

MODELAGEM COMPUTACIONAL DE TRANSPORTE UNIDIMENSIONAL DE ÁGUA E SOLUTOS NO SOLO CONSIDERANDO A ABSORÇÃO PELAS PLANTAS¹

Edson de Oliveira Vieira²; Mauro Aparecido Martinez³; Hélio Teixeira Prates⁴;
Antônio Teixeira de Matos⁵; Célia Cristina Leite Marques⁶ & Fernando França da Cunha⁷

Resumo - Desenvolveu-se um modelo computacional para calcular o transporte unidimensional de água e solutos no solo sob condições de escoamento não permanente e considerando a presença de cultura e a degradação do produto no solo. O modelo, denominado HIDROSOLO, foi desenvolvido em linguagem de programação DELPHI 5.0. A avaliação do modelo constou de um ensaio de campo constituído de 12 parcelas com quatro tratamentos e três repetições, nas quais foram aplicadas o Carbofuran na formulação granulada e incorporado na superfície do solo. Os tratamentos constaram de parcelas submetidas à aplicação, em uma hora, de lâminas de água de 18 e 45 mm, com e sem cultura do feijão. O experimento em campo foi realizado em 75 dias nos quais foram retiradas amostras de solo para determinação dos perfis de umidade e da distribuição do Carbofuran no solo. Os resultados experimentais foram comparados com os simulados pelo HIDROSOLO. O movimento de água no solo simulado pelo modelo computacional mostrou-se compatível com a realidade física do cenário estudado. A concentração do Carbofuran no perfil do solo apresentou altas variações entre os valores simulados e os obtidos experimentalmente, porém com comportamento semelhante no que se refere ao decaimento do produto com o tempo.

Abstract - A computational model was developed in order to calculate the one-dimensional transport of water and solutes in the soil under no-steady conditions, by considering the presence of the crop and the degradation of the chemicals in the soil. The model, nominated HIDROSOLO, was developed in the DELPHI 5.0 programming language. To evaluate the model, an assay consisting of 12 plots divided into four treatments with three replicates. The Carbofuran under a granulated

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor

² Professor Adjunto, DS, Instituto de Ciências Agrárias/Campus Regional-UFMG, Montes Claros, MG. Tel.: (38) 3215 1650, eovieira@nca.ufmg.br

³ Professor Titular, Ph.D., Depto. Engenharia Agrícola/UFV, Viçosa, MG. Tel.: (31) 3899 1910, mmauro@ufv.br

⁴ Pesquisador, Ph.D., CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, MG. Tel.: (31) 3779 1057, htprates@cnpmc.embrapa.br

⁵ Professor Adjunto, DS, Depto. Engenharia Agrícola/UFV, Viçosa, MG. Tel.: (31) 3899 1886, atmatos@ufv.br

⁶ Acadêmica em Agronomia da UFMG, Instituto de Ciências Agrárias/Campus Regional-UFMG, Montes Claros, MG. Tel.: (38) 3215 1650

⁷ Mestrando em Engenharia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola/UFV, Viçosa, MG. Tel.: (31) 3899 2715

formula was applied to those plots and incorporated into the soil surface. The treatments consisted of submitting the plots to the application of water depths (18 and 45 mm) with and without the bean crop. The field experiment was carried at a time interval of 75 days over which the soil samples were removed for determination of the moisture profiles and the Carbofuran distribution in the soil. The experimental results were compared to those simulated by HIDROSOLO. The soil water movement simulated by the computational model showed to be compatible with the physical reality of the studied scenery. The concentration of Carbofuran in the soil profile presented high variations among the simulated values and those obtained experimentally, but with a similar behavior concerning to the decay of this chemical over the time.

Palavras-Chave - Transporte de solutos; pesticidas-solo; Carbofuran.

INTRODUÇÃO

Os pesticidas são utilizados na agricultura com o objetivo de prevenir a incidências de pragas e doenças garantindo, assim, a produção potencial das culturas. No entanto, com o aumento de uso destes produtos, aumentaram também as preocupações com problemas de contaminação ambiental (REGITANO, 2000). Atualmente, apesar do grande número de pesquisas nessa área, ainda é difícil avaliar os riscos de contaminação ambiental decorrentes do uso de defensivos agrícolas, devido ao grande número de fatores envolvidos na dinâmica destas substâncias no ambiente. Quando moléculas de um determinado pesticida são aplicadas no ambiente, seja qual for a forma dessa aplicação, o destino final, na maioria dos casos, é o solo no qual podem seguir diferentes rotas, como a sorção e dessorção, transformações, degradação, lixiviação para camadas profundas, absorção pelas raízes das plantas entre outras (CHENG, 1990). No entanto, pode-se ter boa indicação sobre o potencial de contaminação de um pesticida, conhecendo-se os principais fatores que afetam o seu comportamento no solo (VANCLOOSTER, 2000). Com o conhecimento desses fatores aliado à modelagem matemática, obtém-se uma valiosa ferramenta para auxiliar nos estudos do comportamento dessas moléculas no solo, reduzindo o tempo e os recursos financeiros necessários em estudos experimentais. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um modelo computacional para descrever o movimento de água e solutos no solo, considerando processos como o movimento convectivo-dispersivo de solutos, extração de água e soluto pelo sistema radicular das plantas e a degradação do pesticida.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em duas etapas sendo que a primeira constou do desenvolvimento físico-matemático de modelo computacional, capaz de prever o movimento de água e solutos no solo com a presença de culturas e a segunda etapa referiu-se às análises comparativas entre os resultados simulados usando o modelo e aqueles obtidos experimentalmente. O modelo matemático desenvolvido neste trabalho consistiu na resolução, por meio da técnica numérica de diferenças finitas, de equações diferenciais parciais de transporte de água e solutos no solo considerando a extração de água e solutos pelas plantas e a degradação do pesticida no solo. O modelo é unidimensional vertical para todos os processos considerados. A região física modelada compreende a região entre a superfície do solo e uma profundidade finita L , sendo a heterogeneidade do perfil considerada na forma de camadas. Na análise do movimento de água em meio poroso isotérmico, isobárico, unidimensional vertical e em condições não saturadas, foi utilizada a equação de Richards que, incluindo o termo fonte/sumidouro para representar a extração de água pelas plantas, assumiu a forma, (equação 1):

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

em que h é o potencial matricial, $[E(h)]$ a capacidade hídrica específica, $K(h)$ a condutividade hidráulica do solo, z a direção vertical para baixo e R o termo sumidouro. Os valores de condutividade hidráulica em cada compartimento de solo são obtidos tomando-se a média aritmética dos valores de condutividade dos nós vizinhos. Para a modelagem da absorção água pelas plantas foram utilizadas equações desenvolvidas por SELIM e ISKANDAR (1981), que retratam bem, em escala macroscópica, a interação entre planta, solo e clima, apresentada pela equação 2:

$$R = \frac{D_{\text{rad}}(z, t) K(h)}{\int_0^{RD_m} D_{\text{rad}}(z, t) K(h) dz} T_p(t) F(z, t, h) \quad (2)$$

em que D_{rad} é densidade do sistema radicular; RD_m é a profundidade máxima do sistema radicular, T_p taxa de transpiração potencial da cultura e F é a razão de absorção de água no solo. Considerando a isoterma de adsorção linear e um termo para a degradação do produto, o transporte de solutos no perfil do solo pode ser representados pela seguinte equação diferencial:

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} + \rho_g k_d \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \frac{\partial qC}{\partial z} - \Gamma - \Psi \quad (3)$$

em que θ umidade do solo; C concentração do pesticida; ρ_g é a densidade do solo; k_d é o coeficiente de partição; D a dispersividade; t o tempo; Γ é termo fonte/sumidouro de soluto e Ψ é termo de degradação. Semelhantemente à extração de água pelo sistema radicular das culturas, a extração de solutos foi feita por meio da equação de BEESE e WIERENGA (1980), considerando a evapotranspiração real da cultura, a densidade de raízes, a condutividade hidráulica e a concentração do soluto em solução (equação 4):

$$\Gamma = \frac{D_{\text{rad}}(z, t) K(h)}{\int_0^{RD_m} D_{\text{rad}}(z, t) K(h) dz} T_p(t) F(z, t, h) C(z, t) \quad (4)$$

A degradação do pesticida no solo é representada pela cinética de primeira ordem ($\pi = 1$):

$$\Psi = \eta C^\pi = \frac{\text{Ln}2}{t_{1/2}} C(z, t) \quad (5)$$

em que η o coeficiente de degradação e $t_{1/2}$ é a meia vida do pesticida no solo.

O pesticida utilizado para testar o modelo foi o Carbofuran. O experimento montado em campo foi constituído de quatro tratamentos e três repetições cada. Seis parcelas foram cultivadas com a cultura do feijoeiro, a metade foi submetida à precipitação de 45 mm em uma hora e a outra metade com precipitação de 18 mm/h. O Pesticida aplicado foi o Carbofuran correspondendo a 20 μg do ingrediente ativo para cada parcela, espalhados e incorporados na camada superficial do solo (cerca de 1 cm). Imediatamente após a aplicação do pesticida, iniciou-se a irrigação das parcelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelo HIDROSOLO

O modelo computacional para o cálculo do índice de lixiviação e de transporte de pesticidas no solo foi denominado “HIDROSOLO”. O modelo foi desenvolvido em linguagem orientada a objeto utilizando a plataforma Delphi 5.0 sendo estruturado em módulos de modo a permitir flexibilidade em seu uso. Apresenta várias interfaces como mostradas nas figuras 1 a 16.

O módulo ‘Potencial de Risco’, calcula o índice de lixiviação relacionado ao potencial de contaminação de águas subterrâneas.

O módulo ‘Transporte de água e solutos no solo’, simula o movimento de água e o transporte de solutos no perfil do solo.

O HIDROSOLO possui um menu, localizado na parte superior da tela principal, onde é possível acessar todos os cadastros, funções e aplicações do programa, apresentados na forma de: Arquivo, Cadastro, Cenário, Modelos, Dados de entrada, Condições Iniciais e Contorno, Parâmetros da simulação, Calcular, Resultados e Ajuda. As escolhas feitas pelo usuário estão apresentadas de forma resumida num painel situado ao lado esquerdo da tela principal (Figura 1).

O item ‘Cadastro’ possui um padrão de navegação, com uma barra de botões o qual permite a visualização dos dados cadastrados, o que facilita ao usuário a familiarizar-se com o programa. Nesse item, estão armazenadas informações na forma de um banco de dados aberto, dos principais componentes que caracterizarão o cenário a ser simulado. Estes componentes ambientais estão representados pelo Pesticida, Solo, Cultura e Clima. Em todos os formulários de cadastro, os dados serão organizados em uma lista, sendo os dados novos inseridos no final desta lista.

No componente ‘Produto Químico’ é possível armazenar informações referentes às propriedades físicas, químicas e do esquema da estrutura molecular do composto químico identificado pelo nome de seu princípio ativo, grupo químico e classe. As informações necessárias para o preenchimento deste formulário estão apresentadas na Figura 2.

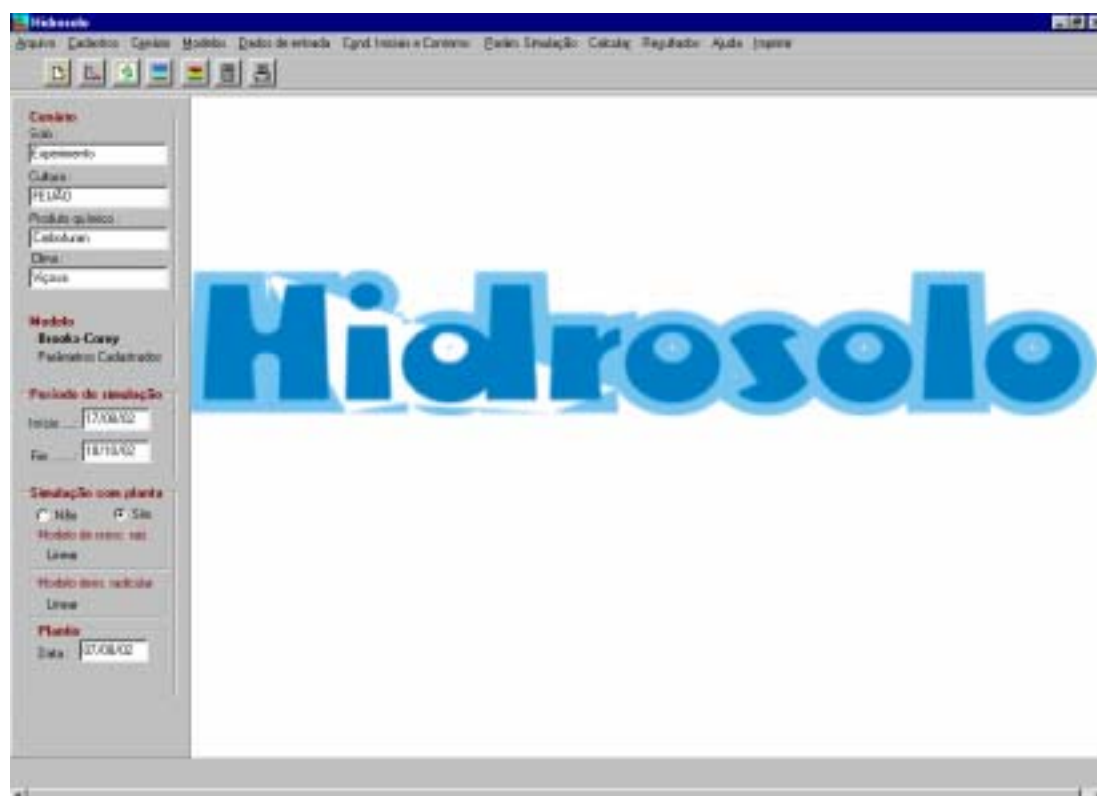


Figura 1 – Tela principal do modelo HIDROSOLO.

Cadastro do pesticida

Nome do princípio ativo: Carbolarim

Grupo Químico: Carbomato

Classe: Inseticida, acaricida, etaricida, moluscocida

Solubilidade (em água a 20 °C): 351 mg/L

Pressão de vapor: 1E-5 Pa

Coefficiente de partição (K_{oc}): 8.84 ml/kg

Meio vida: 75 Dias

Peso molecular: 221 g/mol

Coeff. difusão em água pura: 0.0479 cm²/h

Constante de Henry: 5.2E-5 Atm

Fórmula Química

Informações Adicionais

Fonte: Hamdy et al 1986

Antes Pós Novo Salvar Ajuda Cancelar OK

Figura 2 – Formulário de cadastro de pesticidas.

No componente ‘Solo’, além do nome e do local em que se situa o solo, há uma interface onde são armazenados dados referentes às propriedades físico-hídricas superfície do mesmo (Figura 3), podendo ainda, ser dividido em várias camadas, onde se define a profundidade da mesma e armazena-se os parâmetros físico-hídricos, químicos, textural e de ajuste da curva de retenção de água no solo (Figura 4). Com isso, independente da escolha do usuário, o HIDROSOLO fará todos os cálculos considerando todas as propriedades físico-hídricas cadastradas para todas as camadas. Caso o usuário deseje trabalhar com um solo homogêneo, basta cadastrar apenas uma camada para todo o perfil de interesse.

No componente ‘Planta’ (Figura 5), são armazenados dados que estão disponibilizados para o modelo simular, não só a densidade radicular utilizada nos cálculos de extração de água e solutos no solo, mas também o crescimento da planta como um todo, informações de data provável de colheita da cultura em função da data de plantio. Implementações como estimativa da produção da cultura, dada as condições de manejo de água, fertilizantes e pesticidas, poderão ser feitas posteriormente.

Figura 3 – Formulário de cadastros das propriedades da superfície do solo

Figura 4 – Formulário de cadastros das propriedades físico-hídricas, químicas, textural e de ajuste da curva de retenção.

Figura 5 – Formulário de cadastro de culturas

No cadastro ‘Clima’ (Figura 6), o usuário pode armazenar diariamente informações ou importar dados por meio de arquivo com extensão “.TXT”, desde que o formato seja o padrão INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), porém sem as colunas de direção de vento. Desta forma, o usuário pode simular o transporte de solutos no solo em tempo real ou simular situações passadas ou futuras. Os usuários podem cadastrar vários locais com série histórica de vários anos.

Figura 6 - Formulário de cadastro do clima

O modelo HIDROSOLO permite uma flexibilidade de uso, podendo o usuário, rapidamente, alterar o cenário a ser avaliado. Isso pode ser feito utilizando o módulo ‘Cenário’, onde serão feitas as escolhas dos elementos, os quais compoem o ambiente (Figura 7).



Figura 7 – Escolha do cenário a ser avaliado

Uma vez escolhido os elementos do cenário a ser avaliado, o usuário terá disponibilizado no modelo, de forma simples e rápida, uma série de informações que possibilitarão calcular o transporte de água e solutos no solo, bastando para isso, entrar com as informações adicionais relativas ao local a ser avaliado, cultura (se for feita a opção da presença de culturas), condições iniciais da simulação e as condições de contorno para a água e o soluto.

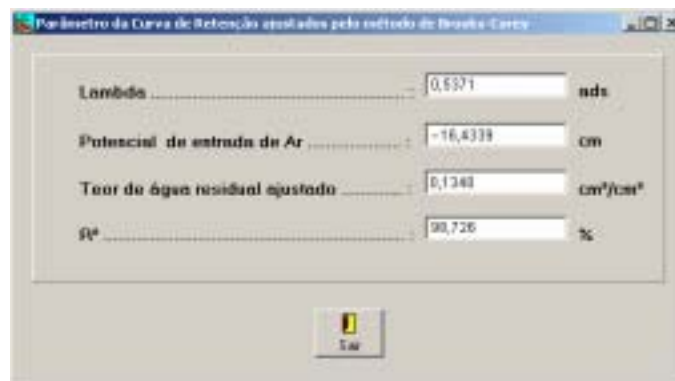


Figura 8 – Tela referentes escolha do modelo para o ajuste dos parâmetros da curva de retenção de água no solo

No HIDROSOLO é possível selecionar entre os modelos de van Genuchten e Brooks-Corey (van GENUCHTEN, 1980) para simular a curva de retenção de água no solo e calcular a condutividade hidráulica e a capacidade hídrica específica. O usuário tem, ainda, a opção de usar os parâmetros da curva de retenção fornecidos no cadastro das camadas do solo ou os parâmetros ajustados pelo modelo (Figura 8).

A Figura 9 apresenta a tela de entrada de dados relacionados com a discretização espacial do perfil do solo, assim como dados específicos do local onde se encontra o solo analisado, como coordenadas geográficas, altitude, declividade, comprimento de rampa e outros dados que possibilitarão, numa etapa posterior, calcular o escoamento superficial e sua implicações no transporte de solutos na superfície do mesmo.

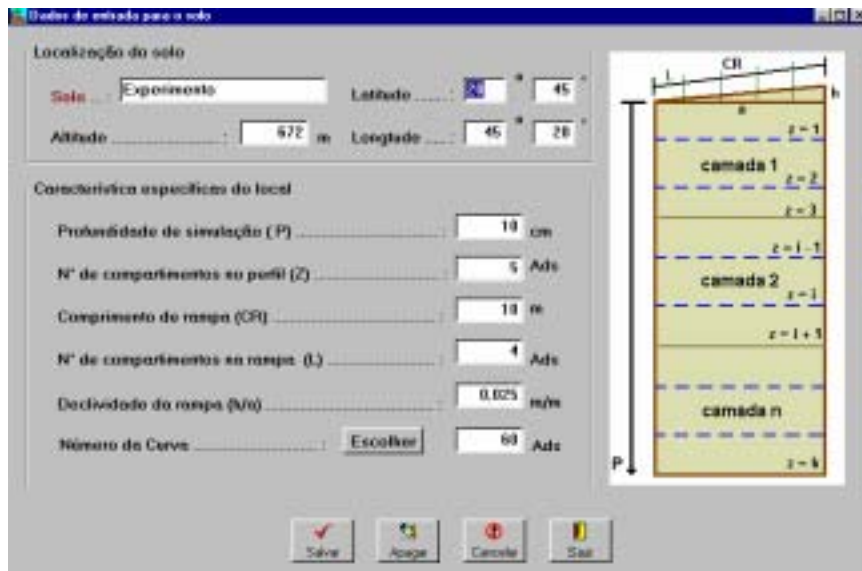


Figura 9 – Tela de entrada de informações específicas do solo analisado

Preenchido o formulário com as informações específicas do solo, o usuário pode definir se a simulação será feita com ou sem a presença de cultura. Uma vez escolhida a opção ‘com cultura’, o usuário terá acesso a um formulário (Figura 10) onde são definidos os dados referentes ao período de desenvolvimento da cultura, profundidade de plantio, escolha do modelo de cálculo de crescimento e da densidade radicular. Os modelos de crescimento disponíveis são o linear e o exponencial, e os modelos de densidade radicular são o linear e o sigmoidal.



Figura 10 – Tela de entrada de informações específicas da cultura

No formulário de manejo de água e pesticida (Figura 11) são fornecidas informações referentes à entrada de água e soluto no sistema analisado. Desta forma, as alterações das condições de contorno são totalmente flexibilizadas e dinâmicas, uma vez que são fornecidos dados referentes

ao início e fim de um evento de chuva ou irrigação e início e fim de uma aplicação de pesticida, seja via direta ao solo ou por meio de uma quimigação.



Figura 11 – Tela de entrada de informações sobre o manejo de água e de aplicação de pesticidas.

Na Figura 12 está apresentada a tela de entrada das condições iniciais de umidade e da concentração do pesticida analisado. O número de nós de discretização do perfil apresentado por esse formulário é definido na entrada de dados específico do solo (Figura 9) no momento em que o usuário define a profundidade do perfil a ser analisado e o número de compartimentos a ser dividido esse perfil.



Figura 12 – Tela de entrada das condições iniciais de água e de pesticida no perfil do solo

As condições de contorno são determinadas pelo usuário por meio das opções: Tipo potencial constante (Dirichlet) ou fluxo (Neuman) para a água (Figura 13) e Tipo concentração constante (Dirichlet) ou fluxo (Cauchy) para o soluto (Figura 14). Uma vez escolhida as condições de contorno, o usuário poderá fornecer os valores para os mesmos.



Figura 13 – Tela de escolha das condições de contorno referentes a água

Essa flexibilidade de escolha das condições de contorno permite ao usuário simular diversas situações, como por exemplo, o processo de infiltração de água no solo seja em um teste de infiltrômetro ou um tabuleiro de arroz ou mesmo simulação de um permeâmetro, que possuem uma carga hidráulica constante na superfície (potencial constante na superfície) e fluxo na base. Já na simulação de uma quimigação por aspersão convencional, deverá ser selecionado a condição tipo fluxo na superfície e na base, tanto para água quanto para o pesticida. Outra situação possível de ser simulada é a existência de lençol freático numa determinada profundidade, o qual deverá ser selecionada a condição do tipo potencial constante nessa profundidade, assumindo o valor zero.



Figura 14 – Tela de escolha das condições de contorno referentes ao soluto

No formulário dos parâmetros de simulação (Figura 15) serão definidos a data, a hora do início e fim da simulação, a discretização do período simulado, o número máximo de interações e a precisão desejada.

O modelo HIDROSOLO possui um sistema de indexação da data e hora do dia, o que permite monitorar todas as alterações de condições de contorno de superfície, seja na aplicação de água ou do pesticida.

Na Figura 16 estão apresentados os resultados da simulação para o cenário avaliado na forma de gráficos e tabelas, simultaneamente. O usuário terá, ainda, a opção de escolha dos resultados a serem apresentados, assim como um relatório final contendo um resumo das opções feitas na montagem do cenário e os resultados da simulação.

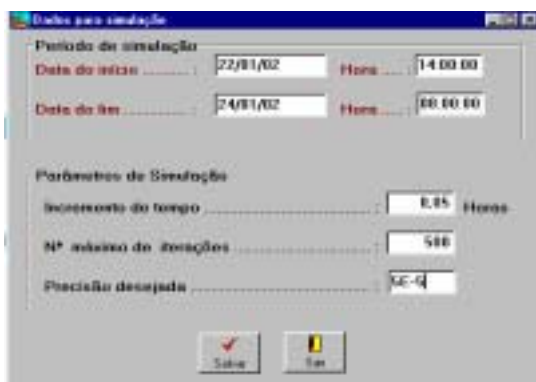


Figura 15 – Tela de definição dos parâmetros de simulação

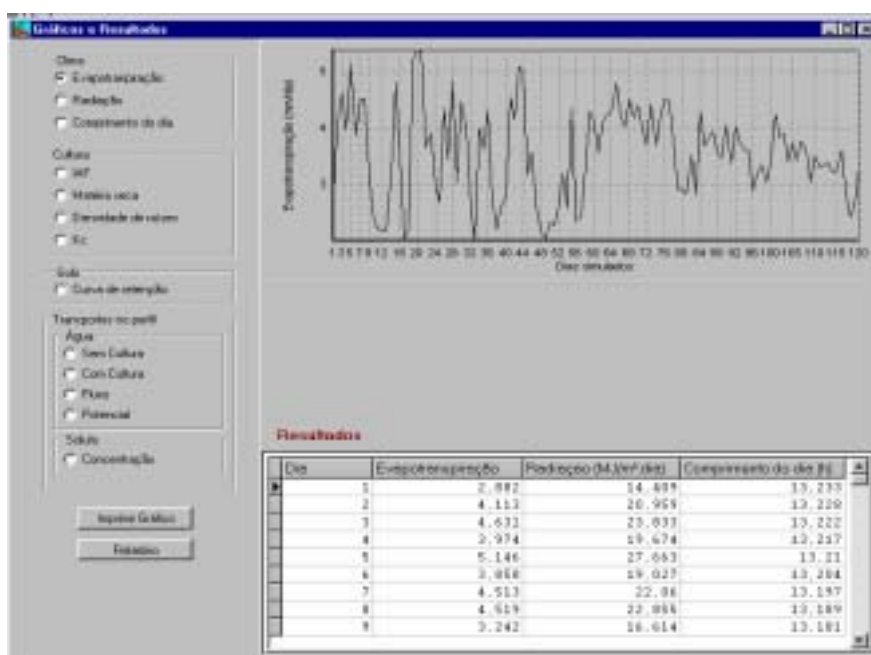


Figura 16 – Tela de apresentação dos resultados finais da simulação

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os valores da raiz do quadrado médio do erro (RMSE) entre os perfis de umidade observados e os simulados para intervalos de tempo entre amostragens de solo, utilizando as lâminas de 18 e 45 mm, respectivamente, para as parcelas com e sem cultura.

Os dados utilizados na obtenção do RMSE foram os valores observados e os valores interpolados da simulação para a mesma profundidade

Em termos de movimentação de água, analisando os valores dos RMSE (Tabelas 1 e 2), o modelo apresentou uma oscilação do erro quando se compara os valores obtidos com a aplicação das lâminas de 18 e 45 mm. Entretanto, os valores simulados aproximaram, de forma bastante satisfatória, dos valores observados. Esse mesmo comportamento com relação aos valores do RMSE é verificado quando se compara as simulações com e sem cultura. As simulações para as parcelas com cultura e lâmina de 18 mm apresentaram redução do erro comparadas às simulações para as parcelas sem cultura. A simulação da extração de água pela cultura, ocorrida principalmente nas camadas superficiais, onde o erro era maior, fez com que houvesse uma redução desse erro.

Tabela 1 – Raiz do quadrado do erro médio (RMSE) entre os valores observados e simulados, para o perfil de umidade usando, no HIDROSOLO, o modelo de Brooks-Corey, nas parcelas sem cultura

Início da simulação	Fim da simulação	RMSE	
		18 mm	45 mm
07/08/2002 - 9:00 h	09/08/2002 – 9:00 h	0,0255	0,0123
07/08/2002 - 9:00 h	16/08/2002 – 9:00 h	0,0144	0,0165
07/08/2002 - 9:00 h	23/08/2002 – 15:30 h	0,0126	0,0223
16/08/2002 - 9:00 h	11/09/2002 – 9:30 h	0,0328	0,0301
16/08/2002 - 9:00 h	16/10/2002 – 9:30 h	0,0328	0,0371

Tabela 2 – Raiz do quadrado do erro médio (RMSE) entre os valores observados e simulados, para o perfil de umidade usando, no HIDROSOLO, o modelo de Brooks-Corey, nas parcelas com cultura

Início da simulação	Fim da simulação	RMSE	
		18 mm	45 mm
07/08/2002 - 9:00 h	16/08/2002 – 9:00 h	0,0115	0,0189
07/08/2002 - 9:00 h	23/08/2002 – 15:30 h	0,0155	0,0219
16/08/2002 - 9:00 h	11/09/2002 – 9:30 h	0,0246	0,0376
16/08/2002 - 9:00 h	16/10/2002 – 9:30 h	0,0219	0,0261

Nas Figuras 17 e 18 estão apresentados os perfis de umidade estimados pelo HIDROSOLO e os obtidos experimentalmente, no qual o desempenho do modelo é avaliado pela inserção dos intervalos de confiança em nível de 90 % de probabilidade, conforme sugerido por DOU e FOX (1995). A predição do modelo é considerada precisa quando os valores simulados estiverem dentro do intervalo de confiança dos valores experimentais. O desempenho do modelo para o transporte do Carbofuran no solo foi apresentado, semelhantemente ao movimento de água, com a inserção do

intervalo de confiança nos pontos observados. Percebe-se uma maior variação entre os valores simulados e observados, principalmente na camada superior do solo para tratamentos sem cultura. Isso se deve a maior variação das rotas dos pesticidas nessa camada do solo.

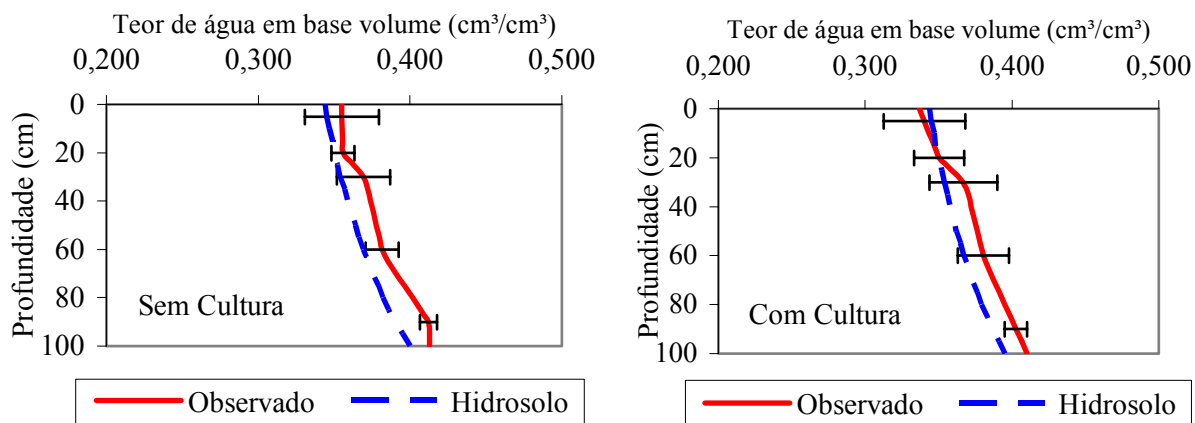


Figura 17 - Perfis de umidade do solo nas parcelas com irrigação de 18 mm

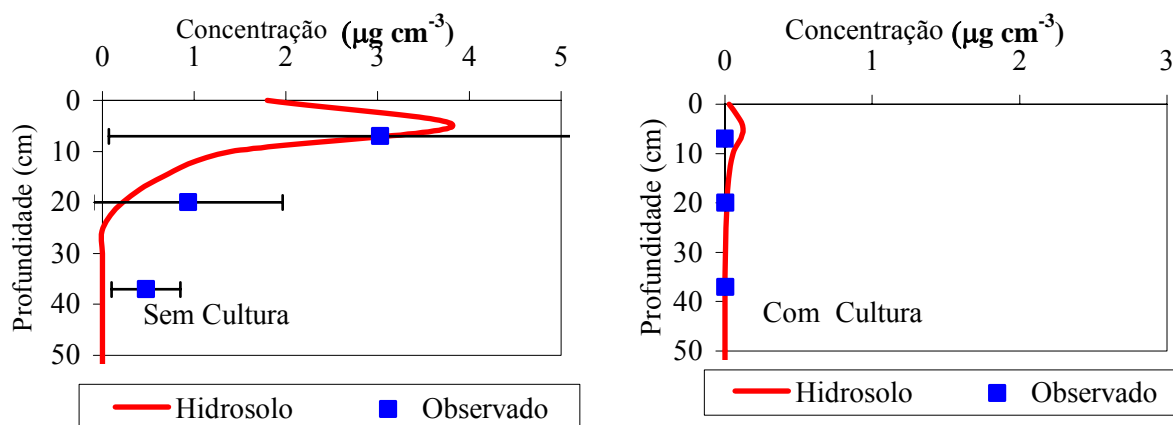


Figura 18 – Perfil de distribuição do Carbofuran no solo nas parcelas sem e com cultura e 45 mm de irrigação

CONCLUSÕES

O modelo HIDROSOLO simulou de forma satisfatória o movimento de água e solutos no solo. A representação do processo de extração de água pelo sistema radicular da cultura, utilizado pelo HIDROSOLO, proporcionou melhores resultados quando comparado com os valores simulados sem a presença da mesma. A utilização do processo de extração do pesticida pelo sistema radicular da cultura proporcionou melhores resultados, quando o modelo considerou a cultura. O modelo HIDROSOLO apresentou flexibilidade na escolha de diferentes cenários, mostrando ser uma ferramenta útil em estudos estratégicos de manejo e prevenção de contaminação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BEESE, F; WIERENGA, P. J. Solute transport through soil with adsorption and root water uptake computed with a transient and a constant-flux model. **Soil Sci.**, Baltimore, v.129, n.4, p.245-252, apr. 1980.
- [2] CHENG, H.H. Pesticides in the soil environment-an overview. In: CHENG, H. H. **Pesticides in the soil environment: Processes, impacts and modeling**. Madison: Soil Sci. Soc. of America. 1990. p.1-5.
- [3] DOU, Z.; FOX, R.H. Using NCSWAP to simulate seasonal nitrogen dynamics in soil and corn. **Plant and Soil**, Netherlands, v.177, p.235-247, 1995.
- [4] REGITANO, J.B.; ALLEONI, L.R.F.; VIDAL-TORRADO, P.; CASAGRANDE, J.C.; TORNISIELO, V. L. Imazaquin sorption in highly weathered tropical soils. **J. of Envir. Quality**, v.29, p.894-900, 2000.
- [5] SELIM, H.M.; ISKANDAR, I.K. Modeling nitrogen transport and transformations in soil: 1. Theoretical considerations. **Soil Science**, Baltimore, v.131, n.4, p.233-241, Apr. 1981.
- [6] Van GENUCHTEN, M. Th., A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.44, p.892-898, 1980.
- [7] VANCLOOSTER, B.; BOESTEN, J. J. T. I.; TREVISAN, M.; BROWN, C. D.; CAPRI, E.; EKLO, O. M.; GOTTESBÜREN, B.; GOUY, V.; van der LINDEN, A. M. A. A European test of pesticide-leaching models: methodology and major recommendations. **Agricultural Water Management**. V.44, p. 1-19, 2000.