

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO MOVIMENTO DE ÁGUA EM LISÍMETRO DE DRENAGEM COM CULTIVO DE *ZEA MAYS*

Vander Kaufmann; ¹*Adilson Pinheiro* ²*Nilza Maria dos Reis Castro* ³

RESUMO --- A simulação numérica do movimento de água no solo é uma importante ferramenta para o balanço hídrico e geração de cenários futuros. Neste trabalho foram simulados com o modelo SWAP (Soil–Water–Atmosphere–Plant) os fluxos de água em um lisímetro instalado em uma área agrícola, no qual é efetuado o cultivo do milho (*Zea mays*), em manejo convencional. São realizadas medidas em contínuo da precipitação e umidade do solo em três profundidades. Os escoamentos superficiais e de drenagem são medidos com pluviógrafo. O coeficiente Nash-Sutcliffe (COE) diário de simulação para o escoamento de drenagem foi superior a 0,83. O COE mensal para evapotranspiração é superior a 0,85. O modelo apresentou bons resultados em relação à umidade volumétrica.

Palavras-chave: SWAP, lisímetro, evapotranspiração.

ABSTRACT --- The numerical simulation of water movement in soil is an important tool for the water balance and the generation of future scenarios. This work was simulated with the model SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant) flows of water in a lysimeter installed in an agricultural area, which is made the cultivation of maize (*Zea mays*) in conventional conditions. Measurements are made in continuous rainfall and soil moisture at three depths. The runoff and drainage are measured pluviographs. Nash-Sutcliffe coefficient (COE) for the simulation of daily runoff drainage was greater than 0.83. COE monthly evapotranspiration is greater than 0.85. The model showed good results in relation to soil moisture.

¹ Doutorando Engenharia Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental IPH/UFRGS. E-mail: ambitec@bol.com.br

² Doutor, professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Regional de Blumenau, rua São Paulo, 3250, 89030-000, Blumenau, SC, E-mail. pinheiro@furb.br

³ Professora do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: nilza@iph.ufrgs.br

INTRODUÇÃO

O movimento da água no solo é um processo contínuo, que controla a dinâmica dos elementos químicos, a disponibilidade de nutrientes e a satisfação da demanda hídrica (Netto et.al., 2000). O movimento da água no solo pode ser descrito por uma representação matemática que considera a influência das principais propriedades hidrodinâmicas. Este movimento pode ocorrer tanto em condições saturadas, situação onde todos os poros estão preenchidos com água, quanto em condições não saturadas, quando apenas parte dos seus poros está preenchido com ar (Engler, 2007).

Modelos são utilizados para representar os fenômenos que controlam o movimento da água no solo e o consequente transporte de espécies físicas, químicas ou biológicas (Prevedelo, 1996). O transporte é desenvolvido pelos mecanismos de advecção e de dispersão. Na dispersão atua a difusão molecular, a estratificação de velocidade e de concentração e a tortuosidade do meio poroso. No processo de transporte de espécies químicas, como os nutrientes, as reações químicas e bioquímicas e os fenômenos de sorção agem como fenômenos reativos, acarretando efeitos nos termos fonte e sumidouros.

Os modelos podem ser de base física, conceitual e/ou empírica (Köhne et al., 2009; Knapen, et al., 2007; Vente e Poesen, 2005; Herbst et al., 2005). As diferenças entre eles geram necessidades de informações especializadas (Aydin, 2008). Os modelos de base física são mais confiáveis, quando comparados aos outros, pois eles simulam os processos por expressões matemáticas fundamentadas fisicamente (Lal e Shukla, 2004; Richter e Timmermans, 2009). Os modelos têm limites e parâmetros de contorno definidos (Marinov et al., 2005; Downer e Ogden, 2004).

A aplicação de modelos de base física requer o conhecimento das características hidrodinâmicas do sistema modelado, tais como densidade, porosidade, condutividade hidráulica, curva de retenção, entre outros. Para essa aplicação é necessário coleta de dados espaciais e temporais, tais como precipitação, evapotranspiração, umidade do solo, escoamentos superficiais e de drenagem, de modo a avaliar a aplicabilidade do modelo selecionado. A partir desta avaliação o modelo pode ser utilizado para geração de cenários de uso e ocupação do solo, alterações de sistemas de manejo e de cultivo agrícolas, entre outros aspectos a serem simulados.

Os estudos em lisímetro de campo representam instrumento adequado para a determinação dos componentes do balanço hídrico (Loos et al., 2007; Meissner e Seyfarth, 2004). Segundo Goss, Ehlers e Unc. (2010) os lisímetros são extremamente importantes para as análises de processos hidrológicos e de qualidade da água profunda, permitindo controlar boa parte dos processos físicos de escoamento superficial e de percolação, gerando informações importantes das variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico, além de permitir observar a influência das condições

climáticas (Puppo Petillo, 2009; Faria et al. 2005). As condições de uso da superfície da terra, o manejo da cultura, o revolvimento do solo são aspectos importantes na condução de avaliação da resposta do solo de uma região (Loos et al., 2007).

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar a aplicação do modelo SWAP (van Dam et al., 1997) na simulação do movimento da água em um lisímetro volumétrico de drenagem, instalado em uma área agrícola com cultivo de milho em sistema de plantio convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

Dispositivo experimental

O lisímetro foi construído com chapas de acrílico de 8 mm de espessura e preenchido com uma coluna de solo indeformado com 1 m² de base e 93 cm de altura. Na instalação dos lisímetros, o solo foi mantido indeformado. Os lisímetros foram confeccionados com o uso de duas caixas de acrílico, a primeira vazada, que foi utilizada na coleta da amostra do solo e a segunda para a confecção da base do lisímetro, conforme é descrito por Oliveira et al. (2010). Próximos à superfície e a base do solo, foram instaladas tubulações de coleta do escoamento superficial e da drenagem profunda.

Os dispositivos são equipados com tensiômetros de pressão para medição da tensão no solo. São três sensores de pressão UMS T4, instalados nas profundidades de 10, 30 e 70 cm, com medida contínua e armazenamento em *datalogger*. A tensão de água no solo é registrada em hPa, em intervalos de 15 minutos.

A semeadura do milho no lisímetro foi feita sem a presença de cobertura morta e com revolvimento do solo em 30 cm de profundidade. A semeadura do milho foi efetivada sempre na primeira quinzena de novembro dos anos de 2008, 2009 e 2010, com ciclo com duração de 159, 128 e 132 dias, respectivamente. As produtividades dos cultivos foram de 30, 131 e 95 sacos por hectare.

Balanco hídrico

O balanço hídrico relaciona as entradas, as saídas e o armazenamento de água na superfície de controle do lisímetro. A entrada é definida apenas pela precipitação medida no pluviômetro, as saídas são constituídas pelos escoamentos superficiais, escoamento de drenagem e a evapotranspiração. Combinando as variáveis, o balanço de água no lisímetro é expresso por:

$$P - ET - R_{\text{sup}} - R_{\text{dre}} = \Delta S \quad (1)$$

onde ET é a evapotranspiração, P é a precipitação, R_{sup} é o escoamento superficial, R_{dre} é o escoamento de drenagem e ΔS é a variação de armazenamento de água no volume de controle do lisímetro.

A variação de armazenamento é obtida a partir das medidas nos tensiômetros. Esta informação é transferida para a curva de retenção que permite obter a umidade do solo, no instante da leitura da tensão. A precipitação é obtida através de uma estação pluviográfica, instalada próximo ao lisímetro. O monitoramento do escoamento superficial e de drenagem no lisímetro foram realizados através de pluviógrafo manufaturado, desenvolvido de acordo com Braga et al. (2009). O equipamento permite medir volumes de até 50 ml por ciclo. Os registros são armazenados em *logger* com tempo de aquisição de 15 minutos. Além do uso de sistemas automatizados foram utilizados galões de 5 e 50 L, para a coleta do escoamento superficial e de drenagem, respectivamente, conectados ao lisímetro por meio de tubulação de PVC. Quinzenalmente é feito a retirada dos volumes nos galões.

O armazenamento de água no solo foi calculado pela regra do trapézio, conforme Libardi (1995). Assim, a variação de armazenamento de água no solo foi determinada pela diferença dos valores do conteúdo de água do solo obtidos do perfil, nos tempos iniciais e finais de cada período considerado, utilizando-se a seguinte equação:

$$\Delta S = S_f - S_i \quad (2)$$

onde ΔS é a variação no armazenamento de água do solo (mm); S_f é o armazenamento final de água no solo (mm) e S_i é o armazenamento inicial de água no solo (mm).

A avaliação das variáveis hidrológicas do balanço hídrico no lisímetro foi obtida para o período de monitoramento de março de 2008 a abril de 2011.

Modelo SWAP

O modelo SWAP (Soil–Water–Atmosphere–Plant) simula fluxo de água, transporte de solutos e crescimento de plantas no solo (Eitzinger et al., 2004). O modelo é de base física (van Dam et al., 1997; van Dam, 2000), sendo utilizado a equação de Richard's para representação matemática do fluxo de água no solo. A equação é um modelo não-linear, com diferencial parcial para descrever fluxos de água no perfil do solo como uma função da umidade volumétrica do solo ou gradientes de pressão da água (Biggs et al., 2008; Downer e Ogden, 2004). O fluxo de água considera o fluxo unidimensional, vertical e transitório. A equação é expressa por:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \partial \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] \partial z - S(h) \quad (3)$$

onde h é o potencial de pressão no solo (cm); $K(h)$ é a condutividade hidráulica (cm dia⁻¹); θ é a umidade volumétrica (m³ m⁻³); T é o tempo (d); z é a posição vertical (cm) e $S(h)$ é a taxa de extração do solo pelas raízes (m³ m⁻³ d⁻¹).

A umidade volumétrica e a condutividade hidráulica variam em função do potencial de pressão do solo. Elas são descritas pelas funções apresentadas por Genuchten (1980), definidas pelas expressões:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^{1-1/n}} \quad (4)$$

$$K(h) = K_s \frac{\left((1 + |\alpha h|^n)^{1-1/n} - |\alpha h|^{n-1} \right)^2}{(1 + |\alpha h|^n)^{(1-1/n)(\lambda+2)}} \quad (5)$$

onde, θ é o teor de umidade do solo, cm³ cm⁻³; θ_r é o teor de umidade residual do solo, cm³ cm⁻³; θ_s é a umidade do solo saturado, cm³ cm⁻³; K_s é a condutividade hidráulica saturada, cm dia⁻¹, e α (cm⁻¹) λ (-) e n (-) são parâmetros de ajuste.

A taxa de absorção de água pelo sistema radicular é dada por:

$$S = \alpha_{red} S_p \quad (6)$$

onde α_{red} é o fator de redução (-), e S_p é a taxa potencial de absorção de água, dia⁻¹. Esta taxa potencial pode ser obtida pela relação:

$$S_p = \frac{T_p}{D_r} \quad (7)$$

onde T_p é a taxa de transpiração potencial, cm dia⁻¹, e D_r é a espessura da camada de raiz, cm.

Com base no cálculo da taxa de evapotranspiração potencial (ET_p), utilizando o método de Penman-Monteith, T_p é obtido por:

$$T_p = (1.0 - f_w)ET_p - E_p \quad (8)$$

onde f_w é a fração do dia que o dossel está molhado e E_p é a taxa de evaporação potencial do solo, cm dia^{-1} , expressa por:

$$E_p = e^{-k.LAI} ET_p \quad (9)$$

Onde f_w é o coeficiente de extinção para a radiação solar global e LAI é o índice de área foliar.

Os parâmetros hidráulicos do solo podem ser especificados pelo usuário ou obtidos em funções integradas por pedo-transferência. O modelo SWAP permite a definição de até 10 camadas de solo com diferentes propriedades físicas para as quais a modelagem dos fluxos de água é realizada. A vegetação leva em conta as características especificadas pelo usuário, como diferentes estádios de desenvolvimento (índice de área foliar, altura da planta, desenvolvimento radicular simulado). A remoção de água pelas plantas é calculada com base na transpiração potencial, comprimento da raiz e da densidade radicular.

A curva característica do conteúdo volumétrico de água no solo para cada profundidade amostrada (0 a 5; 5 a 10; 15 a 20; 30 a 35; 45 a 50 e 65 a 70 cm) foi determinada utilizando-se câmara de Richard's. Após obtenção dos valores de umidade em relação a pressão aplicada, a curva de retenção foi ajustada utilizando-se o *Software* RETC (van Genuchten et al., 1991).

Dados de entrada do modelo

Clima

Os dados meteorológicos do período simulado foram obtidos na estação hidrometeorológica automática instalada na bacia hidrográfica do Ribeirão Concórdia. Foram utilizados dados diários de radiação, temperatura mínima e máxima, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação.

Dados da cultura

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os parâmetros da cultura do milho requeridos pelo modelo SWAP.

Tabela 1: Parâmetros da cultura do milho – subperíodos, índices de área foliar (LAI) e coeficientes relacionados à ET (k_c) (Bergamaschi et al, 1992, 2001)

Subperíodo	Duração (dia)			LAI ($m^2 \cdot m^{-2}$)			k_c (-)
	nov/2008	nov/2009	nov/2010	2008	2009	2010	
Semeadura – emergência	10	8	8	0,0	0,0	0,0	0,50
Emergência – 30 dias após a emergência	30	24	25	0,91	0,81	0,90	0,70
30 dias após a emergência – pendoamento	50	41	42	4,8	5,25	4,4	1,10
Pendoamento – maturação leitosa	20	15	15	4,9	4,9	4,4	1,25
Maturação leitosa – maturação fisiológica	49	40	42	4,0	4,8	4,0	1,00
Total do ciclo	159	128	132				

Nos períodos sem cultura e entre a semeadura e a emergência adotou-se “ k_c ”=0,98, ou seja, a evaporação máxima do solo foi admitida igual à 98% da evapotranspiração de referência.

Tabela 2: Parâmetros da cultura do milho – profundidade e densidade relativa das raízes (Klepker, 1991)

Profundidade (cm)	Densidade relativa (%)
0 – 5	100
5 – 10	63
10 – 15	39
15 – 20	27
20 – 30	19
30 – 40	74
40 – 50	2

Tabela 3: Parâmetros relacionados à transpiração (Wesseling, 1991 apud van Dam et al.,1997)

H_1 (cm)	H_2 (cm)	H_3 (cm)	H_4 (cm)
-15	-30	-600	-8000

$H_{1,2,3,4}$: potencial matricial de referência

Sendo h o potencial matricial, T_a a transpiração real e T_p a transpiração potencial, os valores da tabela 3 são considerados no modelo como segue.

- $T_a = T_p$ para $H_3 \leq h \leq H_2$
- T_a decresce linearmente quando $h > H_2$, sendo $T_a = 0$ quando $h \geq H_1$.
- T_a decresce linearmente quando $h < H_3$, sendo $T_a = 0$ quando $h \leq H_4$.

As curvas características de água no solo para cada profundidade amostrada (0-5; 5-10; 10-20; 20-35; 35-50 e 50-93 cm) foram determinadas com a câmara de Richards no Laboratório de Erosão e Sedimentação do IPH-UFRGS. Na tabela 4 são apresentados os parâmetros utilizados nas equações do modelo.

Tabela 4: Parâmetros físicos de entrada do SWAP

Profundidade (cm)	θ_r^*	θ_s^*	α (cm ⁻¹)*	n^*	K_{sat} (cm,d ⁻¹)	$m=1-1/n$	λ	h_s (cm)
0-5	0,0647	0,4041	0,29768	1,2905	5,46	0,225089	0,5	4
05-10	0,1173	0,3727	0,01904	1,3734	5,81	0,271853	0,5	4
10-20	0,1226	0,4418	0,29874	1,2180	5,40	0,178962	0,5	4
20-35	0,1655	0,4151	0,18043	1,1812	5,78	0,153396	0,5	4
35-50	0,0449	0,4401	0,01828	1,0565	9,81	0,053496	0,5	4
50-90	0,0510	0,4641	0,44290	1,0494	5,41	0,047084	0,5	4

* parâmetros ajustados no Código RETC (van Genuchten et, al., 1991), os valores de λ e h_s foram obtidos a partir da literatura (van Genuchten, 1980, Schaap et, al., 2006),

Os valores de K_{sat} para as profundidades de 5 a 90 cm foram estimados a partir do emprego de simulação de chuvas, efetuadas no período de julho de 2009, com ajuste através pedofunções de transferência (Peraza, 2003), O K_{sat} da superfície foi determinado somente pelas simulações de chuva.

Na aplicação dos modelos SWAP, os resultados obtidos para as séries temporais observadas e calculadas são comparados utilizando-se análise estatística do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe – COE, O COE é calculado pela expressão:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (E_{ob} - E_{cal})^2}{\sum_{t=1}^n (E_{ob} - E_m)^2} \quad (10)$$

onde E_{ob} é o valor observado, E_{cal} é o valor calculado, e E_m é a média dos valores observados no período, O COE pode variar até o valor máximo de 1, que representa a eficiência máxima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 são apresentados os elementos do balanço hídrico simulado e observado no período considerado. Os valores simulados e observados não apresentam diferenças estatísticas, em relação ao volume de drenagem no período analisado, mostrando que o modelo simula adequadamente o escoamento. A evapotranspiração medida é o resultado da aplicação do balanço hídrico, no qual na qual a água interceptada pelas folhas da cultura existente no lisímetro está incluída. Para a simulação, a interceptação é calculada pelo índice de área foliar, representando a altura de água interceptada pela cultura do milho.

Tabela 5 – Balanço hídrico entre março de 2008 a abril de 2011 (em cm)

Variáveis do balanço hídrico	Simulado	Observado
Precipitação	539,72	
Evaporação	106,94	
Transpiração	117,13	
Evapotranspiração	224,07	253,71
Escoamento superficial	3,60	2,56
Escoamento de drenagem	280,84	277,32
Interceptação	30,37	
Variação de armazenamento	0,84	6,12
Total	539,72	539,72

A figura 1 mostra a evolução temporal mensal da evapotranspiração observada e simulada pelo SWAP. O COE calculado mensal é superior a 0,85, indicando que o modelo reproduz adequadamente a evapotranspiração, mesmo considerando a diferença devido a interceptação. Algumas flutuações nos valores observados são devido as defasagens temporais do escoamento, nos dois últimos dias de cada mês e aos períodos de desenvolvimento do milho.

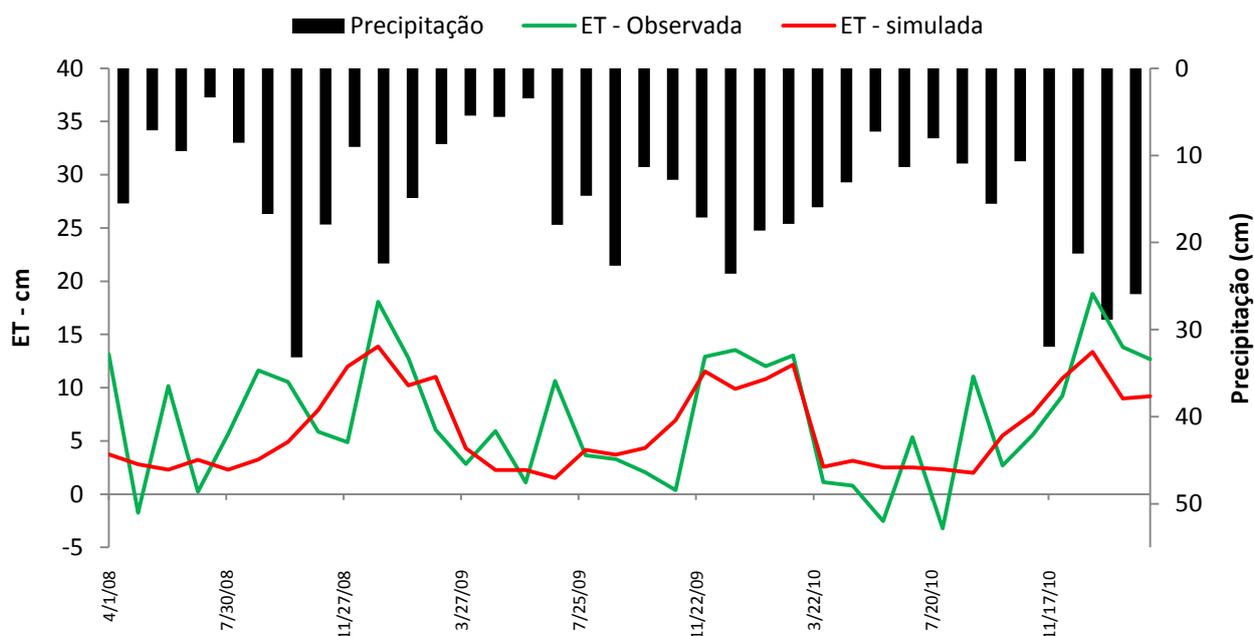


Figura 1 – Evapotranspiração simulada pelo SWAP e observados mensais,

A figura 2 relaciona as lâminas drenadas pelo modelo SWAP e lâminas observadas no lisímetro. O coeficiente de determinação diário foi de 0,83. No período de semeadura o solo foi revolvido em 30 cm de profundidade, caracterizando sistema de cultivo convencional. Nesta fase as lâminas de drenagem simuladas pelo SWAP não foram adequadamente reproduzidas. Esse resultado é devido a mudanças hidráulicas do solo, como a densidade e porosidade, alterando a tensiometria do solo e aumentando o escoamento de drenagem (Alves e Cabeda, 1999; Medeiros et al., 2009; Mattsson et al., 2009). Castro (1996) estudando o comportamento de latossolo roxo sob simulação de chuvas em solos trabalhados com escarificação na profundidade de 50 cm, arados na profundidade de 20 cm e sob plantio direto, concluiu que a infiltração é maior nos solos preparados com escarificação (coeficiente de escoamento superficial de 25%) que nos solos preparados com arado (coeficiente de escoamento superficial de 57%). A infiltração do solo preparado com plantio direto foi a menor de todas no exato momento do plantio; porém, depois de 3 meses, todos os solos simulados resultaram em coeficientes de escoamento da mesma ordem de grandeza, 56%). Os efeitos benéficos da maior porosidade do solo durante o revolvimento do solo com escarificação ou com arado se desfazem durante o crescimento da cultura.

Após algumas chuvas, pode haver a formação de selo superficial que diminui a infiltração, provocando a diminuição da drenagem profunda (Calonego e Rosolem 2008; Gumiere et al., 2009; Kinnell 2009). A figura 2 indica que existe defasagem na drenagem simulada, nos períodos de revolvimento do solo e desenvolvimento da cultura do milho, principalmente após o período de pendoamento. Parte desta justificativa é a formação de crosta no solo que diminui a infiltração.

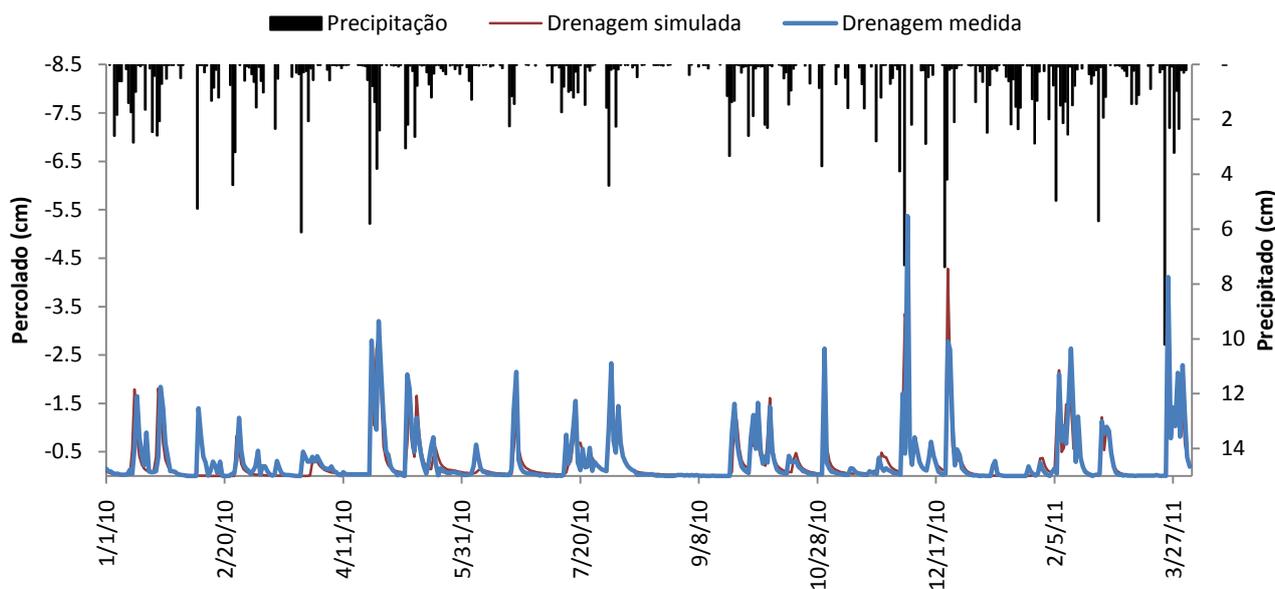


Figura 2 – Valores totais para o fluxo de saída do fundo para as condições simuladas e observadas

A interceptação da cultura do milho simulada em cada ciclo está associada ao desenvolvimento da planta e principalmente a demanda hídrica (figura 3). No cultivo de 2008 a produtividade foi quatro vezes menor que no segundo cultivo. No terceiro cultivo a produtividade foi superior a primeira e inferior a segunda, A área foliar de cada ano foi simulada pelo modelo SWAP de acordo com os valores observados da tabela 1, mostrando-se adequada.

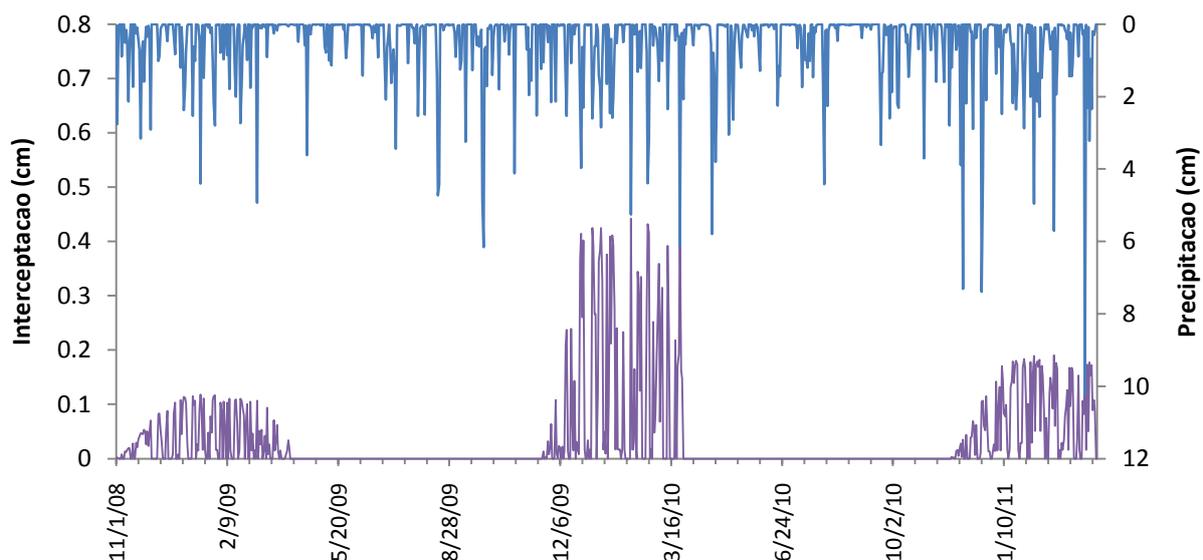


Figura 3 – Interceptação calculada pelo SWAP para a cultura do milho

Os fatores relacionados à superfície do solo interferem no movimento da água através da interface ar-solo e na profundidade do solo alterando o perfil de umidade em cada compartimento. A figura 5 apresenta a resposta da umidade volumétrica do solo nas três profundidades nas quais os tensiômetros estão instalados.

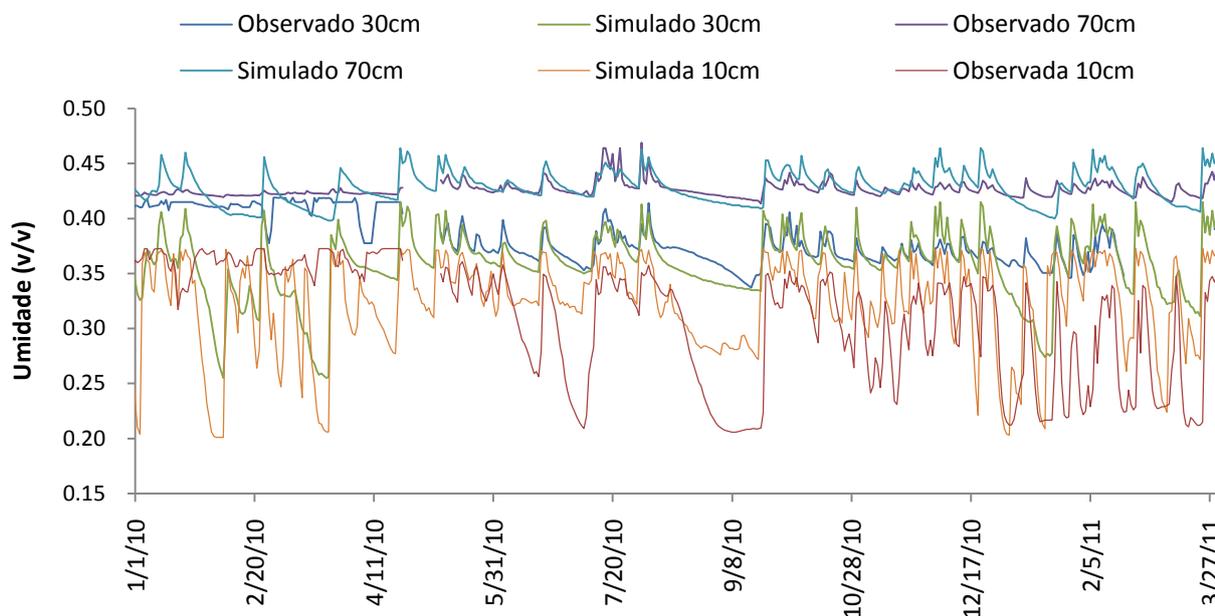


Figura 5 – umidade volumétrica no solo nas profundidades de 10, 30 e 70 cm, em relação aos valores observados, simulados em condições do lisímetro com interdice ar-solo e nas condições de lisímetro volumétrico de drenagem livre

Os modelos físicos utilizados para simulação da evapotranspiração, infiltração, entre outros, são baseados em processos oriundos das propriedades físicas do solo, que podem ser implementados em modelos computacionais que fazem convergir às integrações até atingir o limite de contorno estabelecido (Lal & Shukla, 2005; Biggs et al., 2008). O uso desta ferramenta requer o estabelecimento de critérios e a entrada de dados das variáveis com valores determinados com comportamento conhecido (Elshamy, et al., 2009; Dohnal et al., 2006; Harsch et al., 2009). Com os parâmetros claramente estabelecidos o modelo SWAP obtém bons resultados da umidade volumétrica no solo.

CONCLUSÃO

Os estudos em lisímetro de campo representam um instrumento adequado para a determinação dos componentes do balanço hídrico do solo-planta-atmosfera. O lisímetro é considerado uma ferramenta precisa para reproduzir reais condições de campo. O COE diário de

simulação para o fluxo de fundo é superior a 0,83. O COE mensal para evapotranspiração é superior a 0,85. A simulação da interceptação é condizente com a produtividade da cultura do milho (*Zea mays, L.*). O conteúdo de água no solo é bem simulado pelo modelo SWAP.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao MCT/FINEP/AÇÃO TRANSVERSAL - Previsão de Clima e Tempo 04/2008, convênio 1406/08, projeto 01.08.0568.00, pelo financiamento de pesquisa e ao CNPq pela bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.C; CABEDA, M.S.V. (1999). *Infiltração de água em um podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades*. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 735-761.
- AYDIN, M. (2008). *A model for Evaporation and Drainage investigations at Ground of Ordinary Rainfed-areas*. Ecological modeling 217, 148–156.
- BERGAMASCHI, H., BERLATO, M. A., MATZENAUER, R., FONTANA, D. C., CUNHA, G. R., SANTOS, M. L. V., FARIAS, J. R. B. E BARNI, N. A. (1992). *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre, Ed. Universidade – UFRGS, 125p.
- BERGAMASCHI, H.; RADIN, B.; ROSA, L.M.G.; BERGONCI, J.I.; ARAGONÉS, R.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; LANGENSIEPEN, M. (2001). *Estimating maize water requirements using agrometeorological data*. Revista Argentina de Agrometeorologia, v. 1, n. 1, p. 23 – 27.
- BIGGS, T.W.; MISHRA, P.K.; TURRAL, H. (2008). *Evapotranspiration and regional probabilities of soilmoisture stress in rainfed crops, southern India* gricultural and forest meteorology. Analysis of Soil Water Response to Grass Transpiration, 148, 1585–1597.
- BRAGA, S.M.; SANTOS, dos I.; FERNANDES, C.V.S.; KOBİYAMA, M. (2009). *Desenvolvimento de um sistema automático de baixo custo para medição indireta da interceptação*. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande.
- CALONEGO, J.C. e ROSOLEM, C.A. (2008). *Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1399-1407.
- CASTRO, N. (1996). *Ruissellement et erosion sur des bassins versants de grandes cultures du plateau Basaltique du sud du Bresil (Rio Grande do Sul)*. Strasbourg. Univ. Luis Pasteur, Tese de Doutorado. 179p.

- DOHNAL, M.; DUŠEK, J.; VOGEL, T.; HERZA, J.; TACHECÍ, P. (2006). *Analysis of Soil Water Response to Grass Transpiration*. Soil e Water Res., 1, 3, p.85–98.
- DOWNER, C.W. and OGDEN, F.L. (2004). *Appropriate vertical discretization of Richards' equation for two-dimensional watershed-scale modeling*. Hydrol. Process. v.18, 1–2.
- EITZINGER, J.; TRNKA, M.; HÖSCH, J.; ŽALUD, Z.; DUBROVSKÝ, M. (2004). *Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions*. Ecological Modelling 171, p.223–246.
- ELSHAMY, M.E.; SEIERSTAD, I.A.; SORTEBERG, A. (2009). *Impacts of climate change on Blue Nile flows using bias-corrected GCM scenarios*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, 551–565.
- ENGLER, M.P.C. (2007). *Desenvolvimento de metodologia para a determinação da mobilidade de água no solo*. Piracicaba: Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, São Paulo.
- FARIA, R.T. de; CAMPECHE, F.S.M.; CHIBANA, E.Y. (2006). *Construção e calibração de lisímetros de alta precisão*. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.10, n.1, p.237–242.
- GUMIERE, S.J.; BISSONNAIS le,Y.; RACLOT, D. *Soil resistance to interrill erosion: Model parameterization and sensitivity*. Catena v.77, p.274–284. 2009.
- HARSCH, N.; BRANDENBURG, M.; KLEMM, O. (2009). *Large-scale lysimeter site St. Arnold, Germany: analysis of 40 years of precipitation, leachate and evapotranspiration*. Hydrol. Earth Syst. Sci., v.13, p.305–317.
- HERBST, M.; FIALKIEWICZ, W.; CHEN, T.; PÜTZ, T.; THIÉRY, D.; MOUVET, C.; VACHAUD, G.; VEREECKEN, H. (2005). *Intercomparison of Flow and Transport Models Applied to Vertical Drainage in Cropped Lysimeters*. Vadose Zone J., vol.4.
- KINNELL, P.I.A. (2009). *The influence of raindrop induced saltation on particle size distributions in sediment discharged by rain-impacted flow on planar surfaces*. Catena. v.78, p.2–11.
- KNAPEN, A.; POESEN, J.; GOVERS, G.; GYSSELS, G.; NACHTERGAELE, J. (2007). *Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review*. A. Earth-Science Reviews v.80, p.75–109.
- KÖHNE, J.M.; KÖHNE, S.; ŠIMŮNEK, J. (2009). *A review of model applications for structured soils: a) Water flow and tracer transport*. Journal of Contaminant Hydrology v.104, p.4–35.
- LAL, R. & SHUKLA, M.K. *Principles of Soil Physics*. (2004). Marcel Dekker, New York. 716 p.
- LIBARDI, P.L. (1995). *Dinâmica da água no solo*. 1.ed. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP). 497p.
- LOOS, C.; GAYLER, S.; PRIESACK, E. (2007). *Assessment of water balance simulations for large-scale weighing lysimeters*. Journal of Hydrology, v.335, p.259– 270.

- MARINOV, D.Q. & ROELSMA, J. (2005). *Simulation of water flow and nitrogen transport for a Bulgarian experimental plot using SWAP and ANIMO models*. Journal of Contaminant Hydrology, v.77, p.145–164.
- MEDEIROS, G.A.; DANIEL, L.A.; LUCARELLI, J.R.F.; REIS, F.A.G.V. (2009). *Influência do sistema de preparo e manejo de um latossolo vermelho nas suas propriedades físico-hídricas*. São Paulo, UNESP, Geociências, v.28, n.4, p.453-465.
- MEISSNER, R. & SEYFARTH, M. (2004). Measuring water and solute balance with new lysimeter techniques. SuperSoil, 3rd Australian New Zealand Soils Conference.
- NETO, L.M.; ANDRIULO, A.; TRAGHETTA, D.G. (1996). *Fracionamento físico da matéria orgânica do solo e caracterização por espectroscopia de EPR*. Embrapa comunicado técnico nº 10, p.1-7.
- OLIVEIRA, N.T., CASTRO, N.M.R., GOLDENFUM, J.A. (2010). *Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros*. In: RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS: ABRH v.15, n. 2, p. 93-103.
- RICHTER, K. & TIMMERMANS, W.J. (2009). *Physically based retrieval of crop characteristics for improved water use estimates*. Hydrol. Earth Syst. Sci., v.13, 663–674.
- PREVEDELLO, C.L. (1996). *Física do solo com problemas resolvidos*. Curitiba, Salesward-Discovery. 446p.
- PUPPO, L.; PETILLO-G, M. (2010). Determinacion del consumo de agua del duraznero por lisimetría. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental, v.14, n.1, p.25-31.
- SCHAAP, M.G. & van GENUCHTEN, M.A. (2006). *Modified Mualem–van Genuchten Formulation for Improved Description of the Hydraulic Conductivity Near Saturation*. Vadose zone, v.5, 27-34.
- van DAM, J.C.; HUYGEN, J.; WESSELING, J.G.; FEDDES, R.A.; KABAT. P.; VAN WALSUM, P.E.V.; GROENENDIJK, P.; VAN DIEPEN, C.A. (1997). *Theory of SWAP Version 2.0, Report 71*. Department of Water Resources, Wageningen Agricultural University. 167 p.
- van DAM, J.C. (2000). *Field-Scale Water Flow and Solute Transport*. Doctoral Thesis. Wageningen Agricultural University. 167 p.
- van GENUCHTEN, M.T.; LEIJ, F.J.; YATES, S.R. (1991). *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils*. U.S. Salinity Laboratory. Riverside. 85 p.
- van GENUCHTEN, M.T. (1980). *A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society of America Journal. Madison. v.44, p. 892-898.
- VENTE, J.T. & POESEN, J. (2005). *Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models*. Earth-Science Reviews v.71, p.95-25.