

## RECURSOS HÍDRICOS

### PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIA HIDROGRÁFICA VIA CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO SWAT

**Bruna Ferreira da Silva** – brunaferreiraciamb@hotmail.com  
Universidade Federal de Goiás

**Willian Teles Pinto** – willianteles@hotmail.com  
Universidade Federal de Goiás

**Alexandre Kepler Soares** – aksoares@gmail.com  
Universidade Federal de Goiás

**Resumo:** O uso de modelos hidrológicos tem sido uma alternativa bastante explorada para o gerenciamento de bacias hidrográficas. O principal objetivo deste trabalho é realizar a modelagem hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia por meio da aplicação do modelo SWAT. Foram monitorados, durante 18 meses, vazões e concentração de sedimentos em suspensão diários em uma seção no curso d'água. Tais dados foram utilizados para a análise da influência de distintos parâmetros no ajuste do modelo SWAT. Os resultados da análise de sensibilidade apontaram que parâmetros de fator de compensação da evaporação do solo (Esco), profundidade limite de água no aquífero raso para ocorrer o fluxo de retorno (Gwqmin), capacidade de água disponível (Sol\_Awc) e a profundidade da camada do solo (Sol\_Z) como os mais sensíveis para as simulações em termos da vazão, e a prática de manejo e conservação do solo (Usle\_P) para as simulações com ajuste em termos da concentração de sedimentos em suspensão. Os melhores ajustes obtidos nas estatísticas de precisão (Coeficiente de Nash-Sutcliffe - COE) foram de 0,56 a 0,72 para as simulações em termos da vazão e de 0,56 a 0,69 para as simulações em termos do sedimento em suspensão.

**Palavras-chave:** SWAT, Sedimento em suspensão, Vazão, Análise de sensibilidade.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A problemática da degradação ambiental tornou-se um assunto frequente, a forma predatória com a qual o homem se relacionou com a natureza resultou em impactos negativos sobre os sistemas naturais, sendo a água o que sofre a maior pressão.

Segundo Machado (2002) uma investigação no sistema real, envolvendo medições de todas as variáveis que influenciam a dinâmica de uma bacia hidrográfica é uma tarefa árdua, sendo até mesmo impossível em determinadas vezes, pois o longo prazo exigido e os custos de medições e monitoramento são grandes empecilhos para tal tarefa.

O emprego de modelos de simulação tem sido a alternativa mais explorada no intuito de preencher a ausência de dados. Essas ferramentas têm como finalidade expressar o

comportamento do objeto de estudo tomando por base a dinâmica dos processos que o regem representados pelas diferentes parâmetros.

A bacia hidrográfica do Córrego Samambaia (BHCS) localiza-se na região norte da cidade de Goiânia- Goiás vem passando por um processo de urbanização intenso. A escolha da área de estudo justifica-se por uma série de razões, dentre as quais a possibilidade de dar continuidade aos estudos hidrossedimentológicos desenvolvidos na Universidade Federal de Goiás (UFG) e a mudança da sua paisagem.

Para a modelagem hidrossedimentológica, foi utilizado o *SWAT (Soil and Water Assessment Tool)*, um modelo matemático que permite simular diferentes processos físicos na bacia hidrográfica (evaporação, infiltração, escoamentos superficial, subsuperficial, subterrâneo e transporte de sedimento), permitindo a análise dos impactos das alterações no uso do solo sobre os escoamentos superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas agrícolas não instrumentadas.

## 2. METODOLOGIA

A BHCS possui uma área de aproximadamente 32,67 km<sup>2</sup>. Localiza-se ao norte do município de Goiânia-GO, entre as latitudes sul 16°31'43,50'' e 16°36'19,82'' e longitudes oeste 49°14'5,78'' e 49°17'11,10'' (Figura 1). Este manancial é afluente do Rio Meia Ponte, responsável pelo abastecimento de cerca de 48% da população goianiense. Atualmente a bacia é considerada rural; no entanto, vem apresentando rápido processo de urbanização, devido às melhorias na infraestrutura da região desde a locação da Universidade Federal de Goiás (UFG), que contribuiu para a valorização e desenvolvimento da localidade.

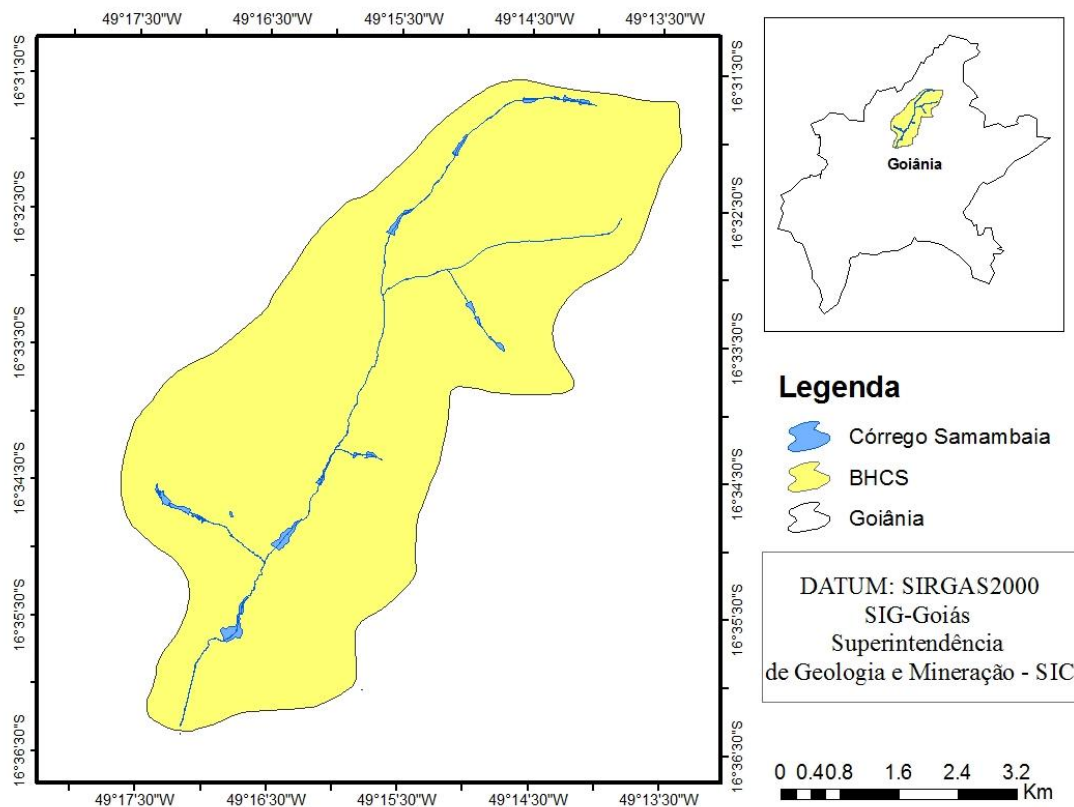


Figura 1. Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Samambaia. Fonte: SIG-Goiás - Superintendência de Geologia e Mineração - SIC, base de dados – SIEG, 2015

A Figura 2 apresenta a o uso e ocupação do solo na BHCS, indicando que a pastagem ocupa mais da metade da área total da bacia, com a urbanização em segundo e a vegetação remanescente em terceiro, mostrando que a bacia hidrográfica do Córrego Samambaia é uma bacia semi-urbana.

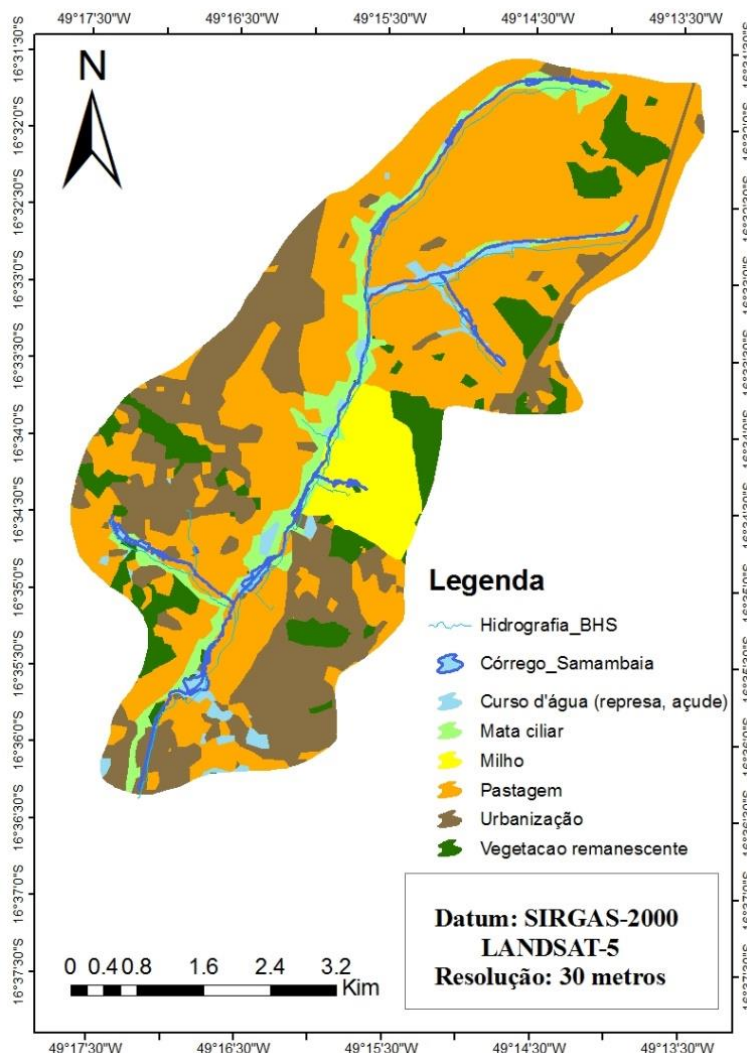


Figura 2. Mapa de tipo uso e ocupação dos solos da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia. Fonte: Base da dados do INPE, sensor LANDSAT-5

A seção do Córrego Samambaia escolhida para monitoramento de vazão e sedimento em suspensão está localizada na Latitude 16°34'11,2" e Longitude 49°15'56,4".

Para medição do nível da água foi instalado um linígrafo com data logger configurado para fornecer informações do nível de água do Córrego Samambaia a cada 2 segundos. Os dados médios diários do nível d'água com os dados de vazões foram plotados na curva-chave fluviométrica para obtenção de vazões médias diárias. O início do período de monitoramento do equipamento foi no mês de fevereiro de 2013 e encerrou-se em agosto de 2014.

Para coleta de sedimento em suspensão, foi utilizado um coletor automático de água modelo ISCO (Figura 3). O coletor obtém uma amostra do líquido quando a bomba é acionada, e o passa através do tubo de sucção do filtro levando até as 24 garrafas de amostragem, onde foram armazenadas. Essas amostras, de 700 ml, foram levadas para o

laboratório para obtenção do sedimento em suspensão e, por conseguinte, o cálculo da descarga sólida total do córrego. Foram colhidas 1 amostra para cada dia, entre os meses de setembro de 2013 e agosto de 2014.



Figura 3. Amostrador automatizado de coleta de sedimentos.

Os dados climatológicos foram obtidos através da estação meteorológica completa, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação localizada na cidade de Goiânia- Goiás de número (83423). Esses dados são precipitação total diária, radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperaturas máxima e mínima do ar.

## 2.1. Modelo hidrossedimentológico

O SWAT, em sua concepção, opera considerando 4 volumes de controle de estimativa do balanço hídrico: superficial, subperifical, aquífero raso e aquífero profundo. Na Equação (1) tem-se a representação do balanço hídrico admitido pelo SWAT (NEITSCH *et al.*, 2005).

$$SW_t = SW + \sum(R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

Em que:

$SW_t$  representa o conteúdo final da água no solo (mm);

$SW$  representa o conteúdo de água disponível para planta, definido como conteúdo de água inicial menos o conteúdo no ponto murcha permanente (mm);

$t$  representa o tempo (dias);

$R_i$  representa a precipitação (mm);

$Q_i$  representa o escoamento superficial (mm);

$ET_i$  representa a evapotranspiração (mm);

$P_i$  representa a percolação (mm);

$QR_i$  representa o fluxo de reotorno (ascensão capilar) (mm).

Os principais dados de entrada do modelo são: uso do solo, tipo de solo, modelo digital de terreno e dados meteorológicos diários. Para preparar o modelo para calibração foi feita a análise de sensibilidade, um processo importante para conhecer os parâmetros com maior ou menor grau de impacto sobre as respostas do modelo.



## 2.2. Estatística de precisão

A estatística aplicada ao modelo é a seguinte: coeficiente de Nash-Sutcliffe (NASH & SUTCLIFFE, 1970) que é expresso na Equação (2).

$$C_{ns} = 1 - \frac{\sum (Q_{obsi} - \bar{Q}_{sim})^2}{\sum (Q_{obsi} - \bar{Q}_{sim})^2} \quad (2)$$

Em que:

$Q_{obsi}$  representa a vazão observada no dia  $i$  ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );

$Q_{sim}$  representa a vazão simulada no dia ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );

$\bar{Q}_{sim}$  representa a vazão média dos dados observados ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ).

O coeficiente de Nash-Sutcliffe é um indicador da correlação entre os valores observados e simulados, com amplitude de variação entre 0 a 1, em que o valor 1 indica um ajuste perfeito. Esse coeficiente é considerado uma das estatísticas mais sensíveis a valores extremos, e igualmente sensíveis as diferentes proporções entre séries observadas e simuladas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados da análise de sensibilidade automática para as variáveis vazão e sedimento, realizada pela ferramenta *Sensitivity Analysis* do SWAT. Nela registram-se o nome do parâmetro no SWAT, o seu valor médio e o da sensibilidade, que variou entre 1 e 25 para vazão e, em ternos de sedimento, de 1 a 6.

Os parâmetros que afetam a resposta do modelo em termos de vazão foram o Esco, o Gwqmin, o Sol\_Awc e o Sol\_Z. O primeiro parâmetro que mais afetou a sensibilidade do modelo foi o Fator de compensação da evaporação do solo (Esco); observou-se que pequenas variações no Esco implicam em alterações consideráveis no balanço hídrico da bacia. O segundo parâmetro de maior sensibilidade foi a Profundidade mínima do aquífero superficial para ocorrer escoamento subterrâneo (Gwqmin), cuja variação afeta o escoamento de base. O terceiro parâmetro pelo resultado da calibração manual foi a capacidade de água disponível (Sol\_Awc) que é o fator de compensação da evaporação do solo, e o quarto parâmetro é a profundidade das camadas do solo (Sol\_Z). Para sedimento, o fator Práticas de conservação do solo (Usle\_P) foi o parâmetro que apresentou o maior grau de sensibilidade.

Observa-se, pela Figura 4, que o modelo simulou adequadamente a concentração de sólidos suspensos. O coeficiente de Nash- Sutcliffe (COE) como o melhor ajuste foi de 0,69, considerado um resultado satisfatório pro modelo.

Em relação ao potencial de produção de sedimento (Figura 5), nota-se que a maior produção de sedimentos ocorre em áreas de pastagens e de urbanização. Por exemplo, na sub-bacia 4, onde está concentrada a menor produção de sedimento, após a calibração o valor obtido de sedimento foi de 16 toneladas durante um ano de monitoramento em toda a área, e é nesta que está o maior percentual de vegetação remanescente.

As sub-bacias 9, 14 e 15 são as que apresentam maior produção de sedimento, sendo 2001,01 a 3001,00 toneladas, respectivamente, e nessas a ocupação que gera maior quantidade de sedimento (urbanização e pastagem) ocupam mais de 60% do total de cada sub-bacia.

Os sedimentos da BHCS estão sendo transportados pelo escoamento superficial, no interior da sua calha fluvial, constituindo-se em uma importante fonte de transferência de nutrientes, contaminantes e de assoreamento. Pela resposta do modelo hidrossedimentológico, os sedimentos de origem antropogênica são os principais agressores da bacia. As consequências desse processo é o assoreamento do curso hídrico e o desequilíbrio do ecossistema natural da bacia.

Tabela 1. Análise de sensibilidade em termos da vazão

| <b>Parâmetros de vazão</b> | <b>Ranking</b> | <b>Valor Médio</b> |
|----------------------------|----------------|--------------------|
| Esco                       | 1              | 0,527              |
| Gwqmin                     | 2              | 0,119              |
| Sol_Awc                    | 3              | 0,0920             |
| Sol_Z                      | 4              | 0,0678             |
| Alpha_Bf                   | 5              | 0,0605             |
| Gw_Revap                   | 6              | 0,0470             |
| Revapmn                    | 7              | 0,0407             |
| Blai                       | 8              | 0,0386             |
| Canmx                      | 9              | 0,0325             |
| Cn2                        | 10             | 0,0297             |
| Ch_K2                      | 11             | 0,0232             |
| Epc                        | 12             | 0,0198             |
| Slope                      | 13             | 0,0114             |
| Sol_K                      | 14             | 0,00789            |
| Gw_Delay                   | 15             | 0,00437            |
| Sol_Alb                    | 16             | 0,00378            |
| Surlag                     | 17             | 0,00273            |
| Biomix                     | 18             | 0,000789           |
| Ssubbsn                    | 19             | 0,000311           |
| Sftmp                      | 20             | 0,000              |
| Smfmn                      | 20             | 0,000              |
| Smfmx                      | 20             | 0,000              |
| Smtmp                      | 20             | 0,000              |
| Timp                       | 20             | 0,000              |
| Tlps                       | 20             | 0,000              |

Tabela 2. Análise de sensibilidade em termos do sedimento em suspensão

| <b>Parâmetros de sedimento</b> | <b>Ranking</b> | <b>Valor Médio</b> |
|--------------------------------|----------------|--------------------|
| Usle_P                         | 1              | 2,13               |
| Spcon                          | 2              | 1,14               |
| Spexp                          | 3              | 0,9678             |
| Usle_C                         | 4              | 0,0679             |
| Ch_Cov                         | 5              | 0,000              |
| Ch_Erod                        | 6              | 0,000              |

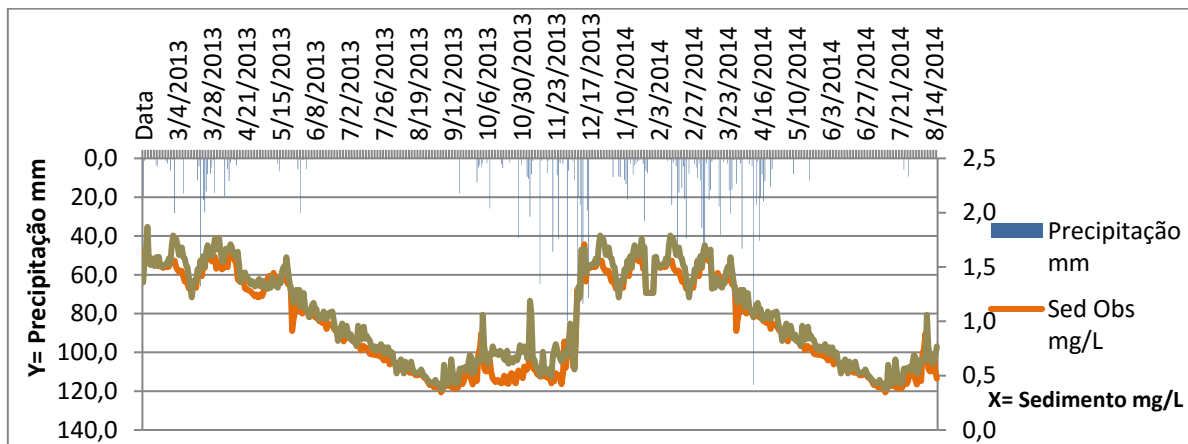


Figura 4. Gráfico dos valores observados de sedimentos (linha laranja) e dos valores calculados (linha cinza) na simulação para o parâmetro Usle\_P, com os valores de precipitação (barras azuis) no ano Juliano

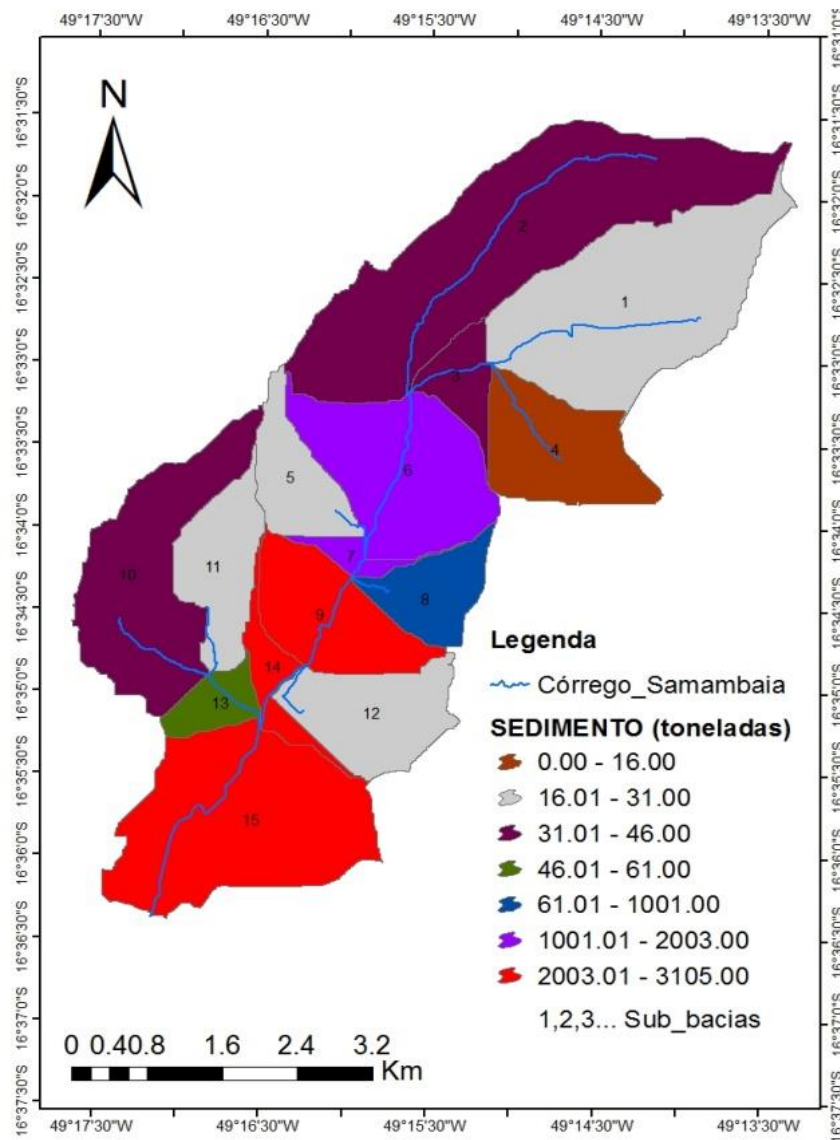


Figura 5. Mapa de produção de sedimentos nas sub-bacias do Córrego Samambaia

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O modelo hidrológico do SWAT é baseado no método SCS, o qual é deveras simplificado. Para análises de calibração, que necessitam de séries de dados observados durante longos períodos, a simplificação do modelo hidrológico, associado à caracterização não variável da bacia hidrográfica ao longo da série, o modelo SWAT demonstrou imprecisão. Por outro lado, constatou-se que a equação universal de perda de solo modificada representou com melhor precisão as concentrações de sedimento em suspensão medidas em campo.

#### **5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES**

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Piracicaba - SP, 152 p., 2002. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, 1970. p. 282-290.

NEITSCH, S. S.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. J. **Soil and water assessment tool: theoretical documentation - version 2005**. SERVICE, G.-S. A. W. R. L.-A. R. Texas – USA.

**SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação**. Disponível em: [www.sieg.go.gov.br](http://www.sieg.go.gov.br). Acessado em: 23/01/2013.