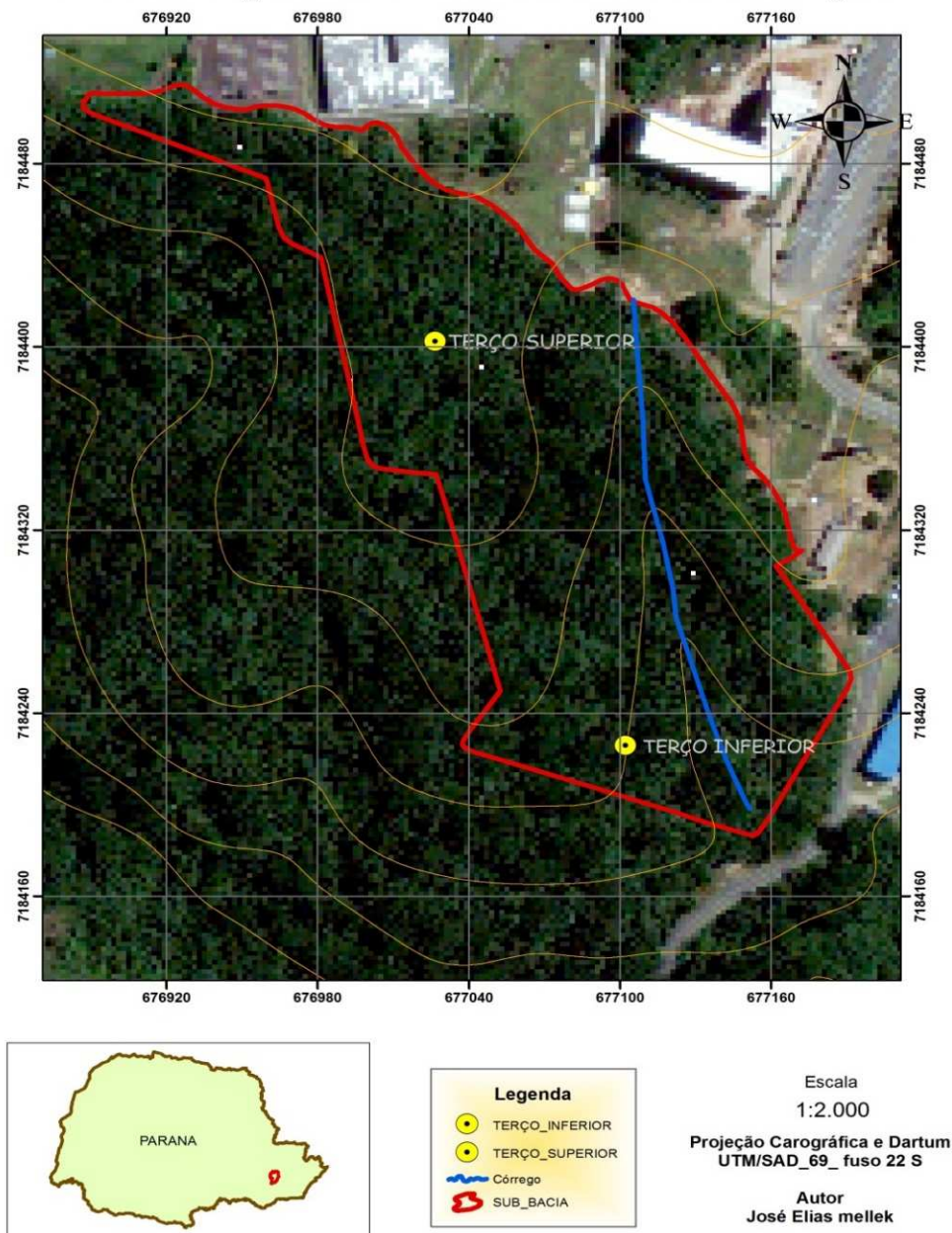
O clima da região segundo a classificação de Köppen é predominantemente Cfb, clima subtropical úmido, mesotérmico caracterizado por verões frescos, invernos com geadas frequentes e chuvas bem distribuídas ao longo do ano não apresentando estações secas. A temperatura média anual para as estações quentes não ultrapassam 22°C e para os meses mais frios ficam em torno de 18°C. A umidade relativa do ar tem média anual em torno de 85% e a precipitação média anual pode chegar a 1500 mm (RONDON NETO et al., 2002).

### Localização dos ensaios de infiltração

No terço superior da bacia experimental delimitada para esta pesquisa (figura 01), a localização geográfica do ensaio se deu pelas coordenadas UTM: E = 677026,6813; N = 7184402,2838 e h = 923,427 m. No terço inferior a localização do ensaio corresponde às coordenadas E = 677102,1912; e N = 7184225,7146 e h = 908,7365 m. A localização se deu através de uso de GPS geodésico (Leica 900), e as coordenadas foram pós processadas no Laboratório de Geodésia da Universidade Federal do Paraná. A projeção cartográfica utilizada foi em UTM com o datum em Sad 69 no fuso 22 S. A delimitação da bacia experimental que

corresponde a 3,7 ha foi realizada sobre imagem de satélite Geoeye com resolução de dois m e através do software Arc Gis 10.1 foi confeccionado o mapa de localização.

## Localização dos Ensaios de Infiltração



**FIGURA 1** – Mapa de localização da Sub bacia do Campus Botânico UFPR.  
Fonte: autores (2014)

### Velocidade de infiltração de água no solo

A velocidade de infiltração foi determinada pelo método dos anéis concêntricos que consiste basicamente em dois cilindros metálicos e uma escala métrica em cm acoplada ao anel interno (BERNARDO et al., 2006). Este medindo 12 cm de altura e o externo 16 cm, com os seus diâmetros variando em 20 e 40 cm respectivamente. Ambos foram posicionados concentricamente e cravados no solo. O anel externo teve como finalidade evitar que a água do anel interno infiltrasse

lateralmente (FAGUNDES et al., 2012).

A água foi colocada nos dois anéis, mantendo-se constante, uma lâmina de 5 cm no interior do anel externo. A leitura do nível da água na escala foi realizada em intervalos de minutos (1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 3, 5, 5, 5, 5, 5, 10, 10, 15, 15, 15, 15 min). Os tempos foram determinados em função da velocidade com que a água infiltrava no solo: Foram realizadas cinco repetições do teste de infiltração em cada local com duração total de 120 minutos.

Os testes foram representados pelos modelos empíricos de HORTON (1940), e KOSTIAKOV-LEWIS (1945), que descrevem a evolução do volume infiltrado em função do tempo de infiltração, (TEIXEIRA et al., 2010):

#### **Modelo de Horton, (1940):**

$$V = V_f + (V_i - V_f) * e^{-K * T}$$

Onde:

V = Velocidade de infiltração.

V<sub>i</sub> = Velocidade de infiltração no início do processo.

V<sub>f</sub> = Velocidade de infiltração ao final do processo.

K = Parâmetro obtido através dos valores de infiltração real de campo.

t = Tempo.

#### **Modelo de Kostiaikov – Lewis, (1945):**

$$V_i = K * n * t^{n-1} + VIB$$

Onde:

V = Velocidade de infiltração.

VIB = Velocidade de infiltração básica.

K e n = Parâmetros obtidos pela ferramenta Solver do Excel.

t = tempo.

#### **Atributos físicos de solo**

Após a realização dos testes, uma trincheira com dimensões 1,50 x 1,50 x 1,50 cm foi aberta nos dois locais da bacia onde se realizaram os ensaios de infiltração. Através delas foi realizada a descrição de cada perfil e a classificação do solo segundo EMBRAPA, (1999) além da realização da coleta de amostras para análises de textura de acordo com EMBRAPA, (1997).

As correlações existentes entre os resultados de infiltração real e estimada foram avaliadas através da aplicação do teste de correlação de Pearson. As médias das velocidades finais de cada ensaio foram comparadas e as diferenças avaliadas através da aplicação do teste de Tukey a nível de 5% de significância, (CARVALHO, 2011).

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O solo da sub bacia onde foram realizados os ensaios de infiltração foi classificado, de acordo com EMBRAPA, (1997), como CAMBISSOLO HÚMICO álico, textura argilosa, fase floresta subtropical, relevo suave ondulado pouco profundo, substrato arcósios (areias), localizado no terço superior da encosta e CAMBISSOLO HÚMICO típico, textura argilosa, fase floresta subtropical, relevo ondulado, substrato arcósios ocorrendo no terço inferior da encosta.

As velocidades de infiltração de água no solo inicial (V<sub>i</sub>) e final (V<sub>f</sub>) observadas em cada repetição nos ensaios de infiltração estão apresentadas na tabela 1. Tanto

no terço superior quanto no inferior, as velocidades de infiltração no início de cada teste foram elevadas não apresentando diferenças pelo teste estatístico a nível de 5% de significância, o mesmo resultado foi observado, com as velocidades finais das infiltrações nos dois ensaios.

A diferença estatística foi observada através da comparação entre as velocidades ( $V_i$ ) e ( $V_f$ ) de cada teste, ressaltando o decréscimo na condutividade hidráulica do solo com o passar do tempo. Nos dois ensaios de infiltração as velocidades finais foram bastante altas, contudo os valores poderiam ser menores se a duração de cada teste de infiltração fosse superior ao tempo de 120 minutos utilizado na pesquisa atingindo, valores de velocidade de infiltração mais estáveis conhecidos como velocidade de infiltração básica (VIB) compatíveis à condutividade hidráulica de solo saturado (CARVALHO & SILVA, 2006).

**TABELA 1.** Velocidades de infiltração da água nos solo.

REPETIÇÕES						
Velocidade de Infiltração (mm/h)	RI	RII	RIII	RIV	RV	TUKEY P<0,05%
<b>Terço Superior da Encosta</b>						<b>Médias</b>
<b>V(i)</b>	1260	1320	2100	1080	1020	1524 a
<b>V(f)</b>	276	438	324	204	264	614 bc
<b>Terço Inferior da Encosta</b>						
<b>V(i)</b>	1500	1260	1920	660	2280	1356 ab
<b>V(f)</b>	468	576	1068	228	732	301 c

Onde:

$R_i$  Repetições dos testes de infiltração.

$V_i$  Velocidade de infiltração inicial.

$V_f$  Velocidade de infiltração final.

As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de tukey a nível de 5% de significância. As altas taxas de velocidade de infiltração possibilitaram identificar o padrão de drenagem do solo da bacia experimental. Através das classes de velocidade de infiltração apresentadas pelo SOIL SURVEY STAFF (1993), foi possível enquadrar o solo das áreas estudadas na classe muito rápida, tabela 2.

É observado em vários relatos científicos sobre o assunto que a responsabilidade pela heterogeneidade nos valores de condutividade hidráulica de solo é atribuída à variabilidade espacial dos fatores que governam o fluxo de água em uma bacia hidrográfica (QUEIROZ, 1995; MESQUITA & MORAES, 2004; REICHARDT & TIMM, 2004).

**TABELA 2.** Classes de Velocidade de Infiltração de Água no Solo.

<b>Classes de Velocidade de Infiltração</b>	<b>Velocidade de Infiltração final (mm/h)</b>
Muito Rápida	>254
Moderada a Rápida	254 a 127
Moderada	127 a 63,5
Lenta a Moderada	63,5 a 20
Lenta	20 a 5
Muito Lenta	<5

Fonte: Adaptado de SOIL SURVEY STAFF (1993)

Portanto, a variação nos valores de ( $V_i$ ) e ( $V_f$ ) podem estar relacionados à distribuição espacial de atributos físicos como a textura e a estrutura do solo. Em todos os horizontes as principais características físicas de solo, que influenciaram na condução de água através de sua matriz estão apresentadas na (tabela 3).

**TABELA 3.** Frações granulométricas que compõem a textura do solo em cada perfil.

<b>Horizontes</b>	<b>Argila (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Silte (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Areia Total (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Areia Grossa (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Areia Fina (g kg<sup>-1</sup>)</b>
<b>TERÇO SUPERIOR DA ENCOSTA</b>					
A	475	250	275	181	94
AB	475	250	275	177	98
BA	600	188	213	177	96
B	600	200	200	100	100
B1	600	213	188	105	82
B2	625	188	188	80	108
C	88	38	875	815	60
%	49	19	32	23	9
<b>TERÇO INFERIOR DA ENCOSTA</b>					
A1	400	263	388	185	153
A2	450	150	400	221	179
AB	463	138	388	205	182
BA	463	138	400	222	178
B1	475	138	388	205	183
B2	475	188	325	199	126
C	350	325	325	43	282
%	44	19	37	18	18

É possível observar que o caráter argiloso aferido ao solo pelo material geológico é distribuído em todos os perfis com exceção do horizonte C, no terço superior de encosta, onde a fração areia é bastante expressiva (87,78%). O

enquadramento do solo na classe textural argilosa foi possível através da plotagem dos valores percentuais de argila, silte e areia no triângulo textural do Ábaco.

Em ambos os terços da encosta houve predomínio da fração argila, onde sua concentração é expressiva no horizonte A e, ainda maior, no horizonte B, diminuindo muito no C do terço superior da encosta. Os teores de silte, também, são maiores nos horizontes superficiais tendendo a diminuir em profundidade para o mesmo local na encosta.

A variabilidade na quantidade de partículas sólidas que compõem a textura, juntamente com a estrutura pedogenética dos horizontes, representam importantes fatores físicos intrínsecos ao solo responsáveis pela sua capacidade de drenagem. Portanto, apesar de se tratar de um solo argiloso, certamente a fração areia e a estrutura em blocos sub angulares certamente contribuíram com relevância para a ocorrência das altas taxas de infiltração observadas.

A textura tem relação direta com o material de origem do solo, sendo que a geologia local é formada por rochas de origem sedimentar que compõem a Formação Guabirotuba sobre a qual se desenvolveram os cambissolos da bacia. Fato importante é que os sedimentos desta formação não se limitam à bacia, mas ocorrem desde o município de Campo Largo até o de Quatro barras. Em Curitiba, onde está inserida a área de estudo, esta formação geológica abrange o município quase que totalmente.

Os sedimentos da Formação Guabirotuba podem atingir espessuras que variam de 60 a 80 metros de profundidade compreendendo sequências litológicas nas quais predominam as argilas e areias arcósias sendo a parte basal desta formação compostas por cascalhos e arcósios de granulometria grosseira (FELIPE, 2011).

Esta presença de areias arcósias confere aos cambissolos da bacia, uma característica que, aliada a outras também relacionadas ao material de origem e à gênese do solo, (como é o caso de sua estrutura sub angular apresentada na tabela 4), permitiu a um solo argiloso, (o qual normalmente, devido à presença da argila, é considerado como solo de baixa capacidade de drenagem), apresentar desempenho de solos típicos de boa drenagem como os arenosos.

As altas taxas de infiltração de água no solo da bacia são atribuídas, neste caso, principalmente à composição das partículas sólidas da textura que quando bem agregadas pela matéria orgânica originam uma estrutura mais estável nas camadas superficiais do solo que somada à estrutura pedogenética em blocos sub angulares ocorrentes no perfil, certamente contribuíram para a passagem da água.

Esta observação ressalta a necessidade e a importância da realização de estudos prévios, ao menos em alguns pontos da área de interesse, com finalidade de se avaliar a geologia, a capacidade de infiltração e atributos físicos de solo como textura e estrutura pedogenética.

Esta certificação in loco das reais condições de drenagem de uma determinada classe de solo pode evitar enquadrá-la a um padrão de drenagem que, muitas vezes, não representa a totalidade da área. Isso se deve à variabilidade espacial e temporal de atributos físicos os quais não são representados em mapas de escalas muito reduzidas que podem reduzir a realidade da informação em milhares de vezes.

Em REYS et al. (2011), é relatado que a utilização de mapas com escala de 1:500.000 podem proporcionar informações muito generalizadas em levantamentos de solos o que reforça a recomendação de averiguação dos atributos físicos, ao menos em alguns pontos, da área de interesse.



Através dos resultados, é possível observar que o solo da área de estudo apresenta algumas características diferentes em relação a outros solos da mesma classe. Por se localizar em uma bacia com terrenos planos a ondulados, apresentam uma maior profundidade em relação a muitos outros cambissolos argilosos que por ocorrerem em áreas mais íngremes, são mais rasos e menos desenvolvidos pedogeneticamente o que lhes confere uma baixa capacidade de drenagem (LEPSCH, 2002). Já a maior profundidade aliada às características físicas do solo foi outro fator que possivelmente contribuiu para a maior capacidade de infiltração de água na matriz dos cambissolos da bacia.

Alguns trabalhos relatam aspectos relacionados aos atributos físicos de solo que embasam o comportamento da dinâmica da infiltração de água no solo observada nesta pesquisa: MESQUITA & MORAES, (2004), relatam que a condutividade hidráulica saturada seria mais dependente da estrutura do que da textura do solo porque o efeito da estrutura, principalmente dos grandes poros formados por ela, permite que um solo argiloso tenha valores de condutividade hidráulica saturada semelhantes aos encontrados em solos arenosos.

KUTILIEK & NIELSEN, (1994), relatam que as variáveis do solo se alteram de acordo com o relevo, por isso a relação observada em um local pode não ser aplicada em outros locais.

Portanto, dados medidos e relações deduzidas são para locais específicos e não interpretados como informação de um tipo particular de solo para uma taxonomia apropriada, (MESQUITA & MORAES, 2004).

CADIMA et al. (1980), relatam que a variação em resultados de condutividade hidráulica, pode ocorrer não apenas entre diferentes classes de solos, mas também, pode haver valores inconstantes dentro de uma mesma classe. CECÍLIO et al. (2007), atribuem esta variabilidade à dispersão espacial dos solos que pode ser significativa mesmo em pequenas áreas. Para O'GREEN et al., (2010), neste mesmo raciocínio, as propriedades biogeoquímicas e físicas do solo podem variar acentuadamente em curtas distâncias.

Em POTT et al. (2005), se relata que a grande variabilidade espacial e temporal do solo, além de dificultar a mensuração de sua velocidade de infiltração, condiciona sempre os dados a um caráter de estimativa da realidade, não permitindo que sejam generalizados para diferentes locais ou para grandes áreas. Outros resultados de pesquisas semelhantes aos encontrados foram obtidos por CARVALHO, (2011) ao avaliar a infiltração de água no solo em talhões de áreas florestadas onde observou uma alta variabilidade na velocidade de infiltração básica no talhão 35 (2200 mm/h), e nos talhões 44 (955 mm/h), 40 (310 mm/h) e 42 (370 mm/h).

Também, PARCHEN, (2007), ao realizar testes de infiltração com infiltrômetro de anel concêntrico e infiltrômetro retangular duplo, obteve em área de floresta ombrófila mista, taxas de infiltração constantes (TIC) como 608, 504, 480 e 420, 388, 316 mm/h respectivamente para cada aparelho ao tempo de 130 min.

LIMA, (2008), relata a grande influência do solo sobre a velocidade de infiltração e sua relação com atributos físicos como textura formada pelos elementos sólidos contidos no solo (areia, silte e argila) e a estrutura formada pela organização dos elementos que compõem a textura.

De acordo com CARLESSO & ZIMMERMANN, (2000), uma camada mais argilosa, limita a infiltração à medida que o solo vai saturando. Porém, na sub bacia onde se desenvolveu esta pesquisa, embora o solo seja argiloso, além da influência exercida pela presença da vegetação, matéria orgânica, organismos de solo e

textura, a estrutura pedogenética em blocos sub angulares, estaria contribuindo de maneira relevante com a velocidade de infiltração de água no solo.

**TABELA 4.** Identificação da estrutura do solo distribuída pelos horizontes

<b>Espessura Horizontes (cm)</b>	<b>Atributos Físicos</b>
<b>Terço Superior da Encosta</b>	
A 0 - 30	Cor preto acastanhado (10 YR 2/2); textura argilosa; estrutura moderada, muito grande a pequena em blocos sub angulares.
AB 30 - 40	Cor marrom escuro (10 YR 3/3); textura argilosa; estrutura moderada, muito grande a pequena em blocos sub angulares.
BA 40 - 50	Cor marrom (10 YR 4/4); textura argilosa; estrutura moderada, grande a pequena em blocos sub angulares.
Bi <sub>1</sub> 50 - 57	Cor marrom (7,5 YR 3/4); textura argilosa; estrutura moderada a forte, grande a pequena em blocos sub angulares.
Bi <sub>2</sub> 57 - 79	Cor avermelhada (5 YR 4/6); textura argilosa a grande a pequena, blocos sub angulares.
C 79 - 93	Cor amarela (7,5 YR 5/6, 10 YR 8/3); textura argilosa; estrutura mista: fraca, muito grande em blocos sub angulares e forte, grande e média com blocos angulares.
<b>Terço Inferior da Encosta</b>	
A 0 - 46	Cor bruno escuro (10 YR 3/3); textura argilosa; estrutura moderada, média blocos sub angulares.
AB 46 - 58	Cor marrom (10 YR 3/4); textura argilosa, estrutura moderada média e pequena em blocos sub angulares.
BA 58 - 68	Cor marrom (10 YR 4/4); Textura argilosa; estrutura moderada grande e média em blocos sub angulares.
Bi <sub>1</sub> 68 - 87	Cor marrom (7,5 YR 5/6); textura argilosa; estrutura moderada a forte média e pequena em blocos sub angulares a angulares.
Bi <sub>2</sub> 87 - 113	Cor avermelhada (5YR 5/6); textura argilosa; estrutura moderada a forte muito, grande a média em blocos sub angulares a angulares.
C 113 - 140	Cor alaranjada, marrom e cinza suave (2,5 YR 6/8, 2,5 YR 5/8, 2,5 Y 8/2); textura argilosa; estrutura forte a moderada média a pequena em blocos angulares.

Esta constatação adquire respaldo técnico em todos os trabalhos citados neste manuscrito e também em artigos como os de BRANDÃO, (2003), onde cita que solos argilosos bem estruturados, podem apresentar taxas de infiltração, tão altas, quanto àquelas apresentadas por solos arenosos e maiores do que as apresentadas pelos argilosos com estrutura instável. Em TORMENA et al. (1998), é relatado que latossolos de textura argilosa a muito argilosa apresentaram excelentes condições físicas naturais provenientes da microestrutura granular fortemente desenvolvida, que influenciou de maneira positiva na infiltração de água no solo e na resistência à erosão.

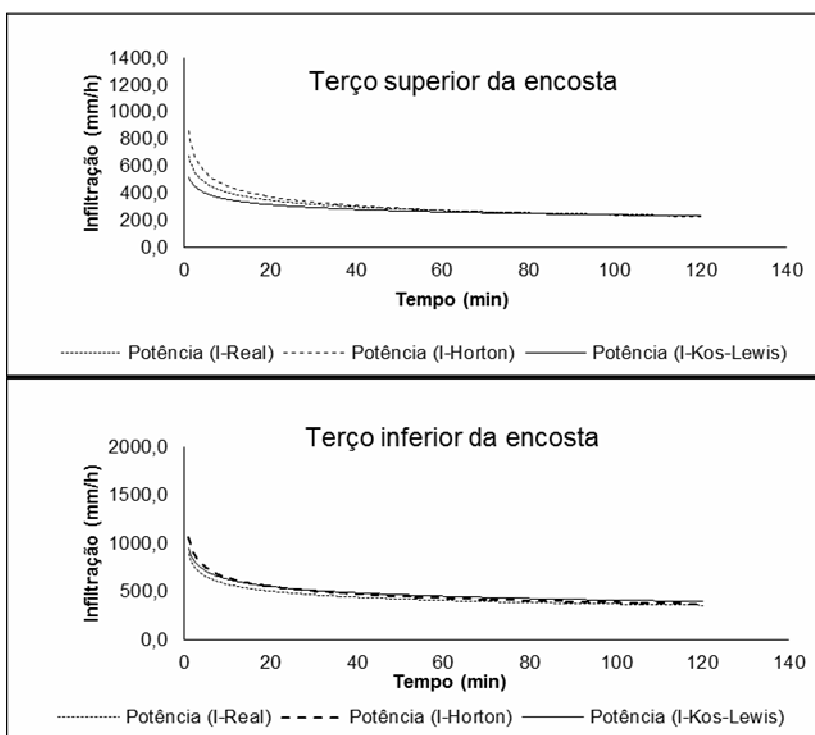
O processo de infiltração de água no solo foi representado graficamente mediante o uso dos modelos matemáticos de Horton e Kostiaikov-Lewis que geraram curvas de infiltração obtidas pelo uso de dados reais coletados em campo. As curvas

foram plotadas em sistema cartesiano juntamente com aquelas geradas pelo uso dos resultados reais de infiltração de cada teste exemplificado pela figura 1.

Através dela é observada a dinâmica de infiltração da água no solo. Inicialmente uma grande lâmina de água adentra à sua matriz e com o passar do tempo à medida que os espaços vazios, originados pela textura e estrutura do solo, vão sendo preenchidos pela água, a sua capacidade de infiltração vai diminuindo. É possível observar através das curvas, que tanto no terço superior, quanto no inferior, ao final de 120 minutos, a lâmina de água infiltrada revela que a capacidade de absorção do solo ainda é elevada. Os valores infiltrados não correspondem aos de condutividade hidráulica de solo saturado ou velocidade básica de infiltração (VIB) devido ao tempo de duração utilizado em cada ensaio de infiltração.

Ao se analisar o ajuste das curvas de infiltração simuladas pelo uso dos modelos matemáticos, se observa que o modelo de Horton no início do processo tendeu a superestimar os valores de água infiltrada. O modelo de Kostiakov-Lewis proporcionou uma melhor simulação da infiltração real nos minutos iniciais.

Contudo foi o modelo de Horton que melhor se ajustou à curva de infiltração real ao final dos 120 minutos de cada teste. De acordo com PHILIP, (1957), por se tratarem de modelos empíricos, que não se baseia em nenhuma teoria física, a equação empregada pelo modelo de Horton, não seria adequada para representar um decréscimo muito rápido na velocidade de infiltração. Entretanto, em testes de infiltração com tempos mais longos, representaria melhor a curva de infiltração real se comparada às curvas geradas pelo modelo de Kostiakov ou como neste caso ao de Kostiakov-Lewis.



**FIGURA 01.** Curvas de infiltração reais e estimadas pelos modelos matemáticos de Horton e Kostiakov-Lewis.

Fonte: Autores (2013).

Onde:

I = Infiltração estimada pelos modelos matemáticos.

R<sub>i</sub> = Repetição de cada teste de infiltração

Na tabela 5 é observado que quando se aplicam os testes de correlação entre os valores de infiltração simulados pelos modelos matemáticos e aqueles obtidos com dados reais de campo, existe uma ligeira diferença numérica favorecendo a correlação entre as curvas geradas pelo modelo de Kostiakov-Lewis e as curvas reais de infiltração. Tal vantagem pode ter ocorrido porque inicialmente o modelo matemático de Horton superestimou os valores de infiltração real o que foi compensado ao final do tempo de 120 minutos quando houve a melhor representação da infiltração real estimada pelo modelo de Horton em conformidade com o que é relatado por PHILIP, (1957).

Resultados semelhantes onde ocorreu superestimava na velocidade de infiltração ao se usar a equação que representa o modelo matemático de Horton é observado em trabalhos como o de PAIXÃO et al. (2009), no qual concluiu que este modelo foi o que melhor estimou a velocidade de infiltração, embora relate que o mesmo não representou com fidelidade a velocidade de infiltração devido a super estimativa dos valores nos tempos iniciais do teste.

**TABELA 5.** Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a infiltração realizada em campo (real) e as estimadas pelos modelos matemáticos de Horton e Kostiakov - Lewis.

Correlação (r) entre I-R x Modelos Matemáticos					
I-R Terço Superior de Encosta					
Modelos Matemáticos	RI	RII	RIII	RIV	RV
I-H	0,85305	0,86073	0,80473	0,93924	0,82488
I-K/L	0,87233	0,87841	0,83988	0,94548	0,92310
I-R Terço Inferior de Encosta					
I-H	0,67034	0,66466	0,56653	0,87171	0,82410
I-K/L	0,78401	0,74443	0,69338	0,95294	0,91535

Onde:

R<sub>i</sub> = Repetição dos testes de infiltração.

I-R = Infiltração real (em campo).

I-H = Infiltração pelo modelo matemático de Horton.

I-K/L = Infiltração pelo modelo matemático de Kostiakov-Lewis.

Já SOBRINHO et al. (2010), ao estudarem a adequação das equações de Horton e Kostiakov-Lewis, em experimento que usou chuva simulada, em áreas de plantio direto e convencional, também concluíram que a equação de Horton mostrou-se mais adequada para se estimar a taxa de infiltração de água no solo.

## CONCLUSÕES

Os testes que avaliaram a infiltração de água em cambissolo sob Floresta Ombrófila Mista apresentaram valores bastante variados na área de estudo. As diferenças nas alturas de lâmina de água infiltrada possivelmente podem ser atribuídas, também, à variabilidade espacial de atributos físicos de solo.

Embora, o solo da área estudada seja argiloso, acredita-se que a sua estrutura pedogenética preservada (blocos sub angulares) favoreceu as taxas de infiltração de água no solo.

Dentre os modelos empíricos utilizados para estimar as curvas de velocidade de infiltração real, o modelo proposto por Horton, embora tenha superestimado os valores da curva de infiltração, no início do processo, foi o que produziu alturas de lâminas de água que melhor se ajustaram àquelas infiltradas no solo ao final de 120 minutos.

## REFERÊNCIAS

AUGUSTYNCZIK, A. L. D. **Avaliação do Tamanho de Parcelas e Intensidades de Amostragem para a Estimativa de Estoque e Estrutura Horizontal em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista**, 176. f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BENASSI, D. A. **Percepção e uso dos solos: O caso dos agricultores familiares do centro sul do Paraná**. 91. f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Setor de Ciências Agrárias e de Tecnologia. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual.e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BRANDÃO, V. S. CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F.F.; SIIVA, D.D. **Infiltração de água no solo**, v.3, 2006.36 p.

BRANDÃO, V. S. **Infiltração de solo sujeito a encrustamento**.81 p. Tese (doutorado em Doctor Scientiae) – Setor de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

CADIMA, Z.A.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, no campo. **Revista Brasileira de Ciência no Solo**, 4:63-66, 1980.

CARDOZO, C. A.; TEIXEIRA, H. C.; SOARES, C. P.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARLESSO, R; ZIMMERMANN, F. L. **Água no solo: parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação**. 88. p, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **CAPITULO 5. INFILTRAÇÃO – GENERALIDADES**./ Disponível em: [WWW.Ufrj.br/institutos/if.deng/lenonardo/HIDRO-Cap-5.INF.pdf](http://WWW.Ufrj.br/institutos/if.deng/lenonardo/HIDRO-Cap-5.INF.pdf). Acesso em:22/02/2011.

CARVALHO, A. P. V. **Recarga de água no solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia - MG**. 61.f. Dissertação (Mestrado em Eng. Florestal), Pós

Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2011.

CECÍLIO, R. A. et al. Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1141-1151, 2007.

CORDEIRO, D. S. **Efeito de adubação NPK, na absorção, translocação e extração de nutrientes pela soja**. 143. f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1977.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro nacional de pesquisa de solos. 2 ed. Revisada e atualizada, Rio de Janeiro, 1997. 121 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Boletim técnico n. 57, Rio de Janeiro. RJ, 1999.

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.14; p. 369-378, 2012.

FELIPE, R. S. **Características Geológico-Geotécnicas na Formação Guabirotuba de Curitiba**, MINEROPAR, 1 ed. 48 p. 2011.

FERREIRA, M. M. **Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros**. p. 79, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. **Soil Science Society of American Proc.** V.5, p. 399-417, 1940.

KOSTIAKOV, A. N. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soil and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. Trans.6th comm. Intern. **Soil Science Society**, Moscou, Part A., 17-21,1932.

KUTILEK, M.; NIELSEN, D.R. **Soil hydrology**. Berlin: Catena Verlag, 1994.

LEPESCH, I.F. **Formação e conservação de solos**. Oficina de textos, 2 reimp, 178 p. São Paulo, 2002.

LIMA. W.P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2.ed. Piracicaba –SP. Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, 253p. 2008.

MINEROPAR, **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Secretaria de Estado da

Indústria do Comércio e do Turismo. Minerais do Paraná S/A – Mineropar, 116 p. Curitiba, 2001.

MESQUITA, M. G. E MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**. V.34, n.3, p.963-969, Santa Maria, 2004.

O'GREEN, ANTHONY, T.; DAHLGRE, R. A.; SWQROSWKY, A. DAVIS, T. KENNETH, W.; LEWIS, D. J. SINGER, M. J. Research connects soil hydrology and stream water chemistry in California oak woodlands. **California agriculture**. V. 64, n.2. Universidade da Califórnia, 2010.

PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A.; TICIAN, L. C.; GUERRA, H. O. C. **Ajuste da curva de infiltração por meio de modelos empíricos**. Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia, v. 2, n. 1, 2009.

PARCHEN, C. A. P. **Desenvolvimento de metodologia para mensuração de alguns parâmetros de processos hidrológicos de superfície em ambiente florestal**. 100f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PHILIPH, J. R. The theory of infiltration. **Soil Science**, v.4, n. 84, p. 329-339, 1957.

POTT, C. A.; ROSIM, D, C.; CLERIC de M, I. **Velocidade de Infiltração de Água VB. Para que serve e como avaliar essa importante propriedade dos solos**. Informações Técnicas. Agrônômico, Campinas, v. 57, 2005.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Ed. SAEAFS. Curitiba, 1996.

QUEIROZ, J. E. **Parâmetros hidro-dinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea**. 167p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1995.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri. **Manole**, 478. p. 2004.

REYS, C. D. R; RIZZI, N. E.; ARAKI, H. Análise das características hidrológicas de três sub-bacias do Rio Carapá (Canindeyú Paragua) em função das mudanças da cobertura vegetal. **Revista Floresta**, v.41, p.243-256, 2011.

RONDON NETO, R. M.; KOZERA, C.; ANDRADE, R. do R. de; CECY, A. T.; HUMMES, P. A.; FRITZSONS, E.; CALDEIRA, M. V. W.; MACIEL, M. de N. M.; SOUZA, M. K. F. Caracterização florística e estrutural de um fragmento de floresta ombrófila mista, em Curitiba, PR – Brasil. **Revista Floresta**. Curitiba, v.32, n.1, p. 3-16, jan./jun. 2002.

SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação Automática De Bacias Hidrográficas Utilizando Dados SRTM **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v.30, n.1, p.46-57, 2010.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**, Washington, DC: Natural Resources Conservation Service. 10th ed 1993.

TEIXEIRA, C. F. A.; DAME, R. C. F.; TERRA, V. S.S.; REISSER, J.C.: SIMONETE, M. A.; BRIXNER, G. F. **Estimativa da infiltração de água através de modelos empíricos em um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo de pessegueiro**, cv Maciel, VIII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, Pelotas - RS, 2010.

TORMENA, C. A.; SILVA,; LIBARDI, P.L, Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p. 573-581, Viçosa-MG, 1998.