

## DESENVOLVIMENTO DE BASE DE DADOS DE SOLOS PARA A APLICAÇÃO DO MODELO SWAT EM BACIA DO BIOMA CERRADO

*Jorge Enoch Furquim Werneck Lima<sup>1\*</sup>; Euzebio Medrado da Silva<sup>1</sup>; Michael Strauch<sup>2</sup>; & Carsten Lorz<sup>3</sup>*

**Resumo** – O conhecimento sobre características físico-hídricas dos solos é fundamental para a aplicação de modelos hidrológicos de base física como o SWAT. No Brasil, desde 1999 o número de usuários e de aplicações do modelo SWAT cresce rapidamente, sendo que as primeiras simulações efetuadas no bioma Cerrado são mais recentes e, em geral, utilizaram informações genéricas relativas aos solos. O objetivo deste estudo é apresentar uma base de dados de solo de referência para a aplicação do modelo SWAT em bacias hidrográficas do Cerrado. Com base em medições feitas, pelo menos, em triplicata, as seguintes características dos solos foram medidas: densidade, curva de retenção, condutividade hidráulica, matéria orgânica e textura. Com dados coletados em 66 locais e três profundidades, a maioria na Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, Distrito Federal, efetuou-se uma proposta de modelo conceitual para a entrada desses dados no SWAT, bem como uma tabela apresentando valores médios (iniciais) para os principais parâmetros relacionados aos solos e seus intervalos de variação (calibração). O estudo cobriu sete tipos de solo representativos da região. Considerando as limitações dos dados utilizados em estudos anteriores na região, espera-se que os resultados desse trabalho representem um avanço na busca por modelos hidrológicos mais realísticos.

**Palavras-Chave** – Modelagem hidrológica, base de dados, calibração de modelos.

## DEVELOPMENT OF A SOIL DATABASE FOR APPLYING SWAT MODEL IN A CATCHMENT OF THE BRAZILIAN SAVANNA

**Abstract** – Knowledge about physical and hydraulic characteristics of soils is fundamental for applying physically-based hydrological models such as the SWAT model. In Brazil, since 1999 the number of SWAT users and applications are increasing rapidly, but the first applications in the Brazilian Savanna are very recent and, in general, generic soil information has been used. This study aimed to present a reference soil database for applying SWAT in catchments of the Brazilian Savanna. Based on soil samples and analyses performed at least in triplicate, the following soil characteristics were measured: bulk density; soil-water retention curve; hydraulic conductivity; organic matter; and soil texture. Using soil data collected in 66 sites and three depths, most of them in the Upper Jardim Experimental River Basin, Federal District, Brazil, a conceptual model for introducing this data in SWAT was proposed, as well as a summary table showing the average and range for each of the soil parameters considered by the model. Seven representative soils of the region were covered by this study. Considering the soil data used in previous applications of the SWAT model in the region, the results of this study may represent a step forward to obtain more realistic hydrological models.

**Keywords** – Hydrological modeling, soil database, model calibration.

<sup>1</sup> Embrapa Cerrados. E-mail: jorge.werneck-lima@embrapa.br; euzebio.medrado@gmail.com.

<sup>2</sup> Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Germany, michael.strauch@ufz.de

<sup>3</sup> Hochschule Weihenstephan-Triesdorf - HSWT, Germany, carsten.lorz@hswt.de.

\* Autor Correspondente.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre as características físico-hídricas dos solos é fundamental para a adequada aplicação de modelos hidrológicos distribuídos e de base física (Romanowicz et al., 2005; Peschel et al., 2006; Geza e McCray, 2008), como é o caso do modelo SWAT – Soil and Water Assessment Tool (Arnold et al., 1998; Arnold e Fohrer, 2005).

No Brasil, a partir de 1999 o número de usuários e aplicações do modelo SWAT vem aumentando de forma acelerada em suas várias regiões (Garbossa et al., 2011). No caso do bioma Cerrado, principalmente no que se refere a região do Planalto Central Brasileiro, como observado no trabalho de Garbossa et al. (2011), até 2010, não existiam aplicações deste modelo. Contudo, desde 2011 o uso do modelo SWAT também avança rapidamente nesta ecorregião do bioma Cerrado, sendo aplicado em diversas bacias experimentais localizadas no Distrito Federal - DF (Silva, 2010; Strauch et al., 2011; Ferrigo et al., 2011; Minoti et al., 2011; Salles e Chaves, 2011; Strauch et al., 2012; Ferrigo et al., 2012; Strauch et al., 2013).

O levantamento de dados hidrológicos nas bacias experimentais do Distrito Federal começou a ser efetuado de forma mais intensa há cerca de uma década, o que faz com que, hoje, se tenham séries temporais de vazão e fluxo de sedimentos passíveis de utilização na avaliação de diversos modelos hidrológicos na região, dentre os quais o SWAT. Contudo, mesmo que o DF seja coberto com mapeamento de solo em escala de pelo menos 1:100.000 (Embrapa, 1978; Reatto et al., 2004), o que representa um detalhamento melhor do que normalmente encontrado no país, a organização e forma de apresentação dos dados não são suficientes para o seu uso em modelos hidrológicos como o SWAT. Essas limitações em relação aos dados pedológicos resultam em incertezas nas aplicações do modelo SWAT na região, conforme exposto por Silva (2010) em trabalho realizado na bacia hidrográfica do rio Descoberto (DF). Minoti et al. (2011), em aplicação do SWAT nas bacias dos Córregos Bananal e do Gama, ambas no DF, também destacaram as dificuldades de parametrização das características físico-hídricas dos solos da região, uma vez que estas são extremamente específicas. Por falta de determinadas informações pedológicas organizadas e disponíveis de forma adequada, Strauch et al. (2011; 2012; 2013) foram obrigados a utilizar funções de pedotransferência desenvolvidas para outras regiões na definição de alguns parâmetros necessários para a modelagem na bacia do ribeirão Pípiripau (DF e Goiás).

O comportamento físico-hídrico diferenciado dos solos do Cerrado é evidenciado, por exemplo, em seus Latossolos, que em geral apresentam elevado teor de argila, porém, em função de sua estrutura, possuem elevada permeabilidade, diferentemente do que ocorre em outras regiões do globo, principalmente as de clima temperado (Stoner et al., 1991). Destaca-se que os dados de solo sugeridos como padrão do modelo SWAT são desenvolvidos em países de clima temperado, portanto, valores que, em geral, não se aplicam a solos do Cerrado.

Outra dificuldade encontrada em relação aos dados pedológicos necessários para a adequada aplicação do modelo SWAT em bacias do Cerrado está na definição do intervalo de variação dos valores de cada parâmetro, informação fundamental para que, no processo de calibração, o modelo não perca tanto a sua base física.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do bioma Cerrado, gerando uma referência para a região em relação aos valores iniciais a serem utilizados e aos seus respectivos intervalos de variação.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

Situada na parte leste do Distrito Federal, entre as latitudes 15,71° e 15,86° S e as longitudes 47,55° e 47,64° W, a Bacia Experimental do Alto Rio Jardim está numa região mais central da área contínua do Bioma Cerrado (Figura 1), o que minimiza os efeitos das interações com outros Biomas.

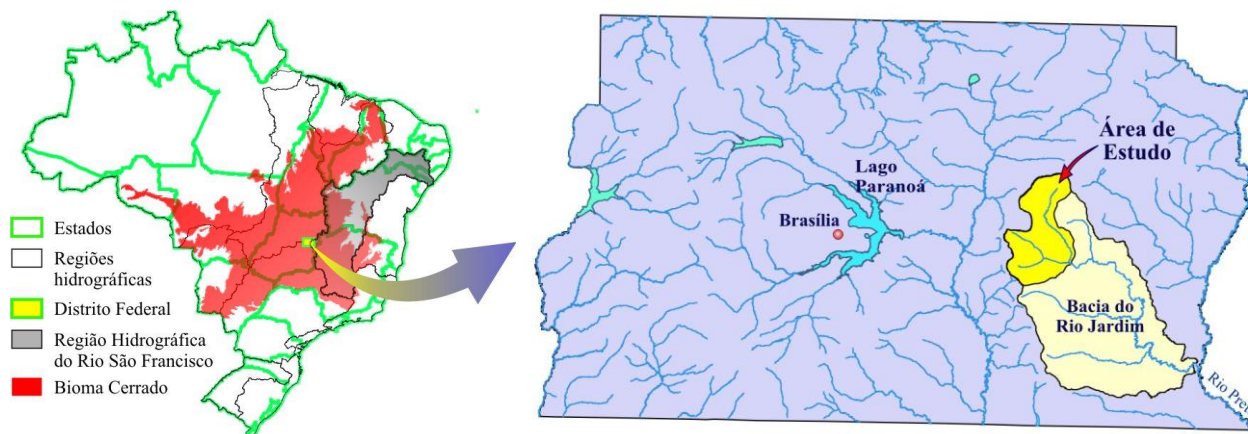


Figura 1 – Localização da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim em relação ao Brasil, às regiões hidrográficas brasileiras, à área contínua do Bioma Cerrado e ao Distrito Federal.

Em relação às grandes regiões hidrográficas brasileiras (CNRH, 2003), a Bacia do Rio Jardim está inserida na Região Hidrográfica do Rio São Francisco. O Rio Jardim é afluente do Rio Preto, que deságua no Paracatu, importante contribuinte da margem esquerda do Rio São Francisco.

A Bacia Experimental do Alto Rio Jardim possui área de drenagem total de 104,86 km<sup>2</sup>, dividida em duas bacias principais, a do Córrego Estanislau (49,71 km<sup>2</sup>) e a do próprio Rio Jardim (55,15 km<sup>2</sup>).

O clima na bacia é típico da Região de Cerrado, apresentando duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco. Seguindo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Tropical AW.

Em relação aos solos da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, 76,38% de sua área é de Latossolos, 16,68% de Cambissolos, 2,54% de Plintossolo, 2,41% de Gleissolo, 2,09% de Neossolo Quartzarênico e 0,24% de Afloramentos de Rocha (Lima et al., 2007).

Quanto ao uso e a ocupação do solo na área da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, destaca-se sua inserção na principal região agrícola do Distrito Federal. As principais atividades desenvolvidas na área da bacia são: cultivo de grãos (soja, feijão, milho, sorgo), algodão, cítricos, café, mandioca e hortaliças; criação de aves e de gado.

### Levantamento de dados

Na Figura 2 é apresentado o mapa de solos da bacia experimental do alto rio Jardim em escala 1:50.000 (Reatto et al., 2000), bem como 56 locais de coleta de amostras utilizados na realização deste trabalho.

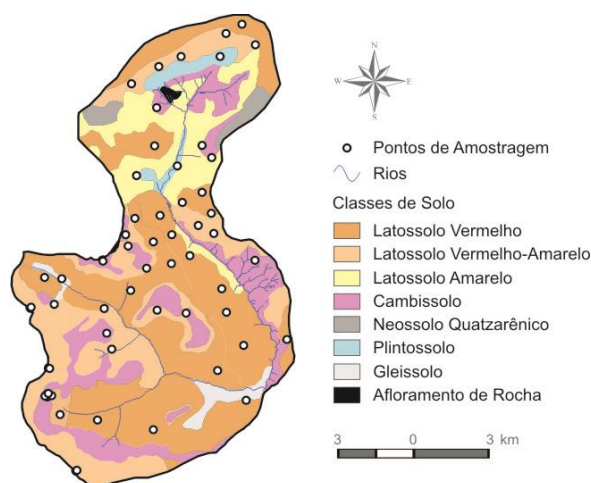


Figura 2. Mapa genérico de solos da bacia experimental do alto rio Jardim (Reatto et al., 2000) com a localização dos pontos de amostragem utilizados no presente trabalho.

Da análise da Figura 2, verifica-se a existência de: 22 pontos em Latossolos Vermelhos (LV); 19 em Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA); 10 em Cambissolo (CX); 2 em Gleissolo (GX); 2 em Plintossolo (FX); e 1 em Latossolo Amarelo (LA). No caso dos Neossolos Quartzarênicos (RQ), foram utilizadas amostras coletadas em 12 pontos também localizados no Distrito Federal, mas fora da bacia do rio Jardim.

As amostras de solo, deformadas e indeformadas, foram coletadas sempre em duas profundidades (15 e 60 cm), sendo que a condutividade hidráulica saturada também foi medida no nível do lençol freático, utilizando poços piezométricos instalados em cada um dos pontos plotados no mapa (Figura 2).

A textura do solo foi avaliada por meio dos métodos de peneiramento e pipetagem (Embrapa, 1997). Foram realizadas três repetições de cada profundidade na análise granulométrica.

A densidade do solo (densidade aparente) foi determinada utilizando o método do anel volumétrico (Embrapa, 1997). As análises foram efetuadas em três repetições por profundidade.

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada em laboratório, utilizou-se o método do permeâmetro de carga constante (Klute, 1965) com seis repetições por profundidade. O maior número de repetições na determinação desse parâmetro foi adotado por causa da maior variabilidade natural dessa medida observada em campo. A determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) na zona do lençol freático foi efetuada por meio do Slug Test (Hvorslev, 1951).

As curvas de retenção de água no solo nas profundidades analisadas foram efetuadas em laboratório, em três repetições, utilizando o método da centrífuga descrito por Reatto et al. (2008).

Neste estudo, a capacidade de armazenamento de água no solo foi considerado como o espaço poroso preenchível com água entre a umidade do solo seco, correspondente à tensão de 1,500 kPa, e o conteúdo de água correspondente à tensão de 10 kPa, considerado como o limite entre a macroporosidade e a microporosidade em solos do Cerrado (Reichardt, 1988).

O teor de matéria orgânica foi obtido em três repetições por ponto, por meio da oxidação da matéria orgânica do solo.

A erodibilidade do solo (Fator K da USLE) foi determinada de forma indireta, por meio da equação desenvolvida por Lima et al. (2007).

## Análise dos dados

Em função dos dados coletados, definiu-se primeiramente um modelo conceitual para descrever a forma como o solo seria representado espacialmente no sentido da profundidade, ou seja, como seriam distribuídas suas camadas.

Os resultados obtidos em cada amostra/repetição de análise foram organizados em tabelas, nas quais foram geradas as médias, os desvios-padrão e os coeficientes de variação correspondente a cada dado gerado. Dessa forma foi possível verificar a consistência dos dados e, em alguns casos, a necessidade de refazer a análise.

Depois de consistidos os dados foram organizados de modo a fornecer as seguintes informações pedológicas necessárias para a aplicação do modelo SWAT:

- SNAM: classificação do solo ou nome dado a cada classe;
- NLAYERS: número de horizontes a serem considerados por classe de solo;
- HYDGRP: grupo hidrológico do solo (A, B, C e D);
- SOL\_ZMX: profundidade máxima das raízes (mm);
- SOL\_Z: profundidade de cada horizonte (mm);
- SOL\_BD: densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>);
- SOL\_AWC: capacidade de armazenamento de água do solo (mm/mm);
- SOL\_K: condutividade hidráulica saturada (mm/hr);
- SOL\_CBN: conteúdo de carbono orgânico do solo (%);
- CLAY: porcentagem de argila no solo (%);
- SILT: porcentagem de silte no solo (%);
- SAND: porcentagem de areia no solo (%);
- ROCK: porcentagem de cascalho no solo (%);
- USLE\_K: erodibilidade do solo (t.m<sup>2</sup>.hr/m<sup>3</sup>.t.cm);

Além dos valores médios, os valores mínimos e máximos referentes a cada parâmetro foram organizados para indicação do intervalo de variação de cada um deles.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 é apresentado o modelo conceitual desenvolvido para a representação e a inserção dos dados de solo no modelo SWAT.

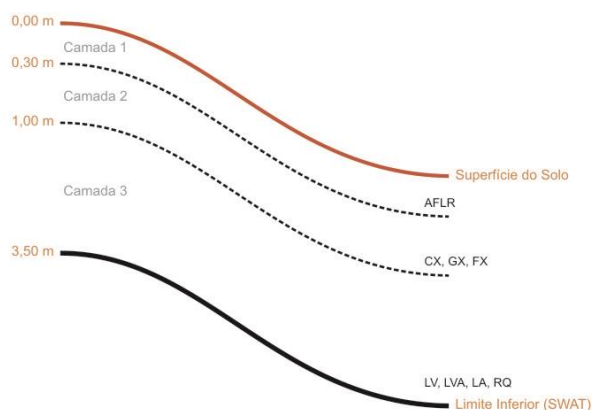


Figura 3 – Modelo conceitual para representação das camadas de solo no modelo SWAT.

Como se observa na Figura 3, o modelo conceitual para representação do solo possui três camadas. A primeira camada vai de 0,00 a 0,30 metros, a segunda de 0,30 a 1,00 metros e a terceira, de 1,00 a 3,50 metros. Destaca-se que o limite inferior de 3,50 metros de profundidade é um entrave do modelo SWAT na representação da realidade em solos do Cerrado, principalmente no caso dos Latossolos, predominantes no bioma e, em geral, com profundidades muito superiores a esta. As siglas a direita da Figura 3 indicam a profundidade considerada para cada tipo de solo.

Os valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros por camada e classe de solo são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1 – Valores médios dos parâmetros por camada e classe de solo.

|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z1  | SOL_BD1 | SOL_AWC1 | SOL_K1  | SOL_CBN1 | CLAY1 | SILT1 | SAND1 | ROCK1 | USLE_K1 |
|----------------------------|------|---------|--------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 300,00  | 300,00  | 0,90    | 0,12     | 612,20  | 1,67     | 53,93 | 28,37 | 12,94 | 0,00  | 0,018   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 300,00  | 300,00  | 0,94    | 0,11     | 1112,85 | 1,69     | 57,36 | 24,61 | 18,03 | 0,00  | 0,019   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 300,00  | 300,00  | 0,86    | 0,15     | 2602,59 | 1,65     | 58,81 | 21,75 | 19,44 | 0,00  | 0,017   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 300,00  | 300,00  | 1,30    | 0,08     | 281,26  | 0,60     | 30,10 | 9,65  | 60,25 | 0,00  | 0,031   |
| Cambissolo                 | CX   | 2       | C      | 300,00  | 300,00  | 0,99    | 0,11     | 874,33  | 1,58     | 49,84 | 32,95 | 17,20 | 0,00  | 0,023   |
| Gleissolo                  | GX   | 2       | D      | 300,00  | 300,00  | 0,87    | 0,13     | 494,44  | 2,56     | 51,59 | 28,54 | 19,86 | 0,00  | 0,021   |
| Plintossolo                | FX   | 2       | D      | 300,00  | 300,00  | 1,09    | 0,14     | 553,78  | 1,14     | 37,97 | 21,91 | 40,13 | 0,00  | 0,030   |
| Afloramento de rocha       | AFLR | 1       | D      | 300,00  | 300,00  | 2,62    | 0,01     | 0,01    | 0,01     | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 99,99 | 0,001   |
|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z2  | SOL_BD2 | SOL_AWC2 | SOL_K2  | SOL_CBN2 | CLAY2 | SILT2 | SAND2 | ROCK2 | USLE_K2 |
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 0,94    | 0,14     | 461,07  | 1,01     | 66,28 | 22,93 | 10,79 | 0,00  | 0,015   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 0,96    | 0,13     | 401,26  | 0,95     | 64,37 | 20,54 | 15,09 | 0,00  | 0,017   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 0,94    | 0,12     | 505,50  | 0,87     | 62,28 | 19,89 | 17,83 | 0,00  | 0,015   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 1,38    | 0,08     | 102,85  | 0,40     | 34,35 | 9,58  | 42,90 | 0,00  | 0,030   |
| Cambissolo                 | CX   | 2       | C      | 1000,00 | 1000,00 | 1,00    | 0,16     | 262,52  | 0,72     | 49,16 | 34,31 | 16,53 | 0,00  | 0,023   |
| Gleissolo                  | GX   | 2       | D      | 1000,00 | 1000,00 | 0,87    | 0,13     | 494,44  | 2,56     | 51,59 | 28,54 | 19,86 | 0,00  | 0,021   |
| Plintossolo                | FX   | 2       | D      | 1000,00 | 1000,00 | 1,09    | 0,14     | 553,78  | 1,14     | 37,97 | 21,91 | 40,13 | 0,00  | 0,030   |
|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z3  | SOL_BD3 | SOL_AWC3 | SOL_K3  | SOL_CBN3 | CLAY3 | SILT3 | SAND3 | ROCK3 | USLE_K3 |
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 2000,00 | 3500,00 | 0,94    | 0,14     | 142,32  | 1,01     | 66,28 | 22,93 | 10,79 | 0,00  | 0,015   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 2000,00 | 3500,00 | 0,96    | 0,13     | 230,05  | 0,95     | 64,37 | 20,54 | 15,09 | 0,00  | 0,017   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 2000,00 | 3500,00 | 0,94    | 0,12     | 186,92  | 0,87     | 62,28 | 19,89 | 17,83 | 0,00  | 0,015   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 2000,00 | 3500,00 | 1,38    | 0,08     | 102,85  | 0,40     | 34,35 | 9,58  | 42,90 | 0,00  | 0,032   |

Tabela 2 – Valores mínimos dos parâmetros por camada e classe de solo.

|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z1  | SOL_BD1 | SOL_AWC1 | SOL_K1  | SOL_CBN1 | CLAY1 | SILT1 | SAND1 | ROCK1 | USLE_K1 |
|----------------------------|------|---------|--------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 300,00  | 300,00  | 0,83    | 0,10     | 34,21   | 0,96     | 40,97 | 18,57 | 5,92  | 0,00  | 0,014   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 300,00  | 300,00  | 0,83    | 0,07     | 342,36  | 0,71     | 40,70 | 9,22  | 4,98  | 0,00  | 0,014   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 300,00  | 300,00  | 0,83    | 0,13     | 2602,59 | 1,65     | 58,81 | 21,75 | 19,44 | 0,00  | 0,017   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 300,00  | 300,00  | 1,14    | 0,06     | 75,78   | 0,40     | 17,65 | 3,44  | 39,44 | 0,00  | 0,027   |
| Cambissolo                 | CX   | 2       | C      | 300,00  | 300,00  | 0,88    | 0,09     | 342,32  | 0,92     | 35,12 | 23,83 | 10,40 | 0,00  | 0,015   |
| Gleissolo                  | GX   | 2       | D      | 300,00  | 300,00  | 0,87    | 0,13     | 494,44  | 2,56     | 51,59 | 28,54 | 19,86 | 0,00  | 0,021   |
| Plintossolo                | FX   | 2       | D      | 300,00  | 300,00  | 1,00    | 0,14     | 8,15    | 0,88     | 35,99 | 15,98 | 32,23 | 0,00  | 0,029   |
| Afloramento de rocha       | AFLR | 1       | D      | 300,00  | 300,00  | 2,62    | 0,01     | 0,01    | 0,01     | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 99,99 | 0,001   |
|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z2  | SOL_BD2 | SOL_AWC2 | SOL_K2  | SOL_CBN2 | CLAY2 | SILT2 | SAND2 | ROCK2 | USLE_K2 |
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 0,88    | 0,08     | 177,48  | 0,65     | 57,11 | 13,86 | 4,93  | 0,00  | 0,014   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 0,86    | 0,09     | 49,34   | 0,65     | 47,31 | 7,61  | 3,84  | 0,00  | 0,014   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 0,94    | 0,12     | 505,50  | 0,87     | 62,28 | 19,89 | 17,83 | 0,00  | 0,015   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 1,24    | 0,07     | 13,05   | 0,31     | 18,63 | 2,79  | 34,02 | 0,00  | 0,026   |
| Cambissolo                 | CX   | 2       | C      | 1000,00 | 1000,00 | 0,84    | 0,13     | 123,03  | 0,15     | 35,20 | 22,67 | 11,10 | 0,00  | 0,015   |
| Gleissolo                  | GX   | 2       | D      | 1000,00 | 1000,00 | 0,87    | 0,13     | 494,44  | 2,56     | 51,59 | 28,54 | 19,86 | 0,00  | 0,021   |
| Plintossolo                | FX   | 2       | D      | 1000,00 | 1000,00 | 1,00    | 0,14     | 8,15    | 0,88     | 35,99 | 15,98 | 32,23 | 0,00  | 0,029   |
|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z3  | SOL_BD3 | SOL_AWC3 | SOL_K3  | SOL_CBN3 | CLAY3 | SILT3 | SAND3 | ROCK3 | USLE_K3 |
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 2000,00 | 3500,00 | 0,88    | 0,08     | 0,34    | 0,65     | 57,11 | 13,86 | 4,93  | 0,00  | 0,014   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 2000,00 | 3500,00 | 0,86    | 0,09     | 0,60    | 0,65     | 47,31 | 7,61  | 3,84  | 0,00  | 0,014   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 2000,00 | 3500,00 | 0,94    | 0,12     | 186,92  | 0,87     | 62,28 | 19,89 | 17,83 | 0,00  | 0,015   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 2000,00 | 3500,00 | 1,24    | 0,07     | 13,05   | 0,31     | 18,63 | 2,79  | 34,02 | 0,00  | 0,026   |

Tabela 3 – Valores máximos dos parâmetros por camada e classe de solo.

|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z1 | SOL_BD1 | SOL_AWC1 | SOL_K1  | SOL_CBN1 | CLAY1 | SILT1 | SAND1 | ROCK1 | USLE_K1 |
|----------------------------|------|---------|--------|---------|--------|---------|----------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 300,00  | 300,00 | 1,19    | 0,15     | 1310,33 | 2,65     | 70,79 | 37,80 | 37,78 | 0,00  | 0,028   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 300,00  | 300,00 | 1,16    | 0,16     | 2345,27 | 2,50     | 78,26 | 38,15 | 47,19 | 0,00  | 0,029   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 300,00  | 300,00 | 0,86    | 0,15     | 2602,59 | 1,65     | 58,81 | 21,75 | 19,44 | 0,00  | 0,017   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 300,00  | 300,00 | 1,40    | 0,09     | 763,70  | 0,96     | 42,78 | 23,03 | 78,90 | 0,00  | 0,033   |
| Cambissolo                 | CX   | 2       | C      | 300,00  | 300,00 | 1,14    | 0,13     | 1436,40 | 1,77     | 64,61 | 51,72 | 29,66 | 0,00  | 0,031   |
| Gleissolo                  | GX   | 2       | D      | 300,00  | 300,00 | 0,87    | 0,13     | 494,44  | 2,56     | 51,59 | 28,54 | 19,86 | 0,00  | 0,021   |
| Plintossolo                | FX   | 2       | D      | 300,00  | 300,00 | 1,18    | 0,15     | 1099,40 | 1,41     | 39,95 | 27,83 | 48,03 | 0,00  | 0,031   |
| Afloramento de rocha       | AFLR | 1       | D      | 300,00  | 300,00 | 2,62    | 0,01     | 0,01    | 0,01     | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 99,99 | 0,001   |

|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z2  | SOL_BD2 | SOL_AWC2 | SOL_K2  | SOL_CBN2 | CLAY2 | SILT2 | SAND2 | ROCK2 | USLE_K2 |
|----------------------------|------|---------|--------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 1,04    | 0,19     | 1324,30 | 1,45     | 75,54 | 34,21 | 25,83 | 0,00  | 0,018   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 1,14    | 0,18     | 839,63  | 1,31     | 85,16 | 32,58 | 43,70 | 0,00  | 0,025   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 0,94    | 0,12     | 505,50  | 0,87     | 62,28 | 19,89 | 17,83 | 0,00  | 0,015   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 1000,00 | 1000,00 | 1,50    | 0,09     | 235,70  | 0,52     | 44,51 | 23,56 | 77,86 | 0,00  | 0,032   |
| Cambissolo                 | CX   | 2       | C      | 1000,00 | 1000,00 | 1,19    | 0,20     | 430,54  | 1,16     | 64,62 | 53,69 | 30,96 | 0,00  | 0,031   |
| Gleissolo                  | GX   | 2       | D      | 1000,00 | 1000,00 | 0,87    | 0,13     | 494,44  | 2,56     | 51,59 | 28,54 | 19,86 | 0,00  | 0,021   |
| Plintossolo                | FX   | 2       | D      | 1000,00 | 1000,00 | 1,18    | 0,15     | 1099,40 | 1,41     | 39,95 | 27,83 | 48,03 | 0,00  | 0,031   |

|                            | SNAM | NLAYERS | HYDGRP | SOL_ZMX | SOL_Z3  | SOL_BD3 | SOL_AWC3 | SOL_K3  | SOL_CBN3 | CLAY3 | SILT3 | SAND3 | ROCK3 | USLE_K3 |
|----------------------------|------|---------|--------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Latossolo Vermelho         | LV   | 3       | A      | 1000,00 | 3500,00 | 1,04    | 0,19     | 1000,00 | 1,45     | 75,54 | 34,21 | 25,83 | 0,00  | 0,018   |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | LVA  | 3       | A      | 1000,00 | 3500,00 | 1,14    | 0,18     | 1000,00 | 1,31     | 85,16 | 32,58 | 43,70 | 0,00  | 0,025   |
| Latossolo Amarelo          | LA   | 3       | A      | 1000,00 | 3500,00 | 0,94    | 0,12     | 186,92  | 0,87     | 62,28 | 19,89 | 17,83 | 0,00  | 0,015   |
| Neossolo Quartzarênico     | RQ   | 3       | A      | 1000,00 | 3500,00 | 1,50    | 0,09     | 235,70  | 0,52     | 44,51 | 23,56 | 77,86 | 0,00  | 0,032   |

Os dados apresentados na Tabela 1, com os valores médios de cada parâmetro por camada e tipo de solo se apresentam como uma referência para os valores iniciais atribuídos aos mesmos no processo de modelagem com o SWAT. Os dados presentes nas Tabelas 2 e 3 representam o intervalo de variação dos valores de cada parâmetro, informação relevante na busca pela manutenção da base física do modelo no processo de calibração.

O pequeno número de amostras coletadas em áreas de Gleissolo, Plintossolo e Latossolo Amarelo representam uma limitação desse estudo, contudo, cabe destacar que, no caso dos dois primeiros, estes geralmente ocupam pequeno percentual da área em bacias do Planalto Central Brasileiro. No caso do Latossolo Amarelo, uma possível solução para a limitação dos dados é o uso dos limites de variação estabelecidos para os demais Latossolos da região.

Cabe ainda destacar que, no processo de calibração utilizando o SWAT, podem-se definir os intervalos de variação dos valores dos parâmetros por camada ou para todas as camadas, o que deve ser avaliado em relação a busca da manutenção da base física ou da flexibilidade do modelo.

## CONCLUSÕES

Considerando as limitações dos dados utilizados em estudos anteriores de aplicação do SWAT na região, espera-se que os resultados desse trabalho representem um avanço na busca por modelos hidrológicos mais realísticos e com maior potencial de apoio na gestão territorial e dos recursos hídricos no Cerrado.

## Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pelo financiamento do Projeto “Geração de valores de referência de parâmetros do modelo SWAT adequados ao bioma Cerrado” (CNPq N. 483410/2011-0).

## REFERÊNCIAS

- EMBRAPA, 1978. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. In: *Boletim Técnico* 53. Rio de Janeiro, p. 455.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1997). Manual de métodos de análise de solo. *Série Documentos* 1, 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS. 212p.
- FERRIGO, S.; MINOTI, R.T.; KOIDE, S. (2011) Utilização do Modelo SWAT na estimativa da produção de sedimentos decorrentes de diferentes cenários de uso do solo na bacia do córrego Capão Comprido no Distrito Federal. In: *anais do XIX SBRH*, Maceió: ABRH, 2011.
- FERRIGO, S.; MINOTI, R.T.; ROIG, H.; KOIDE, S. (2012) Análise do modelo SWAT na simulação de produção de sedimentos quando calibrado unicamente para vazão em uma pequena bacia hidrográfica rural. In: *anais do X ENES*, Foz do Iguaçu: ABRH, 2012.
- HVORSLEV, M.J. (1951). Time lag and soil permeability in ground-water observations. Vicksburg, Miss.: U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, *Bulletin* 36, 50p.
- KLUTE, A. (1965). Laboratory measurements of hydraulic conductivity of saturated soil. In: Black et al. (ed.). *Methods of soil analysis*. Monograph 9, Madison: American Society of Agron. 253-261.
- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; EID, N.J.; MARTINS, E.S.; KOIDE, S.; REATTO, A. (2007). Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do alto rio jardim, DF. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 8, p.21-34.
- MINOTI, R.T.; KOIDE, S.; LIPORONI, L.M. (2011) Estimativa das cargas de sedimentos e nutrientes em duas sub-bacias do lago Paranoá Brasília/DF. In: *Anais do XIX SBRH*. Maceió: ABRH, 2011.
- REICHARDT, K. (1988). Capacidade de campo. *Rev. Bras. de Ciência do Solo*, 12, 211-216.
- REATTO, A.; MARTINS, E.S.; FARIAS, M.F.R.; SILVA, A.V.; CARVALHO JR., O.A.C., (2004) Mapa Pedológico Digital – SIG atualizado do Distrito Federal, escala 1:100000 e uma síntese do texto explicativo. *Documentos*, Nº 120. EMBRAPA Cerrados, Distrito Federal.
- REATTO, A., SILVA, E.M., BRUAND, A., MARTINS, E.S. E LIMA, J.E.F.W. (2008). Validity of the centrifuge method for determining the water retention properties of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 72, 1547-1553.
- SALLES, L.A.; CHAVES, H.M.L. (2011) Estudo da sensibilidade de variáveis sedimentológicas influentes no desempenho do modelo SWAT. In: LIMA, J.E.F.W.; LOPES, W.T.A. (Org.). *Engenharia de Sedimentos: na busca de soluções para problemas de erosão e assoreamento*. Brasília: ABRH, v.1, p.345-364.
- SILVA, L.R.S. (2010) Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas, 241f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Distrito Federal.
- STONER, E.; FREITAS Jr, E.; MACEDO, J.; MENDES, R.C.A.; CARDOSO, I.M.; MABILE, R.F.; BRYANT, R.B.; LATHWELL, D.J. (1991) Physical constraints to root growth in savanna oxisols. Raleigh: NCSU, 28p. (*TropSoils Bulletin*, 91-01).
- STRAUCH, M.; BAKKER, F.I.; ARAUJO, A.; LIMA, J.E.F.W.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. (2011) Assessing the hydrologic impact of conservation management practices for the Pipiripau River basin, Central Brazil, using SWAT. In: *Proceedings of the 12th International Specialized Conference on Watershed and River Basin Management*. Recife: IWA, 2011.
- STRAUCH, M.; BERNHOFER, C.; KOIDE, S.; VOLK, M.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. (2012) Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology* (Amsterdam), v. 414-415, p. 413-424.
- STRAUCH, M.; LIMA, J.E.F.W.; VOLK, M.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. (2013) The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment. *Journal of Environmental Management*, v. 1, p. 10.1016/j.jenvm-13, 2013.