

# INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA E ÁREA FLORESTADA

*Tatiana Reckziegel<sup>1</sup>; Vinícius Dulac<sup>2</sup>; César Augusto Fensterseifer<sup>3</sup>; Adriano Antolini<sup>4</sup>; Calinca Barão de Avila<sup>5</sup>; Romário Morais Carvalho Neto<sup>6</sup>; Jussara Cabral Cruz<sup>7</sup>; Rutinéia Tassi<sup>8</sup>.*

**RESUMO** --- A infiltração é um importante processo hidrológico, por influenciar o tempo que a água permanece em uma bacia, sendo determinante na formação dos escoamentos superficiais e subterrâneos. A análise *in situ* das propriedades hidráulicas da camada subsuperficial do solo possibilita conhecer o comportamento hidrológico da mesma. O objetivo deste trabalho foi mensurar as taxas de infiltração em três áreas com o mesmo perfil de solo, porém, com coberturas vegetais e usos do solo distintos. Duas delas encontram-se submetidas ao sistema de semeadura direta e numa terceira, com vegetação de grande porte (*Eucalipto*). Os testes foram realizados com infiltrômetros de anéis concêntricos, e os valores dos ensaios modelados, a partir das equações de Horton e de Kostiakov. A relação cultura *versus* taxa de infiltração comprova haver grande influência do uso do solo na capacidade de infiltração, e o modelo que melhor representa a infiltração real no local é o modelo de Horton.

**ABSTRACT** --- Infiltration is an important hydrological process influencing the water's residence time in the basin, formation of runoff and groundwater flow. The *situ* analysis of the hydraulic properties of the subsurface soil layer allows the understanding of its hydrological behavior. The objective of this research was to measure infiltration rates in three areas with the same soil profile, however, with different vegetation cover and rotation of crops. Two areas are subjected to no tillage and the third is large vegetated with *Eucalyptus* specie. The double-ring infiltrometer tests were performed on these areas the results were adjusted to Horton and Kostiakov's equations. The relationship between cultures *versus* infiltration rate proves that the infiltration capacity is greatly influenced by land use, and the Horton's model provided the best fit to the data.

**Palavras-chave:** Infiltração, Cobertura Vegetal, Modelos Matemáticos.

- 1) Mestranda Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental GERHI/UFSM. Campus Camobi, Santa Maria-RS. E-mail: tati.reck@gmail.com
- 2) Mestrando Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental GERHI/UFSM. Campus Camobi, Santa Maria-RS. E-mail: vfdulac@gmail.com
- 3) Mestrando Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental GERHI/UFSM Campus Camobi, Santa Maria. E-mail: eng.cesar-augusto@hotmail.com
- 4) Acadêmico Engenharia Florestal. Bolsista AT CNPQ/GERHI/UFSM. Campus Camobi. E-mail: antolini81@gmail.com
- 5) Acadêmica Engenharia Florestal. Bolsista PIBIC/GERHI/UFSM. Campus Camobi. Santa Maria. E-mail: calincaflorestal@gmail.com
- 6) Mestrando Engenharia Florestal – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental GERHI/UFSM. Campus Camobi. E-mail: romariocarvalho@hotmail.com
- 7) Prof. Associada, Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental CT/UFSM. Campus Camobi., Santa Maria-RS E-mail: jussaracruz@gmail.com
- 8) Prof. Adjunta Departamento de engenharia Sanitária Ambiental CT/UFSM. Campus Camobi. Santa Marial. E-mail: rutineia@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A utilização desordenada e a falta de gerenciamento dos recursos hídricos geram prejuízos relativos à disponibilidade e à qualidade da água e do solo. Em muitas bacias hidrográficas já não existe água suficiente para atender às demandas em épocas de estiagem. Nesse contexto, o processo de infiltração é de fundamental importância para o manejo e a conservação do solo e da água. Este fator é ainda, determinante para a ocorrência de escoamento superficial, responsável por processos indesejáveis como a erosão e as inundações (BRANDÃO *et al.*, 2006). Dentre as características do solo, a capacidade de infiltração é uma das principais, pois reflete a capacidade máxima que o solo tem em permitir a entrada de água no seu interior, sob determinadas condições, tornando-se um dos parâmetros mais importantes que afetam diversas atividades, a exemplo da irrigação (COSTA *et al.*, 1999).

Por definição, segundo Libardi (1995), a infiltração é a entrada de água no solo através da interface de sua superfície, isto é, entrada de água no solo através da interface solo-atmosfera. Assim, durante uma chuva, parte dela pode infiltrar e se movimentar para o interior do solo e parte escorrer pela superfície do solo (evidentemente se o terreno apresentar declividade). Desta maneira, a infiltração é um processo que determina a parcela da precipitação (chuva ou irrigação) que escoar sobre a superfície do solo, e a parcela que poderá infiltrar abaixo da mesma. Quanto maior o volume infiltrado num solo, maior o armazenamento de água na bacia e menor o efeito das estiagens, favorecendo maior regularização dos cursos d'água.

Alguns fatores podem afetar o processo de infiltração da água no solo. Dentre esses podemos citar: conteúdo inicial da água no solo; condutividade hidráulica do solo; superfície do solo (compactação por selamento devido ao impacto das gotas de chuva); presença de camadas com baixa permeabilidade; duração da chuva ou irrigação (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000).

O conhecimento da taxa de infiltração fornece subsídios para estimar fenômenos hidrológicos e dimensionar estruturas hidráulicas tais como reservatórios, canais, sistemas de irrigação e drenagem, bem como o conhecimento para planejamento e manejo do solo, visando à conservação do mesmo.

O processo de infiltração da água no solo pode ser descrito por equações ou modelos, que permitem simular diferentes fases do processo: infiltração inicial, básica e a drenabilidade do solo. Um modelo muito empregado, principalmente em manejo de irrigação, é a equação potencial de Kostikov (1932). Outro modelo é a equação de Horton (1940), descrita na forma de uma equação

exponencial. Ambos os modelos apresentam coeficientes que podem ser estimados a partir das equações teóricas (Kostiakov) ou serem estimados, por meio de regressão a partir de dados de ensaios de infiltração de campo.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma análise comparativa das taxas de infiltração inicial e básica para diferentes usos e coberturas do solo, assim como a adequação dos modelos matemáticos para verificação dos parâmetros em sistemas de semeadura direta e área florestada, em experimento realizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Os locais de estudos estão descritos a seguir:

- A- Área sob sistema de semeadura direta – solo com cobertura morta - Resteva da cultura antecessora.
- B- Área sob sistema de semeadura direta – solo com cobertura de forragem – Aveia Branca.
- C- Área florestada com Eucalipto.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A zona de aplicação dos testes situa-se dentro da área do campus da Universidade Federal de Santa Maria - RS. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cfa subtropical úmido sem estação seca definida (ZAMBERLAN, 2007). Segundo Berlato (1992), citado pelo autor anterior, o regime pluviométrico regional é bem distribuído durante as quatro estações do ano com precipitações médias anuais variando entre 1322 a 1769 mm, porém, nos meses de verão as precipitações são insuficientes para atender as demandas evapotranspiratórias das culturas.

Foram selecionadas três áreas específicas com solos classificados como Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 1999). Estes solos caracterizam-se como profundos, avermelhados, com textura superficial arenosa apresentando gradiente textural com o horizonte B, sendo friáveis e bem drenados. Possuem baixa fertilidade e pouca matéria orgânica, sendo ácidos com baixa CTC e baixa saturação de base. Sua formação deu-se a partir de arenitos, apresentam moderada a forte suscetibilidade à erosão devido à textura e ao relevo, e possuem baixa capacidade de retenção de água (REINERT *et al.* 2007).

Os testes foram realizados no dia 16 de outubro 2010. As áreas de estudo estão ilustradas abaixo partir de imagens do Google Earth® e fotos do acervo do grupo de Gestão de Recursos Hídricos da UFSM (GERHI). A primeira área de ensaio (Área A) dispõe de 1.675,2 m<sup>2</sup> e não

possuía cobertura vegetal viva (Figuras 1 e 1a) apenas resteva da cultura antecessora, no caso, a soja e algumas plantas invasoras. A segunda área (Área B) apresentava cultivo de aveia branca em época de maturação dos grãos em uma área de 1.680,7 m<sup>2</sup>, com sucessão de cultura soja-aveia (Figuras 2 e 2a). O preparo e manejo de ambas as áreas (A e B) constitui-se em sistema de semeadura direta. O terceiro experimento (Área C) foi realizado numa área de 8.756,9 m<sup>2</sup>, florestada com espécies do gênero Eucaliptos, com idade superior a 30 anos. O talhão caracterizava-se por alta densidade de indivíduos (Figura 3 e 3a).

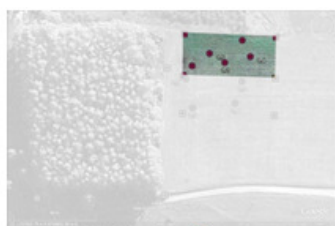


Figura 1 – Área A – Resteva

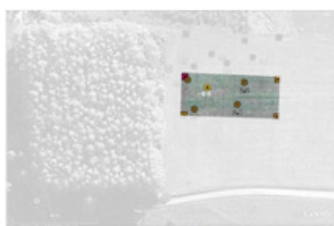


Figura 2 - Área B – Cultivo de Aveia Branca.

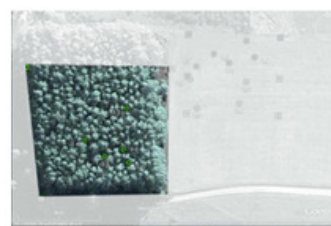


Figura 3 – Área C – Eucaliptos



Figura 1a – Área A – Sistema de Semeadura Direta – solo temporariamente sem cultivo, com presença de resteva.



Figura 2a – Área B – Sistema de Semeadura Direta – Solo com cultivo de aveia Branca.



Figura 3a - Área C - Cobertura florestal - Eucaliptos

Para determinação dos valores infiltrados, utilizou-se infiltrômetros de anéis concêntricos ou de duplo anel, que é o equipamento comumente empregado para mensuração da infiltração devido, sobretudo, à simplicidade e facilidade de execução dos testes (BERNARDO, 1995). Esse método consiste basicamente de dois anéis de metal, sendo que o externo auxilia na redução das perdas laterais de água na infiltração do anel interno. As medições da lâmina infiltrada somente são realizadas no anel interno. Após iniciado o processo, a infiltração da água no solo é, normalmente, medida continuamente até um tempo mínimo de 120 minutos (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000). Os anéis metálicos possuem diâmetros de 25 e 50 cm, ambos com 30 cm de altura e cravados a 15 cm no solo. A infiltração foi medida pela determinação da variação de leitura (0 a 100 cm) obtida na régua instalada num tubo de PVC de 200 mm pelos intervalos de tempos pré-determinados conforme literatura.

A determinação da infiltração foi efetuada com cinco repetições simultâneas por área. Foram coletados, simultaneamente aos testes, amostras deformadas e indeformadas de solo para quantificação de parâmetros como densidade, umidade natural e a curva granulométrica. Esses ensaios seguiram a metodologia proposta pelas NBR 6457/1986 e pela NBR 7181/1984.

Com os dados de infiltração obtidos, foram ajustadas equações para taxa de infiltração conforme o modelo de Horton (1940) equação [1] e Kostiakov (1932) equação [2], descritos por Brandão *et al.*, (2006).

As equações de Horton e Kostiakov são expressas por:

$$I = I_f + (I_i - I_f) \cdot e^{-\beta t} \quad (1)$$

$$I = \alpha k t^{(\alpha-1)} \quad (2)$$

Onde:

$I$  = taxa de infiltração num instante qualquer (mm/h);

$I_i$  = taxa de infiltração inicial (mm/h);

$I_f$  = taxa de infiltração final ou básica – solo em condição de saturação (mm/h);

$t$  = tempo (horas)

$\alpha$  e  $k$  = parâmetro determinado estatisticamente a partir das medições de campo.

O modelo de Kostiakov é uma equação empírica do tipo potencial onde os dois parâmetros,  $k$  e  $\alpha$ , são constantes que dependem do solo, das suas condições iniciais de umidade e segundo Carvalho *et al.* (1999) da taxa de variação da quantidade de água que se infiltra ao longo do tempo. O comportamento do parâmetro  $k$  representa a taxa de infiltração sob condições de insaturação, sendo que quanto maior a capacidade de infiltração maior o valor de  $k$ . Valores mais altos de capacidade de infiltração são esperados para valores menores de umidade inicial do solo. O parâmetro  $\alpha$  descreve como a infiltração acumulada varia com o tempo. Se essas taxas diminuem ao longo do tempo, o expoente  $\alpha$  terá seu valor elevado para refletir uma relação mais linear entre a infiltração acumulada e o tempo. (CARVALHO *et al.*, 1999)

Esses parâmetros não tem significado físico próprio, e são avaliados a partir de dados experimentais, podendo ser determinados estatisticamente. Entretanto, o modelo de Kostiakov não

pode ser aplicado a outros tipos de solo e condições diferentes das condições em que os parâmetros  $k$  e  $\alpha$  foram determinados (BRANDÃO *et al.*, 2006).

Já o modelo de Horton considera que a redução da taxa de infiltração com o tempo é fortemente controlada por fatores que atuam na superfície do solo, dentre esses, selamento superficial, expansão e contração do solo (PREVEDELLO, 1996).

O parâmetro  $\beta$  do modelo de Horton representa a velocidade de decaimento da capacidade de infiltração. Quanto menor for o valor de  $\beta$ , a capacidade de infiltração reduz-se mais rapidamente do que nos casos em que ele é mais elevado (PINHEIRO *et al.*, 2009).

Após a obtenção da taxa de infiltração para cada infiltrômetro, analisou-se individualmente os resultados obtidos, seguido da análise de consistência e/ou eliminação dos testes que apresentaram incoerência nos resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises de granulometria (Tabela 1) do solo, verificou-se que o mesmo possui grande parcela de areia (70,66% ao longo do perfil), o que confere boa drenagem, favorecendo o processo de infiltração, condizente ao mencionado anteriormente por Reinert *et al.* (2007). A densidade dos solos também tem reflexo direto nas taxas de infiltração, pois está relacionada com a compactação do solo.

Tabela 1 – Granulometria presente nas amostras de solo

	Sem cultivo	Aveia branca	<i>Eucalipto</i>
Granulometria	Área A (%)	Área B (%)	Área C (%)
Argila:	4	3	2
Silte:	27	18	22
Areia Fina:	44	59	54
Areia Média:	18	12	14
Areia Grossa:	4	4	3
Pedregulho:	3	4	1

A compactação da superfície do solo e a ocorrência de crosta superficial diminuem a infiltração da água no solo, (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000). Os dados de densidade podem ser observados na Tabela 2, onde a diferença de manejo entre o sistema de semeadura direta (áreas A e B) e a área florestada apresenta valores distintos, com variação de 14% entre elas. No

caso deste estudo, a maior compactação pode ocorrer pela passagem de máquinas durante a semeadura nas áreas de plantio e a menos na área florestada devido à presença de raízes que propiciam a abertura de galerias aumentando a porosidade, deixando o solo mais aerado e, portanto menos denso. O grande teor de matéria orgânica (MO), devido à queda das folhas e galhos nessa área, também diminui a compactação, pois proporciona um solo melhor estruturado. Nesta tabela também é apresentada a pluviometria que antecedeu o ensaio de infiltração.

Tabela 2 – Dados referentes às características físicas dos solos e a pluviometria local

Precipitação (mm)		Sem cultivo	Aveia branca	<i>Eucalipto</i>
14/out	7,8	Área A 16/out	Área B 16/out	Área C 16/out
15/out	2,2			
16/out	0,0			
Umidade Natural(%)		9,75	8,87	7,24
Densidade g/cm <sup>3</sup>		1,31	1,27	1,12

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios observados de umidade inicial do solo e a precipitação nos dois dias antecedentes ao ensaio. A área florestada (C) apresentou a menor porcentagem de umidade no solo, enquanto que as áreas de palha (A) e aveia (B) a variação foi muito próxima sendo ligeiramente superior para a área A. Esta diferença pode ser decorrente da presença da palha, que promove uma atenuação da temperatura e a manutenção da umidade no solo (AMADO & ELTZ, 2003), enquanto que, na área sob cultivo de aveia, o efeito da evapotranspiração tende a diminuir a quantidade de água no solo. Outro fator que também pode ser considerado é a variação da temperatura entre os horários dos testes. Segundo os registros da Estação Meteorológica do Campus da UFSM, a temperatura máxima diária (26°C) ocorreu durante a tarde, englobando o período de testes na área B, ante a temperatura mínima (20°C), que foi detectada no período que decorreu o teste na área A. Paiva *et al.* (2004) observou a influência da umidade inicial nos parâmetros de infiltração, especialmente no coeficiente de decaimento  $\beta$  do modelo Horton.

Através da análise dos parâmetros ajustados, dispostos abaixo nas Tabelas 3 e 4, que apresentam respectivamente os resultados da aplicação dos modelos de Horton e Kostiakov, foi possível avaliar as mudanças de comportamento da infiltração de água entre os diferentes usos e cobertura no solo avaliados neste trabalho.

Visualizando os valores médios para os parâmetros (Gráfico 1) da equação de Horton percebe-se que, tanto a infiltração inicial, quanto a final são maiores para a área florestada, em relação às áreas de cultivo. Isso se deve ao fato de que o solo nesse local apresenta-se melhor estruturado (presença de matéria orgânica), e a influência das raízes como caminhos preferências de água aumentando a capacidade de infiltração.

Entre as áreas de cultivo (A e B), os parâmetros de  $I_i$ ,  $I_f$  e  $\beta$  apresentaram valores maiores na área A. A taxa de infiltração inicial para a área de resteva foi de aproximadamente 50% superior a área com cultivo de aveia, esta diferença pode ser justificada pelo menor grau de compactação do solo devido a redução da passagem de veículos. Em relação à infiltração básica, os valores são muito semelhantes, de acordo com o esperado para um solo com mesmo perfil e sob o mesmo sistema de plantio. Na equação de Horton, o coeficiente  $\beta$  representa uma constante de decaimento da taxa de infiltração, configurando-se em um indicador da drenabilidade do solo. Os resultados do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) demonstram uma forte correlação entre os dados observados e os ajustados, indicando que a equação de Horton representou de forma satisfatória os resultados do ensaio.

Tabela 3 - Resultados obtidos através do modelo de Horton

<i>Modelo Horton</i>					
<b>Área/Prática de Manejo</b>	<b>Infiltrômetro</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b><math>\beta</math></b>	<b><math>I_i</math></b>	<b><math>I_f</math></b>
A - Resteva	1	0,99	15,92	167,4	14,2
	2	0,96	12,51	155,7	9,6
	3	0,99	7,65	70,5	9,3
	4	0,91	6,43	44,1	13
	5	0,95	2,3	32,3	6,5
	<b>Média</b>	<b>0,96</b>	<b>8,96</b>	<b>94</b>	<b>10,52</b>
	<b>Máxima</b>	<b>0,99</b>	<b>15,92</b>	<b>167,4</b>	<b>14,2</b>
	<b>Mínima</b>	<b>0,91</b>	<b>2,3</b>	<b>32,3</b>	<b>6,5</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,03</b>	<b>5,33</b>	<b>63,33</b>	<b>3,09</b>
B - Aveia Branca	1	<i>TESTE EXCLUÍDO DA ANÁLISE</i>			
	2	0,97	3,35	38,2	10,3
	3	0,97	4,38	47	3,6
	4	0,79	9,93	35,2	10,2
	5	0,98	5,8	79,3	11,7
	<b>Média</b>	<b>0,93</b>	<b>5,87</b>	<b>49,93</b>	<b>8,95</b>
	<b>Máxima</b>	<b>0,98</b>	<b>9,93</b>	<b>79,30</b>	<b>11,70</b>
	<b>Mínima</b>	<b>0,79</b>	<b>3,35</b>	<b>35,20</b>	<b>3,60</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,09</b>	<b>2,89</b>	<b>20,21</b>	<b>3,63</b>
C – Eucalipto	1	0,98	9,6	279	44,8
	2	0,94	3,26	240,9	115,7
	3	0,94	6,55	199,7	26,6
	4	0,58	4,14	185,1	131,8
	5	0,82	4,5	505,2	141
	<b>Média</b>	<b>0,85</b>	<b>5,61</b>	<b>281,98</b>	<b>91,98</b>
	<b>Máxima</b>	<b>0,98</b>	<b>9,60</b>	<b>505,20</b>	<b>141,00</b>
	<b>Mínima</b>	<b>0,58</b>	<b>3,26</b>	<b>185,10</b>	<b>26,60</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,16</b>	<b>2,54</b>	<b>130,08</b>	<b>52,56</b>



Tabela 4 - Resultados obtidos através do modelo de Kostiakov.

<i>Modelo Kostiakov</i>							
Área/Prática de Manejo	Infiltrômetro	r <sup>2</sup>	k	a	a-1	Ii	If
A - Resteva	1	0,83	0,58	0,47	-0,53	68,69	11,23
	2	0,72	0,63	0,40	-0,60	56,51	7,28
	3	0,80	0,25	0,50	-0,50	33,34	6,00
	4	0,79	0,10	0,74	-0,26	30,73	12,75
	5	0,94	0,11	0,59	-0,41	30,73	5,59
	<b>Média</b>	<b>0,82</b>	<b>0,33</b>	<b>0,54</b>	<b>-0,46</b>	<b>44,00</b>	<b>8,57</b>
	<b>Máxima</b>	<b>0,94</b>	<b>0,63</b>	<b>0,74</b>	<b>-0,26</b>	<b>68,69</b>	<b>12,75</b>
	<b>Mínima</b>	<b>0,72</b>	<b>0,10</b>	<b>0,40</b>	<b>-0,60</b>	<b>30,73</b>	<b>5,59</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,08</b>	<b>0,25</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	<b>17,55</b>	<b>3,23</b>
B - Aveia Branca	1	TESTE EXCLUÍDO DA ANÁLISE					
	2	0,95	0,12	0,56	-0,44	19,81	4,97
	3	0,96	0,29	0,32	-0,68	18,68	1,84
	4	0,47	0,10	0,62	-0,38	20,10	5,54
	5	0,93	0,61	0,31	-0,69	37,93	3,65
	<b>Média</b>	<b>0,83</b>	<b>0,28</b>	<b>0,45</b>	<b>-0,55</b>	<b>24,13</b>	<b>4,00</b>
	<b>Máxima</b>	<b>0,96</b>	<b>0,61</b>	<b>0,62</b>	<b>-0,38</b>	<b>37,93</b>	<b>5,54</b>
	<b>Mínima</b>	<b>0,47</b>	<b>0,10</b>	<b>0,31</b>	<b>-0,69</b>	<b>18,68</b>	<b>1,84</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,24</b>	<b>0,24</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>9,22</b>	<b>1,64</b>
C - Eucalipto	1	0,71	0,83	0,57	-0,43	143,23	33,49
	2	0,92	0,54	0,81	-0,19	195,86	104,09
	3	0,86	0,81	0,43	-0,57	84,19	12,21
	4	0,59	0,47	0,80	-0,20	161,21	81,22
	5	0,80	1,31	0,73	-0,27	368,80	146,17
	<b>Média</b>	<b>0,78</b>	<b>0,79</b>	<b>0,67</b>	<b>-0,33</b>	<b>190,66</b>	<b>75,43</b>
	<b>Máxima</b>	<b>0,92</b>	<b>1,31</b>	<b>0,81</b>	<b>-0,19</b>	<b>368,80</b>	<b>146,17</b>
	<b>Mínima</b>	<b>0,59</b>	<b>0,47</b>	<b>0,43</b>	<b>-0,57</b>	<b>84,19</b>	<b>12,21</b>
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,13</b>	<b>0,33</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>107,49</b>	<b>53,89</b>

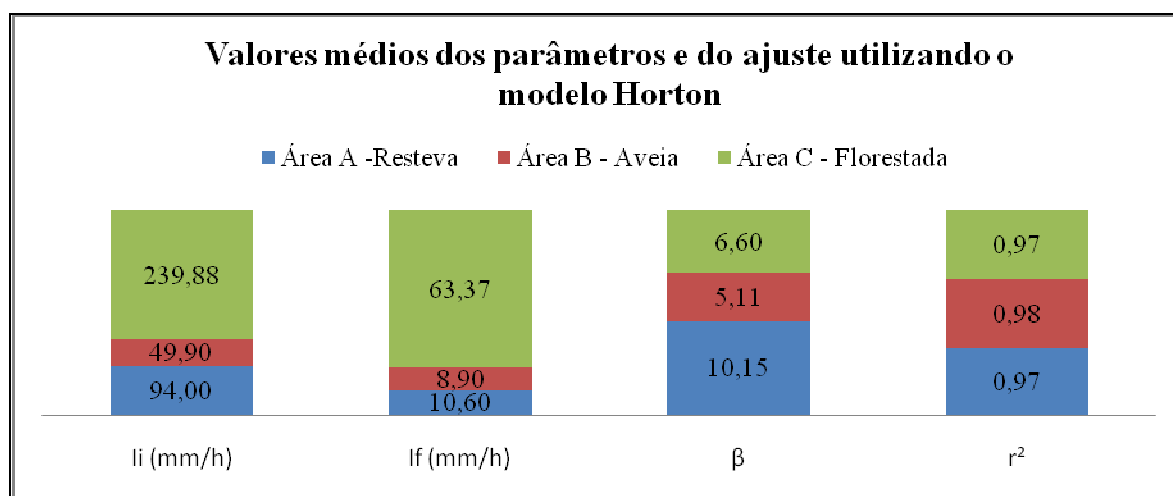


Gráfico 1- Parâmetros para o ajuste de Horton.

Os resultados demonstram que as condições edafológicas da área de resteva (A), e em menor escala, as condições climáticas diárias, podem estar produzindo uma maior capacidade de infiltração para a referida área em relação à área com cultivo de aveia (B). Poros ou canais deixados no solo após a senescência do sistema radicular das plantas de cobertura favorecem o incremento de macroporosidade do solo, caminho preferencial para a infiltração de água (Lazanova et al., 2010), Esses poros (que também podem ser provenientes da ação de organismos do solo) somados ao incremento de matéria orgânica proporcionado pela palha possibilitam uma maior retenção de umidade no solo, diminuindo as perdas por evaporação. Entretanto, na área com plantio de aveia, ocorre a influência do processo de evapotranspiração, favorecendo a diminuição de umidade do solo. Além disso, a força de absorção realizada pelas raízes auxilia na retenção da água infiltrada, enquanto que o processo de infiltração na área sem cultivo, onde a capacidade de infiltração do solo mostrou-se maior, é ocasionado predominantemente pela força gravitacional. Os efeitos da taxa de evapotranspiração e umidade entre os ensaios das áreas A e B podem ter tido sua magnitude aumentada, em razão da variação de temperatura diária, como descrito anteriormente.

Em relação aos parâmetros ajustados pelo Modelo Kostiakov (Gráfico 2) percebe-se que os coeficientes “ $\alpha$ ” e “ $k$ ” não obtiveram variações significativas entes as áreas estudadas A e B, podendo ser observado valores médios iguais por teste de infiltração (Tabela 4), e ligeiramente maiores na Área A (Gráfico2) quando aplica-se a equação de Kostiakov para os valores médios observados por intervalo de tempo nos testes.

Os valores dos parâmetros da equação de Kostiakov foram maiores a área C, evidenciando sua maior capacidade de infiltração, já discutida anteriormente.

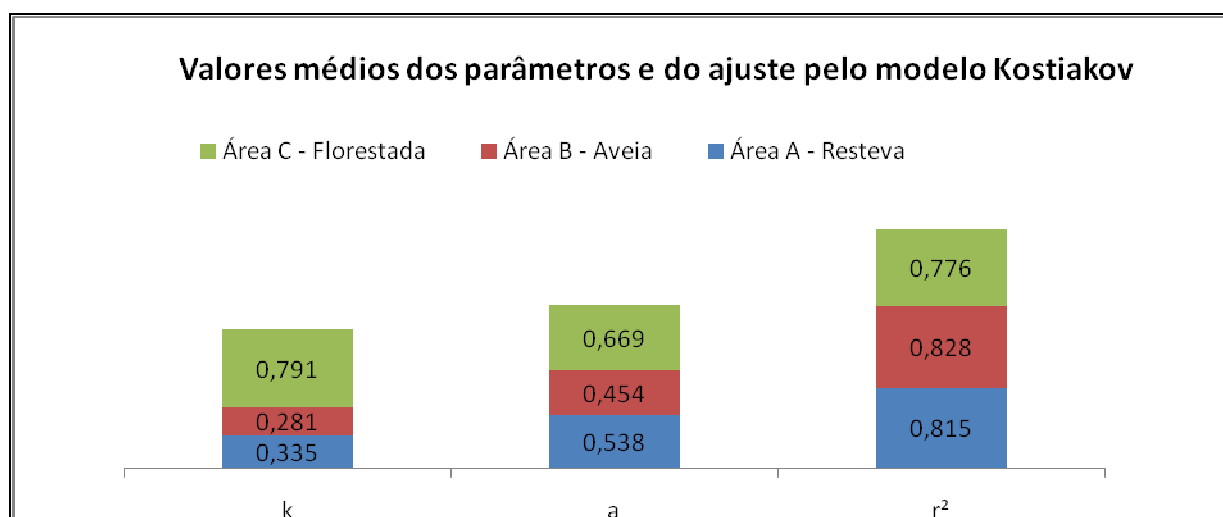


Gráfico 2 - Parâmetros para o ajuste de Kostiakov.

Nota-se uma boa correlação entre os dados observados e ajustados pelo modelo Kostiakov. Porém, comparando os dados observados e os calculados pela equação de Kostiakov, os valores de infiltração inicial e final são maiores, como se observa na Tabela 4.

Na comparação entre os modelos (Gráfico 3), observa-se que os valores de infiltração inicial e final são três vezes maiores para a equação de Horton. Esta diferença pode ser explicada porque a equação de Horton é uma equação do tipo exponencial que representa melhor a evolução da infiltração no início do processo (SOBRINHO et al. 2003). Portanto, a equação de Horton mostrou-se mais adequada (incluindo a análise do  $r^2$ ), para representar o processo de infiltração de água no solo, quando comparada com a equação de Kostiakov. Conforme estudo realizado por Sobrinho et al. (2003), com simulador de chuvas portátil em um solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999), os índices estatísticos usados permitiram evidenciar que a equação de Horton é a mais adequada para a estimar a taxa de infiltração de água no solo.

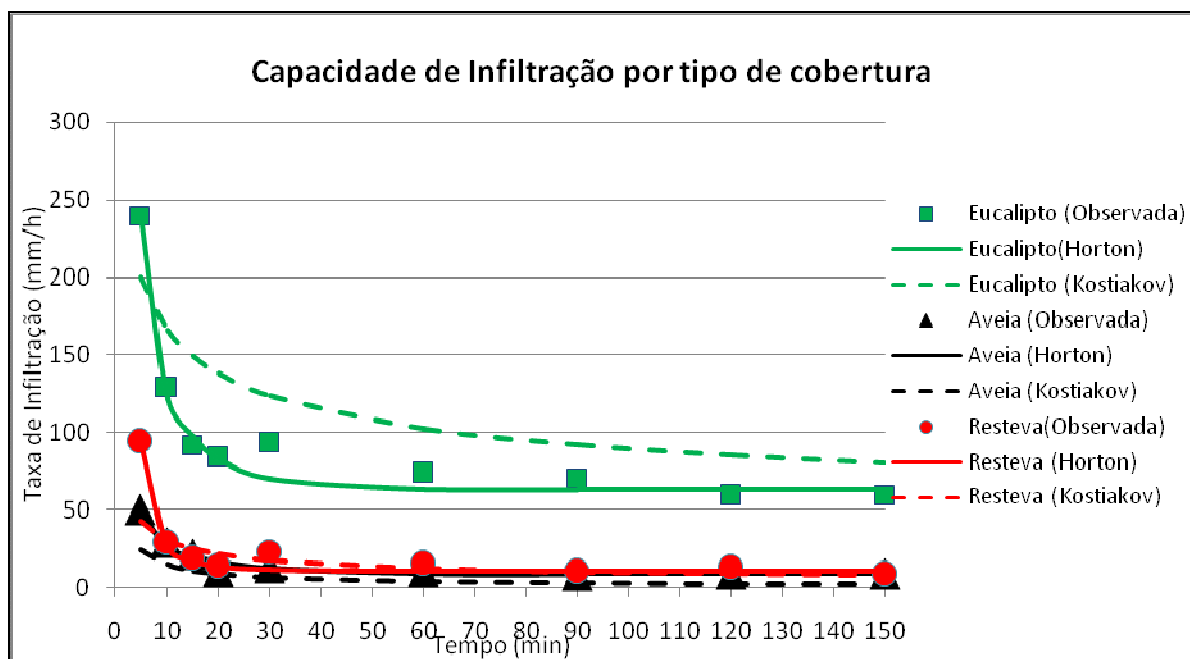


Gráfico 3 - Curvas ajustadas aos modelos de Horton e Kostiakov a partir dos dados observados em campo.

Uma limitação, quando ao uso do infiltrômetro de duplo anel, é a infiltração horizontal induzida pelo forte gradiente de potencial de água entre o solo muito úmido sob o infiltrômetro e o solo seco circundante, já que os anéis são cravados apenas poucos centímetros no terreno. Outra inconveniência deste método é a possível deformação da estrutura da camada superficial, devido aos esforços despendidos na cravação dos anéis. Tais esforços podem introduzir fendas, rachaduras e desagregação no terreno, alterando substancialmente as taxas naturais de infiltração, (CARLESSO, 2000). Estas limitações podem explicar o comportamento anômalo de alguns infiltrômetros. Pulsos na taxa de infiltração também foram verificados durante a execução dos experimentos medidos em campo. Essas variações alteram as médias das taxas de infiltração básica, pois em alguns casos particulares ocorrem após a infiltração já estar estabilizada. Possíveis

justificativas para o caso da área florestada estariam na elevada presença de raízes, que acabam formando macroporos no solo e assim facilitando a entrada de água ao sistema.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A permanência de uma cobertura vegetal morta (palha ou folhas) protege a superfície do solo, atua diminuindo a evaporação e reduz o movimento da água na superfície, aumentando assim a infiltração. Além disso, parcelas muito próximas de material fino nas três amostras evidenciam que não ocorre perdas significativas desse material por carreamento ou desestruturação do solo (ponto favorável do preparo do solo por sistema de semeadura direta).

A equação de Horton mostrou-se mais adequada, através da verificação do valor do coeficiente de determinação  $r^2$ , para representar o processo de infiltração de água no solo quando comparada com a equação de Kostiakov.

Destaca-se que as adversidades, a variabilidade dos solos e as incertezas nos resultados para estimar a taxa de infiltração requerem maiores cuidados e estudos devido ao grau de importância para se determinar as características de infiltração de água no solo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pelas bolsas de estudo designadas a esta pesquisa. Os estudos tiveram o apoio dos projetos SIOGA e VERTENTES, ambos financiados pelo FINEP/CT-HIDRO. Os autores também agradecem ao PPGEC/UFSM e ao Laboratório de Manejo e Conservação dos Solos da UFSM.

## BIBLIOGRAFIA

AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. (2003). *“Plantio Direto na Palha. Rumo à sustentabilidade agrícola nos trópicos”*. Revista Ciência e Ambiente, v.27, p. 49-66.

BERNARDO, S. (1995). *Manual de Irrigação*. Imprensa Universitária/UFV, ed. UFV Viçosa – MG.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1990). *Conservação do solo*. ed. Ícone, São Paulo – SP, 355p.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. (2006). *Infiltração da água no solo*. ed. UFV, Viçosa – MG, 120 p.

CARLESSO R.; ZIMMERMANN F. L. (2000). *Água no Solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação*. ed. UFSM, Santa Maria – RS, 88p.

CARVALHO, J. J.; AZEVEDO, C. A. V.; GOMES, E. M.; HENRIQUE, J.; NETO, J. D. (1999). “*Efeito das Variações Espaço-Temporais dos Parâmetros de Kostiakov-Lewis na Infiltração Acumulada*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.3, p268-275.

COSTA, É. L. da; SILVA, A. M. da; COLOMBO A.; ABREU A. R. de.(1999). “*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.

EMPRAPA. (1999). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação do solos*. Brasília: EMPRAPA - CNPS/EMBRAPA – SPI, 412p.

GOOGLE. (2010). *Google Earth*. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>>. Acesso em: 10 nov. 2010.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. (2010). “*Atributos Físicos de um Argissolo em Sistema de Culturas de Longa Duração sob Semeadura Direta*”. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 34:1333 – 1342.

LIBARDI, P. L. 1995. *Dinâmica da água no solo*. ed. ESALC/USP, Piracicaba - SP, 497p.

NBR 6457. (1986). Amostragem de Solo – *Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização*.

NBR 7181. (1984). Solo – *Análise Granulométrica – Método de Ensaio*,

PAIVA, E. M. C. D. de; MELLER, A.; PAIVA, R. C. D. de; PAIVA, J. B. D. (2004) “*Taxa de infiltração em pequena bacia suburbana*”. in Anais do XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica. São Pedro, São Paulo – SP, 2004.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. (2009). “*Capacidade de Infiltração de Água em Solos sob Diferentes Usos e Práticas de Manejo Agrícola*”. Revista Ambiente e Água, Taubaté, v.4, n. 2, p. 188-199p.

PREVEDELLO, C. L. (1996). *Física do solo com problemas resolvidos*. ed. SAEFES. Curitiba – PR, 446p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A.C.; PEDRON, F. A. (2007) *Principais Solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul - guia de excursão*. ed. UFSM, Departamento de Solos/UFSM, Santa Maria – RS, 47p.

SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. (2003). “*Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p.191-196.

ZAMBERLAN, J. F.(2007) “*Caracterização de Águas de Reservatórios Superficiais para Uso em Microirrigação*”. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria –RS, 88p. (Dissertação)