



DESEMPENHO DO MODELO HYDRUS - 1D UTILIZANDO DIFERENTES FORMAS DE CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

PERFORMANCE OF THE MODEL HYDRUS – 1D USING DIFFERENT FORMS OF HYDRODYNAMIC CHARACTERIZATION

Allana Siqueira Dias¹; Willames de Albuquerque Soares¹

Artigo recebido em: 05/09/2018 e aceito para publicação em: 17/06/2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i3.12309>

Resumo: A utilização da modelagem matemática para a simulação dos eventos hidrológicos é de fundamental importância no planejamento do uso e conservação do solo, para agricultura e pecuária, na meteorologia e na gestão dos recursos hídricos, sendo uma ferramenta conveniente para a avaliação de impactos no meio ambiente devido as atividades humanas. O uso agropecuário de alguns tipos de solo (como é o caso do Neossolo Flúvico) depende de suas condições de drenagem e se são necessárias correções desse fator ou não. Condições estas, que podem ser caracterizadas com o uso de modelos computacionais, como o *Hydrus – 1D*. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de quatro formas de caracterização hidrodinâmica do solo oferecidas pelo software *Hydrus – 1D* por meio das curvas de retenção de água do solo e da condutividade hidráulica. Os valores dos parâmetros hidráulicos do solo, bem como da condutividade hidráulica, foram determinados em ensaio e para analisar o desempenho dos modelos foram utilizados parâmetros estatísticos. O modelo que apresentou melhor desempenho nas simulações foi o que utilizou as informações da composição granulométrica do solo como dado de entrada e o modelo com o pior desempenho foi o que utilizou as informações da composição granulométrica e da densidade do material estudado, diferentemente do esperado, fato atribuído a alta sensibilidade relativa, no modelo *Hydrus-1D*, no cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos “n” e “ θ_s ”.

Palavras-chave: Fluxo de água. Umidade saturada. Modelagem ambiental.

Abstract: The use of mathematical modeling to simulate hydrological events is important for land use and soil conservation planning for agriculture and livestock, in meteorology, in water resources management as it becomes a convenient tool to evaluate environmental impacts due to human activities. The agricultural use of certain types of soil (like the Neossolo Flúvico) depends on its drainage conditions and whether corrections of this factor are necessary or not. These conditions can be characterized by computational models as the *Hydrus – 1D*. So, this paper intended to evaluate the performance of the four forms of hydrodynamic characterization of the soil offered by the software *Hydrus 1-D* by means of the water retention curves and the hydraulic conductivity. The hydraulic parameters of the soil, as well as the hydraulic conductivity were determined in laboratory tests, and statistic parameters were used to analyze the performance of the models. The model that presented the best performance during the simulations used information about the soil granulometric composition as input data and the model of worst performance used the soil granulometric composition and the density of the studied material, unlike the expectations, due to the high relative sensibility, in the model *Hydrus-1D*, when calculating the hydrodynamic parameters “n” and “ θ_s ”.

Keywords: Water flow. Saturated soil water content. Environmental modeling.

¹ Universidade de Pernambuco (UPE), Recife, PE. E-mail: (allanadias123@gmail.com, was@poli.br)

1 INTRODUÇÃO

As propriedades físicas e hidrodinâmicas do solo influenciam nas ocorrências hidrológicas como a infiltração, a erosão e a distribuição de umidade, condicionando o uso do terreno ao determinar a quantidade de água disponível para absorção das raízes das plantas, a intensidade do escoamento superficial e do abastecimento de água dos reservatórios subterrâneos (ZONTA *et al.*, 2012; SILVA JR *et al.*, 2013).

Neste sentido, a utilização da modelagem matemática para a simulação dos eventos hidrológicos é de fundamental importância no planejamento de uso e conservação do solo para agricultura e pecuária, na meteorologia (auxiliando na prevenção de transtornos como enchentes, deslizamentos de terra e inundações), na gestão dos recursos hídricos (voltada para o abastecimento de água e conservação de aquíferos), e torna-se uma ferramenta conveniente para a avaliação de impactos no meio ambiente (na qualidade e características de corpos hídricos, por exemplo) devido a atividades humanas.

Estes modelos auxiliam na compreensão da dinâmica de processos naturais complexos e permitem superar obstáculos gerados pela carência de dados coletados em campo (procedimentos, em geral, de alto custo), uma vez que é possível realizar estimativas eficientes para localidades com deficiência de informações baseando-se em áreas próximas com dados consistentes que permitam a calibração do modelo (ZONTA *et al.*, 2012; CECÍLIO *et al.*, 2013; LUGON JR; COSTA; RODRIGUES, 2016).

O *Hydrus-1D* é um modelo criado para simular o movimento unidimensional de água, calor e solutos em diferentes perfis de solo, buscando solução numérica para a Equação de Richards, em condição de fluxo de água de saturação variável. As simulações são realizadas a partir de variáveis meteorológicas e características físicas do solo, com a possibilidade de estabelecer diversas condições de contorno e dispondo de várias formas de caracterizá-lo hidrodinamicamente. O modelo *Hydrus-1D* está associado ao código *Rosetta DLL (Dynamically Linked Library)*, que implementa funções hidropedológicas para calcular os parâmetros das curvas de retenção de água no solo e da condutividade hidráulica, possibilitando quatro formas de entrada dos parâmetros hidrodinâmicos.

No Brasil, poucos estudos são encontradas a respeito do uso do modelo em Neossolos Flúvicos (KATO *et al.*, 2010; FELTRIN; PAIVA; PAIVA, 2013), que são

solos minerais não hidromórficos (não se encontram saturados em condições naturais) formados por sobreposição de camadas aluviais recentes sem relações pedogênicas entre si. Atualmente esses solos são utilizados na agricultura, e também servem ao setor da construção civil como depósitos naturais de matéria prima, nesse caso, areia e argila para a indústria cerâmica. Devido à grande heterogeneidade nas suas características, eles podem ser naturalmente agricultáveis ou não (necessitam de correções de drenagem e acidez em alguns casos) e quando apresentam granulometria muito fina, dificultam o manuseio com auxílio mecânico. Já quando se apresentam em textura média possuem boa condição de drenagem e potencial para uso agropecuário. Condições estas, que podem ser caracterizadas com o uso de modelos numéricos computacionais, como o *Hydrus – 1D* (SILVA; OLIVEIRA NETO, 2013).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho das quatro formas de caracterização hidrodinâmica oferecidas pelo software *Hydrus – 1D* na simulação do fluxo de água em um perfil de Neossolo Flúvico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A simulação da dinâmica da água no solo foi realizada para um perfil do tipo Neossolo Flúvico, de classificação granulométrica franco arenosa, com 0,20 m de profundidade que teve seu comportamento analisado durante três horas. As curvas de retenção de água no solo e de condutividade hidráulica empregadas foram ajustadas de acordo com o modelo proposto por Van Genuchten (1980), com a hipótese de Mualem, e são expressadas, respectivamente, pelas Equações 1 e 2:

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

$$k(h) = k_s S_e^l \left[1 - (1 - S_e^{1/(1 - \frac{1}{n})})^{1 - \frac{1}{n}} \right]^2 \quad (2)$$

Onde,

$\theta(h)$: umidade volumétrica [m^3/m^3];

θ_r : a umidade volumétrica residual [m^3/m^3];

θ_s : a umidade volumétrica saturada [m^3/m^3];

α : tensão de entrada de água no solo [1/m];

n : medida da variação de tamanho dos poros do solo [adimensional];

h : potencial mátrico do solo [m];

$k(h)$: condutividade hidráulica não saturada do solo, parâmetro dependente de h [m/h];

k_s : condutividade hidráulica saturada do solo [m/h];

S_e : umidade efetiva do solo, $S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ [adimensional];

l : tortuosidade do meio (foi adotado o valor de 0.5) [adimensional].

As condições de contorno empregadas nas simulações com o *Hydrus* estão apresentadas, a seguir, na Tabela 1:

Tabela 1 – Condições de contorno empregadas no modelo *Hydrus*

Condições de contorno		Para todos os casos (CS,GR,GD e VM)
Geometria	Número de materiais	1
	Número de camadas para o balanço de massa	1
	Profundidade de perfil de solo	0,20 m
	Inicial	0
Tempo	Final	10800 segundos
	Intervalo de tempo inicial	1 segundo
	Intervalo de tempo mínimo	1 segundo
	Intervalo de tempo máximo	60 segundos
Modelo Hidráulico		Porosidade simples de Van Genuchten-Mualem
Condições de contorno	Superior	Pressão constante
	Inferior	Livre drenagem
	Inicial	Em pressão

Quatro simulações foram realizadas utilizando as possibilidades disponíveis no *Hydrus*. Nas três primeiras, os parâmetros hidrodinâmicos foram determinados pelo código *Rosetta*, sendo fornecidos: i) a classe textural do solo (simulação 1), ii) os percentuais de areia, silte e argila (simulação 2), iii) os percentuais de areia, silte e argila mais a densidade do solo (simulação 3). Já na quarta simulação, os parâmetros hidrodinâmicos obtidos experimentalmente (θ_s , θ_r , α , n e k_s) foram fornecidos diretamente no modelo. Os procedimentos encontram-se resumidos, na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo das formas de determinação das propriedades hidrodinâmicas do solo utilizando o modelo *Hydrus - 1D*.

Simulação	Caracterização hidrodinâmica	Dados Informados
1	Classificação do solo (CS)	Franco arenoso
2	Granulometria (GR)	Frações de areia, silte e argila.
3	Granulometria + densidade do solo (GD)	frações de areia, silte e argila e densidade do solo
4	Valores medidos (VM)	$\theta_s, \theta_r, \alpha, n$ e k_s

Fonte: O autor

A granulometria do solo foi caracterizada em ensaio realizado utilizando o método do densímetro combinado com o peneiramento do solo **NBR 7181 (ABNT, 2016)**. As porcentagens obtidas foram 12,64% de areia, 45,30% de argila e 42,06% de silte. A densidade do solo foi determinada em 1,435 g/cm³, utilizando o coletor de Uhland.

Os valores dos parâmetros hidráulicos do solo ($\theta_s = 0,415 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, $\theta_r = 0,0003 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, $\alpha = 1,400 \text{ m}^{-1}$, $n = 1,423$ e $k_s = 0,150 \cdot 10^{-5} \text{ mh}^{-1}$) foram determinados a partir dos valores de umidade obtidos em ensaio com a câmara de pressão de Richards (TEIXEIRA et al., 2017) sendo utilizadas as pressões de 0, 10, 30, 60, 100, 300, 500, 1000 e 1500 kPa. A condutividade hidráulica saturada foi determinada em ensaio de infiltração em infiltrômetro de anel simples cravado a 1cm de profundidade, em que são cronometrados os tempos de infiltração total de um volume de água constante no interior do anel até que seja atingido o estado saturado do solo, determinando assim a vazão da água no solo (OLIVEIRA & SOARES, 2017).

Para analisar o desempenho dos resultados, os valores obtidos foram comparados aos retornados pelo método dos valores medidos (VM), adotados como situação real. Para a análise foram utilizados os seguintes parâmetros estatísticos: o erro quadrático médio (EQM), a razão dos desvios (RD), a eficiência da modelagem (EM), e o coeficiente de massa residual (CMR), expressos respectivamente pelas equações:

$$EQM = \left[\frac{\sum(E_i - M_i)^2}{N} \right]^{1/2} \cdot \frac{100}{\bar{M}} \quad (3)$$

$$RD = \frac{\sum(M_i - \bar{M})^2}{\sum(E_i - \bar{M})^2} \quad (4)$$

$$EM = \frac{\sum(M_i - \bar{M})^2 - \sum(E_i - M_i)^2}{\sum(M_i - \bar{M})^2} \quad (5)$$

$$CMR = \frac{\sum M_i - \sum E_i}{\sum M_i} \quad (6)$$

Sendo E_i os dados estimados, M_i os dados medidos, \bar{M} a média dos dados medidos e N o número de observações (GREEN; LOAGUE, 1991; ANTONINO et al., 2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros hidrodinâmicos gerados pelo código *Rosetta* (CS, GR e GD) e medidos experimentalmente (VM) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros hidrodinâmicos determinados a partir da classe do solo (CS), da granulometria (GR), da granulometria mais a densidade do solo (GD) e obtidos experimentalmente (VM)

Casos de modelagem	θ_r $m^3 \cdot m^{-3}$	θ_s $m^3 \cdot m^{-3}$	α m^{-1}	n --	K_s $10^{-5} m \cdot h^{-1}$
CS	0,057	0,410	12,400	2,280	4,053
GR	0,098	0,487	1,300	1,358	0,175
GD	0,106	0,593	1,800	1,347	0,965
VM	0,000	0,415	1,400	1,423	0,150

θ_r – Umidade volumétrica residual; θ_s – Umidade volumétrica saturada; α – Tensão de entrada de água no solo; n – Medida de variação do tamanho dos poros do solo; K_s – Condutividade hidráulica saturada.

Observa-se que em todas as estimativas a θ_r foi superestimada, sendo a metodologia GD (granulometria + densidade) a que apresentou o valor ($0,106 m^3 \cdot m^{-3}$) mais distantes do determinado experimentalmente ($0,000 m^3 \cdot cm^{-3}$). O valor da θ_s foi otimamente estimado pela metodologia CS (classificação do solo), com um erro percentual de 1,2% do valor determinado experimentalmente. A metodologia GR (granulometria) conseguiu um valor distante do determinado experimentalmente, com um erro percentual de cerca de 17%. A estimativa menos eficiente da umidade residual resultou da metodologia GD, que superestimou em cerca de 43% em rela-

ção aos valores medidos, de encontro a descrição do *Rosetta* realizada por United States Department of agriculture (2018), que afirma que quanto mais dados de entrada são fornecidos, mais precisa é a previsão do modelo. Provavelmente o processamento do código se dá por análises de redes neurais que possuem poucas fontes de dados referentes a solos brasileiros e que, portanto, pode resultar em erros.

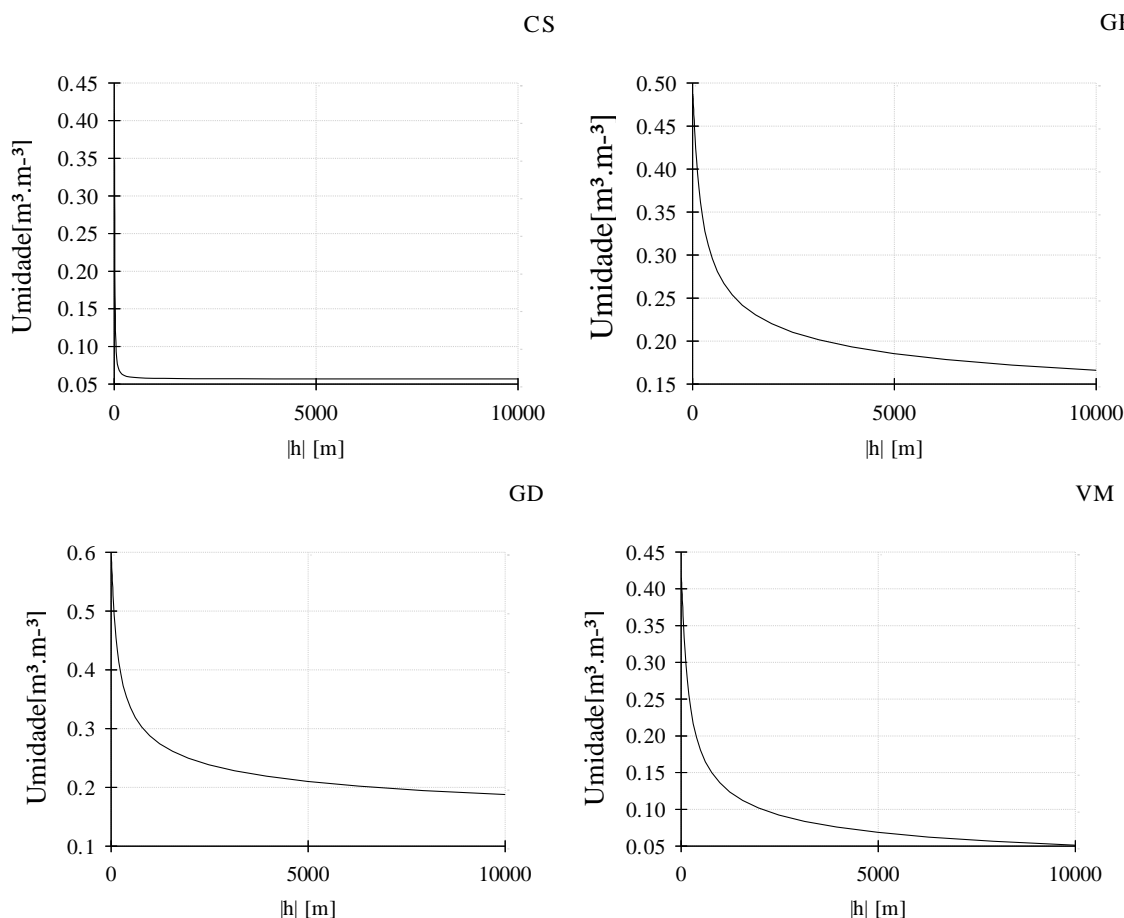
A melhor estimativa para a K_s e para os parâmetros α e n foi obtida com a metodologia GR, que apresentou superestimativas em 16,7%, 7,1% e 4,6%, respectivamente. Em segundo lugar ficou a metodologia GD com superestimativas correspondentes a 543%, 29% e 5,3% e, em último, ficou a metodologia CS, que apresentou erros percentuais de 2602%, 786% e 60%.

Vale ressaltar que embora os maiores erros percentuais sejam relativos a K_s , CHAVES (2009), ao analisar a sensibilidade relativa média (SRM) dos parâmetros calculados pelo modelo *Hydrus-1D*, concluiu que o n é o parâmetro de maior influência nos resultados da modelagem (SRM = 2,79), seguido pela θ_s com um SRM de 1,01.

As curvas de retenção e condutividade hidráulica que estão nas Figuras 1a e 1b esclarecem melhor o comportamento do fluxo de água caracterizado pelos parâmetros estatísticos (Tabela 3) e a representatividade dos erros percentuais no resultado final da simulação.

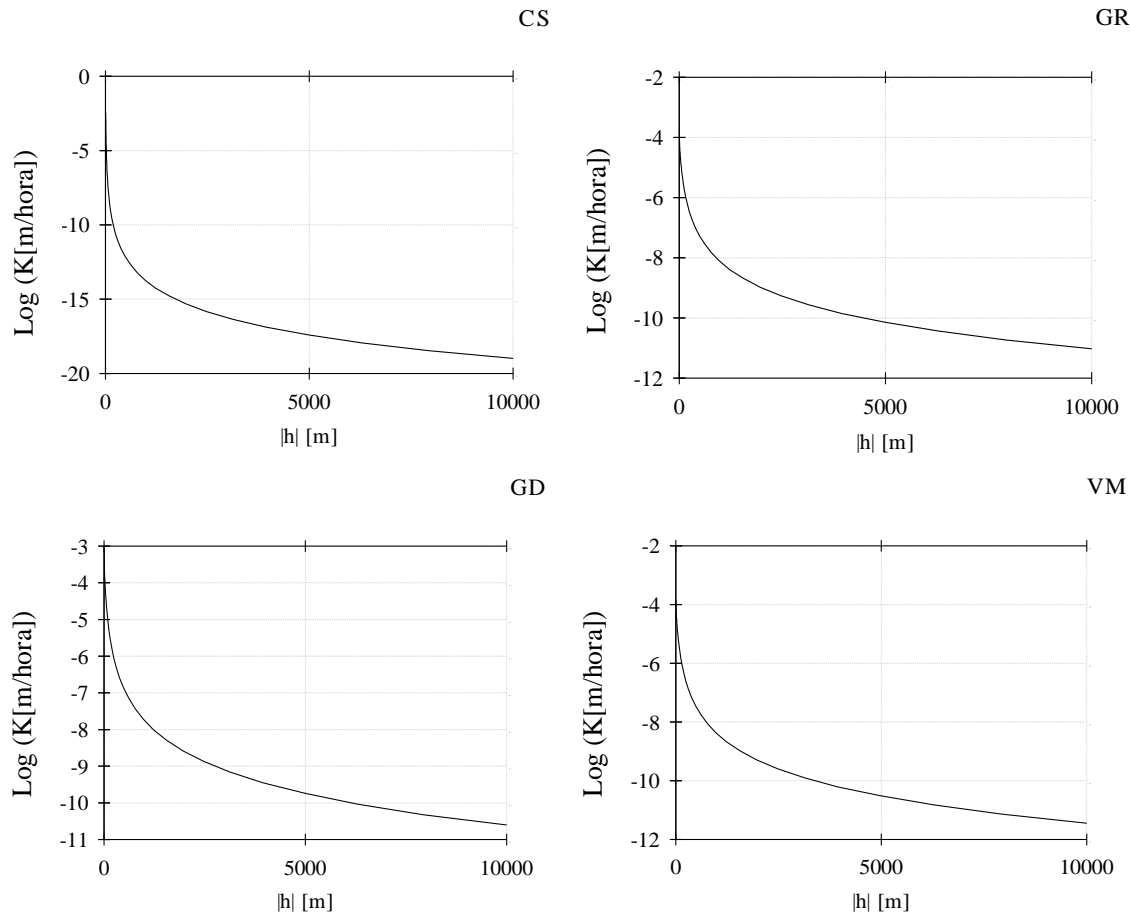
De acordo com a Equação 1, a umidade volumétrica $\theta(h)$ depende dos parâmetros θ_r , θ_s , α e n e na Figura 1a observa-se claramente que o comportamento da curva CS é o que mais difere do real (VM) evidenciando o impacto dos erros percentuais identificados nas estimativas dos parâmetros α (786%) e n (60%), onde CS foi a metodologia com pior desempenho. Observa-se ainda a semelhança entre o comportamento das curvas GR e VM com valores de umidade máxima e mínima próximos se comparados aos valores encontrados em GD.

Figura 1a - Curvas de retenção hidráulica geradas com o uso das metodologias CS, GR, GD e VM



De acordo com a Equação 2, a condutividade hidráulica $K(h)$ depende dos parâmetros θ_r , θ_s , K_s , α e n e na Figura 1b observa-se que como GR foi a metodologia que melhor estimou K_s , α e n (erros de 16,7%, 7,1% e 4,6%, respectivamente), conseqüentemente foi a curva que apresentou o melhor comportamento com relação a VM, da mesma forma que CS apresentou o pior comportamento (erros de 2602% para K_s , 786% para α e 60% para n). Os resultados das simulações no perfil de neossolo flúvico com 0,20 m de profundidade obtidos para a umidade volumétrica em função do tempo, utilizando os quatro tipos de modelagem possibilitados pelo programa, encontram-se na Figura 2. Observa-se que a metodologia GR apresentou o melhor desempenho, em relação aos VM, em todas as profundidades observadas.

Figura 1b - Curvas de condutividade hidráulica geradas com o uso das metodologias CS, GR, GD e VM

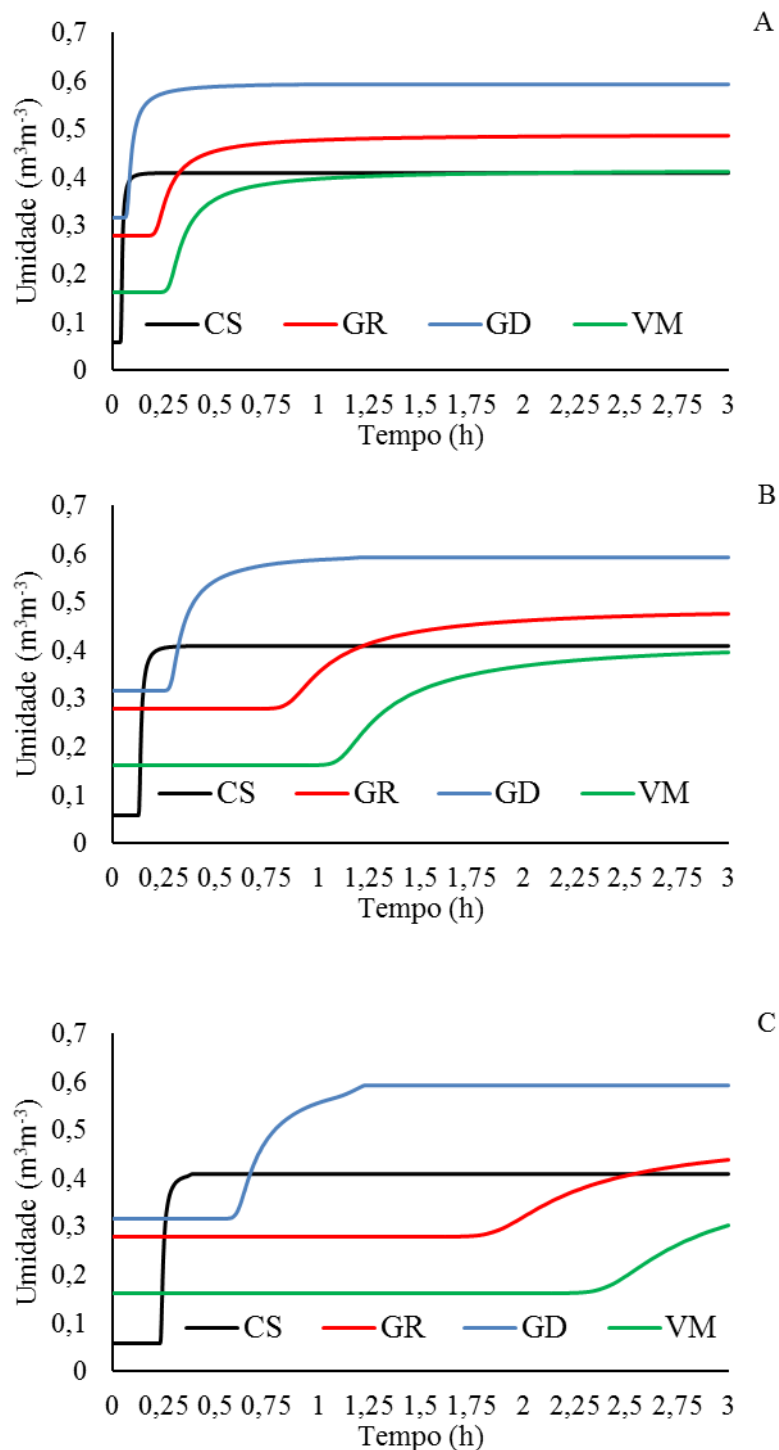


A 0,05 m de profundidade, as metodologias CS e GD apresentaram comportamento semelhante entre si, com valores de umidade volumétrica constantes e rapidamente apresentam um crescimento acentuado, depois passam a apresentar valores constantes até o final da modelagem. Observa-se que, a partir do momento em que o teor de umidade começa a crescer, enquanto na curva GD existe um pequeno intervalo de tempo para que a curva atinja a umidade de saturação, na curva CS isso não acontece, o crescimento se dá verticalmente, implicando que o solo passa da umidade natural a umidade de saturação instantaneamente, o que se distancia da realidade. As curvas geradas pelas metodologias GR e VM apresentam umidade volumétrica constante nas primeiras 0,25 horas das simulações (aproximadamente 0,3 e 0,2 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, respectivamente) e, em seguida, um aumento nesse valor, observado entre as primeiras 0,25 e 0,75 horas e a partir daí atingem a umidade de satu-

ração tornando-se constantes com valores próximos de 0,45 e 0,40 $m^3 \cdot m^{-3}$, respectivamente (0,487 e 0,415 de acordo com a tabela 3). Embora o comportamento de CS em relação ao VM seja consideravelmente diferente (devido aos erros excessivos no cálculo dos parâmetros α (786%) e n (60%), já mencionados) por volta de 1,5 horas da simulação as duas curvas praticamente se confundem, apresentando valor de umidade volumétrica constante próximo de 0,4 $m^3 \cdot m^{-3}$, corroborando com os valores já apresentados na tabela 3 (CS=0,410 e VM=0,415 $m^3 \cdot m^{-3}$).

Na simulação a 0,10 m de profundidade, a curva que apresentou melhor desempenho em relação aos VM, foi aquela que utilizou apenas a GR. As metodologias GR e VM apresentaram umidade volumétrica constante (perto de 0,3 e 0,2 $m^3 m^{-3}$, respectivamente) até cerca de 0,75 horas para GR e 1 hora para VM e têm um crescimento suave até atingiram a umidade de saturação (θ_s) (por volta de 2,75 horas) que é de 0,487 $m^3 \cdot m^{-3}$ para a curva GR e 0,415 $m^3 m^{-3}$ para a curva VM. Nessa profundidade, as curvas CS e GD já não apresentam comportamento tão semelhante entre si como aos 0,05 m. Por volta de 2,75 horas, as curvas VM e CS atingem sua umidade de saturação com valores muito próximos (0,415 e 0,410 $m^3 \cdot m^{-3}$, respectivamente). A alteração do comportamento das curvas com o aumento da profundidade ilustrada nos gráficos, evidencia que a velocidade de infiltração da água diminui com o aumento da profundidade, fazendo com que se alcance a umidade de saturação (quando a curva se torna uma reta constante) de forma mais lenta.

Figura 2 - Umidade a 0,05 m (A), 0,10 m (B) e 0,15 m de profundidade, em um perfil de 0,20 m de Neossolo Flúvico, utilizando a caracterização hidrodinâmica a partir da classe do solo (CS), da granulometria (GR), da granulometria mais a densidade do solo (GD) e dos valores medidos (VM).



Fonte: O autor

Aos 0,15 m de profundidade, observa-se um comportamento semelhante entre as curvas GR e VM, onde VM apresenta valor constante por volta de $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ até próximo de 2,75 horas e GR apresenta constância próximo de $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ até

por volta de 1,75 horas e, a partir daí, começam a crescer suavemente. As curvas CS e GD apresentam, entre si, comportamento ainda menos semelhante que aos 0,10 m de profundidade. Com isso, é visível que na simulação do fluxo de água como uso das classes texturais de solo oferecidas pelo *Rosetta*, para todas as profundidades estudadas, a curva apresentou praticamente o mesmo comportamento, diferindo apenas no intervalo de tempo que leva para atingir a umidade de saturação. Em contrapartida, com o uso dos outros métodos é visível a mudança expressiva no comportamento da variação de umidade

A Tabela 4 mostra os valores dos parâmetros estatísticos calculados, comparando o resultado das simulações obtidas a partir das metodologias CS, GR e GD, aos valores simulados a partir de VM. As metodologias CS e GR apresentaram os melhores desempenhos, uma vez que ambos obtiveram os melhores resultados em dois dos quatro parâmetros avaliados, corroborando com a Figura 1, onde observou-se que, embora exibissem comportamentos bem diferentes na maior parte da simulação (devido a grande diferença nos valores encontrados para α , n e K_s) após certo tempo, as curvas CS, GR e VM mostraram-se bastante semelhantes (devido aos valores próximos encontrados para θ_s : CS=0,410; GR=0,487 e VM=0,415 m³.m⁻³).

Tabela 4 - Valores dos parâmetros estatísticos de desempenho das simulações para os três casos de modelagem (classe do solo - CS, granulometria - GR e granulometria + densidade - GD) em relação à simulação com valores medidos (VM).

	Erro quadrático médio (EQM)	Razão dos desvios (RD)	Eficiência da modelagem (EM)	Coefficiente de massa residual(CMR)
CS	20,43	2,04	-0,04	-0,08
GR	23,96	0,52	-0,44	-0,23
GD	57,89	0,12	-7,39	-0,56
Valores ótimos	0,00	1,00	1,00	0,00

Ressalta-se que, embora o valor ótimo para o *EQM* seja próximo de zero, os resultados acima de 20,00 aqui obtidos são satisfatórios, uma vez que foi processado um grande volume de dados (1080 para cada método). Diferentemente do esperado (dado o detalhamento dos dados de entrada fornecidos), o método GD foi o que apresentou desempenho menos satisfatório, evidenciado tanto nos gráficos da Figura 2 quanto nos valores dos parâmetros estatísticos, não obtendo o melhor resultado em nenhum dos parâmetros.

O código *Rosetta* utiliza diversas funções de pedotransferência (equações que relacionam características de retenção de umidade ou condutividade hidráulica com outras características de fácil obtenção) para prever os valores dos parâmetros hidrodinâmicos do solo por meio de análises de redes neurais, e, teoricamente, quanto maior o número de dados de entrada fornecidos, maior seria a acurácia do resultado final, o que vai de encontro aos resultados aqui obtidos com a metodologia GD (*United States Department of Agriculture, 2018*).

De acordo com (OLIVEIRA *et al.*, 2002), o desempenho dos resultados obtidos com as funções de pedotransferência depende da homogeneidade dos solos que compõem a base de dados e a proximidade destes com os que terão seus dados estimados. Dessa forma, o resultado aqui obtido é plausível dada a diversidade entre as equações de pedotransferência empregadas no código *Rosetta* e o tipo de solo aqui estudado que é o Neossolo flúvico, típico da zona da Mata pernambucana (SILVA & NETO, 2013).

4 CONCLUSÕES

Os erros gerados nos cálculos realizados pelo código *Rosetta* nos valores encontrados para os parâmetros K_s , α e n , respectivamente (CS=2602%, 786% e 60%; GR=16,7%, 7,1% e 4,6%; GD=543%, 29% e 5,3%), provocaram o mau desempenho da metodologia CS observado no comportamento das curvas de retenção e condutividade hidráulica. Entretanto, no resultado geral apresentado nos gráficos da Figura 2 e nos valores dos parâmetros estatísticos (EQM, RD, EM e CMR) a metodologia com o pior desempenho foi a GD, provavelmente devido ao erro no cálculo das umidades residual θ_r (0,106 m³.m⁻³) e saturada θ_s (0,593 m³.m⁻³) que foram os maiores dentre todos os métodos estudados, evidenciando que os parâmetros que mais influenciaram no resultado final das simulações de fluxo de água foram θ_r e θ_s .

Sendo assim, por meio dos comparativos realizados, foi possível identificar que: o modelo *Hydrus-1D*, utilizando o algoritmo *Rosetta* apresentou valores satisfatórios para os parâmetros hidrodinâmicos do solo apenas quando utilizada a metodologia GR (fornecimento apenas as informações da composição granulométrica do solo como dado de entrada). O segundo melhor desempenho foi obtido pela metodologia que utilizou as informações catalogadas no *Rosetta* (de acordo com a classe

textural do solo) como dado de entrada (CS) e o modelo com o pior desempenho foi o que utilizou as informações da composição granulométrica e da densidade do material estudado (GD).

Dessa forma, o modelo *Hydrus-1D* é indicado para a estimativa dos parâmetros hidrodinâmicos do solo com certa cautela, visto que as funções de pedotransferência implementadas pelo *Rosetta* não foram desenvolvidas para todos os tipos de solo, como é o caso do solo brasileiro, mais precisamente do estado de Pernambuco. Para os casos em que não é possível a obtenção de dados experimentais, é viável o uso do modelo com o emprego da metodologia GR (que tem como dados de entrada apenas os percentuais de areia, silte e argila), entretanto, a melhor opção seria o uso de uma função de pedotransferência elaborada especificamente para o tipo de solo e local estudados.

REFERÊNCIAS

ANTONINO, Antônio Celso Dantas; SOARES, Willames de Albuquerque; SILVA, Edvane Borge da; LIMA, José Romualdo de Sousa; NETTO, Andre Maciel; LIRA, Carlos Alberto Brayner de Oliveira; HAMMECKER, Claude; RUIZ, Carlos Fuentes. Utilização do Método Inverso para a Caracterização Hidrodinâmica de um Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 81–87, set. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181**: Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

CECÍLIO, Roberto Avelino; MARTINEZ, Mauro Aparecido; PRUSKI, Fernando Falco; SILVA, Demetrius David da. Modelo para estimativa da infiltração de água e perfil de umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 411–421, mar. 2013.

CHAVES, Henrique Marinho Leite. Sensibilidade do Modelo Hydrus aos Parâmetros Hidráulicos do Solo em Diferentes Texturas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 33–37, abr. 2009.

FELTRIN, Rafael Matias; PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. Dinâmica da água no solo simulada pelo modelo hydrus-1d e medida a campo para as condições climáticas do sul do brasil. *In*: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 11., 2013, Maputo. **Anais...** Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262141794_DINAMICA_DA_AGUA_NO_SOLO_SIMULADA_PELo_MODELO_HYDRUS-1D_E_MEDIDA_A_CAMPO_PARA_AS_CONDICOES_CLIMATICAS_DO_SUL_DO_BRASIL. Acesso em: 16 maio 2018.

GREEN, Richard E.; LOAGUE, Keith. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdã, v. 7, n. 1–2, p. 51–73, jan. 1991.

KATO, Chihiro; NISHIMURA, Taku; IMOTO, Hiromi; MIYAZAKI, Tsuyoshi. Applicability of hydrus to predict soil moisture and temperature in vadose zone of arable land under monsoonal climate region, tokyo. *In*: World congress of soil science: soil solutions for a

changing world, 19., 2010, brisbane. **Proceedings...** Wien: International Union of Soil Sciences (IUSS) , 2010. 1 DVD.

LUGON JR, Jader; COSTA, Victor Thauan Ribeiro; RODRIGUES, Pedro Paulo Gomes Watts. Avaliação do Impacto de Pequena Central Hidrelétrica na Qualidade de Água do Rio Itabapoana Através de um Modelo Computacional. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 95–105, jan. 2016.

OLIVEIRA, Diogo Botelho Correa de; SOARES, Willames de Albuquerque. Desempenho de modelos de infiltração tridimensional de água no solo. **Diálogos: Revista de Estudos Culturais e da Contemporaneidade**, Garanhuns, v. 3, n. 18, p. 519–544, set. 2017.

OLIVEIRA, Lindomario Barros; RIBEIRO, Mateus Rosas; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; RODRIGUES, José Júlio Vilar; MARQUES, Flávio Adriano. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 315–323, jan. 2002.

SILVA JR, João José da; COLOMBO, Alberto; SILVA, Elio Lemos da; SCALCO, Myriane Stella. Determinação da condutividade hidráulica do solo utilizando o problema inverso do software hydrus-1d. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 7, n. 3, p. 242–251, set. 2013.

SILVA, Maria Sonia Lopes da; OLIVEIRA NETO, Manoel Batista de. Neossolos flúvicos. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CO NT000gt7eon7k02wx7ha087apz246ynf0t.html. Acesso em: 16 maio 2018.

TEIXEIRA, Paulo César; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; Editores Técnicos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa solos, 2017.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Rosetta Model**. 2018. Disponível em: < <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/riverside-ca/us-salinity-laboratory/docs/rosetta-model/>>. Acesso em: 3 junho 2019.

ZONTA, João Henrique; MARTINEZ, Mauro Aparecido; PRUSKI, Fernando Falco; SILVA, Demetrius David da; SANTOS, Marcelo Rocha dos. Efeito da aplicação sucessiva de precipitações pluviais com diferentes perfis na taxa de infiltração de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 377–388, jan. 2012.